

Hayvan Beslemenin İlkeleri

Yazar

Guoyao WU

Çeviri Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Veysel DOĞAN (Bölüm 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11)

Çevirmenler

Arş. Gör. Çağatay SALUM (Bölüm 5, 12)

Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖKMEN (Bölüm 9, 10, 13)



© Copyright 2024

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN	Orjinal ISBN
978-625-399-921-6	978-149-872-160-8
Kitap Adı	Orjinal Kitap Adı
Hayvan Beslemenin İlkeleri	Principles of Animal Nutrition
Yazar	Sayfa ve Kapak Tasarımı
Guoyao WU	Akademisyen Dizgi Ünitesi
Çeviri Editörü	Yayıncı Sertifika No
Dr. Öğr. Üyesi Veysel DOĞAN	47518
ORCID iD: 0000 0002 1148 5416	Baskı ve Cilt
Çevirmenler	Vadi Matbaacılık
Arş. Gör. Çağatay SALUM	Bisac Code
ORCID iD: 0000 0003 0216 8432	MED089020
Dr. Öğr. Üyesi Sedat GÖKMEN	DOI
ORCID iD: 0000 0002 4793 3030	10.37609/akya.3152
Yayın Koordinatörü	
Yasin DİLMEN	

Kütüphane Kimlik Kartı

Wu, Guoyao.

Hayvan Beslemenin İlkeleri / Guoyao Wu; çev. edt ; Veysel Doğan,
çev. Çağatay Salum, Sedat Gökmen.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2024.

800 s. : tablo, şekil. ; 195x275 mm.

Özgün eser adı : Principles of Animal Nutrition.

Kaynakça ve İndeks var.

ISBN 9786253999216

1. Veterinerlik.

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi AŞ

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

İÇİNDEKİLER

İçindekiler.....	iii
Önsöz.....	xxiv
Teşekkürler.....	xxvi
Yazar.....	xxviii
BÖLÜM 1 Hayvan Beslemenin Fizyolojik ve Biyokimyasal Temelleri	1
Hayvan Beslemenin Temel Kavramları	2
Besinler ve Rasyonun Tanımlanması	2
Besleminin Tanımı	2
Yem Maddelerinin Bileşeni.....	2
Hayvanların Bileşeni	4
Yem Maddelerinin Temel Bileşen veya Weende Analizi.....	4
Yem Maddeleri ve Hayvanların Analizi için Modifiye Metotlar	6
Beslemenin Kimyasal Temeli Olarak Biyokimya	6
Beslenmenin Temeli Olarak Fizyoloji.....	7
Besin Kullanımında Sistem Fizyolojisinin Entegrasyonu	8
Hayvan Hücresinin Yapısı.....	8
Hücre, Doku, Organ ve Sistem Tanımları.....	8
Hayvan Hücresinin Fonksiyonu ve Bileşeni.....	8
Biyolojik Membranlar Boyunca Maddelerin Taşınması.....	11
Basit Difüzyon	12
Taşıyıcı-aracılı Taşıma	12
Kolaylaştırılmış Difüzyon.....	12
Aktif Taşınma	13
Hayvan Sistemine Genel Bakış.....	13
Sinir Sistemi	14
Nöron	14
Nörotransmitterler.....	15
Merkezi Sinir Sistemi	16
Periferel Sinir Sistemi.....	16
Dolaşım Sistemi	16
Kan Dolaşımı.....	16
Kan.....	16
Kalp ve Kan Damarları.....	17
Postnatal Hayvanlarda Kan Akışının Yönü.....	17
Fetüslerde Kan Akış Yönü.....	17

Mikrosirkülasyon.....	18
Kan-Beyin Bariyeri	20
Lenfatik Sistem	20
Sindirim Sistemi.....	22
Nonruminantlarda Mide	22
Ruminantlarda Mide.....	26
Midenin Bölümleri.....	26
Rumen Gelişimi	27
Ruminantlardaki Rumen ve Abomazumun Sindirim Fonksiyonu.....	28
İnce Bağırsak	29
Kalın Bağırsak.....	31
Pankreas	32
Karaciğer	32
İskelet Kas Sistemi	34
Solunum Sistemi	35
Üriner Sistem	35
Erkek Üreme Sistemi	37
Dişi Üreme Sistemi	37
Endokrin Sistem.....	38
İmmun Sistem	39
Duyu Organları.....	42
Metabolik Yolaklara Genel Bakış	42
Ana Metabolik Yolaklar ve Önemleri	42
Metabolik Yolakların Özellikleri.....	45
Enzim Katalizli Reaksiyonlar.....	45
Metabolik Yolaklarda Hücre İçi Bölümlendirme.....	48
Hücre-, Bölge-, Yaş – ve Türe-Bağlı Metabolik Yolaklar.....	48
Mitokondride Biyolojik Oksidasyon.....	50
Mitokondrideki Krebs Döngüsü.....	50
Mitokondrideki Elektron Transport Sistemi.....	52
Oksidatif Fosforilasyonun Ayrıştırıcıları ve Elektron Transport Sisteminin İnhibitörleri ..	57
Özet	57
Kaynaklar	60
Karbonhidratların Genel Sınıflandırılması.....	65
Genel Bakış	65
BÖLÜM 2 Karbonhidratların Kimyası.....	65
Karbonhidratların D – ve L-Konfigürasyonu.....	66
Siklik Hemiasetaller (Aldozlar) ve Hemiketaller (Ketozlar)	67

Monosakkaritler	68
Tanım.....	68
Monosakkarit Yapılarının Kimyasal Gösterimi.....	68
Açık-Zincir Formu.....	68
Siklik Hemiasetal veya Hemiketal Formu.....	68
Bitkilerdeki Glikoz ve Fruktoz.....	71
Hayvanlardaki Glikoz ve Fruktoz	71
Bitkilerdeki ve Hayvanlardaki Diğer Monosakkaritler.....	73
Bitkiler ve Hayvanlarda Monosakkaritler Olarak Basit Amino Şekerler.....	73
Disakkaritler	74
Tanım.....	74
Sellobiyoz.....	77
Laktoz.....	77
Maltoz Ve İzomaltoz	78
Sakkaroz	79
A,A-Trehaloz.....	79
Oligosakkaritler.....	80
Tanım.....	80
Trisakkaritler	80
Tetrasakkaritler.....	80
Pentasakkaritler	80
Homopolisakkaritler.....	82
Bitkilerdeki Homopolisakkaritler.....	82
Tanım	82
Arabinan.....	83
Sellüloz	83
Galaktan.....	83
B-D-Glukanlar	83
Levanlar	85
Mannanlar	85
Nişasta.....	85
Hayvanlardaki Homopolisakkaritler	86
Tanım	86
Kitin	86
Glikojen	86
Mikroplardaki ve Diğer Alt Organizmalardaki Homopolisakkaritler.....	87
Selüloz.....	87
Kitin	88
Dekstranlar.....	88
Glikojen	88

Levanlar	89
Mannanlar	89
Pullulan	90
Heteropolisakkaritler	90
Bitkilerdeki Heteropolisakkaritler	90
Tanım	90
Arabinogalaktan	90
Eksudat Sakızları	91
Hemisellülozlar	91
İnülinler	91
Glukomannanlar, Galaktomannanlar veya Galaktoglukomannanlar Olarak Mannanlar	91
Müsilajlar	91
Pektinler	92
Hayvanlardaki Heteropolisakkaritler	92
Tanım	92
Hyaluronik asit	92
Sülfatlanmış Heteropolisakkaritler	93
Mikroplardaki Heteropolisakkaritler	94
Arabinogalaktan	94
Lipopolisakkaritler	94
Murein	95
Ksantan	95
Alglerdeki ve Deniz Yosunlarındaki (Deniz Bitkileri) Heteropolisakkaritler	95
Agar (veya Agar-Agar)	95
Aljin (Aljinik Asit)	95
Karragenanlar	96
Bitkilerdeki Fenolik Polimerler	96
Ligninler	96
Tanninler	96
Bitkilereki, Alglerdeki ve Deniz Yosunlarındaki Nişasta Olmayan Polisakkaritler	96
Karbonhidratların Kimyasal Reaksiyonları	97
Monosakkaritler	97
Epimerizasyon	97
İndirgenme	98
Aldozların ve Ketozların Dehidrasyonu	98
Glikozitlerin Şekillenmesi	99
Esterifikasyon	99
Enzimatik Olmayan Glikasyon	99
Disakkaritler ve Polisakkaritler	100
Oksidasyon	100
İyotla Reaksiyon	100

Neredeyse Tüm Karbonhidratlar için Molisch Testi.....	100
Özet	100
Kaynaklar	102
Lipitlerin Yapıları ve Sınıflandırılması	105
BÖLÜM 3 Lipitlerin Kimyası.....	105
Yağ Asitleri.....	107
Yağ Asitlerinin Tanımı	107
Yağ Asitlerinin Terminolojisi.....	108
Kısa Zincirli Yağ Asitleri.....	108
Orta Zincirli Yağ Asitleri	109
Uzun Zincirli Yağ Asitleri	110
Basit Lipitler.....	115
Yağlar	115
Mumlar.....	115
Bileşik Lipitler.....	117
Glikolipitler (Gliserol-Glikolipitler).....	117
Fosfolipitler (Fosfatidler).....	119
Sfingolipitler	119
Eter Gliserofosfolipitler	120
Lipoproteinler	122
Türev Lipitler	124
Tanım	124
Steroidler.....	124
Eikozanoidler.....	130
Terpenler	133
Kimyasal Reaksiyonlar	135
Alkollerle Esterleşmesi	136
Hidroksil Hidrojeninin Yer Değiştirmesi	136
Doymamış Yağ Asitlerinin Hidrojenizasyonu.....	136
Doymamış Yağ Asitlerindeki Çift Bağların İyodinazasyonu ve Brominasyonu	136
Doymamış Yağ Asitlerinin Peroksidasyonu.....	137
Metilen ve Karboksil Gruplarındaki Hidrojen Atomunun Halojenlerle Reaksiyonu.....	138
Özet	138
Kaynaklar	139
Amino Asitlerin Tanımı, Kimyasal Sınıflandırılması ve Özellikleri	143
Aalerin Tanımı.....	143
α -, β -, γ -, δ – veya ϵ -Aaler	143
BÖLÜM 4 Proteinlerin ve Amino Asitlerin Kimyaları.....	143
İmino Asitler	145

AAlerin Yapılarındaki Farklılıklar.....	145
AAlerin İsimlendirilmesi ve Kimyasal İfadesi.....	147
AAlerin Zwitter İyonik (İyonize) Formu.....	147
AAlerin D – veya L – Konfigürasyonları.....	149
L – ve D-AAlerin Tanımı.....	149
L – ve D-AAlerin Optik Aktivitesi.....	149
Doğada L- ve D-AAler.....	149
AA'lerin <i>R/S</i> Konfigürasyonları.....	151
AA'lerin Allo Formları.....	152
Proteinler ve Peptitlerdeki Modifiye Aa Kalıntıları.....	153
Serbest Aa'ler Ve Peptit (Protein) Bağlı Aa'ler.....	155
AA'lerin Fiziksel Görünümü, Erime Noktaları Ve Tatları.....	157
AA'lerin Suda ve Çözeltilerde Çözünürlükleri.....	158
AA'lerin Kimyasal Stabilitesi.....	158
Kristal AA'lerin Stabilitesi.....	158
Su ve Tamponlarda AA'lerin Stabilitesi.....	158
AA'lerin Asit ve Alkali Solüsyonlardaki Stabilitesi.....	159
Peptitlerin ve Proteinlerin Tanımı, Kimyasal Sınırlanması Ve Özellikleri.....	159
Peptitlerin ve Proteinlerin Tanımları.....	159
Hayvanlardaki Ana Proteinler.....	160
Aktin ve Miyozin.....	160
Bağ Dokularındaki Proteinler.....	161
Peptitlerin Proteinlerden Ayrılması.....	162
Protein Yapıları.....	162
Ham Protein ve Gerçek Protein Kavramı.....	164
Hayvan Rasyonları İçin Kristal Aa'ler, Protein Bileşenleri ve Peptit Katkı Maddeleri.....	164
Krsital Aa'ler.....	164
Protein Bileşenleri.....	167
Yem Katkısı Olarak Kullanılan Peptitler.....	169
Serbest AA'lerin Kimyasal Reaksiyonları.....	171
α -AA'lerdeki Amino Grubun Kimyasal Reaksiyonları.....	171
AA'lerin α -Amino Grubunun Güçlü Asitle Reaksiyonu.....	171
AA'lerin α -Amino Grubunun Asetilasyonu.....	171
AA'lerdeki α -Amino Grubun Bir Ayıraçla Konjügasyonu.....	172
AA'lerin Deaminasyonu.....	172
AA'lerin α -Ketoasitlerle Transaminasyonu.....	173
AA'lerin Oksimetilasyon.....	173
α -AA'lerdeki Karboksil Grubun Kimyasal Reaksiyonları.....	173
AA'lerin Karboksil Grubunun Bir Alkaline Reaksiyonu.....	173

AA'lerin Dekarboksilasyonu	174
α -AA'lerdeki Yan Zincirlerin Kimyasal Reaksiyonları	174
Amidasyon	174
Deamidasyon	174
Tirozindeki Fenol Halkasının İyotlanması.....	174
Lizinin ϵ -NH ₂ Grubunun Dahil Olduğu Kimyasal Reaksiyonlar	175
İki AA'in Yoğunlaşması	175
Aynı A-AA'in Hem AmİNo Hemde Karboksil Gruplarının Dahil Olduğu Kimyasal Reaksiyonlar	176
α -AA'lerin Esterifikasyonu ve N ^o -Dehidrojenasyonu.....	176
AA'lerin Oksidatif Deaminasyonu (Dekarboksilasyon).....	177
α -AA'lerin A-Amino Grubu ve Yan Zincir Grubunun Dahil Olduğu intramoleküler Siklizasyon Reaksiyonları	177
Peptit Sentezi.....	177
Proteinlerin ve Polipeptitlerin Kimyasal Reaksiyonları.....	179
Protein ve Polipeptitlerdeki Peptit Bağının Hidrolizi	179
Protein ve Polipeptitlere Boya Bağlama	179
Protein ve Peptitlerin Biüret Tahlili.....	179
Protein ve Peptitlerin Lowry Tahlili.....	179
Protein ve Peptitlerde Maillard Reaksiyonu.....	180
Proteinlerin Tamponlama Reaksiyonları	181
Hemoglobinin O ₂ , Co ₂ , Co ve No Bağlaması.....	181
Proteinin Suda Çözünürlüğü	182
Özet	182
Kaynaklar	183

BÖLÜM 5 Karbonhidratların Metabolizması ve Besleme 187

Nonruminantlarda Karbonhidratların Sindirim ve Emilimi.....	188
Nişasta ve Glikojenin Nonruminantlarda Sindirimi.....	188
Ağız ve Midedeki α -Amilazın Rollerini	188
Pankreatik α -Amilaz ve Apikal Membran Disakkaridazların İnce Bağırsaktaki Rollerini.....	188
Nişasta Yapılarının İnce Bağırsak Sindirimi Üzerine Etkileri.....	189
Geviş Getirmeyen Hayvanlarda Süt ve Bitki Kaynaklı Di ve Oligosakkaritlerin Sindirimi	190
Geviş Getirmeyen Hayvanlarda Karbonhidrazların Substrat Spesifikliği	190
Geviş Getirmeyen Hayvanlarda Karbonhidrazların Gelişimsel Değişimleri.....	190
Geviş Getirmeyen Ruminantlar	190
Kanatlı Türleri.....	191
Geviş Getirmeyen Hayvanlarda Monosakkaritlerin İnce Bağırsaklardan Emilimi.....	191

Enterositlerin Apikal Membranlarındaki Glikoz ve Fruktoz Taşıyıcılarının Rolü	191
Monosakkaritlerin Enterositlerden Lamina Propriyaya Çıkışında	
Bazolateral Membranda Bulunan GLUT2'nin Rolü.....	193
Monosakkaritlerin Lamina Propria'dan Karaciğere Taşınımı.....	193
Geviş Getirmeyen Hayvanlarda Bağırsak Monosakkarit	
Taşınımının Gelişimsel Değişimleri	194
Pre-Ruminantlarda Karbonhidratların Sindirimi ve Emilimi.....	195
Pre-Ruminantlarda Karbonhidratların Sindirimi.....	195
Pre-Ruminantlarda Monosakkaritlerin Emilimi.....	195
Ruminantlarda Karbonhidratların Sindirimi ve Emilimi	195
Ruminantlarda Karbonhidratların Fermentatif Sindirimi.....	195
Rumende Başlıca Besinsel Kompleks Karbonhidratlar.....	195
Yem Partiküllerinin ve Karbonhidratların Rumende Tutulma Süreleri	196
Kompleks Karbonhidratların Ruminal Mikroorganizmalar Tarafından Monosakkaritlere	
Ekstraselüler Hidrolizi	196
Ruminal Protozoonlarda Kompleks Karbonhidratların Monosakkaritlere	
Hücre İçi Hidrolizi	197
Ruminal Mikroorganizmaların Monosakkaritleri Hücre İçinde Parçalaması.....	197
Rumende NADH ve NADPH Üretimi ve Kullanımı.....	197
Rumende SCFA'ların Üretimi	198
Rumen SCFA'larının Kan Dolaşımına Katılımı.....	200
Rumende Metan Üretimi	201
Ruminal Metabolik Bozukluklar	203
Ruminantlar Arasında Karbonhidrat Sindiriminde Tür Farklılıkları.....	204
Ruminantlarda Monosakkaritlerin İnce Bağırsak Tarafından Emilimi	204
Geviş Getirmeyen ve Geviş Getiren Hayvanların Kalın Bağırsağında	
Karbonhidratların Fermantasyonu	204
Balıklarda Karbonhidratların Sindirimi ve Emilimi	205
Balıklar için Diyet Karbonhidratları.....	205
Balıklarda Karbonhidratların Sindirimi	206
Nişasta ve Glikojenin Sindirimi.....	206
β -(1-4)-Bağlı Karbonhidratların Sindirimi	206
Genel Olarak Nişastanın Sindirilebilirliği	206
Monosakkaritlerin Balıkların Bağırsakları Tarafından Emilimi	207
Hayvansal Dokularda Glikoz Metabolizması	207
Tüm Vücutta Glikoz Dönüşümü	207
Glikoliz Yolakları	208
Glikolizin Tanımı.....	208
Glikozun Farklı Taşıyıcılar Yoluyla Hücrelere Girişi.....	209
Glikoliz Yolakları.....	209
Glikolizin Enerjetik ve Önemi.....	212

Piruvatın Laktata Dönüşümü ve Cori Döngüsü.....	212
Piruvatın Laktat veya Etanole Dönüşümü	213
Hayvan Hücrelerinde Sitozolik Redoks Durumu	213
Glikoliz ve Hücre Proliferasyonu	213
Hayvan Hücrelerinde Pastör Etkisi	213
Warburg Etkisi	214
Hayvan Hücrelerinde Glikoliz Miktarının Belirlenmesi	214
Glikolizin Düzenlenmesi	214
NADH'nin Sitozolden Mitokondriye Transferi	214
Piruvatın Asetil-CoA'ya Mitokondriyal Oksidasyonu	216
Asetil-CoA'nın Mitokondriyal Krebs Döngüsü ve ATP Sentezi Yoluyla Oksidasyonu ..	217
Krebs Döngüsünün Genel Reaksiyonu	217
Mitokondride ATP ve Su Üretimi	218
Asetil-CoA Oksidasyonunun Enerjetği	219
Aerobik Solunumda Glikoz Oksidasyonunun Enerjetği	219
Hayvanlarda Krebs Döngüsünün Besinsel ve Fizyolojik Önemi	219
Krebs Döngüsünün Metabolik Kontrolü	220
Krebs Döngüsünün İzotopik Takibi	221
Mitokondriyal Redoks Durumu	222
Hayvan Hücrelerinde Crabtree Etkisi	222
Sitozolik Pentoz Döngüsü	223
Pentoz Döngüsü Reaksiyonları	223
Hayvan Doku ve Hücrelerinde Pentoz Döngüsünün Etkinliği	223
Pentoz Döngüsünün Fizyolojik Önemi	225
Pentoz Döngüsünün Sayısallaştırılması	226
Üronik Asit Yolu ile Glikoz Metabolizması	227
Glukoneogenez	227
Glukoneogenezin Tanımı	227
Glukoneogenez Yolu	228
Glukoneogenezin Fizyolojik Substratları	232
Glukoneogenezin Düzenlenmesi	234
Glukoneogenezin Ölçülmesi	239
Glukoneogenezin Besinsel ve Fizyolojik Önemi	240
Glikojen Metabolizması	242
Hidrofilik Olarak Glikojen Makromolekülü.....	242
Glikojen Sentez Yolağı	242
Glikojen Bozunma Yolu (Glikojenoliz)	243
Glikojenezin Düzenlenmesi	244
Glikojenolizin Düzenlenmesi	246
Glikojenez ve Glikojenolizin Belirlenmesi	247
Glikojen Metabolizmasının Besinsel ve Fizyolojik Önemi	247
Hayvansal Dokularda Fruktoz Metabolizması	247

Hücreye Özgü Bir Şekilde Glikozdan Fruktoz Sentezi	247
Fruktoz Katabolizması için Yollar	248
Fruktozun Besinsel, Fizyolojik ve Patolojik Önemi	250
Fruktozun Üreme Üzerindeki Yararlı Etkileri	250
Fazla Fruktozun Patolojik Etkileri	250
Hayvansal Dokularda Galaktoz Metabolizması.....	250
Hayvan Dokularında d-Glukozdan UDP-Galaktoz Sentez Yolu	250
Galaktoz Katabolizması Yolu	251
Galaktozun Fizyolojik ve Patolojik Önemi	252
Hayvanlarda Diyetle Alınan NSP'lerin Beslenme ve Fizyolojik Etkileri.....	253
Geviş Getirmeyen Hayvanlar	253
NSP'lerin Hayvanlar Tarafından Yem Alımı Üzerindeki Etkileri	253
NSP'lerin Besin Sindirilebilirliği, Büyüme ve Yem Verimliliği Üzerindeki Etkileri	253
NSP'lerin Bağırsak ve Genel Sağlık Üzerindeki Etkileri	254
Ruminantlar	255
NDF'nin Rumen pH'ı ve Ortamı Üzerindeki Etkileri	255
NDF'nin Bağırsak Sağlığı Üzerindeki Etkileri	255
NDF'nin Laktasyon ve Büyüme Performansı Üzerindeki Etkileri	255
NDF'nin Yem Alımı Üzerindeki Etkileri	256
Özet	256
Kaynaklar	257

BÖLÜM 6 Lipitlerin Metabolizması ve Besleme..... 263

Nonruminantlarda Lipitlerin Sindirim ve Emilimi	264
Genel Bakış	264
Lipitlerin Ağız ve Midede Sindirimi	264
Lipitlerin İnce Bağırsaklarda Sindirimi.....	265
Genel Süreç.....	265
Lipit Misellerinin Oluşumu	266
TAG'lerin, Fosfolipitlerin ve Kolesterol Esterlerinin Sindirimi.....	266
Rasyondaki Lipitlerin Sindirilebilirliği.....	267
Lipitlerin İnce Bağırsak Tarafından Emilimi	268
Genel Süreç.....	268
Lipitlerin Enterositlere Emilimi.....	268
Enterositlerde TAG'lerin Yeniden Sentezlenmesi	269
Balmumu Esterlerinin Asimilasyonu.....	270
Enterositlerde Şilomikronlar, VLDL'ler ve HDL'lerin Birleştirilmesi	270
İntestinal Lipit Emiliminde Diurnal Değişimler.....	272
Preruminantlarda Lipitlerin Sindirim ve Emilimi	272
Lipitlerin Ağız ve İnce Bağırsaklarda Sindirimi	272
Ağız, Ön Midelerde ve Abomazumda Tükürük Lipazıyla Sınırlı Sindirimi	272

Lipitlerin İnce Bağırsaktaki Kapsamlı Sindirimi.....	273
Lipitlerin İnce Bağırsaktan Emilimi	273
Ruminantlarda Lipitlerin Sindirim ve Emilimi	273
Lipitlerin Rumendeki Sindirimi	274
Mikroorganizmaların Rolü	274
Lipit Hidroliz Ürünleri.....	274
Doymamış Yağ Asitlerinin Biyohidrojenizasyonu	275
Lipitlerin Abomazumda Sindirilmesi.....	275
Lipitlerin İnce Bağırsaklarda Sindirimi.....	276
Rasyon Lipitlerinin İnce Bağırsaklarda Sindirilebilirliği	276
İnce Bağırsaklar Tarafından Lipitlerin Emilimi	277
Lipitlerin Enterositlere Emilimi.....	277
Enterositlerde TAG'lerin Yeniden Sentezlenmesi	277
Enterositlerde Şilomikronların ve VLDL'nin Birleşmesi.....	277
Balıklarda Lipitlerin Sindirimi Ve Emilimi	277
İnce Bağırsaklarda Lipitlerin Sindirimi	277
Bağırsaklardan Lipitlerin Emilimi	278
Hayvanlardaki Lipoprotein Taşınması ve Metabolizması.....	279
İnce Bağırsak Ve Karaciğerden Lipoproteinlerin Salınması	279
Genel Bakış	279
Şilomikronların, VLDL'lerin ve LDL'lerin Metabolizması.....	279
HDL'lerin Metabolizması.....	285
HDL'lerin Kolesterol Metabolizmasındaki Önemli Rolü	286
Lipoprotein Metabolizmasındaki Tür Farklılıkları	286
Dokularda Yağ Asidi Sentezi	287
ASETİL-CoA'dan Doymuş Yağ Asitlerinin Sentezi	287
Asetil-CoA Karboksilaz Aracılığıyla Asetil-CoA'dan Malonil-CoA Şekillenmesi ...	287
Asetil-CoA ve Malonil-CoA'dan Yağ Asidi Sentez Aracılığıyla C ₄	
Yağ Asidi Şekillenmesi	288
C ₁₆ Yağ Asitlerini Şekillendirmek için C ₄ Yağ Asidine Malonil-CoA'nın Eklenmesi	288
Palmitatın Metabolik Kaderi.....	289
Propiyonil-CoA veya Butiril-CoA ile Birlikte Asetil-CoA'dan	
Doymuş Yağ Asitlerinin Sentezi.....	291
Kısa Zincirli Yağ Asitlerinin Sentezi	291
Hayvanlarda MUFA'ların Sentezi.....	291
Δ ⁹ MUFA'ların Sentezlenmesi.....	291
Δ ⁹ Karbon ve Δ ¹ Karbon arasına Çift Bağların Sağlanması.....	292
Hayvanların Δ ⁹ Karbon Ötesine Çift Bağ Sağlamadaki Başarısızlığı.....	293
Hayvan Beslemede <i>Trans</i> Doymamış Yağ Asitleri ve PUFA'lar Arasındaki Farklar	294
Yağ Asidi Sentezinin Ölçülmesi.....	294
<i>DE NOVO</i> Yağ Asidi Sentezinde Substratların Kullanımının Tür Farklılıkları	294

DE NOVO Yağ Asidi Sentezi İçin Substrat Kullanımında Aynı Hayvadaki	
Doku Farklılıkları	295
Yağ Asidi Sentezinin Beslenme ve Hormonal Olarak Düzenlenmesi.....	296
Kısa Süreli Mekanizmalar	296
Uzun Süreli Mekanizmalar	298
Kolesterol Sentezi ve Hücrel Kaynaklar	298
Karaciğerde Asetil-CoA'dan Kolesterol Sentezi	298
Hücrel Kolesterolün Kaynakları ve Homeostazisinin Düzenlenmesi	300
Hayvanlardaki TAG Sentezi ve Katabolizması.....	300
Hayvanlarda TAG Sentezi.....	300
TAG Sentezi için MAG Yolağı.....	302
TAG Sentezi için G3P Yolağı.....	302
TAG Sentezi için İlave Yolaklar	302
Protein Kinaz C Sinyalinde DAG Fonksiyonu	302
TAG'lerin Wat Ve Diğer Dokularda Depolanması.....	302
Gliserol Ve Yağ Asitlerinin Serbest Bırakılması İçin TAG'lerin	
Dokulardan Serbest Bırakılması	303
Hayvansal Dokularda HSL Aracılığıyla Hücreiçi Lipoliz	303
HSL'nin İşlevi ve Doku Dağılımı.....	303
Hayvansal Dokularda HSL Aktivitesinin Düzenlenmesi.....	304
Adipoz Triglicerit Lipaz Tarafından Hücre İçi Lipoliz	304
Adipoz Triglicerit Lipazın Fonksiyonu ve Doku Dağılımı.....	304
ATGL Aktivitesinin Düzenlenmesi	305
Hayvan Dokularında Diaçilgliserol Lipaz ve Monoaçilgliserol	
Lipazla Hücre İçi Lipoliz.....	305
Diaçilgliserol Lipaz ve Monoaçilgliserol Lipaz Fonksiyonları	305
DGL ve MGL Aktivitelerinin Düzenlenmesi	305
Lizozomal Asit Lipazla (LAL) Hücre İçi Lipoliz	305
Hayvanlarda Yağ Asidi Oksidasyonu.....	306
Yağ Asitlerinin Metabolik Kaderi: CO ₂ Üretimi ve Ketojenezis	306
Yağ Asitlerinin CO ₂ ve Suya Mitokondriyel β-Oksidasyonu	306
Yağ Asitlerinin Mitokondriyel β-Oksidasyon Yolağı.....	307
Yağ Asidi β-Oksidasyonu Enerji Verimliliği.....	310
Uzun Zincirli Doymamış Yağ Asitlerinin Oksidasyonu	310
Kısa ve Orta Zincirli Yağ Asitlerinin Oksidasyonu	310
Mitokondriyel Yağ Asidi β-Oksidasyonunun Düzenlenmesi.....	312
Peroksizomal β-Oksidasyon Sistemleri I ve II.....	313
Çok Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin, Çok Uzun	
Zincirli Açıl-CoA'ya Aktivasyonu	313
Çok Uzun Zincirli Açıl-CoA'nın Sitozolden Peroksizoma Taşınması	314
Çok Uzun Zincirli Yağ Açıl CoA'nın Kısaltılması	314

Peroksizomal β —Oksidasyonun Düzenlenmesi.....	315
Metabolik Sendromun İyileştirilmesinde Peroksizomal β -Oksidasyonun Rolü.....	316
Hayvanlarda Keton Cisimlerinin Üretilmesi ve Kullanımı.....	316
Başlıca Karaciğer Tarafından Keton Cisimlerinin Üretilmesi.....	316
Hepatik Ketojenenezisin Düzenlenmesi.....	317
Ekstrahepatik Dokular Tarafından Keton Cisimciklerinin Kullanılması.....	319
Yağ Asitlerinin α -Oksidasyonu.....	320
Yağ Asitlerinin Ω -Oksidasyonu.....	321
Yağ Asit Oksidasyonunun ve Lipolizin Ölçülmesi.....	321
Eikozanoidlerin Metabolizma ve Fonksiyonları.....	321
PUFA'lardan Biyoaktif Eikozanoidlerin Sentezlenmesi.....	321
Biyoaktif Eikozanoidlerin Parçalanması.....	322
Eikozanoidlerin Fizyolojik Fonksiyonları.....	324
Fosfolipit Ve Sfingolipit Metabolizması.....	325
Fosfolipit Metabolizması.....	325
Fosfolipitlerin Sentezlenmesi.....	325
Hayvanlarda Etanolamin ve Kolin Kaynakları.....	325
Sifingolipit Metabolizması.....	327
Steroid Hormonların Metabolizması.....	328
Glikokortikoidlerin ve Progesteronun Sentezi.....	328
Testosteron ve Östrojen Sentezi.....	328
Hayvalarda Yağ Depolanması ve Sağlık.....	330
Özet.....	332
Kaynaklar.....	333
Nonruminantlarda Protein Sindirimi ve Emilimi.....	339

BÖLÜM 7 Protein ve Amino Asitlerin Metabolizması ve Besleme..... 339

Nonruminantların Midesinde Protein Sindirimi.....	340
Gastrik Hidroklorik Asit Sekresyonu.....	340
Gastrik HCl ve Gastrik Proteazların Sindirim İşlevi.....	342
Nonruminan Memelilerde Gastrik Proteazların Gelişimsel Değişimleri.....	343
Kanatlılar Türlerinde Gastrik Proteazların Gelişimsel Değişimleri.....	344
Nonruminantlarda Gastrik Proteazların Sekresyonunun Düzenlenmesi.....	344
Nonruminantların İnce Bağırsaklarında Proteinlerin Sindirimi.....	344
Duodenum Lümenine Pankreatik Pro-Proteazların Salınması.....	345
İnce Bağırsak Mukozasından Bağırsak Lümenine Proteazların ve Oligopeptitlerin Salınması.....	346
İnce Bağırsaklarda Proteinlerin ve Polipeptitlerin Hücre Dışı Hidrolizi.....	346
Nonruminant Memelilerin İnce Bağırsağındaki Ekstrasellüler Proteazlardaki Gelişimsel Değişimler.....	347
Kanatlı Türlerinde İnce Bağırsaklardaki Ekstrasellüler	

Proteazların Gelişimsel Değişimleri	348
Nonruminantlarda İnce Bağırsak Proteazların Aktivitelerinin Düzenlenmesi	349
Nonruminantlarda Protein Sindirilebilirliğine ve Rasyon AA Biyoyararlanımı	349
Nonruminantların İnce Bağırsağındaki Luminal Bakteriler Tarafından Serbest AAların ve Küçük Peptitlerin Katabolizması.....	349
Nonruminantların İnce Bağırsakları Tarafından Küçük Peptitlerin ve AAların Emilimi	350
Enterositler Tarafından Di – ve Tri-Peptitlerin Taşınması.....	351
Serbest AAların Enterositler Tarafından Taşınması	351
AA ve Peptit Taşınmasında Enterositlerin Polaritesi.....	354
Enterositlerde AAların Metabolizması	355
Preruminantlardaki Protein Sindirim ve Emilimi	356
Preruminantların Abomazum ve İnce Bağırsaklarındaki Proteinlerin Sindirimi	356
Preruminantların İnce Bağırsakları Tarafından Protein Sindirim Ürünlerinin Emilimi	357
Ruminantlarda Protein Sindirim ve Emilimi.....	357
Rasyon Proteininin Rumende Parçalanması	358
Bakteriyel Proteazlar ve Oligopeptidazlar Tarafından Ekstrasellüler Proteolizis	358
Rumende NPN'in Ekstrasellüler ve İntrasellüler Amonyaka Parçalanması.....	359
Mikroorganizmalarda Küçük Peptitler, AAlar ve Amonyaktan İntrasellüler Protein Sentezi	361
İntrasellüler Protein Parçalanmasındaki Ruminal Protozoaların Rolü	362
İntrasellüler Protein Parçalanmasında Ruminal Mantarların Rolü	364
Rumendeki Protein Parçalanmasını Etkileyen Temel Faktörler.....	364
Rasyon Protein Tipinin Rumendeki Sindirimine Etkisi.....	364
Rumendeki Mikrobiyel Protein Sentezinde Karbonhidrat Tipinin Etkileri.....	365
Rasyon Konsantr ve Kaba Yem Alımının Rumendeki Proteolitik Bakteriler Üzerine Etkileri	366
Rumendeki Protein Sindiriminin Besinsel Önemi	367
Yüksek Kaliteli Protein ve AA Takviyelerinin Rumen Parçalanmasından Korunması ...	368
Isıtma	368
Kimyasal Muamele	368
Polifenolik Fitokimyasallar.....	369
Protein veya AAların Fiziksel Kapsüllenmesi.....	369
AA Parçalanmasının Baskılanması.....	369
Mikrobiyel Proteinin Rumenden Abomazum ve Duodenuma Akması.....	369
Abomasum ve İnce Bağırsaklarda Mikrobiyel ve Yem Proteinlerinin Sindirilmesi	370
İnce Bağırsaklarda Nükleik Asitlerin Sindirim ve Emilimi.....	372
Ruminantlarda Azot Döngüsü ve Beslenmeyle İlgili Etkileri.....	372
Nonruminantlar ve Ruminantların Kalın Bağırsağındaki Protein Fermantasyonu	374
Nonruminantlar	374

Ruminantlar	374
Balıklarda Protein Sindirimi ve Emilimi.....	374
Balıklardaki Gastrik Proteazların Gelişimsel Değişimleri	374
Balıkların Bağırsaklarındaki Ekstrasellüler Proteazlardaki Gelişimsel Değişimler.....	375
Sindirim Dışı Organlardaki Rasyon AAlarının Biyoyararlanımı.....	376
İnce Bağırsaklardan Portal Vene Rasyon AAlarının Net Girişi	376
Karaciğer Tarafından AAların Portal Venden Ekstraksiyonu	376
Hayvanlarda Endojen AAların Sentezi	377
Hayvanlarda Endojen AA Sentezi İhtiyaçları	377
NEAA Sentezi İçin Prekürsör Olarak Eaalr	379
AAların Hücre Ve Dokuya Özgü Sentezi.....	380
AAların Sentezlenmesinde Tür Farklılıkları	382
Hayvan Hücrelerinde Ve Bakterilerde AAların Keto Asitlerinden veya Analoglarından Sentezlenmesi	382
Bakterilerde ve Hayvan Hücrelerinde D-AAlerin Sentezlenmesi.....	383
Hayvanlarda AA Sentezinin Düzenlenmesi.....	384
Hayvanlarda AAların Parçalanması.....	385
AAların Parçalanma ve Protein Sentezi İçin Yolaklara Ayrılması.....	385
AAların Hücre ve Dokuya Özgü Parçalanması.....	386
Hücrelerdeki AA Parçalanmasının Bölümlendirilmesi.....	390
Rasyon AAlarının Organlararası Metabolizması	391
Arg Sentezi için İntestinal-Renal Aksis.....	391
Asit-Baz Dengesinin Düzenlenmesi için Renal Gln Kullanımı.....	391
BCAAlardan Gln ve Ala Sentezi.....	392
Hidroksiprolin Yoluyla Pro'nun Gly'e Dönüşmesi	394
NO Bağlı Kan Akışı.....	394
AA'in Amonyak ve Co ₂ 'E Oksidasyonunun Düzenlenmesi.....	394
Memelilerde Üre Döngüsüyle Amonyakın Üre Olarak Detoksifikasyonu	397
Memelilerde Amonyakın Atılması için Üre Döngüsü.....	397
Üre Sentezindeki Enerji İhtiyacı.....	397
Üre Döngüsünün Düzenlenmesi	397
Kuşlarda Amonyakın Ürik Asit Olarak Detoksifikasyonu	398
Kuşlarda Amonyakın Atılması için Ürik Asit Sentezi.....	398
Ürik Asit Sentezi için Enerji İhtiyacı.....	399
Ürik Asit Parçalanmasındaki Tür Farklılıkları	400
Ürik Asit Sentezinin Düzenlenmesi.....	401
Üre ve Ürik Asit Sentezinin Karşılaştırılması	401
AAların Tür Spesifik Parçalanması.....	402
Hayvanlardaki AA Katabolizmasının Ana Ürünleri	403
İntrasellüler Protein Döngüsü	403

İntrasellüler Protein Sentezi	404
mRNA Şekillendirmek İçin Gen Transkripsiyonu	406
Ribozomlarda Peptitlerin Oluşturulması İçin mRNA	
Translasyonunun Başlaması	407
Protein Üretmek İçin Peptit Uzaması	408
Peptit Zincir Uzamasının Sonlanması.....	408
Yeni Sentezlenmiş Proteinlerin Posttranslasyonel Modifikasyonları	408
Mitokondride Protein Sentezi.....	410
Protein Sentezi İçin Enerji İhtiyacı	410
Protein Sentezinin Ölçülmesi.....	411
İntrasellüler Protein Parçalanması.....	412
İntrasellüler Protein Parçalanması İçin Proteazlar.....	412
İntrasellüler Proteolitik Yolaklar.....	412
Proteinlerin Biyolojik Yarılanma Ömürleri	413
İntrasellüler Protein Parçalanmasının Enerji İhtiyacı.....	413
İntrasellüler Protein Parçalanmasının Ölçülmesi.....	414
Protein Döngüsünün Fizyolojik ve Beslenme Açısından Önemi.....	415
İntrasellüler Protein Döngüsünün Beslenme ve Hormonal Düzenlenmesi	416
Rasyonla AAların ve Enerjinin Sağlanması.....	416
MTOR Hücre Sinyali.....	417
Fizyolojik ve Patolojik Stresler.....	418
Hayvanlar Tarafından AAlere Yönelik Beslenme Gereksinimleri	418
Hayvanların Rasyon AA Gereksinimlerini Formüle Etmek için İhtiyaçlar	418
AAların Rasyon Gereksinimlerine Yönelik Genel Hususlar.....	419
Kalitatif Rasyon AA İhtiyaçları.....	419
Kantitatif Rasyon AA İhtiyaçları.....	420
AAların Rasyondaki İhtiyaçlarını Etkileyen Faktörler.....	422
“İdeal Protein” Kavramı	422
Rasyon Protein ve AAlarının Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	423
Rasyondaki ve Yem Maddelerindeki AAların Analizi.....	424
Protein Sindirilebilirliğinin Belirlenmesi	425
Ayıraç Tekniği Kullanılarak İnce Bağırsaktaki AA _{Eib} Ölçümü	426
Bazal Rasyona İlave Edilen Yem Maddesindeki Protein	
Sindirilebilirliğinin Ölçülmesi	426
Rasyon Proteinin Kalitesini Belirlemek için Hayvan Besleme Denemeleri	428
Özet	428
Kaynaklar	430
Enerjinin Temel Kavramları.....	439
Enerjinin Tanımı.....	439

BÖLÜM 8 Enerji Metabolizması	439
Hayvan Beslemedeki Enerji Birimi.....	440
GIBBS Serbest Enerjisi.....	441
Hücrelerde Atp Sentezi	442
Hayvanlarda Yem Enerjisinin Bölümlendirilmesi	443
Brüt Enerji	443
Sindirilebilir Enerji.....	444
Sindirilebilir Enerjinin Tanımı	444
Farklı Hayvanlardaki Dışkı Enerjisi Kaybı	444
Yemlerin Sindirilebilirliklerinin Ölçülmesi	446
Metabolize Enerji	447
Net Enerji ve Isı Artışı	448
Hayvanlardaki Metabolik Dönüşümlerin Enerji Verimliliği.....	452
Hayvanlar Tarafından Enerji Harcanmasında Bir Belirteç	
Olarak Isı Üretiminin Belirlenmesi.....	457
Hayvanlar Tarafından Toplam Isı Üretimi	457
Isı Üretimini Ölçmek İçin Direkt Kalorimetre	459
Isı Üretimini Ölçmek İçin İndirekt Kalorimetre.....	460
Kapalı Devre İndirekt Kalorimetre	460
Açık Devre İndirekt Kalorimetre.....	460
Isı Üretimini Belirlemek İçin Karşılaştırmalı Kesim Tekniği	461
Yağsız Doku ve Enerji Harcanması.....	461
Hayvanlarda Substrat Oksidasyonunun Değerlendirilmesinde	
RQ Değerlerinin Kullanışlılığı.....	463
RQ Değerlerinin Yorumlanmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler	464
Özet	465
Kaynaklar	466
BÖLÜM 9 Vitaminlerin Metabolizması ve Besleme.....	469
Vitaminlerin Kimyasal ve Biyokimyasal Özellikleri	470
Vitaminlerin Genel Özellikleri	470
Hayvanlar için Genel Kaynakları	470
Suda Çözünen Vitaminler.....	472
Tiamin (Vitamin B ₁).....	473
Riboflavin (Vitamin B ₂).....	476
Niasin (Vitamin B ₃).....	478
Pantotenik Asit (Pantotenat)	481
Piridoksal, Piridoksin ve Piridoksamin (B ₆ Vitamini)	484
Biotin	488
Vitamin B ₁₂ (Kobalamin)	490
Folat	494

Askorbik Asit (C Vitamini).....	499
Yağda Çözünen Vitaminler.....	502
Vitamin A.....	503
Vitamin D.....	509
Vitamin E.....	513
Vitamin K.....	518
Yarı-Vitaminler.....	524
Kolin.....	524
Karnitin.....	526
Myo-Inositol.....	527
Lipoik Asit.....	529
Pirolokinolin Kinon.....	531
Ubikinon.....	532
Bioflavonoidler.....	534
Para-Aminobenzoik Asit.....	535
Özet.....	536
Kaynaklar.....	538
BÖLÜM 10 Minerallerin Metabolizması Ve Besleme.....	545
Minerallere İlişkin Genel Görüşler.....	547
Minerallerin Kimyası.....	547
Rasyonla Alınan Minerallerin Emilimine Genel Bakış.....	549
Minerallerin Genel Fonksiyonları.....	551
Makromineraler.....	553
Sodyum.....	553
Potasyum.....	557
Klor.....	559
Kalsiyum.....	561
Fosfor.....	564
Magnezyum.....	566
Sülfür (S).....	568
Mikromineraler.....	570
Demir (Fe ²⁺ Ve Fe ³⁺).....	570
Çinko (Zn).....	577
Bakır (Cu).....	581
ManganeZ (Mn).....	586
Kobalt.....	588
Molibden.....	590
Selenyum.....	591
Krom.....	594
İyot.....	595

Flor	597
Boron	598
Brom	599
Nikel	600
Silikon	602
Vanadium	603
Kalay (Sn)	605
Toksik Metaller.....	606
Alüminyum (Al).....	606
Arsenik (As).....	608
Kadmiyum (Cd).....	610
Kurşun (Pb)	611
Civa (Hg).....	612
Özet	614
Kaynaklar	616
BÖLÜM 11 Yaşama Payı ve Üretim için Besin İhtiyaçları	625
Yaşama Payı İçin Besin İhtiyaçları	626
Yaşama Payı İçin Enerji İhtiyaçları.....	626
BMR'yi Etkileyen İlave Faktörler.....	627
Hayvanların Metabolik Boyutu	627
Hayvanların Yaş ve Cinsiyeti.....	627
Hayvanların Normal Yaşam Koşulları.....	628
Yaşama Payı için Protein ve AA İhtiyaçları.....	628
Yaşama Payı için Yağ Asit İhtiyaçları	629
Yaşama Payı için Vitamin İhtiyaçları	630
Yaşama Payı için Mineral İhtiyaçları	630
Yaşama Payı için Su İhtiyacı	630
Yaşama Payı için Enerjinin ve Substratlarının Kullanılması	633
Üretim için Beslenme İhtiyaçları	634
Mevcut Tarım Sistemlerindeki Hayvansal Protein	
Üretiminin Optimal Altı Verimliliği.....	634
Dişilerin Üremesi için Beslenme İhtiyaçları	635
Gelişmekte Olan Embriyolardaki Erken Gelişimsel Olaylar.....	637
Besinlerin ve İlgili Faktörlerin Dişi Üreme Performansı Üzerindeki Etkileri.....	640
İntrauterin Büyümenin Kısıtlanması.....	642
Gebelik Dönemindeki Dişilerin Besin İhtiyaçlarının Belirlenmesi.....	642
Erkeklerin Üremesi için Besin İhtiyaçları	643
Genel Yetersiz ve Aşırı Besleme	643
Protein ve Arjinin Alımı	643
Mineral ve Vitamin Yetersizlikleri.....	643

Hastalıklar, Toksinler, Stres ve Aşırı Mineral.....	643
Fötal ve Neonatal Programlama.....	644
Hayvanlarda Postnatal Büyüme için Besin İhtiyaçları.....	644
Hayvan Büyümesinin Bileşenleri	644
Mutlak ve Göreceli Hayvan Büyüme Oranı	646
Anabolik Ajanlar Tarafından Hayvan Büyümesinin Düzenlenmesi.....	647
Telafi Büyümesi	649
Hayvan Büyümesinde Rasyon AA Alımının Kritik Rolü	649
Süt Üretimi İçin Beslenme İhtiyaçları.....	650
Meme Bezi.....	652
MECler Tarafından Süt Salgılanması	655
MEClerden Süt Proteinleri, Laktoz ve Yağların Alveol Lümenine Salınması	659
Süt Üretimi için Enerji Kullanım Verimliliği	660
Kas Gücü İçin Besin Gereksinimleri.....	661
İskelet Kasın Enerji Dönüşüm	661
Kas Çalışması için Yüksek Besin Enerjisi, Protein ve Mineral Gereksinimi.....	662
Yün ve Tüy Üretimi İçin Besin Madde Gereksinimleri.....	663
Koyun ve Keçilerde Yün Üretimi.....	663
Kanatlılarda Yumurta Üretimi İçin Besin Gereksinimleri	664
Yumurtanın Bileşimi	664
Yumurtanın Şekillenmesi.....	665
Yumurta Üretimi için Yüksek Rasyon Enerji, Protein ve Kalsiyum Gereksinimi.....	666
Tüy Büyümesi ve Kuşların Rengi.....	667
Özet	668
Kaynaklar	671
Nonruminant Hayvanların Gıda Alımının Düzenlenmesi	677
Merkezi Sinir Sistemindeki Kontrol Merkezleri	677
Hipotalamus, Nörotransmitterler ve Nöropeptidler	677
BÖLÜM 12 Hayvanlar Tarafından Yem Alımının Düzenlenmesi.....	677
Leptin ve İnsülin	679
Ghrelin	680
Peptit YY	681
Kolesistokin (CCK).....	681
Glukagon Benzeri Peptit-1	682
Besin ve Metabolitler Tarafından Gıda Alımının Düzenlenmesi.....	682
Diyet Enerji İçeriği	682
Plazmadaki Glikoz Konsantrasyonları.....	682
Protein ve AA'lar	683
Yağ Asitleri ve Keton Cisimcikleri	687
Nitrik Oksit	687
Serotonin	687

Norepinefrin	688
Diğer Kimyasal Faktörler	688
Ruminantlar Tarafından Gıda Alımının Düzenlenmesi	689
Rumenin Fiziksel Sınırları	689
Gıda Alımının Besinler ve Metabolitler Tarafından Kontrolü	689
Diyet Enerji İçeriği	689
Diyet Nitrojen İçeriği	690
Glikoz	690
Kısa Zincirli Yağ Asitleri	690
Ruminant ve Nonruminant Hayvanlarda Rasyon Seçimi	691
Nonruminant Hayvanlar	691
Ruminantlar	691
Yem Verimliliğinin Artırılmasının Ekonomik Faydaları	692
Özet	693
Kaynaklar	694
Enzim Katkı Maddeleri	699
Genel Bakış	699

BÖLÜM 13 Yem Katkı Maddeleri..... 699

Yemler için Özel Termozimler	701
Geviş Getirmeyen Hayvanlar için Enzim Katkıları	701
β-Glukanazlar	701
Pentozanazlar (Arabinaz ve Ksilanaz)	702
Fitaz	703
Diğer Enzimler	705
Ruminantlar için Enzim Katkıları	706
Enzim Olmayan Katkı Maddeleri	708
Ruminant Olmayanlar	708
Antibiyotikler	709
Doğrudan Beslenen Mikrobiyaller (Probiyotikler)	711
Prebiyotikler	712
Yemlerdeki Mikotoksinleri Gideren veya Emen Ajanlar	712
Ruminantlar	714
İyonofor Antibiyotikler	714
Doğrudan Beslenen Mikrobiyaller	715
Geviş Getiren ve Geviş Getirmeyen Hayvanlar için Diğer Maddeler	716
Amino Asitler ve İlgili Bileşikler	716
Küf Önleyici Yem Katkı Maddeleri ve Antioksidanlar	716
<i>Yucca schidigera</i> Ekstresi (BIOPOWDER)	716
Özet	718
Kaynaklar	719

Önsöz

Hayvanlar, beslenme materyallerini ve enerjiyi insan tüketimi için uygun olan yüksek kaliteli gıdalara (et, yumurta ve süt gibi) ve aynı zamanda giysi ve aksesuarlar için ham materyallere (yün ve deri gibi) dönüştürebilen biyolojik varlıklardır. Hayvanlar aynı zamanda, biyoteknolojik teknikler sayesinde, geniş çaptaki insan hastalıklarının tedavi edilmesinde kullanılan enzimler ve proteinleri üretmeleri için çalıştırılmaktadır. Memeliler, kuşlar, balıklar ve karidesler hayatlarını devam ettirmek ve adaptasyon için hem ortak hem de farklı metabolik yollara sahiptirler fakat hepsi hayatta kalma, büyüme, gelişme ve üremesi için gıdaya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle, hayvan besleme, çiftlik hayvanlarının (sığır, keçi, domuz, tavşan ve koyun gibi), kümes hayvanlarının (tavuklar, ördekler, kazlar ve hindiler gibi) ve balıklar (sazan, levrek, somon ve tilapia gibi) üretimleri için ve hatta pet hayvanlarının sağlıklı ve mutluluğu için büyük öneme sahip olan temel bir konudur. Biyoloji bilimlerinde ilginç, dinamik ve zorlu bir disiplin olarak, hayvan besleme; kimya, biyokimya, anatomi, üreme biyolojisinden fizyolojisine, immünoloji, patoloji ve hücre biyolojisine kadar oldukça geniş konuları kapsamaktadır. Bu konuların bilinmesi hayvan beslemenin ilkelerinin yeterli düzeyde anlaşılabilmesi için gerekliliktir.

Laboratuvar, çiftlik ve pet hayvanları üzerinde zengin bir araştırma tarihi bulunmaktadır. *Hayvan Beslemenin İlkeleri*, Çiftlik Hayvanlarının Beslenmesine Özel Referans adlı kitabı H.P. Armsby, 1902 yılında, on dokuzuncu yüzyıldaki elde edilen hayvan besleme bilgilerini özetleyerek yayınlanmıştır. I.E. Coop tarafından 1961 yılında yazılan *Hayvan Beslemenin İlkeleri ve Pratiği* başlıklı kitabı yazdığından beri geçen 56 yıl içerisinde hayvan besleme ve metabolizma alanı, biyokimya, fizyoloji ve analitik tekniklerdeki büyük ilerlemeden kaynaklı olarak çok hızlı gelişti. Özel not olarak, birçok türün besinlerin sindirimi, asimilasyonu ve atılımı noktasındaki farklılıklar: L.A. Maynar ve J.K. Loosli tarafından *Hayvan Besleme* (6. Ed., 1979), P.R. Cheeke ve E.S. Dierenfeld (2010) tarafından *Karşılaştırmalı Hayvan Besleme ve Metabolizma*, J.P. McDonald (2. Ed., 2010) tarafından *Pet Hayvanlarının Beslenme İlkeleri* kitaplarında gösterilmiştir. Ayrıca, W.G. Pond, D.C. Church, K.R. Pond ve P.A. Schoknecht (2004) tarafından *Temel Hayvan Besleme ve Bakımı* (5. ed.), P. McDondald, R.A., Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan ve L.A. Sinclair (2011) tarafından *Hayvan Besleme* ve M.H. Jurgens, K. Bregendahl, J. Coverdale ve S.L. Hansen (2012) tarafından *Hayvan Bakım ve Besleme* gibi uygulama kitapları bulunmaktadır. Bu kitapların tamamı, yemlerin ve çiftlik hayvanlarının ve kanatlıların pratik beslenmelerine ışık tutarken hayvan beslemenin fizyolojik ve biyokimyasal temellerinde kapsamlı ve sistemik bir şekilde yorumlanması hayvan sistemlerinin “kara kutusunu” daha iyi anlama açısından garanti verici olarak görülmektedir. Bu fikir doğrultusunda ve CRC Press’in desteğiyle, *Hayvan Beslemenin İlkeleri* başlıklı yeni ve iyi şekilde organize edilmiş bir proje 2014 Haziranında başlatıldı.

Hayvan Beslemenin İlkeleri 13 bölümden oluşmaktadır. Bu kitap hayvan beslemenin fizyolojik ve biyokimyasal temellerine genel bir bakışla (Bölüm 1) başlar ve bunu karbonhidratların (Bölüm 2), lipidlerin (Bölüm 3) ve protein/amino asitlerin (Bölüm 4) kimyasal özelliklerinin detaylı bir şekilde tanımlanması takip eder. Metin, karbonhidratların (Bölüm 5), lipidlerin (Bölüm 6), protein/amino asitlerin (Bölüm 7), enerji (Bölüm 8), vitaminler (Bölüm 9) ve minerallerin (Bölüm 10) hayvanlardaki sindirim, emilim, taşınma ve metabolizması ve hatta besinler arasındaki etkileşimler üzerine (Bölüm 5’ten 10’a kadar) güncel

anlayışlar şeklinde ilerlemektedir. Besleme temel bilgisini pratik hayvan beslemeye bütünleştirmesi için, yazı hayvanların yaşama payı ve üretimi için beslenme gereksinimlerinin tartışılması (Bölüm 11) yanı sıra hayvanlardaki yem alımının düzenlenmesi (Bölüm 12) şeklinde devam etmektedir. Son olarak, bu kitap hayvanların büyümesini arttırma ve hayatta kalmaları, protein üretimi için yemden yararlanmanın arttırılması ve gıdalardaki antibiyotiklerin değiştirilmesi için kullanılan maddeleri içeren yem katkı maddeleri bilgisiyle son bulmaktadır. Kitap boyunca, hayvan beslemenin klasik ve modern kavramları vurgulanırken, çeşitli biyoloji disiplinlerindeki okuyucuların memeliler, kuşlar ve diğer hayvan türlerindeki (balıklar ve karidesler gibi) beslenme, sağlık ve hastalıkla, biyokimya ve fizyolojiyi bütünleştirebilmeleri için sürekli genişleyen alandaki en son gelişmeleri dahil etmek için her türlü çaba gösterilmiştir. Her bölümün sonunda, seçilmiş konular ve orijinal deneysel verileri kapsamlı bir şekilde okuyucuların incelemesini sağlamak için seçilmiş referanslar listelenmiştir. Bilimsel literatürlerin okunması: (a) alan tarihinin kapsamlı anlaşılması, (b) yaratıcı düşünme ve (c) üretken bir bilim adamı olarak titiz bir gelişme için elzemdir. Dizin bölümündeki anahtar kelimeler, cümleler ve kısaltmaların listesi okuyucuların bölümlerde sunulmuş olan bilgileri kolayca bulabilmesi için verilmiştir.

Bu kitap, kaynağını yazarın son 25 yılda Texas A&M Üniversitesi'nde öğretim üyesi olarak ders verdiği dört yüksek lisans dersinin (ANSC/NUTR 601 "Genel Hayvan Besleme," ANSC/NUTR 603 "Deneysel Besleme," ANSC/NUTR 613 "Protein Metabolizması" ve NUTR 641 "Beslenme Biyokimyası") ders notlarına borçludur. Bu kitap hayvan besleme, biyokimya, biyomedikal mühendislik, biyoloji, tıp, gıda bilimi, kinesiyoloji, beslenme, farmakoloji, fizyoloji, toksikoloji, veteriner hekimliği alanları ve diğer ilişkili disiplinlerde uzmanlaşan hem lisans son sınıf hem de yüksek lisans öğrencileri tarafından bir referans veya ders kitabı olarak kullanılabilir. Ayrıca, bütün bölümler biyotıp, ziraat (hayvan bilimi ve bitki besleme dahil) ve akuakültür alanındaki araştırmacılar ve uygulayıcılar için ve devlet adına politika yapımcılar için hayvan beslemenin ilkeleri hakkında genel ve özel bilgi içeren kullanışlı referanslar sunulmuştur.

Hayvansal üretim, insan beslenmesi, büyümesi ve sağlığının yanı sıra dünya geneline ekonominin ve sosyal gelişimde çok önemli bir rol oynamaktadır. Dünya nüfusu 2016 verilerinde 7.4 milyardır ve 2050 yılında 9.6 milyar olması öngörülmektedir. Dünya nüfusunun ve insanların kişi başına et, süt ve yumurta tüketiminin artmasıyla birlikte, hayvansal kaynaklı protein ve diğer hayvansal ürünlere olan ihtiyacın 2016 ve 2050 yılları arasında %70 oranında artacağı beklenmektedir. Hayvanların biyolojisinin tam olarak anlaşılmasının zor bir görev olmasıyla birlikte yemlerin, hayvansal ürünlere metabolik dönüşümlerinin etkinliğinin maksimum olarak arttırılması ve hayvansal üretimin sürdürülebilirliğinin devam ettirilmesinde, büyüyen dünya nüfusunu beslemek için çiftlik hayvanları, kanatlı ve balık üretiminde hayvan beslemeciler büyük zorluklarla karşı karşıya gelmektedir. *Hayvan Beslemenin İlkeleri* gelecek yıllardaki bu asil amaca büyük oranda ulaşmak için hayvan besleme uygulamasına rehberlik etmesi ve dönüştürmesi beklenmektedir.

Hayvan besleme bilimleri dünya çapındaki öncüllerin ve devlerin omuzlarına inşa edilmiştir. Onların sahaya olan umut açıcı katkıları bu kitabı mümkün kıldı. Yazar, alan kısıtlamasından dolayı bu metinde atıfta bulunmadığı yayınlanmış çalışması olanlardan özür diler. Son olarak, yazarın dersleriyle ilgili yapıcı yorumları ve hayvan besleme konusundaki ders sunumlarını geliştirmeye yönelik faydalı tartışmaları için yazarın geçmiş ve şimdiki öğrencilerine içten teşekkürlerimi sunarım.

Guoyao Wu

2017 Haziran
College Station, Texas, USA

Teşekkürler

Bu kitap, CRC Press Kıdemli Editörü Ms. Randy L. Brehm daveti üzerine başlamıştır ve editör kadrosunun sabrı ve rehberliğiyle de tamamlanmıştır. Yazar, Ms. Ruthann M. Cranfor, Mr. Sudath Dahanayaka, Mr. B. Daniel Long, Mr. Kaiji Sun ve Mr. Neil D. Wu'ya yapıların ve besinlerin metabolik yollarının çizilmesinin yanı sıra bütün bölümlerin metin yazmalarına yardımlarından dolayı teşekkür etmektedir. Dr. Gregory A. Johnson'ın ruminantlardaki üre döngüsü ve hücre yapısı gösterimindeki ve Dr. Zhaoli Dai'nin önemli gastrointestinal bakteriler için hazırladığı tabloyu hazırlamaları minnetle takdir etmekteyim. Çeşitli bölümleri eleştirel bir şekilde gözden geçirdikleri ve geliştirme için yapıcı önerilerde buldukları için aşağıdaki başarılı bilim insanlarına da içten teşekkürlerimi sunarım:

- Prof. Fuller W. Bazer, Department of Animal Science, Texas A&M University, College Station, TX;
- Prof. Werner G. Bergen, Department of Animal Science, Auburn University, Auburn, AL;
- Prof. John T. Brosnan, Department of Biochemistry, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada;
- Prof. Margeret E. Brosnan, Department of Biochemistry, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada;
- Prof. Jeffery L. Firkins, Department of Animal Science, Ohio State University, Columbus, OH;
- Prof. Catherine J. Field, Faculty of Medicine, University of Alberta, Edmonton, Canada;
- Prof. Nick E. Flynn, Department of Chemistry and Physics, West Texas A&M University, Canyon, TX;
- Prof. Wayne Greene, Department of Animal Science, Auburn University, Auburn, AL;
- Prof. Chien-An Andy Hu, Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of New Mexico, Albuquerque, NM;
- Prof. Shengfa F. Liao, Department of Animal and Dairy Sciences, Mississippi State University, MS;
- Prof. Timothy A. McAllister, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, Alberta, Canada;
- Prof. Cynthia J. Meininger, Department of Medical Physiology, Texas A&M University, College Station, TX;
- Prof. Steven Nizielski, Department of Biomedical Sciences, Grand Valley State University, Allendale, MI;
- Prof. James, L. Sartin, Department of Anatomy, Physiology, and Pharmacology, Auburn University, Auburn, AL;
- Prof. Stephen B. Smith, Department of Animal Science, Texas A&M University, College Station, TX;
- Prof. James R. Thompson, Animal Science Program, University of British Columbia, Vancouver, Canada;
- Prof. Nancy D. Turner, Department of Nutrition and Food Science, Texas A&M University, College Station, TX;
- Prof. Hong-Cai Zhou, Department of Chemistry, Texas A&M University, College Station, TX.

Yazar, önceki ve var olan öğrencilerinin, doktora sonrası arkadaşlarının, misafir akademisyenleri ve teknisyenlerin araştırmaların ve değerli tartışmaların yürütülmesine yaptıkları katkılardan dolayı minnetlidir. Aynı zamanda, lisansüstü danışmanları Prof. Sheng Yang ve Dr. James R. Thompson'a, doktora sonrası danışmanları Dr. Errol B. Marliss ve Dr. John T. Brosnan'a hayvan biyokimyası, beslemesi ve

fizyolojisi eğitimlerinden ve bu disiplinlerin yaşam boyu sürdürülmesi için coşkulu destek ve ilham kaynağı olmasına katkılarından dolayı çok minnettardır. Texas A&M Üniversitesinin (özellikle, Dr. Fuller W. Bazer, Robert C. Burghart, R. Russel Cross, Harris J. Granger, Gregory A. Johnson, Darrell A. Knabe, Catherine J. McNeal, Cynthia J. Meininger, Jayanth Ramadoss, M. Carey Satterfield, Jeffery W. Savell, Stephen B. Smith, Thomas E. Spencer, Carmen D. Tekwe, Nancy D. Turner, Shannon E. Washburn, Renyi Zhang ve Huaijun Zhou'ya) yanı sıra diğer kurumlardaki (özellikle, David H. Baker, Makoto Bannai, Francois Blachier, Douglas G. Burrin, Zhaolai Dai, Teresa A. Davis, Catherine J. Field, Susan K. Fried, Yongqing Hou, Shinzato Izuru, Zongyong Jiang, Sung Woo Kim, Xiangfeng Kong, Defa Li, Ju Li, Peng Li, Shengfa Liao, Gert Lubec, Wilson G. Pond, Peter J. Reeds, J. Marc Rhoads, Ana San Gabriel, Bie Tan, Nathalie L. Trottier, Binggen Wang, Genhu Wang, Xiaolong Wang, Fenglai Wang, Junjun Wang, Malcolm Watford, Zhenlong Wu, Shixuan Zheng, Weiyun Zhu, Kang Yao ve Yulong Yin'e) iş arkadaşlarının üretken ve eğlenceli birliklerinden dolayı minnettardır. Ayrıca yazar, araştırma ve öğretim programlarına verdikleri destek için Texas A&M Üniversitesi Hayvan Bilimleri Bölümü'nün geçmiş ve şimdiki başkanlarına minnettardır.

Yazarın laboratuvarındaki çalışma Ajinomoto A.Ş. (Tokyo, Japonya), Amerikan Kalp Derneği, Çin Bilim Akademisi, Gentech A.Ş. (Şangay, Çin), Guandong Yuehai Yem Grubu A.Ş., Ltd. (Zhanjiang, Çin), Houston Hayvancılık Gösteri ve Rodeo, Henan Yinfa Hayvancılık Endüstrisi A.Ş. (Zhengzhou, Çin), Vuhan Politeknik Üniversitesindeki Hubei Yetenekli Bin İnsan Programı, Uluslararası Amino Asit Bilimi Konseyi (Brüksel, Belçika), Uluslararası Glutamat Teknik Komitesi (Brüksel, Belçika), JBS United (Sheridan, Hindistan), Genç Diyabet Araştırma Fonu (ABD), Ulusal Sağlık Enstitüsü (ABD), Çin Ulusal Doğa Bilimi Kuruluşu, Pfizer A.Ş., Scott & White Hastanesi (Temple, TX), Teksas A&M AgriLife Araştırma, Teksas A&M Üniversitesi, Çin Ziraat Üniversitesi Yetenekli Bin İnsan Programı, Birleşik Devletler Ziraat Birimi, ABD Ulusal Mısır Yetiştiricileri Birliği, ABD Ulusal Karpuz Tanıtım Kurulu, ABD Kanatlı & Yumurta Harold E. Ford Vakfı tarafından kısmen desteklenmiştir.

Hayvan beslemenin ilkelerini anlamamıza büyük katkılarda bulunan binlerce bilim insanına özel olarak teşekkür ederiz. Yazar, onların makalelerini okumaktan zevk almış olup yayınlanmış çalışmalardan büyük çapta bilgi edinmiştir. Son olarak, Bay Ragesh K. Nair ve onun Techset Composition'daki Nova Techset ekibi tarafından tüm taslağın profesyonel dizgisi için minnetle teşekkür ederiz.

Yazar

Dr. Guoyao Wu Teksas A&M Üniversitesi'nde Üniversite Seçkin Profesörü, Üniversite Öğretim Üyesi ve Teksas A&M AgriLife Araştırma'da Kıdemli Öğretim Üyesidir. Lisans derecesini, Guangzhou'daki Güney Çin Ziraat Üniversitesi Hayvan Bilimi bölümünden (1978-1982), hayvan beslemedi lisansüstü derecesini Pekin'deki Çin Ziraat Üniversitesi'nden (1982-1984) ve Hayvan Biyokimyasındaki yüksek lisans (1984-1986) ve doktora derecesini (1986-1989) Edmonton, Kanada'daki Alberta Üniversitesi'nden almıştır. Dr. Wu diyabet, beslenme ve biyokimya alanındaki doktora sonrası eğitimini Montreal, Kanada'daki McGill Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde (1989-1991) ve St. John's, Newfoundland Memorial Üniversitesi, Tıp Fakültesi'nde (1991) tamamlamıştır. Ekim 1991'de Teksas A&M Üniversitesi'ne katılmıştır. Dr. Wu'nun sabbatik izni Baltimor, ABD'deki Maryland Tıp Okulu'nda insan obezitesini araştırma üzerineydi (2005).

Dr. Wu, geçtiğimi 25 yıl boyunca Teksas A&M Üniversitesi'nde lisans (deneysel besleme, genel hayvan besleme, protein metabolizması ve beslenme biyokimyası) ve yüksek lisans (hayvan bilimindeki problemler, beslenme ve biyokimya) dersleri vermiştir. Aynı zamanda ABD, Kanada, Meksika, Brezilya, Avrupa ve Asya'daki diğer kurumlarda çeşitli dersler vermiştir. Çalışmaları, amino asitlerin ve ilişki besinlerin hayvanlardaki genetik, moleküler, hücresel ve tüm vücut düzeylerindeki biyokimyası, beslenmesi ve fizyolojisi üzerine odaklanmıştır. Araştırma ilgi alanları: (1) AAlerin gen ekspresyonu (epigenetik dahil) ve hücre sinyalindeki fonksiyonları; (2) proteinlerin ve AAlerin intrasellüler sentezi ve katabolizmasını düzenleyen mekanizmalar; (3) metabolik yakıtların homeostazisinin besinsel ve hormonal düzenlenmesi; (4) nitrik oksit ve poliaminlerin biyoloji ve patobiyolojisi; (5) AAlerin, metabolik hastalıklar (diyabet, obezite ve intrauterin büyümenin baskılanması dahil) ve ilişkili kardiyovasküler komplikasyonlardaki anahtar rolleri; (6) embriyoların, fötusların ve yeni doğanların hayatta kalma, büyüme ve gelişmesindeki AAlerin temel rolleri; (7) yaşam döngüsündeki AAlerin ve proteinlerin beslenme gereksinimleri ve (8) insan metabolik hastalıklarının çalışılmasındaki hayvan modelleri (domuzlar, ratlar ve koyun gibi).

Dr. Wu, *Advance in Nutrition, Amino Acids, American Journal of Physiology, Annals of New York Academy of Sciences, Annual Review of Animal Biosciences, Annual Review of Nutrition, Biochemical Journal, Biology of Reproduction, British Journal of Nutrition, Cancer Research, Clinical and Experimental Immunology, Comparative Biochemistry and Physiology, Diabetes, Diabetologia, Endocrinology, Experimental Biology and Medicine, FASEB Journal, Food & Function, Frontiers in Bioscience, Frontiers in Immunology, Gut, Journal of Animal Science, Journal of Animal Science and Biotechnology, Journal of Agricultural and Food Chemistry, Journal of Nutritional Biochemistry, Journal of Pediatrics, Journal of Physiology (London), Livestock Science, Molecular and Cellular Endocrinology, Molecular Reproduction and Development, Proceedings of National Academy of Science USA* ve *Reproduction* gibi dergilerin bulunduğu hakemli dergilerde 540 makalesi ve 58 kitap bölümü bulunmaktadır. Dr. Wu'nun çalışmaları H-index 100 ile Google Scholar'da 38,000'den fazla atıf almıştır. Makalelerinin üç tanesinin her biri 2,200 defa atıf almıştır. Web of Science'ın (2014-2016) En Etkili Bilim İnsanı ve En Fazla Atıf Alan Yazarı olmuştur ve dünya genelinde (2016) ziraat bilimi alanındaki en çok atıf alan 10 bilim adamından birisi olmuştur.

Dr. Wu, Çin, Kanada, ve Birleşik Devletlerden; Yurtdışı Yüksek Lisans Çalışmaları için Çin Ulusal Bursu (1984), Alberta Üniversitesi Andrew Stewart Lisansüstü Ödülü (1989), Kanada Tıbbi Araştırma Konseyi Doktora Sonrası Bursu (1989), Amerikan Kalp Derneği Kuruluş İncelemesi Ödülü (1998), Teksas A&M AgriLife Fakülte Akademi Üyesi (2001), Teksas A&M Üniversitesi Fakülte Akdemi Üyesi (2002), Çin Ulusal Bilim Kuruluşundan Olağanüstü Genç Araştırmacı Ödülü (2005), Teksas A&M Tarım Programı Başkan Yardımcı Tarafından Takım Çalışmasında (2006) ve Bireysel Mükemmeliyet Ödülü (2008), Çin'den Changjiang Akademisyen Ödülü (2008), Teksas A&M Üniversitesi Seçkin Araştırma Başarı Ödülü (2008), Teksas A&M AgriLife Araştırma Kıdemli Öğretim Üyesi Ödülü (2008), Çin Hubei Eyaleti'nden Chutian Akademisyen Ödülü (2008), Hayvan Bilimi Dernekleri Federasyonu ve Amerikan Yem Endüstrisi Derneği'nden FASS-AFIA Hayvan Besleme Araştırmalarında Yeni Sınırlar Ödülü (2009), Güney Çin Ziraat Üniversitesi'nden Dingying Akademisyen Ödülü (2009), Çin'den Yetenekli Bin İnsan Ödülü (2010), Uluslararası Zürafa Bakım Uzmanları Derneği'nden Samburu İşbirliği Ödülü (2010), Sigma Xi Onur Topluluğunun Seçkin Bilim İnsanı Ödülü – Teksas A&M Üniversite Bölümü (2013) ve Çin Hubei Eyaleti'nden Bin Yetenekli İnsan Ödülü (2014) içinde olduğu çeşitli prestijli ödülleri bulunmaktadır.

Dr. Wu Amerikan Bilim İlerleme Derneği üyesi ve seçilmiş Akademisyenliğinin yanı sıra Amerikan Kalp Derneği, Amerikan Hayvan Bilimi Topluluğu, Amerikan Beslenme Topluluğu ve Üreme Çalışma Topluluklarının da bir üyesidir. *Biochemical Journal* (1993-2005), *Journal of Animal Science and Biotechnology* (2010-Günümüze), *Journal of Nutrition* (1997-2003) ve *Journal of Nutritional Biochemistry* (2006-Günümüze) Yayın Danışma Kurulu olarak ve *Amino Acids* (2008-Günümüze) editör olarak, *Journal of Amino Acids* (2009-Günümüze) editör olarak, *SpringerPlus-Amino Acids Collections* (2012-2016) Genel Yayın Yönetmeni olarak, *Frontiers in Bioscience* (2009-2016) yönetici editör ve (2017-Günümüze) editör olarak hizmet etmiştir.

1 Hayvan Beslemenin Fizyolojik ve Biyokimyasal Temelleri

“Hayvan” sözcüğü, “nefes alan”, “ruhu olan” ve “yaşayan varlık” anlamlarına gelen Latince *animalis* kelimesinden köken almaktadır. Bütün hayvanlar, *Hayvanlar* aleminin çok hücreli, ökaryotik ve hareketli organizmalarıdır (Dallas ve Jewell 2014). Yeterli besin alımı durumunda, ekosistemin önemli parçaları olarak hayatta kalırlar, büyürler, gelişirler ve ürerler. Hayvanlar iki geniş gruba ayrılırlar: vertebralılar (amfibiler, kuşlar, balıklar, memeliler ve reptiller gibi bir omurgaya sahip hayvanlar) ve vertebrasızlar (mercanlar, deniz tarağı, yengeçler, böcekler, istakozlar, istiridyeler, karidesler, örümcekler ve solucanlar gibi bir omurgaya sahip olmayan hayvanlar). Tükettikleri gıda temelinde, hayvanlar (1) diyetleri temelde bitki olmayan materyallerden (et, balık ve böcekler gibi) oluşan karnivorlar (kediler, köpekler, gelincikler, vizonlar ve kaplanlar gibi); (2) diyetleri temelde bitki materyalinden oluşan herbivorlar (ruminantlar [sığır, geyik, keçi koyun, karacalar ve yeni dünya develeri gibi], atlar ve tavşanlar) veya (3) diyetleri bitki ve hayvan materyallerinden oluşan omnivorlar (insanlar, domuzlar, kanatlılar, sıçanlar ve fareler gibi) olarak ayrılırlar (Bondi 1987; Dyce vd 1996). Pet hayvanları arasında kediler zorunlu karnivorlarken köpekler fakültatif karnivorlardır ve Carnivora sınıfının bu iki üyesinin de besin metabolizması ve ihtiyaçları çok farklı şekillerdedir.

Wilson (1992) doğada, 18,800 balık ve alt kordalı türü, 9,000 kuş türü, 6,300 sürüngen türü, 4,200 amfibi türü ve 4,000 memeli türünün içinde olduğu 1,032,000 hayvan türünün olduğunu belirlemiştir. Vertebralılar ve vertebrasızlar arasında oldukça büyük çeşitlilik olmasına rağmen, hayvanlar fizyoloji, metabolizma ve beslenmede farklılıklardan daha fazla benzerlikler gösterirler (Baker 2005; Beitz 1993; Wu 2013). Günümüze kadar, hayvan beslemedeki anlayışımız pratik besleme ve karasal hayvanlar (kediler, sığır, tavuklar, hindiler, köpekler, ördekler, gelincikler, kobaylar, keçiler, atlar, insanlar, fareler, vizonlar, domuzlar, tavşanlar, sıçanlar, koyunlar ve hindiler) ve balık, karides, böcekler ve *Caenorhabditis elegans* gibi diğer akuatik ve karasal hayvanlar üzerine yapılan sınırlı sayıdaki bilimsel çalışmalara dayandırılmıştır (Cheeke ve Dierenfeld 2010; McDonald vd, 2011; NRC 2002). Son yıllarda, vahşi hayvanların beslenmesinde oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (Barboza vd 2009).

İnsan uygarlığı çiftlik hayvanlarının, kanatlıların ve balıkların çeşitli fizyolojik ve patolojik durumlar altındaki yaşam döngülerindeki besin ihtiyaçlarının araştırıldığı oldukça zengin çalışma tarihine sahiptir (Baker 2005; Bergen 2007). Bunun nedeni, tarımsal açıdan önemli olan bu hayvanların, insanlar ve onlara eşlik eden pet hayvanlarının optimum büyüme, gelişme, üreme ve sağlıklarını sürdürmek için tükettikleri yüksek kaliteli proteinlerin yanı sıra vitamin ve minerallerin ana kaynağı olmalarıdır (Davis vd 2002; Reynolds vd 2015; Wu vd 2014b). Hayvansal üretim, endüstriyel ve gelişmiş toplumların toplam miktardaki zirai üretiminin sırasıyla %50-%75 ve %25-%40'ını oluşturmaktadır (Wu vd 2014a). Bundan dolayı, çiftlik hayvanlar üzerindeki araştırmalar bilimsel, sosyal ve ekonomik öneme sahiptir. İlaveten, sıçanlar ve fareler, besinler için diyet gereksinimleri ve bunların eksikliklerinden kaynaklanan metabolik hastalıkları keşfetmek için uzun süredir hayvan modelleri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, insanlarda ve hayvanlarda kalıtsal hastalıkların (genlerin yıkılması (knockdown) ve yok edilmesi (knockout)) ortaya çıkmasıyla metabolik yolların aydınlatılması kolaylaştırılmıştır (Brosnan vd 2015; Vernon 2015). Bu nedenle, çiftlik ve laboratuvar hayvanlarının (Asher ve Sassone-Corsi 2015; Dellschaft vd 2015; Rezai vd 2013) yanı sıra insanların (Bennett vd 2015; Meredith 2009) beslenmesinin fizyolojik ve biyokimyasal temelleri hakkında oldukça geniş literatür bulunmaktadır. Bu veri tabanlarının bütünleştirilmesi bu kitap için güçlü bir kaynak sağlamaktadır.

(örneğin, sitozol, çekirdek, mitokondri, ribozom ve lizozom) ayrılmıştır. Çeşitli hormonlar vasıtasıyla (örneğin; insülin, glukagon, büyüme faktörü, tiroit hormonları, glikokortikoidler, progesteron, östrojen ve adinopektin) düzenlenmeleri hayvanın büyümesi (öncelikli olarak iskelet-kas büyümesi ve fetal büyüme), bağışıklık, sağlık ve hayatta kalma için esansiyeldir. Hayvanlarda, besin maddelerinin yetersizlikleri çok çeşitli metabolik hastalıklara neden olur ve örnekleri **Tablo 1.10**'da verilmiştir. Dolayısıyla, hayvan beslemenin temelleriyle ilgili yeterli bilgi, küresel çiftlik hayvanları, kanatlı ve balık üretimi etkinliğini arttıran dengeli rasyon geliştirilmesinin yanı sıra büyük hayvanların sağlıklı ve iyi durumda olması için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Alderton, W.K., C.E. Cooper, and R.G. Knowles. 2001. Nitric oxide synthases: Structure, function and inhibition. *Biochem. J.* 357:593-615.
- Argenzio, R.A. 1993. General functions of the gastrointestinal tract and their control and integration. In: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Edited by M.J. Swenson and W.O. Reece. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 325-348.
- Asher, G. and Sassone-Corsi P. 2015. Time for food: The intimate interplay between nutrition, metabolism, and the circadian clock. *Cell* 161:84-92.
- Avissar, N.E., H.T. Wang, J.H. Miller, P. Iannoli, and H.C. Sax. 2000. Epidermal growth factor receptor is increased in rabbit intestinal brush border membrane after small bowel resection. *Dig. Dis. Sci.* 45:1145-1152.
- Baker, D.H. 2005. Comparative nutrition and metabolism: Explication of open questions with emphasis on protein and amino acids. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:17897-17902.
- Baracos, V.E. 2006. Integration of amino acid metabolism during intense lactation. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 9:48-52.
- Barboza, P.S., K.L. Parker, and I.D. Hume. 2009. *Integrative Wildlife Nutrition*. Springer, New York, NY.
- Barminko, J., B. Reinholt, and M.H. Baron. 2016. Development and differentiation of the erythroid lineage in mammals. *Dev. Comp. Immunol.* 58:18-29.
- Barret, K.E. 2014. *Gastrointestinal Physiology*. McGraw Hill, New York, NY.
- Bauman, D.E., K.J. Harvatine, and A.L. Lock. 2011. Nutrigenomics, rumen-derived bioactive fatty acids, and the regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 31:299-319.
- Bazer F.W., G.A. Johnson, and G. Wu. 2015. Amino acids and conceptus development during the peri-implantation period of pregnancy. *Adv. Exp. Med. Biol.* 843:23-52.
- Bazer, F.W., G. Wu, G.A. Johnson, and X. Wang. 2014. Environmental factors affecting pregnancy: Endocrine disrupters, nutrients and metabolic pathways. *Mol. Cell. Endocrinol.* 398:53-68.
- Bazer, F.W., G. Wu, T.E. Spencer, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, and K. Bayless. 2010. Novel pathways for implantation and establishment and maintenance of pregnancy in mammals. *Mol. Hum. Reprod.* 16:135-152.
- Beitz, D.C. 1993. Carbohydrate metabolism. In: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Edited by M.J. Swenson and W.O. Reece. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 437-472.
- Bennett, B.J., K.D. Hall, F.B. Hu, A.L. McCartney, and C. Roberto. 2015. Nutrition and the science of disease prevention: A systems approach to support metabolic health. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1352:1-12.
- Bergen, W.G. 2007. Contribution of research with farm animals to protein metabolism concepts: A historical perspective. *J. Nutr.* 137:706-710.
- Bergen, W.G. and G. Wu. 2009. Intestinal nitrogen recycling and utilization in health and disease. *J. Nutr.* 139:821-825.
- Blaxter, K.L. 1989. *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Bondi, A.A. 1987. *Animal Nutrition*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Booijink, C.C.G.M. 2009. Analysis of diversity and function of the humal small intestinal microbiota. *Ph. D. Thesis*. Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Boron, W.F. 2004. *Medical Physiology: A Cellular and Molecular Approach*. Elsevier, New York, NY.
- Brewer, N.R. 2006. Biology of the rabbit. *J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci.* 45:8-24.
- Brodal, P. 2004. *The Central Nervous System: Structure and Function*. Oxford University Press, Cambridge, UK.
- Brosnan, J.T. 2005. Metabolic design principles: Chemical and physical determinants of cell chemistry. *Adv. Enzyme Regul.* 45:27-36.
- Burrin, D.G., B. Stoll, R.H. Jiang, X.Y. Chang, B. Hartmann, J.J. Holst, G.H. Greeley, and P.J. Reeds. 2000. Minimal enteral nutrient requirements for intestinal growth in neonatal pigs: How much is enough? *Am. J. Clin. Nutr.* 71:1603-1610.
- Calder, P.C. 2006. Branched-chain amino acid and immunity. *J. Nutr.* 136:288S-233S.
- Campbell, T.W. 1995. *Avian Hematology and Cytology*. Iowa State University Press, Ames, IA.
- Cannon, B. and J. Nedergaard. 2004. Brown adipose tissue: Function and physiological significance. *Physiol. Rev.* 84:277-359.

- Cheeke, P.R. and E.S. Dierenfeld. 2010. *Comparative Animal Nutrition and Metabolism*. CABI, Wallingford, UK.
- Clemenens, E.T., C.E. Stevenes, and M. Southworth. 1975. Site of organic acid production and pattern of digesta movement in gastrointestinal tract of geese. *J. Nutr.* 105:1341-1350.
- Cooper, G.M. and R.E. Hausman. 2016. *The Cell: A Molecular Approach*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Coverdale, J.A., J.A. Moore, H.D. Tyler and P.A. Miller-Auwerda. 2004. Soybean hulls as an alternative feed for horses. *J. Anim. Sci.* 82:1663-1668.
- Cröze, E.M. and D.J. Morre. 1984. Isolation of plasma membrane, Golgi apparatus, and endoplasmic reticulum fractions from single homogenization of mouse liver. *J. Cell Physiol.* 119:46-57.
- Dai, Z.L., Z.L. Wu, S.Q. Hang, W.Y. Zhu, and G. Wu. 2015. Amino acid metabolites in intestinal bacteria and its potential implications for mammalian reproduction. *Mol. Hum. Reprod.* 21:389-409.
- Dai, Z.L., Z.L. Wu, S.C. Jia, and G. Wu. 2014. Analysis of amino acid composition in proteins of animal tissues and foods as pre-column o-phthalaldehyde derivatives by HPLC with fluorescence detection. *J. Chromatogr. B.* 964:116-127.
- Dallas, S. and E. Jewell. 2014. *Animal Biology and Care*. Wiley-Blackwell, London, UK.
- Davies, R.R. and J.A.E.R. Davies. 2003. Rabbit gastrointestinal physiology. *Vet. Clin. Exot. Anim.* 6:139-153.
- Davis, T.A., M.L. Fiorotto, D.G. Burrin, P.J. Reeds, H.V. Nguyen, P.R. Beckett, R.C. Vann and P.M. O'Connor. 2002. Stimulation of protein synthesis by both insulin and amino acids is unique to skeletal muscle in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 282:E880-E890.
- De Duve, C. 1971. Tissue fractionation: Past and present. *J. Cell Biol.* 50:20D-55D.
- Dellschaft, N.S., M.R. Ruth, S. Goruj, E.D. Lewis, C. Richard, R.L. Jacobs, J.M. Curtis, and C.J. Field. 2015. Choline is required in the diet of lactating dams to maintain maternal immune function. *Br. J. Nutr.* 113:1723-1731.
- Devlin, T.M. 2011. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Dillon, E.L., D.A., Knabe, and G. Wu. 1999. Lactate inhibits citrulline and arginine synthesis from proline in pig enterocytes. *Am. J. Physiol.* 276:G1079-G1086.
- Dyce, K.M. W.O. Sack, and C.J.G. Wensing. 1996. *Textbook of Veterinary Anatomy*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, PA.
- Farmer, C. 1997. Did lungs and the intracardiac shunt evolve to oxygenate the heart in vertebrates? *Paleobiology* 23:358-372.
- Fell, D. 1997. *Understanding the Control of Metabolism*. Portland Press, London, UK.
- Ferguson, R.A. and R.G. Boutilier. 1989. Metabolic-membrane coupling in red blood cells of trout: The effects of anoxia and adrenergic stimulation. *J. Exp. Biol.* 143:149-164.
- Field, C.J., I.R. Johnson, and P.D. Schley. 2002. Nutrients and their role in host resistance to infection. *J. Leukoc. Biol.* 71:16-32.
- Firkins, J.L., Z. Yu, and M. Morrison. 2007. Ruminant nitrogen metabolism: Perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy. *J. Dairy Sci.* 90 (Suppl. 1):E1-E16.
- Ford, S.P., B.W. Hess, M.M. Schwoppe, M.J. Nijland, J.S. Gilbert, K.A. Vonnahme, W.J. Means, H. Han, and P.W. Nathanielsz. 2007. Maternal undernutrition during early to mid-gestation in the ewe results in altered growth, adiposity, and glucose tolerance in male offspring. *J. Anim. Sci.* 85:1285-1294.
- Fox, J.G., L.C. Anderson, F.M. Loew, and F.W. Quimby. 2002. *Laboratory Animal Medicine*. Academic Press, New York, NY.
- Friedman, M. 2008. *Principles and Models of Biological Transport*. Springer, New York, NY.
- Gashev, A.A. and D.C. Zawieja. 2010. Hydrodynamic regulation of lymphatic transport and the impact of aging. *Pathophysiology* 17:277-287.
- Gilbert, A.B. 1971. Transport of the egg through the oviduct and oviposition. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, UK, pp. 1345-1352.
- Granger, H.J., M.E. Schelling, R.E. Lewis, D.C. Zawieja, and C.J. Meininger. 1988. Physiology and pathobiology of the microcirculation. *Am. J. Otolaryngol.* 9:264-277.
- Guyton, A.C., T.G. Coleman, and H.J. Granger. 1972. Circulation: Overall regulation. *Annu. Rev. Physiol.* 34:13-46.
- Guyton, A.C. and J.E. Hall. 2000. *Textbook of Medical Physiology*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, PA.
- Häussinger, D., W.H. Lamers, and A.F. Moorman. 1992. Hepatocyte heterogeneity in the metabolism of amino acids and ammonia. *Enzyme* 46:72-93.
- Hill, K.J. 1971. The structure of the alimentary tract. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, UK, pp. 91-169.
- Hou, Y.Q., K. Yao, Y.L. Yin, and G. Wu. 2016. Endogenous synthesis of amino acids limits growth, lactation and reproduction of animals. *Adv. Nutr.* 7:331-342.
- Hou, Y.Q., Y.L. Yin, and G. Wu. 2015. Dietary essentiality of "nutritionally nonessential amino acids" for animals and humans. *Exp. Biol. Med.* 240:997-1007.
- Hu, S.D., X.L. Li, R. Rezaei, C.J. Meininger, C.J. McNeal, and G. Wu. 2015. Safety of long-term dietary supplementation with L-arginine in pigs. *Amino Acids* 47:925-936.
- Hungate, R.E. 1966. *The Rumen and Its Microbes*. Academic Press, New York, NY.
- Iyer, A., L. Brown, J.P. Whitehead, J.B. Prins, and D.P. Fairlie. 2015. Nutrient and immune sensing are obligate pathways in

- metabolism, immunity, and disease. *FASEB J.* 29:3612–3625.
- Jungermann, K. and T. Keitzmann. 1996. Zonation of parenchymal and nonparenchymal metabolism in liver. *Annu. Rev. Nutr.* 16:179–203.
- Kaesler, P.S. and W.G. Regehr. 2014. Molecular mechanisms for synchronous, asynchronous, and spontaneous neurotransmitter release. *Annu. Rev. Physiol.* 76:333–363.
- Kim, S.W. and G. Wu. 2004. Dietary arginine supplementation enhances the growth of milk-fed young pigs. *J. Nutr.* 134:625–630.
- King, A.S. and V. Molony. 1971. The anatomy of respiration. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, UK, pp. 91–169.
- Klein, R.M. and J.C. McKenzie. 1983. The role of cell renewal in the ontogeny of the intestine. I. Cell proliferation patterns in adult, fetal, and neonatal intestine. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 2:10–43.
- Kobayashi, I., F. Katakura, and T. Moritomo. 2016. Isolation and characterization of hematopoietic stem cells in teleost fish. *Dev. Comp. Immunol.* 58:86–94.
- Kwon, H., T.E. Spencer, F.W. Bazer, and G. Wu. 2003. Developmental changes of amino acids in ovine fetal fluids. *Biol. Reprod.* 68:1813–1820.
- Laale, H.W. 1977. The biology and use of zebrafish, *Brachydanio rerio*, in sheries research: A literature review. *J. Fish Biol.* 10:121–173.
- Lake, P.E. 1971. The male in reproduction. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, UK, pp. 1411–1447.
- Lebeck, J. 2014. Metabolic impact of the glycerol channels AQP7 and AQP9 in adipose tissue and liver. *J. Mol. Endocrinol.* 52:R165–178.
- Lemasters, J.J. and E. Holmuhamedov. 2006. Voltage-dependent anion channel (VDAC) as mitochondrial governor—Thinking outside the box. *Biochim. Biophys. Acta* 1762:181–190.
- Li, D.F., J.L. Nelssen, P.G. Reddy, F. Blecha, J.D. Hancock, G.L. Allee, R.D. Goodband, and R.D. Klemm. 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68:1790–1799.
- Li, X.L., R. Rezaei, P. Li, and G. Wu. 2011. Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets. *Amino Acids* 40:1159–1168.
- Li, Y.S., W.F. Xiao, W. Luo, C. Zeng, W.K. Ren, G. Wu, and G.H. Lei. 2016. Alterations of amino acid metabolism in osteoarthritis: Its implications for nutrition and health. *Amino Acids* 48:907–914.
- Li, P., Y.L. Yin, D.F. Li, S.W. Kim, and G. Wu. 2007. Amino acids and immune function. *Br. J. Nutr.* 98:237–252.
- Liao, S.F., D.L. Harmon, E.S. Vanzant, K.R. McLeod, J.A. Boling, and J.C. Matthews. 2010. The small intestinal epithelia of beef steers differentially express sugar transporter messenger ribonucleic acid in response to abomasal versus ruminal infusion of starch hydrolysate. *J. Anim. Sci.* 88:306–314.
- Lu, D.X. 2014. Systems nutrition: An innovation of A scientific system in animal nutrition. *Front. Biosci.* 6:55–61.
- Madara, J.L. 1991. Functional morphology of epithelium of the small intestine. In: *Handbook of Physiology: The Gastrointestinal System*. Edited by S.G. Shultz. American Physiological Society, Bethesda, MD, pp. 83–120.
- Mailloux, R.J. and M.E. Harper. 2011. Uncoupling proteins and the control of mitochondrial reactive oxygen species production. *Free Radic. Biol. Med.* 51:1106–1115.
- Marliss, E.B., A.F. Nakhoda, P. Poussier, and A.A. Sima. 1982. The diabetic syndrome of the “BB” Wistar rat: Possible relevance to type 1 (insulin-dependent) diabetes in man. *Diabetologia* 22:225–232.
- McCorry, L.K. 2007. Physiology of the autonomic nervous system. *Am. J. Pharm. Educ.* 71(4):78.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York, NY.
- Meredith, D. 2009. The mammalian proton-coupled peptide cotransporter PepT1: Sitting on the transporter-channel fence? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364:203–207.
- Merriam-Webster. 2005. *The Merriam-Webster Dictionary*. Merriam-Webster Inc., Springfield, MA.
- Moore, S.A., E. Yoder, and A.A. Spector. 1990. Role of the blood-brain barrier in the formation of long-chain omega-3 and omega-6 fatty acids from essential fatty acid precursors. *J. Neurochem.* 55:391–402.
- Morgan, C.J., A.G.P. Coutts, M.C. McFadyen, T.P. King, and D. Kelly. 1996. Characterization of IGF-I receptors in the porcine small intestine during postnatal development. *J. Nutr. Biochem.* 7:339–347.
- Mowat, A.M. 1987. The cellular basis of gastrointestinal immunity. In: *Immunopathology of the Small Intestine*. Edited by M.N. Marsh. John Wiley, London, UK, pp. 41–72.
- National Research Council (NRC). 2002. *Scientific Advances in Animal Nutrition*. National Academies Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. National Academies Press, Washington, DC.
- Nemere, I., N. Garcia-Garbi, G.J. Hämmerling, and Q. Winger. 2012. Intestinal cell phosphate uptake and the targeted knockout of the I,25D3-MARRS receptor/PDIA3/ERP57. *Endocrinology* 153:1609–1615.
- Oksbjerg, N., P.M. Nissen, M. Therkildsen, H.S. Møller, L.B. Larsen, M. Andersen, and J.F. Young. 2013. In utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *J. Anim. Sci.* 91:1443–1453.

- Oldham-Ott, C.K. and J. Gilloteaux. 1997. Comparative morphology of the gallbladder and biliary tract in vertebrates: Variation in structure, homology in function and gallstones. *Microsc. Res. Tech.* 38:571–597.
- Ovadi, I. and V. Saks. 2004. On the origin of intracellular compartmentalization and organized metabolic systems. *Mol. Cell. Biochem.* 256:5–12.
- Palmieri, F. and M. Monné. 2016. Discoveries, metabolic roles and diseases of mitochondrial carriers: A review. *Biochim. Biophys. Acta* 1863:2362–2378.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 4th ed. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Pravenec, M., P. Mlejnek, V. Zidek, V. Landa, M. Šimáková, J. Šilhavý, H. Strnad et al. 2016. Autocrine effects of transgenic resistin reduce palmitate and glucose oxidation in brown adipose tissue. *Physiol. Genomics* 48:420–427.
- Rappaport, A.M. 1958. The structural and functional unit in the human liver (liver acinus). *Anat. Rec.* 130:673–689.
- Reece, W.O. 1993. Water balance and excretion. In: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Edited by M.J. Swenson and W.O. Reece. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 573–628.
- Reynolds, L.P., M.C. Wulster-Radcliffe, D.K. Aaron, and T.A. Davis. 2015. Importance of animals in agricultural sustainability and food security. *J. Nutr.* 145:1377–1379.
- Rezaei, R., W.W. Wang, Z.L. Wu, Z.L. Dai, J.J. Wang, and G. Wu. 2013. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:7.
- Roach, P.J., A.A. Depaoli-Roach, T.D. Hurley, and V.S. Tagliabracci. 2012. Glycogen and its metabolism: Some new developments and old themes. *Biochem. J.* 441:763–787.
- Robinson, C.J., B.J.M. Bohannan, and V.B. Young. 2010. From structure to function: The ecology of host-associated microbial communities. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 74:453–476.
- Russell, J.B. and J.L. Rychlik. 2001. Factors that alter rumen microbial ecology. *Science* 292:1119–1122.
- Sarin, H. 2010. Physiologic upper limits of pore size of different blood capillary types and another perspective on the dual pore theory of microvascular permeability. *J. Angiogenes. Res.* 2:14.
- Sattereld, M.C. and G. Wu. 2011. Growth and development of brown adipose tissue: Significance and nutritional regulation. *Front. Biosci.* 16:1589–1608.
- Savage, D.C. 1977. Microbial ecology of the gastrointestinal tract. *Ann. Rev. Microbiol.* 31:107–133.
- Scallan, J., V.H. Huxley, and R.J. Korthuis. 2010. *Capillary Fluid Exchange: Regulation, Functions, and Pathology*. Morgan & Claypool Life Sciences, San Rafael, CA.
- Scanes, C.G. 2009. Perspectives on the endocrinology of poultry growth and metabolism. *Gen. Comp. Endocrinol.* 163:24–32.
- Schimke, R. and D. Doyle. 1970. Control of enzyme levels in animal tissues. *Annu. Rev. Biochem.* 39:929–976.
- Schleicher, J., C. Tokarski, E. Marbach, M. Matz-Soja, S. Zellmer, R. Gebhardt, and S. Schuster. 2015. Zonation of hepatic fatty acid metabolism—The diversity of its regulation and the benefit of modeling. *Biochim. Biophys. Acta* 1851:641–656.
- Sporns, O., D.R. Chialvo, M. Kaiser, and C.C. Hilgetag. 2004. Organization, development and function of complex brain networks. *Trends Cogn. Sci.* 8:418–425.
- Srere, P.A. 1987. Complexes of sequential metabolic enzymes. *Annu. Rev. Biochem.* 56:89–124.
- Steele, M.A., G.B. Penner, E. Chaucheyras-Durand, and L.L. Guan. 2016. Development and physiology of the rumen and the lower gut: Targets for improving gut health. *J. Dairy Sci.* 99:4955–4966.
- Stevens, C.E. and I.D. Hume. 1998. Contributions of microbes in vertebrate gastrointestinal tract to production and conservation of nutrients. *Physiol. Rev.* 78:393–427.
- Stocco, D.M. 2000. Intramitochondrial cholesterol transfer. *Biochim. Biophys. Acta* 1486:184–197.
- Tharwat, M., F. Al-Sobayil, A. Ali, and S. Buczinski. 2012. Transabdominal ultrasonographic appearance of the gastrointestinal viscera of healthy camels (*Camelus dromedaries*). *Res. Vet. Sci.* 93:1015–1020.
- Thompson, J.R., G. Weiser, K. Seto, and A.L. Black. 1975. Effect of glucose load on synthesis of plasma glucose in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 58:362–370.
- Watford M. 1991. The urea cycle: A two-compartment system. *Essays Biochem.* 26:49–58.
- Wilson, E.O. 1992. *The Diversity of Life*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Van Soest, P.J. 1967. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *J. Anim. Sci.* 26:119–128.
- Van Soest, P.J. and R.H. Wine. 1967. Use of detergents in the analysis of brous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 50:50–55.
- Vernon, H.J. 2015. Inborn errors of metabolism: Advances in diagnosis and therapy. *JAMA Pediatr.* 169:778–782.
- Vieira, R.A., L.O. Tedeschi, and A. Cannas. 2008. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. *J. Theor. Biol.* 255:357–368.
- Weber-Lot, F., M.V. Koulintchenko, N. Ibrahim, P. Hammann, D.V. Milesheina, Y.M. Konstantinov, and A. Dietrich. 2015. Nucleic acid import into mitochondria: New insights into the translocation pathways. *Biochim. Biophys. Acta* 1853:3165–3181.
- Weiner, I.D. and J.W. Verlander. 2011. Role of NH₃ and NH₄ transporters in renal acid-base transport. *Am. J. Physiol. Renal*

- Physiol.* 300:F11–F23.
- Wickersham, T.A., E.C. Titgemeyer, and R.C. Cochran. 2009. Methodology for concurrent determination of urea kinetics and the capture of recycled urea nitrogen by ruminal microbes in cattle. *Animal* 3:372–379.
- Wilson, J.M. and L.F.C. Castro. 2011. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in shes. *Fish Physiol.* 30:1–55.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Wu, G., F.W. Bazer, and H.R. Cross. 2014a. Land-based production of animal protein: Impacts, efficiency, and sustainability. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1328:18–28.
- Wu, G., F.W. Bazer, W. Tuo, and S.P. Flynn. 1996. Unusual abundance of arginine and ornithine in porcine allantoic fluid. *Biol. Reprod.* 54:1261–1265.
- Wu, G., F.W. Bazer, J.M. Wallace, and T.E. Spencer. 2006. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.* 84:2316–2337.
- Wu, G., J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J.L. Steiner, and A.E. Thalacker-Mercer. 2014b. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges and innovations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1321:1–19.
- Wu, G., and S.M. Morris, Jr. 1998. Arginine metabolism: Nitric oxide and beyond. *Biochem. J.* 336:1–17.
- Wu, G., T.L. Ott, D.A. Knabe, and F.W. Bazer. 1999. Amino acid composition of the fetal pig. *J. Nutr.* 129:1031–1038.
- Wu, Z.L., M.C. Sattereld, F.W. Bazer, and G. Wu. 2012. Regulation of brown adipose tissue development and white fat reduction by L-arginine. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 15:529–538.
- Xi, P.B., Z.Y. Jiang, Z.L. Dai, X.L. Li, K. Yao, W. Jobgen, M.C. Sattereld, and G. Wu. 2010. Oxidation of energy substrates in rat brown adipose tissue. *FASEB J.* 24:554.5.
- Xue, Y., S.F. Liao, K.W. Son, S.L. Greenwood, B.W. McBride, J.A. Boling, and J.C. Matthews. 2010. Metabolic acidosis in sheep alters expression of renal and skeletal muscle amino acid enzymes and transporters. *J. Anim. Sci.* 88:707–717.
- Yang, Y.X., Z.L. Dai, and W.Y. Zhu. 2014. Important impacts of intestinal bacteria on utilization of dietary amino acids in pigs. *Amino Acids* 46:2489–2501.
- Yen, J.T. 2000. Digestive system. In: *Biology of the Domestic Pig*. Edited by W.G. Pond and H.J. Mersmann. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 390–453.
- Yin, Y.L., R.L. Huang, H.Y. Zhong, T.J. Li, W.B. Souffrant, and C.F. de Lange. 2002. Evaluation of mobile nylon bag technique for determining apparent ileal digestibilities of protein and amino acids in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 80:409–420.

2 Karbonhidratların Kimyası

Karbonhidratlar doğada geniş yayılım gösteren organik maddelerdir (Sinnott 2013). Bitkiler, suyu ve CO_2 'i glikoza ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 2870 \text{ kJ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$) çevirmek için güneş ışığını yakalarlar. Takip eden süreçte glikoz, nişastayı ve diğer kompleks karbonhidratları şekillendirmek için kullanılır. Enerjinin güneş ışığından, karbonhidratlara dönüşümü gıda üretimi ve canlı yaşamı için hayati olan oksijenin salınması için esansiyeldir (Demura ve Ye 2010). Ekosistemdeki hayvanlar, monosakkaritlerin, disakkaritlerin, nişasta ve selülozun ana kaynağı olarak bitkileri tüketerek et (glikojen içerir) ve süte (laktöz kaynağı) dönüştürürler. Laktöz, emme dönemindeki hayvanlar için temel karbonhidrattır.

Ondokuzuncu yüzyılda, kimyacılar karbonhidratları, hidratlı (sulu) karbon olarak ve $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$, $m \geq 3$ ve m 'in n 'den farklı olabileceği, empirik formülüne sahip olduğunu düşündüler. Bunun, o esnada bilinen basit şekerler ve kovalent bir şekilde bağlanmış dimerleri ve polimerleri için doğru olduğu bulundu. 1891 yılında, Emil Fisher monosakkaritlerin (glikos, früktoz, mannoz ve arabinoz) yapılarını belirledi ve bu bileşiklerin hidroksil ve karbonil gruplarını taşıdığını keşfetti. 1920-1930 yılları arasında, W. Norman Haworth, heksozun altı üyeli bir halka (piranoz) oluşturabileceğini ancak aynı zamanda beş üyeli bir halkayı (furanoz) oluşturabileceğini, her halka yapısının da bir oksijen atomu taşıdığını keşfetti. Devam eden süreçte, karbonhidratların kimyasal özellikleri olan bazı maddelerin (örneğin, deoksiriboz [$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$] ve pirüvik asit [$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$]) polihidroksi aldehitler ve ketonlardan elde edilebileceğini fakat $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$ formülüyle aynı formüle sahip olmadığı belirlenmiştir. Günümüze kadar, karbonhidratlar, polihidroksi aldehitler, polihidroksi ketonlar veya bunların türevleri olarak tanımlandılar (Sinnott 2013). Heksozlar, nişasta, selüloz, glikojen, kitin (hayvanların dış iskeletlerinde) ve murein (bakteriyel hücre duvarında) yanı sıra şeker alkoller (alditoller), deoksi şekerler, amino şekerler ve şeker fosfatlar, karbonhidratlara örneklerdir (Robynt 1998). Bundan dolayı, modern tanımlama temelinde, bütün karbonhidratlar 2:1 oranında hidrojen ve oksijen bulundurmazlar ve bunlardan bazıları azot, kükürt veya fosfor bile içerebilirler.

Karbonhidratlar, bitki kaynaklı yem maddelerinin kuru maddesinin (KM) %75'ne kadar olan kısmı oluşturmaktadır ve karnivorlar dışındaki hayvanlar tarafından tüketilen bu rasyonların büyük bir kısmını meydana getirir (Pond vd 2005). Aksine, metabolik yakıt ve sentetik prekürsörler olarak temel fonksiyonları yerine getirdikleri hayvanların vücutlarında nispi olarak küçük miktarlarda glikoz ve glikojen bulunmaktadır. Mikropların, bitkilerin ve hayvanların membranlarında kompleks karbonhidratlar da oluşabilmektedir. Bitkilerde, özellikle selüloz ve hemiselüloz gibi suda çözünmeyen karbonhidratlar, bitkilerin yapısal sabitliği ve mekanik dayanıklılığında sorumluyken, suda çözünebilen karbonhidratlar (örneğin, glikoz ve nişasta) enerji rezervleri olarak hizmet verirler (Robynt 1998). Bu bölüm, hayvan beslemeyle ilişkili olan karbonhidratların kimyasına vurgu yapmaktadır.

KARBONHİDRATLARIN GENEL SINIFLANDIRILMASI

GENEL BAKIŞ

Beslemede, karbonhidratlar beş grupta sınıflandırılır: (1) monosakkaritler (aynı zamanda basit şekerler olarak da bilinirler); (2) disakkaritler (2 monosakkarit birimi bulundurlar); (3) oligosakkaritler (3-10 monosakkarit birimi bulundurlar); (4) polisakkaritler (10^7 'den fazla monosakkarit birimi bulundurlar) ve (5) konjüge karbonhidratlar. Sondaki maddeler kovalent bir şekilde lipitlere veya diğer proteinlere, sırasıyla

glikojen, sırasıyla, bitkiler ve hayvanlardaki ana homopolisakkaritlerdir. Heteropolisakkaritler: (1) eksudat sakız (zamk), hemiselülozlar, inülinler, mannanlar, müsilağlar ve bitkilerdeki pektinler; (2) hayvanlardaki hyaluronik asit, kondrotin sülfatlar, dermatan sülfat, heparan sülfat, heparin sülfat, keratan sülfat ve kitin; (3) mikroplardaki LPSler, murein ve ksantan ve (4) algler ve deniz yosunlarındaki agar, aljin (aljinik asit) ve karragenanları kapsamaktadır. İnce bağırsaktan köken alan laktaz tarafından hidrolize edilen laktoz hariç (galaktozil β -1,4 bağlı) D-glikozil veya D-furktozil β -1,4 bağlı kompleks karbonhidratlar veya diyet lifleri genellikle hayvan kaynaklı enzimler tarafından parçalanamazlar fakat kalın bağırsaklardaki bakteriler tarafından değişik derecelerde fermente edilebilirler. NOPLar, karasal hayvanların bağırsak sağlıklarını devam ettirebilmeleri için önemli bir diyet bileşenidir. Ligninler ve tanninler karbonhidrat olmamalarına rağmen, hayvanların gastrointestinal kanalındaki sindirimi etkiledikleri için bitkilerdeki polisakkaritlerle ilişkilendirilirler.

Monosakkaritler, epimerizasyon, indirgenme, oksidasyon, dehidrasyon, glikozitlerin şekillenmesi, esterifikasyon ve glikasyon gibi kimyasal reaksiyonlara uğrarken, diğer kompleks karbonhidratlardan ayrı olarak nişasta ve glikojen iyotla bağlanarak reaksiyona girerek renkli ürünler meydana getirirler. Bu reaksiyonlar, yem maddelerindeki ve hayvanlardaki belli başlı karbonhidrat tiplerinin belirlenmesi için bir temel oluşturur. Birkaç şeker alkolü hariç, sıvı solüsyonlardaki bütün karbonhidratlar Molisch testiyle analiz edilebilirler. İdeal hayvan besleme: (1) süttten kesilmiş hayvanlar için yeterli bitki kaynaklı liflerin ve nişastanın sağlanması; (2) bütün hayvanlarda glikoz, glikojen ve heteropolisakkaritlerin yeterli sentezlenmesi; (3) memelilerin sütünde maksimum laktoz üretimini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Karbonhidratların kimyası hakkındaki bilgi hayvanlardaki metabolizmalarını ve beslenmesini anlamamızda bir temel oluşturur (**Bölüm 5**).

KAYNAKLAR

- Akhter, S., M.S. Ansari, B.A. Rakha, S.M.H. Andrabi, M. Qayyum, and N. Ullah. 2014. Effects of fructose in extender on fertility of buffalo semen. *Pakistan J. Zool.* 46:279-281.
- Angyal, S.J. 1984. The composition of reducing sugars in solution. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.* 42:15-68.
- Apolinario, A.C., B.P. de Lima Damasceno, N.E. de Macedo Bertrao, A. Pessoa, A. Converti, and J.A. da Silva. 2014. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydr. Polym.* 101:368-378.
- Arifhodzhaev, A.O. 2000. Galactans and galactan-containing polysaccharides of higher plants. *Chem. Nat. Compd.* 36:229-244.
- Aspinall, G.O. 1967. The exudate gums and their structural relationship to other groups of plant polysaccharides. *Pure Appl. Chem.* 14:35-55.
- Atmodjo, M.A., Z. Hao, and D. Mohnen. 2013. Evolving views of pectin biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64:747-779.
- Bacon, J.S.D. and D.J. Bell. 1948. Fructose and glucose in blood of the foetal sheep. *Biochem. J.* 42:397-405.
- Bali, V., P.S. Panesar, M.B. Bera, and R. Panesar. 2015. Fructo-oligosaccharides: Production, purification and potential applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 55:1475-1490.
- Barcelo-Fimbres, M. and G.E. Seidel. 2008. Effects of embryo sex and glucose or fructose in culture media on bovine embryo development. *Reprod. Fertil. Dev.* 20:141-142.
- Baronos, S. 1971. Seminal carbohydrates in boar and stallion. *J. Reprod. Fertil.* 24:303-305.
- Bazer, F.W., T.E. Spencer, and W.W. Thatcher. 2012. Growth and development of the ovine conceptus. *J. Anim. Sci.* 90:159-170.
- Bearden, H.J. and J.W. Fuquay. 1980. *Applied Animal Reproduction*. Reston Publishing Company, Reston, Virginia.
- Becker, A., F. Katzen, A., Pühler, and L. Ielpi. 1998. Xanthan gum biosynthesis and application: A biochemical/genetic perspective. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 50:145-152.
- Benkeblia, N. 2013. Fructooligosaccharides and fructans analysis in plants and food crops. *J. Chromatogr. A.* 1313:54-61.
- Bergman, E.N. 1983a. The pools of tissue constituents and products: Carbohydrates. In: *World Animal Science*. Edited by P.M. Riis, Elsevier, New York, Vol. 3, pp. 137-149.
- Bergman, E.N. 1983b. The pool of cellular nutrients: Glucose. In: *World Animal Science*. Edited by P.M. Riis, Elsevier, New York, Vol. 3, pp. 173-196.
- Boerjan, W., J. Ralph, and M. Baucher. 2003. Lignin biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54:519-546.
- Britton, H.G. 1962. Some non-reducing carbohydrates in animal tissues and fluids. *Biochem. J.* 85:402-407.
- Brosnan, J.T. 2005. Metabolic design principles: Chemical and physical determinants of cell chemistry. *Adv. Enzyme Regul.* 45:27-36.
- Bruice, P.Y. 2011. *Organic Chemistry*. Prentice Hall, New York, NY.
- Cao, H., T. Chen, and Y. Shi. 2015. Glycation of human serum albumin in diabetes: Impacts on the structure and function. *Curr. Med. Chem.* 22:4-13.
- Chandrasekaran, R. 1998. X-ray diffraction of food polysaccharides. *Adv. Food Nutr. Res.* 42:131-210.

- Chawla, R. and G.R. Patil. 2010. Soluble dietary fiber. *Compr. Rev. Food Sci. Saf.* 9:178-196.
- Cheng, K.C., A. Demirci, and J.M. Catchmark. 2011. Pullulan: Biosynthesis, production, and applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 92:29-44.
- Demura, T. and Z.H. Ye. 2010. Regulation of plant biomass production. *Curr. Opin. Plant Biol.* 13:299-304.
- Denzel, M.S. and A. Antebi. 2015. Hexosamine pathway and (ER) protein quality control. *Curr. Opin. Cell Biol.* 33:14-18.
- Ege, S. 1984. *Organic Chemistry*. D.C. Heath and Company, Toronto, Canada.
- Egusa, M., H. Matsui, T. Urakami, S. Okuda, S. Ifuku, H. Nakagami, and H. Kaminaka. 2015. Chitin nanofiber elucidates the elicitor activity of polymeric chitin in plants. *Front. Plant Sci.* 6:1098.
- Farokhi, N., R.A. Burton, L. Brownfield, M. Hrmova, S.M. Wilson, A. Bacic, and G.B. Fincher. 2006. Plant cell wall biosynthesis: Genetic, biochemical and functional genomics approaches to the identification of key genes. *Plant Biotechnol. J.* 4:145-167.
- Fincher, G.B., W.H. Sawyer, and B.A. Stone. 1974. Properties of an arabinogalactan-peptide from wheat endosperm. *Biochem. J.* 139:535-545.
- Frei, E. and R.D. Preston. 1968. Non-cellulosic structural polysaccharides in algal cell walls. III. Mannan in siphonous green algae. *Proc. R Soc. B.* 169:127-145.
- Gaschen, F.P. and S.R. Merchant. 2011. Adverse food reactions in dogs and cats. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 41:361-379.
- Geraci, J.R. 1981. Dietary disorders in marine mammals: Synthesis and new findings. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 179:1183-1191.
- Gidenne, T. 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: A review. *Animal* 9:227-242.
- Gnauck, A., R.G. Lentle, and M.C. Kruger. 2015. The characteristics and function of bacterial lipopolysaccharides and their endotoxic potential in humans. *Int. Rev. Immunol.* 25:1-31.
- Grabitke, H.A. and J.L. Slavin. 2009. Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 49:327-360.
- Guo, S., W. Mao, Y. Han, X. Zhang, C. Yang, T. Chen et al. 2010. Structural characteristics and antioxidant activities of the extracellular polysaccharides produced by marine bacterium *Edwardsiella tarda*. *Bioresour. Technol.* 101:4729-4732.
- Hagely, K.B., D. Palmquist, and K.D. Bilyeu. 2013. Classification of distinct seed carbohydrate profiles in soybean. *J. Agric. Food Chem.* 61:1105-1111.
- Hamman, H., J. Steenekamp, and J. Hamman. 2015. Use of natural gums and mucilages as pharmaceutical excipients. *Curr. Pharm. Des.* 21:4775-4797.
- Heaney, R.P. 2013. Dairy intake, dietary adequacy, and lactose intolerance. *Adv. Nutr.* 4:151-156.
- Henry, R.J. and H.S. Saini. 1989. Characterization of cereal sugars and oligosaccharides. *Cereal Chem.* 66:362-365.
- Hinton, B.T., R.W. White, and B.P. Setchell. 1980. Concentrations of myo-inositol in the luminal fluid of the mammalian testis and epididymis. *J. Reprod. Fert.* 58:395-399.
- Hitchcock, M.W.S. 1949. Fructose in the sheep fetus. *J. Physiol.* 108:117-126.
- Keeling, P.L. and A.M. Myers. 2010. Biochemistry and genetics of starch synthesis. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 1:271-303.
- Kim, J.Y., G.W. Song, G. Wu, and F.W. Bazer. 2012. Functional roles of fructose. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109:E1619-E1628.
- Knoch, E., A. Dilokpimol, and N. Geshi. 2014. Arabinogalactan proteins: Focus on carbohydrate active enzymes. *Front. Plant Sci.* 5:198.
- Koehler, P. and H. Wieser. 2013. Chemistry of cereal grains. In: *Handbook of Sourdough Biotechnology*. Edited by M. Gobetti and M. Ganzle. Springer, New York, pp. 11-45.
- Li, N., D.N. Wells, A.J. Peterson, and R.S.F. Lee. 2005. Perturbations in the biochemical composition of fetal fluids are apparent in surviving bovine somatic cell nuclear transfer pregnancies in the first half of gestation. *Biol. Reprod.* 73:139-148.
- Li, S., L. Lei, Y.G. Yingling, and Y. Gu. 2015. Microtubules and cellulose biosynthesis: The emergence of new players. *Curr. Opin. Plant Biol.* 28:76-82.
- Lu, Y. and T.D. Sharkey. 2006. The importance of maltose in transitory starch breakdown. *Plant Cell Environ.* 29:353-366.
- Lunn, J.E., I. Deloge, C.M. Figueroa, P. Van Dijk, and M. Stitt. 2014. Trehalose metabolism in plants. *Plant J.* 79:544-567.
- McDonald, P., R.A. Edvard, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- Melton, L.D., B.G. Smith, R. Ibrahim, and R. Schröder. 2009. Mannans in primary and secondary plant cell walls. *N. Z. J. Forestry Sci.* 39:153-160.
- Messer, M., E. Trifonoff, E. Stern, and J.W. Bradbury. 1980. Structure of a marsupial milk trisaccharide. *Carbohydrate Res.* 83:327-334.
- Mikami, T. and H. Kitagawa. 2013. Biosynthesis and function of chondroitin sulfate. *Biochem. Biophys. Acta.* 1830:4719-4733.
- Misurcova, L., S. Skrovankova, D. Samek, J. Ambrozova, and L. Machu. 2012. Health benefits of algal polysaccharides in human nutrition. *Adv. Food Nutr. Res.* 66:75-145.
- Moreira, L.R. and E.X. Filho. 2008. An overview of mannan structure and mannan-degrading enzyme systems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 79:165-178.
- Mottiar, Y. R. Vanholme, W. Noerjan, J. Ralph, and S.D. Mansfield. 2016. Designer lignins: Harnessing the plasticity of lignification. *Curr. Opin. Biotechnol.* 37:190-200.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th Revised ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Patra, A.K. and J. Saxena. 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 91:24-37.
- Peterbauer, T., J. Mucha, L. Mach, and A. Richter. 2002. Chain elongation of raffinose in pea seeds. Isolation, characterization, and molecular cloning of multifunctional enzyme catalyzing the synthesis of stachyose and verbascose. *J. Biol.*

- Chem.* 277:194-200.
- Pond, W.G., D.B. Church, K.R. Pond, and P.A. Schoknecht. 2005. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 5th ed. Wiley, New York.
- Rajapakse, N. and S.K. Kim. 2011. Nutritional and digestive health benefits of seaweed. *Adv. Food Nutr. Res.* 64:17-28.
- Rezaei, R., Z.L. Wu, Y.Q. Huo, F.W. Bazer, and G. Wu. 2016. Amino acids and mammary gland development: Nutritional implications for neonatal growth. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:20.
- Roach, P.J., A.A. Depaoli-Roach, T.D. Hurley, and V.S. Tagliabracchi. 2012. Glycogen and its metabolism: Some new developments and old themes. *Biochem. J.* 441:763-787.
- Robyt, J.F. 1998. *Essentials of Carbohydrate Chemistry*. Springer, New York.
- Römling, U. and M.Y. Galperin. 2015. Bacterial cellulose biosynthesis: Diversity of operons, subunits, products, and functions. *Trends Microbiol.* 23:545-557.
- Ruan, Y.L. 2014. Sucrose metabolism: Gateway to diverse carbon use and sugar signalign. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65:33-67.
- Rumessan, J.J. 1992. Fructose and related food carbohydrates. Sources, intake, absorption, and clinical implications. *Scand. J. Gastroentol.* 27:819-828.
- Scheller, H.V. and P. Ulvskov. 2010. Hemicelluloses. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 61:263-289.
- Schirren, C. 1963. Relation between fructose content of semen and fertility in man. *J. Reprod. Fertil.* 5:347-358.
- Sengupta, S., S. Mukherjee, P. Basak, and A.L. Majumder. 2015. Significance of galactinol and raffinose family oligosaccharide synthesis in plants. *Front. Plant Sci.* 6:656.
- Shelton, D.R. and W.J. Lee. 2000. Cereal carbohydrates. In: *Handbook of Cereal Science and Technology*. Edited by K. Kulp and J.G. Ponte, Jr. Marcel Dekker, New York, pp. 385-414.
- Sieniawska, E. 2015. Activities of tannins: From *in vitro* studies to clinical trials. *Nat. Prod. Commun.* 10:1877-1884.
- Sinnott, M. 2013. *Carbohydrate Chemistry and Biochemistry: Structure and Mechanism*, 2nd ed. Royal Society of Chemistry, London, UK.
- Smith, A.M., S.C. Zeeman, and S.M. Smith, 2005. Starch degradation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56:73-98.
- Srikanth, R., C.H. Reddy, G. Siddartha, M.J. Ramaiah, and K.B. Uppuluri. 2015. Review on production, characterization and applications of microbial levan. *Carbohydr Polym.* 137:360-374.
- Tavassoli-Kafrani, E., H. Shekarchizadeh, and M. Masoudpour-Behabadi. 2016. Development of edible films and coating from alginates and carrageenans. *Carbohydr. Polym.* 137:360-374.
- Trindadae, C.E., R.C. Barreiros, C. Kurokawa, and G. Bossolan. 2011. Fructose in fetal cord blood and its relationship with maternal and 48-hour-newborn blood concentrations. *Early Hum. Dev.* 87:193-197.
- Turner, N.D., L.E. Ritchie, R.S. Bresalier, and R.S. Chapkin. 2013. The microbiome and colorectal neoplasia-environmental modifiers of dysbiosis. *Curr. Gastroenterol. Rep.* 15(9):1-16.
- Van Arkel, J., R. Sevenier, J.C. Hakkert, H.J. Bouwmeester, A.J. Koops, and I.M. van der Meer. 2013. Tailormade fructan synthesis in plants: A review. *Carbohydr. Polym.* 93:48-56.
- Viola, M., D. Vigezzi, E. Karousou, M.L. D'Angelo, I. Caon, P. Moretto, G. De Luca, and A. Passi. 2015. Biology and biotechnology of hyaluronan. *Glycoconj. J.* 32:93-103.
- Wang, X.Q., G. Wu, and F.W. Bazer. 2016. mTOR: The master regulator of conceptus development in response to uterine histotroph during pregnancy in ungulates. In: *Molecules to Medicine with mTOR*. Edited by K. Maiese. Elsevier, New York, pp. 23-35.
- Wang, Y., H. Yu, X. Shi, Z. Luo, D. Lin, and M. Huang. 2013. Structural mechanism of ring-opening reaction of glucose by human serum albumin. *J. Biol. Chem.* 288:15980-15987.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Yin, F., Z. Zhang, J. Huang, and Y.L. Yin. 2010. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103:1404-1412.
- Younes, I. and M. Rinaudo. 2015. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Mar. Drugs* 13:1133-1174.
- Yu, C., S. Zhang, Q. Yang, Q. Peng, J. Zhu, X. Zheng, and S. Qiao. 2016. Effect of high fibre diets formulated with different fibrous ingredients on performance, nutrient digestibility and faecal microbiota of weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.* 70:263-277.
- Zhang, G. and B.R. Hamaker. 2009. Slowly digestible starch: Concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 49(10):852-867.

3 Lipitlerin Kimyası

Lipitler, organik çözücülerde çözünebilir (örneğin, kloroform ve etanol) hidrokarbon bileşikleri olarak tanımlanırlar ve bazı küçük moleküller hariç genellikle suda çözünmezler (Gunstone 2012). Bu maddeler, tüm diyet makro besinleri arasında en yüksek hidrojen atomu oranlarına sahip, oldukça indirgenmiş moleküllerdir. Lipitler, sadece hidrofobik özellikleri temelinde sınıflandırıldıklarından farklı kimyasal yapılara ve biyolojik işlevlere sahiptirler. Doğada, lipitlere örnekler yağ asitleri, triaçilgliseroller (TAGlar), gliserolipitler, gliserofosfolipitler, sfingolipitler, kolesterol, kortizol, testosteron, progesteron ve vitamin A ve-rilebilir (Mead vd 1986). Lipitler, hayvanların türüne, yaşına, beslenme durumuna ve hastalık durumuna bağlı olarak vücut ağırlığının %1-%5'ni oluştururlar (Cherian 2015; Pondt vd 2005). Bitkiler ve algler, hayvanlar tarafından sentezlenemeyen yağ asitleri için mükemmel kaynaklardır (NRC 2011, 2012). Yem maddesi analizinde, eter ekstrakta birlikte belirlenen lipitler ham yağ olarak isimlendirilir.

Lipitler, bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmaların önemli yapısal ve hücresele bileşenleridirler. Bu maddeler hücre membranları ve hücre içi organellerin membranlarında, gazların, besinlerin, iyonların ve metabolitlerin hücrelerin içine ve dışına taşınmasını kontrol etmek için oldukça geniş bir şekilde dağılmışlardır (Ridgway ve McLeod 2016). Hayvanlarda, TAGlar enerji depolanmasının ana formudur ve yağ asitleri, yağda çözülebilir vitaminlerin sindirimi ve emilimini kolaylaştırırken, karaciğer, iskelet kası ve kalp gibi kilit organlar için başlıca metabolik yakıttırlar (Conde-Aguilera vd 2013; Smith ve Smith 1995). Yeni doğanlarda, deri altı beyaz yağ dokusu vücudu ısı kayıplarına karşı yalıtımlı hale getirir. Birçok memelide, kahverengi yağ dokusu, yağ asitlerini büyük miktarlarda ısı üretmek için okside ederler, bundan dolayı yenidoğan döneminde vücudu sıcak tutarlar (Smith ve Carstens 2005; Satterfield ve Wu 2011). Bütün biyolojik organizmalarda, lipitler, fizyolojik süreçleri düzenlemek için sinyal molekülleri olarak görev yaparlar. Ancak, aşırı yağ birikimi, obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli metabolik bozukluk ve kronik hastalığa katkıda bulunmaktadır.

Lipitler hakkındaki güncel bilgilerimiz, alanının öncüleri omuzlarında inşa edilmiştir (Block vd 1946; Mead vd 1986). Ondokuzuncu yüzyıl, doğadaki lipitlerin büyük keşiflerine şahitlik etmiştir. 1813 yılında, M.E. Chevreul hayvanlardaki yağların bileşimini raporlamıştır ve yağ asitleri kavramını önermiştir. On yıl sonra, aynı yazar, yunusun kafasındaki yağdan ve yunus yağından izole edilen çeşitli düz zincirli yağ asitleri (margarik, oleik, stearik, bütirik ve kaproik asitler) ve izovalerik asit gibi dallı zincirli yağ asitlerini tanımladığı ve dönüm noktası niteliğinde olan lipitlerin kimyası hakkında bir kitap yayınlamıştır. 1884 yılında, Couerbe J-P, sahadaki araştırmaları kolaylaştıran ve hayvansal dokulardaki lipitleri ekstrakte etmek için dietil eter kullanım metodunu tanıttı. G.O Burr (1929), uzun zincirli bir yağ asiti (LCFA) olan linoleik asiti, genç sıçanların büyümesi ve sağlığı için beslenme açısından esansiye yağ asiti olarak keşfetti. Sonraki süreçte, Wesson ve Burr (1931) hayvanların α -linolenic veya linoleik asiti sentezleyemediklerini rapor etmişlerdir. 1940'larda, K.E. Bloch, karaciğerde asetattan kolesterol sentezini keşfetmiştir. Bu çığır açan buluşlar, yirminci yüzyıldaki lipit beslenmesinde yeni bir çağ açmıştır (Field vd 2008; Kessler vd 1970; Pedersen 2016; Spector ve Kim 2015; Tso 1985; Wood ve Harlow 1960). Bu bölüm, hayvan besleme ile ilgili olan lipitlerin kimyasına ışık tutmaktadır.

LİPİTLERİN YAPILARI VE SINIFLANDIRILMASI

Lipitler, dört sınıfta gruplandırılırlar; yağ asitleri, basit lipitler, bileşik lipitler ve türev lipitler (**Şekil 3.1**). Yağ asitleri, aynı zamanda lipitlerin prekürsörleri olarak bilinirler, çeşitli sayıdaki karbonları ve doymamış

Bileşik lipitler (a) bir karbonhidrat parçası içeren glikolipitler; (b) bir fosfat grubu ve bir etanolamin, kolin, serin, miyo-inozitol, gliserol, veya fosfatidilgliserol grubu içeren fosfolipitler; (c) seramit şekillendirmek için bir açıl grubu, sfingomiyelin elde etmek için bir azotlu grup (örneğin, etanolamin, serin veya kolin) bulunduran sfingozin bazlı Sfingolipitler; (d) fosfolipitlerde bir eter bağlantısı (-CH₂-O-CH₂-) bulunduran eter gliserofosfolipitler ve (e) ince bağırsaklar ve karaciğerde şekillenerek salınan, LCFAlar ve kolesterolü taşıyan bir protein parçası bulunduran lipoproteinleri kapsamaktadır. Fosfatidilkolin, sefa-linler ve sfingomiyelinler hücre membranlarının önemli bileşenleridirler (**Tablo 3.10**) ve sinir sisteminde oldukça yüksek miktarda bulunurlar. Lipoproteinlerdeki kolesterolerin oranlarının kardiyovasküler sağ-lık için önemli etkileri bulunmaktadır.

Türev lipitler, steroidleri, eikozanoidleri ve terpenleri içermektedir. Steroidler, steroller (örneğin, ko-lesterol) ve hayvanlarda sentezlenen steroid hormonlar (örneğin, erkek ve dişi üreme hormonları), safra asitleri ve safra alkollerinin yanı sıra bitkilerde bulunan steroidal saponinleri kapsar. Eikozanoidler, PG-lerin 1, 2 ve 3 serisini ve 1, 2 veya 3 çift bağlı TXların yanı sıra LTlerin 4 ve 5 serilerini ve 4 veya 5 çift bağlı lipoksinleri kapsamaktadır. Bir veya birden fazla İzopiren birimi bulunduran terpenler, karotenoid-ler, koenzim Q, vitamin A, E ve K, esansiyel yağlar ve fitollerini kapsamaktadır.

Lipitler, TAGlerin hidrolizi, yağ asitlerinin saponifikasyonu, alkollerle Esterleşme, hidroksil hidro-jenlerinin yer değiştirmesi, doymamış yağ asitlerinin hidrojenizasyonu, özellikle yüksek sıcaklıklarda, doymamış yağ asitlerinin peroksidasyonu ve klor ve bromla reaksiyon gibi birçok reaksiyona maruz ka-lırlar. Lipitlerin çeşitli yapıları laboratuvar analizlerinde zorluklar çıkarsa da, kimyadaki son ilerleme-ler, prekürsör yağ asitleri ve bunların metabolitleri üzerine beslenme araştırmaları için sağlam bir temel oluşturmuştur. Lipitlerin kimyası hakkındaki bilgi, hayvanların beslenmesi ve metabolizmalarıyla ilgili anlayışımızda temeller oluşturmuştur (bölüm 6).

KAYNAKLAR

- Adeola, O., D.C. Mahan, M.J. Azain, S.K. Baidoo, G.L. Cromwell, G.M. Hill, J.E. Pettigrew, C.V. Maxwell, and M.C. Shan-non. 2013. Dietary lipid sources and levels for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 91:4216-4225.
- Agellon, J.B. 2008. Metabolism and function of bile acids. In: *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes (Fifth Edition)*. Edited by D.E. Vance and J.E. Vance, Elsevier, New York, pp. 423-440.
- Aparico, R., L. Roda, M.A. Albi, and F. Gutierrez. 1999. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *J. Agric. Food Chem.* 47:4150-4155.
- Bauman, D.E., K.J. Harvatine, and A.L. Lock. 2011. Nutrigenomics, rumen-derived bioactive fatty acids, and the regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 31:299-319.
- Benchaar, C., S. Calsamiglia, A.V. Chaves, G.R. Fraser, D. Comobatto, T.A. McAllister, and K.A. Beauchemin. 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:209-228.
- Bentley, R. and R. Meganathan. 1983. Vitamin K biosynthesis in bacteria: Precursors, intermediates, enzymes, and genes. *J. Nat. Prod.* 46:44-59.
- Bergen, W.G. and T.D. Brandebourg. 2016. Regulation of lipid deposition in farm animals: Parallels between agriculture and human physiology. *Exp. Biol. Med.* 241:1272-1280.
- Bergen, W.G. and H.J. Mersmann. 2005. Comparative aspects of lipid metabolism: Impact on contemporary research and use of animal models. *J. Nutr.* 135:2499-2502.
- Besnard, P., Niot, I., Bernard, A., and Carlier, H. 1996. Cellular and molecular aspects of fat metabolism in the small intestine. *Proc. Nutr. Soc.* 55:19-37.
- Block, K., E. Borek, and D. Rittenber. 1946. Synthesis of cholesterol in living liver. *J. Biol. Chem.* 162:441-449.
- Brandebourg, T.D., and C.Y. Hu. 2005. Isomer-specific regulation of differentiating pig preadipocytes by conjugated linoleic acids. *J. Anim. Sci.* 83:2096-2105.
- Breckenridge, W.C. and A. Kuksis. 1967. Molecular weight distributions of milk fat triglycerides from seven species. *J. Lipid Res.* 8:473-478.
- Burr, G.O. and M.M. Burr. 1929. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. *J. Biol. Chem.* 82:345-367.
- Buschhaus, C. and R. Jetter. 2011. Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: How

- do plants seal their epidermal surfaces? *J. Exp. Bot.* 62:841-853.
- Butovich, I.A., J.C. Wojtowicz, and M. Molai. 2009. Human tear film and meibum. Very long chain waxes and (O-acyl)-omega-hydroxy fatty acids of meibum. *J. Lipid Res.* 50:2471-2485.
- Calder, P.C. 2006. n-3 polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. *Am. J. Clin. Nutr.* 83:1505S-1519S.
- Cheeke, P.R. 2000. Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Proc. Phytochem. Soc. Eur.* 45:241-254.
- Cherian, G. 2015. Nutrition and metabolism in poultry: Role of lipids in early diet. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:28.
- Clandinin, M.T. 1999. Brain development and assessing the supply of polyunsaturated fatty acid. *Lipids.* 34:131-137.
- Colbeau, A., J. Nachbaur, and P.M. Viganis. 1971. Enzymic characterization and lipid composition of rat liver subcellular membranes. *Biochim. Biophys. Acta.* 249:462-492.
- Colina, J.J., A.J. Lewis, P.S. Miller, and R.L. Fisher. 2001. Dietary manipulation to reduce aerial ammonia concentrations in nursery pig facilities. *J. Anim. Sci.* 79:3096-3103.
- Conde-Aguilera, J.A., C. Cobo-Ortega, S., Tesseraud, M. Lessire, Y. Mercier, and J. van Milgen. 2013. Changes in body composition in broilers by a sulfur amino acid deficiency during growth. *Poult. Sci.* 92:1266-1275.
- Chung, H. and S.B. Carroll. 2015. Wax, sex and the origin of species: Dual roles of insect cuticular hydrocarbons in adaptation and mating. *Bioessays.* 37:822-830.
- Chung, J.G., L.R. Garret, P.E. Byers, and M.A. Cuchens. 1989. A survey of the amount of pristane in common fruits and vegetables. *J. Food Comp. Anal.* 2(22):22.
- Daum, G. 1985. Lipids of mitochondria. *Biochem. Biophys. Acta.* 882:1-42.
- DellaPenna, D. 2005. A decade of progress in understanding vitamin E synthesis in plants. *J. Plant Physiol.* 162:729-737.
- Dembitsky, V.M. and M. Srebnik. 2002. Natural halogenated fatty acids: Their analogues and derivatives. *Prog. Lipid Res.* 41:315-67.
- Devlin, T.M. 2006. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations.* Wiley-Liss, New York, NY.
- Ding, S.T., A. Lapillonne, W.C. Heird, and H.J. Mersmann. 2003. Dietary fats has minimal effects on fatty acid metabolism transcript concentrations in pigs. *J. Anim. Sci.* 81:423-431.
- Fang, Y.Z., S. Yang, and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition.* 18:872-879.
- Field, C.J., J.E. van Aerde, L.E. Robinson, and M.T. Clandinin. 2008. Effect of providing a formula supplemented with long-chain polyunsaturated fatty acids on immunity in full-term neonates. *Br. J. Nutr.* 99:91-99.
- Folco, G. and R.C. Murphy. 2006. Eicosanoid transcellular biosynthesis: From cell-cell interactions to *in vivo* tissue responses. *Pharmacol. Rev.* 58:375-388.
- Fox, J.G., L.C. Anderson, F.M. Loew, and F.W. Quimby. 2002. *Laboratory Animal Medicine*, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Guidotti, G. 1972. Membrane proteins. *Annu. Rev. Biochem.* 41:731-752.
- Gunstone, F.D. 2012. *Fatty Acid and Lipid Chemistry*, Springer, New York.
- Hagey, L.R., P.R. Moler, A.F. Hofmann, and M.D. Krasowski. 2010. Diversity of bile salts in fish and amphibians: Evolution of a complex biochemistry pathway. *Physiol. Biochem. Zool.* 83:308-321.
- Hausman, G.J., T.R. Kasser, and R.J. Martin. 1982. The effect of maternal diabetes and fasting on fetal adipose tissue histochemistry in the pig. *J. Anim. Sci.* 55:1343-1350.
- Hofmann, A.F. 1999. Bile acids: The good, the bad, and the ugly. *Physiology.* 14:24-29.
- Horvath, S.E. and G. Daum. 2013. Lipids of mitochondria. *Prog. Lipid Res.* 52:590-614.
- Jacobs, R.L., L.M. Stead, C. Devlin, I. Tabas, M.E. Brosnan, J.T. Brosnan, and D.E. Vance. 2005. Physiological regulation of phospholipid methylation alters plasma homocysteine in mice. *J. Biol. Chem.* 280:28299-28305.
- Jobgen, W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutr. Biochem.* 17:571-588.
- Kessler, J.I., J. Stein, D. Dannacker, and P. Narcessian. 1970. Intestinal mucosa biosynthesis of low density lipoprotein by cell-free preparations of rat. *J. Biol. Chem.* 245:5281-5288.
- Kolattukudy, P.E., S. Bohnet, and L. Rogers. 1987. Diesters of 3-hydroxy fatty acids produced by the uropygial glands of female mallards uniquely during the mating season. *J. Lipid Res.* 28:582-588.
- Kurogi, K., M.D. Krasowski, E. Injeti, M.Y. Liu, F.E. Williams, T. Sakakibara, M. Suiko, and M.C. Liu. 2011. A comparative study of the sulfation of bile acids and a bile alcohol by the *Zebra danio* (*Danio rerio*) and human cytosolic sulfotransferases (SULTs). *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.* 127:307-314.
- Lass, A., S. Agarwal, and R.S. Sohal. 1997. Mitochondrial ubiquinone homologues, superoxide radical generation, and longevity in different mammalian species. *J. Biol. Chem.* 272:19199-19204.
- Lefebvre, P., B. Cariou, F. Lien, F. Kuipers, and B. Staels. 2009. Role of bile acids and bile acid receptors in metabolic regulation. *Physiol. Rev.* 89:147-191.
- Lehninger, A.L., D.L. Nelson, and M.M. Cox. 1993. *Principles of Biochemistry*, Worth Publishers, New York, NY.
- Ma, D.W., A.A. Wierzbicki, C.J. Field, and M.T. Clandinin. 1999. Conjugated linoleic acid in Canadian dairy and beef products. *J. Agric. Food Chem.* 47:1956-1960.
- Maceyka, M. and S. Spiegel. 2014. Sphingolipid metabolites in inflammatory disease. *Nature.* 510:58-67.
- Madsen, P.T. and A. Surlykke. 2013. Functional convergence in bat and toothed whale biosensors. *Physiology (Bethesda)* 28:276-283.
- Mao, G., G.A. Kraus, I. Kim, M.E. Spurlock, T.B. Bailey, Q. Zhang, and Beitz D.C. 2010. A mitochondria-targeted vitamin

- E derivative decreases hepatic oxidative stress and inhibits fat deposition in mice. *J. Nutr.* 140:1425-1431.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- Mead, J.F., E.B. Alfin-Slater, D.R. Howton, and G. Popjak. 1986. *Lipids: Chemistry, Biochemistry, and Nutrition*. Plenum Press, New York.
- Morell, P. and P. Braun. 1972. Biosynthesis and metabolic degradation of sphingolipids not containing silaic acid. *J. Lipid Res.* 13:293-310.
- National Research Council (NRC). 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*, National Academy of Science, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, National Academy of Science, Washington, DC.
- Odle, J. 1997. New insights into the utilization of medium-chain triglycerides by the neonate: Observations from a piglet model. *J. Nutr.* 127:1061-1067.
- Oleszek, W., M. Sitek, A. Stochmal, S. Piancete, C. Pizza, and P. Cheeke. 2001. Steroidal saponins of *Yucca schidigera* Roetzl. *J. Agric. Food Chem.* 49:4392-4396.
- Palmquist, D.L. 2006. Milk fat: Origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. In: *Advanced Dairy Chemistry*, Volume 2: Lipids, 3rd edition. Edited by P.F. Fox and P.L.H. McSweeney, Springer, New York, NY.
- Park, Y.W. and G.F.W. Haenlein. 2006. *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2006.
- Pedersen, T.R. 2016. The success story of LDL cholesterol lowering. *Circ. Res.* 118:721-731.
- Pichersky, E. 2006. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science.* 311:808-811.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 2005. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Ralston, A.W., and C.W. Hoerr. 1942. The solubilities of the normal saturated fatty acids. *J. Org. Chem.* 7:546-555.
- Ramsay, T.G., C.M. Evock-Clover, N.C. Steele, and M.J. Azain. 2001. Dietary conjugated linoleic acid alters fatty acid composition of pig skeletal muscle and fat. *J. Anim. Sci.* 79:2152-2161.
- Ray, T.K., V.P. Skipski, M. Barclay, E. Essner, and F.M. Archibald. 1969. Lipid composition of rat liver plasma membranes. *J. Biol. Chem.* 244:5528-5536.
- Ridgway, N.D. and R.S. McLeod. 2016. *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*, Elsevier, New York.
- Rijpstra, W.I., J. Reneerkens, T. Piersman, and J.S. Damste. 2007. Structural identification of the beta-hydroxy fatty acid-based diester preen gland waxes of shorebirds. *J. Nat. Prod.* 70:1804-1807.
- Romano, M., E. Cianci, F. Simiele, and A. Rechhiuti. 2015. Lipoxins and aspirin-triggered lipoxins in resolution of inflammation. *Eur. J. Pharmacol.* 760:49-63.
- Rook, J.A.F. 1964. Ruminant volatile fatty acid production in relation to animal production from grass. *Proc Nutr. Soc.* 23:71-80.
- Rosero, D.S., J. Odle, A.J. Moeser, R.D. Boyd, and E. van Heugten. 2015. Peroxidised dietary lipids impair intestinal function and morphology of the small intestine villi of nursery pigs in dose-dependent manner. *Br. J. Nutr.* 114:1985-1992.
- Satterfield, M.C. and G. Wu. 2011. Growth and development of Brown adipose tissue: Significance and nutritional regulation. *Front. Biosci.* 16:1589-1608.
- Schreiber, L. 2010. Transport barriers made of cutin, suberin and associated waxes. *Trends Plant Sci.* 15:546-553.
- Smith, S.B. and G.E. Carstens. 2005. Ontogeny and metabolism of brown adipose tissue in livestock species. In: *Biology of Metabolism in Growing Animals*. Edited by D.G. Burren and H.J. Mersmann. Elsevier Science Publishers, Oxford.
- Smith, S.B. and D.R. Smith. 1995. *The Biology of Fat in Meat Animals: Current Advances*. Am. Soc. Anim. Sci. Campaign, IL.
- Smith, S.B., A. Yang, T.W. Larsen, and R.K. Tume. 1998. Positional analysis of triacylglycerols from bovine adipose tissue lipid varying in degree of unsaturation. *Lipids.* 33:197-207.
- Spector, A.A. and H.Y. Kim. 2015. Discovery of essential fatty acids. *J. Lipid Res.* 56:11-21.
- Stamp, D. and G. Jenkins. 2008. An overview of bile-acid synthesis, chemistry and function. In: *Bile Acids: Toxicology and Bioactivity*. Edited by G. Jenkins and L.J. Hardie. Royal Society of Chemistry, pp. 1-13.
- Swift, L.L., M.E. Gray, and V.S. LeQuire. 1988. Intestinal lipoprotein synthesis in control and hypercholesterolemic rats. *Biochim. Biophys. Acta.* 962:186-195.
- Takagi, T. and Y. Itabashi. 1977. Random combinations of acyl and alcoholic groups through overall wax esters of sperm whale head oils. *Comp. Biochem. Physiol. B.* 57:37-39.
- Tan, B.E., Y.L. Yin, Z.Q. Liu, W.J. Tang, H.J. Xu, X. F. Kong, X.G. Li et al. 2011. Dietary L-arginine supplementation differentially regulates expression of lipid-metabolic genes in porcine adipose tissue and skeletal muscle. *J. Nutr. Biochem.* 22:441-445.
- Tanford, C. 1980. *The Hydrophobic Effect: Formation of Micelles and Biological Membranes*. Wiley, New York.
- Tapia, J.B. 2014. Chromatographic analysis of fatty acids using 9-chloromethyl-anthracene and 2-bromomethylanthraquinone. Thesis. University of Northern Colorado, Greeley, CO.
- Tongnuanchan, P. and S. Benjakul. 2014. Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J. Food Sci.* 79:R1231-R1249.
- Tso, P. 1985. Gastrointestinal digestion and absorption of lipid. *Adv. Lipid Res.* 21:143-186.
- Turunen, M., J. Olsson, and G. Dallner. 2004. Metabolism and function of coenzyme Q. *Biochim. Biophys. Acta.* 1660:171-199.
- Vance, D.E. 2014. Phospholipid methylation in mammals: From biochemistry to physiological function. *Biochim. Biophys. Acta.* 1838:1477-1487.
- Wang, L., Y.Q. Hou, D. Yi, B.Y. Ding, D. Zhao, Z.X. Wang, H.L. Zhu et al. 2015. Dietary oleum cinnamomi alleviates intestinal injury. *Front. Bio. Sci.* 20:814-828.

- Washizu, T., I. Tomoda, and J.J. Kaneko. 1991. Serum bile acid composition of the dog, cow, horse and human. *J. Vet. Med. Sci.* 53:81-86.
- Wesson, L.G. and G.O. Burr. 1931. The metabolic rate and respiratory quotients of rats on a fat-deficient diet. *J. Biol. Chem.* 91:525-539.
- Whitney, T.R. and S.B. Smith. 2015. Substituting redberry juniper for oat hay in lamb feedlot diets: Carcass characteristics, adipose tissue fatty acid composition, and sensory panel traits. *Meat Sci.* 104:1-7.
- Wood, R. and R.D. Harlow. 1960. Structural analyses of rat liver phosphoglycerides. *Arch. Biochem. Biophys.* 135:272-281.
- Xie, Z., L. Yu and Q. Deng. 2012. Application of a fluorescent derivatization reagent 9-chloromethyl anthracene on determination of carboxylic acids by HPLC. *J. Chromatogr. Sci.* 50:464-468.
- Yabuuchi, H. and J.S. O'Brien. 1968. Positional distribution of fatty acids in glycerophosphatides of bovine gray matter. *J. Lipid Res.* 9:65-67.
- Zeng, Z., S. Zhang, H. Wang, and X. Piao. 2015. Essential oil and aromatic plants as feed additives in nonruminant nutrition: A review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6(1):7-8.
- Zerbe, P. and J. Bohlmann. 2015. Plant diterpene synthases: Exploring modularity and metabolic diversity for bioengineering. *Trends Biotechnol.* 33:419-428.
- Zinser, E., C.D. SPerka-Gottlieb, E.V. Fasch, S.D. Kohlwein, F. Paltauf, and G. Daum. 1991. Phospholipid synthesis and lipid composition of subcellular membranes in the unicellular eukaryote *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Bacteriol.* 173:2026-2034.

4 Proteinlerin ve Amino Asitlerin Kimyaları

“Protein” kelimesi, Yunanca, asal veya birincil anlamına gelen, “*proteios*” kelimesinden köken almaktadır (Meister 1965). Bir protein, peptid (-CO-NH-) bağlarıyla birbirine bağlanmış amino asitlerin (AAlar) büyük bir polimeridir. Farklı proteinler, farklı kimyasal özelliklere sahiptirler (örneğin, AA dizilimi, moleküller ağırlık, iyonik yük, üç boyutlu (3D) yapıları, hidrofobikliği ve işlevi). AAların genel yapısı **Şekil 4.1**'de gösterilmektedir. Bileşenlerini içeren (azot, karbon, oksijen, hidrojen ve kükürt atomları) bir proteinde bir veya birden fazla polipeptit zinciri bulunmaktadır. Bir protein, diğer atomlara veya moleküllere kovalent bir şekilde bağlanabilir, minerallere (örneğin, kalsiyum, demir, bakır, çinko, magnezyum ve manganez), bazı vitaminlere (örneğin, vitamin B₆, vitamin B₁₂ ve yağda çözünen vitaminler) ve/veya lipitlere kovalent olmayan şekilde tutunur. Protein, gıdalardaki temel azotlu makro besindir ve hayvansal dokuların temel bileşenidir (Wu 2016). Hayvanlarda yapısal, sinyal ve fizyolojik işlevleri vardır (**Tablo 4.1**).

AAlar, moleküler ağırlıklarına (küçük ve büyük), kimyasal özelliklerine (hidrofobik veya hidrofilik; net iyonik yükler [nötr, asidik veya bazik]; düz veya dallı zincir; yapı [primer amino asitler ve imino grup] ve azot [bir veya dört N atomu] ve kükürt [sıfırdan iki S atomuna kadar]) ve fizyolojik işlevlerine (örneğin, proteinojenik ve proteinojenik olmayan) göre sınıflandırılırlar. Protein sentezinde prekürsör olan 20 AA proteinojenik AAlar olarak isimlendirilirler (**Şekil 4.2**), oysa ki, protein sentezi için kullanılmayan AAlar proteinojenik olmayan AAlar olarak nitelendirilirler (Wu vd 2016). Hayvanlarda önemli fizyolojik işlevlere sahip olan proteinojenik olmayan AAlere örnekler **Şekil 4.3**'de gösterilmiştir. Proteinojenik ve proteinojenik olmayan AAların her ikisi de hayvanlarda farklı rollere sahiptirler ve bunların hepsi organizmanın homeostazisinin devam ettirilmesi için gereklidirler (Wu 2013). Yem malzemelerindeki hayvan ve bitki kaynaklı proteinler, vücuttaki çeşitli proteinlerdeki gibi farklı AA kompozisyonuna sahiptirler (Li vd 2011).

AA kimyası üzerine zengin bir tarih bulunmaktadır (Greenstein ve Winitz 1961; Vickery ve Schmidt 1931). Doğal ve sentetik AAlar üzerine araştırmalara Avrupa'da öncülük edilmiştir ve 200 yılı aşkın süredir de devam etmektedir. 1806 yılında, Fransız kimyacı L.N. Vauquelin ve P.J. Robiquet tarafından doğada keşfedilen ilk AA asparjindir. Bunu, 1820 yılında bir başka Fransız kimyacı olan H. Braconnot tarafından bir proteinden (jelatin gibi) glisin izole edilmesi takip etmiştir. 1925 yılında, yulaf proteini ve teozeinden treonin keşfedildi ve organizmadaki uzun 20 proteinojenik AA listesine son olarak ilave edildi. On yıl sonra, W.C. Rose, treoninin kazandığı varlığını belirledi. Bu çalışmayı, hayvanlar tarafından ihtiyaç duyulan bireysel AAları belirleyen saflaştırılmış rasyon formülasyonları takip etmiştir. Yem maddelerindeki ve hayvan proteinlerindeki peptid bağlı AAların analizi asit, alkali ve enzimatik hidrolizleri temelinde artık mümkündür (Dai vd 2014; Li vd 2011). Protein katkıları (rasyondaki AAların birincil kaynakları) hayvan rasyonlarındaki en pahalı bileşenlerdir. Bundan dolayı, hayvansal üretimin maksimum ekonomik dönüşü ve sürdürülebilirliği, protein ve AA kimyası üzerine yeterli bilginin olmasına ihtiyaç duyar (Wu vd 2014a,b). Hayvan beslemenin bu temel yönleri **Bölüm 4**'de vurgulanmıştır.

AMİNO ASİTLERİN TANIMI, KİMYASAL SINIFLANDIRILMASI VE ÖZELLİKLERİ

AALERİN TANIMI

α -, β -, γ -, δ – veya ε -AAlar

Bir organik madde olarak tanımlanan bir AA, hem amino hem de asit grupları bulundurmaktadır. Proteinojenik AAlardaki asit grup, karboksil grubudur (-COOH) fakat proteinojenik olmayan AAlarda sülfonik

enzimlerin katalizlediği reaksiyonlar, kas kontraksiyonları, hormon aracılı etkiler, immun yanıt, oksijen depolanması ve taşınması, beslenme, metabolik düzenleme, tamponlama ve gen ekspresyonu rolleri içeren vücutta önemli roller oynarlar. Hayvansal kaynaklı bileşenler, genellikle hayvanlardaki bileşimlerinde göre daha fazla protein ve daha dengeli AA oranları içerir ve bu nedenle bitkisel kaynaklı bileşenlerden daha fazla besin değerine sahiptirler. Diyetteki proteinin sindirimi, sonrasında ince bağırsaktaki enterositler içerisine emilmesi için daha küçük peptitlere ve serbest AA'lere hidrolize olan büyük peptitleri meydana getirir. Bundan dolayı, hayvanların proteinden ziyade AA'lerden oluşan rasyon gereksinimleri vardır.

Glisin, taurin, β -alanin ve γ -aminobutirik asit hariç, AA'ler L – ve D-konfigürasyonlarda meydana gelirler. Hayvanlarda L-AA'ler ve glisin protein sentezi için substrattırlar fakat bazı D-AA'ler fizyolojik sıvılarda bulunabilmektedir. AA'lerin çeşitliliği ayrıca farklı yan zincirlerle de ifade edilir. Nicelik olarak, L-AA'ler, hayvan organizmalarındaki toplam AA'lerin (L-AA'ler + D-AA'ler) muhtemelen $>99,8\%$ 'ini oluştururlar. Bütün AA'ler genellikle oda sıcaklığındaki (örneğin $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) kristal formda kararlıdır. Sistein (oksijenli çözeltilerde kolay şekilde sistine oksitlenen) ve glutamin (çok yavaş hızda kendiliğinden siklikleşerek piroglutamat oluşturur) hariç bütün AA'ler $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de suda ve fizyolojik çözeltilerde kararlıdır. Sistein ve glutamin hariç bütün AA'ler, oda sıcaklığında (örneğin, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) 5% TCA veya $0,75\text{ M HClO}_4$ çözeltilinde veya bir alkali (pH 8,4) çözeltide, en az 12 saat veya $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 ay süreyle kararlıdır. Yüksek sıcaklıktaki asit hidrolizin standart şartları altında (örneğin, 6 M HCl , $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 24 saat), glutamin, asparjin, triptofan ve metiyonin hariç bütün AA'ler yüksek oranda kararlıdır. Aksine, birçok AA (arjinin, asparjin, sistein, sistin, glutamin ve serin dahil) yüksek sıcaklıklarda (örneğin, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$) alkali hidrolizi tarafından yıkımlanır fakat triptofan alkali solüsyonda, belirlenebilir bir kayıp olmadan kararlıdır.

Serbest AA'ler ve peptit bağlı AA'ler çeşitli reaksiyonlara katılırlar. Bunlar: (1) AA'lerin α -amino gruplarının güçlü asitlerle reaksiyonu veya AA'lerin karboksil grubunun bir alkaliyle reaksiyonu; (2) AA'lerin α -amino grubunun asetilasyonu; (3) AA'in α -amino grubunun bir reaktifle konjügasyonu; (4) AA'lerin deaminasyon, oksidatif deaminasyon, transaminasyon, dekarboksilasyon, oksimetilasyon, yoğunlaşma, Esterleşme ve intramoleküler siklizasyonu; (5) metallerle şelasyon; (6) boya bağlanması ve (7) peptit sentezidir (Wu 2013). Belirli AA'ler ayrıca, tirozinin fenol halkasının iyotlanması, lizinin ϵ -NH₂ grubunun guanidinyasyonu ve Maillard reaksiyonu gibi belli başlı reaksiyonlara da katılırlar. Protein ve peptitlerdeki peptit bağları: (1) güçlü asitler ve bazların yanı sıra proteazlar ve peptidazlar tarafından hidrolize; (2) AA'leri stabilize etme ve (3) protein/peptit analizi (Biüret ve Lowry tahlili) temelinde bakır iyonlarıyla (Cu²⁺) reaksiyona girerek renkli ürünler şekillendirebilirler. Üstelik, hemoglobin O₂, CO₂ ve NO bağlar ve dolayısıyla gaz değişimi ve oksijenlenmede önemli bir rol oynar. Toplu olarak, protein hayvanların en temel bileşenidir ve çok büyük biyolojik öneme sahip çok yönlü kimyasal reaksiyonlar sergiler.

KAYNAKLAR

- Agerberth, B., J. Söderling-Barros, H. Jörnvall, Z.W. Chen, C.G. Ostenson, S. Efendic, and V. Mutt. 1989. Isolation and characterization of a 60-residue intestinal peptide structurally related to the pancreatic secretory type of trypsin inhibitor: Influence on insulin secretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 86:8590-8594.
- Ajinomoto. 2003. *Ajinomoto's Amino Acid Handbook*. Ajinomoto Inc., Tokyo, Japan.
- Assaad, H., L. Zhou, R.J. Carrol, and G. Wu. 2014. Rapid publication-ready MS-Word tables for one-way ANOVA, *SpringerPlus*. 3:474.
- Bischoff, R. and H. Schlüter. 2012. Amino acids: Chemistry, functionality and selected non-enzymatic posttranslational modifications. *J. Proteomics*. 75:2275-2296.
- Brosnan, J.T. 2001. Amino acids, then and now – A reflection on Sir Hans Krebs' contribution to nitrogen metabolism. *IUBMB Life*. 52:265-270.
- Chen, Z.W., T. Bergman, C.G. Ostenson, S. Efendic, V. Mutt, and H. Jörnvall. 1997. Characterization of dopuin, a polypeptide with special residue distributions. *Eur. J. Biochem*. 249:518-522.
- Choi, S.H., T.A. Wickersham, G. Wu, L.A. Gilmore, H.D. Edwards, S.K. Park, K.H. Kim, and S.B. Smith. 2014. Abomasal

- infusion of arginine stimulates *SCD* and *C/EBP β* gene expression, and decreases *CPT1 β* gene expression in bovine adipose tissue independent of conjugated linoleic acid. *Amino Acids*. 46:353-366.
- Cromwell, C.L., M.J. Azain, O. Adeola, S.K. Baidoo, S.D. Carter, T.D. Crenshaw, S.W. Kim, D.C. Mahan, P.S. Miller, and M.C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 89:2801-2811.
- Dai, Z.L., Z.L. Wu, S.C. Jia, and G. Wu. 2014. Analysis of amino acid composition in proteins of animal tissues and foods as pre-column *o*-phthalaldehyde derivatives by HPLC with fluorescence detection. *J. Chromatogr. B*. 964:116-127.
- Davis, T.A., H.V. Nguyen, R. Garciaa-Bravo, M.L. Fiorotto, E.M. Jackson, D.S. Lewis, D.R. Lee, and P.J. Reeds. 1994. Amino acid composition of human milk is not unique. *J. Nutr.* 124:1126-1132.
- Dinsmore, C.J. and D.C. Beshore. 2002. Recent advances in the synthesis of diketopiperazines. *Tetrahedron*. 58:3297-3312.
- Dominguez, R. and K.C. Holmes. 2011. Actin structure and function. *Annu. Rev. Biophys.* 40:169-186.
- Fernstrom, J.D., S.D. Munger, A. Scalfani, I.E. de Araujo, A. Roberts, and S. Molinary. 2012. Mechanisms for sweetness. *J. Nutr.* 142:1134S-1141S.
- Flynn, N.E., D.A. Knabe, B.K. Mallick, and G.Wu. 2000. Postnatal changes of plasma amino acids in suckling pigs. *J. Anim. Sci.* 78:2369-2375.
- Fridkin, M. And A. Patchornik. 1974. Peptide synthesis. *Annu. Rev. Biochem.* 43:419-443.
- Friedman, M. 1999. Chemistry, nutrition, and microbiology of D-amino acids. *J. Agric. Food Chem.* 47:3457-3479.
- Gilbert, E.R., E.A. Wong, and K.E. Webb, Jr. 2008. Board-invited review: Peptide absorption and utilization: Implications for animal nutrition and health. *J. Anim. Sci.* 86:2135-2155.
- Greenstein, J.P. and M. Winitz. 1961. *Chemistry of Amino Acids*. John Wiley, New York.
- Gupta, A, N.B. Kamarudin, C.Y.G. Kee, and R.B.M. Yunus. 2012. Extraction of keratin protein from chicken feather. *J. Chem. Chem. Eng.* 6:732-737.
- Hack, R., E. Ebert, G. Ehling, and K.H. Leist. 1994. Glufosinate ammonium – Some aspects of its mode of action in mammals. *Food Chem. Toxic.* 32:461-470.
- Hou, Y.Q., S.D. Hu, S.C. Jia, G. Nawaratna, D.S. Che, F.L. Wang, F.W. Bazer, and G. Wu. 2016. Whole-body synthesis of L-homoarginine in pigs and rats supplemented with L-arginine. *Amino Acids*. 48:993-1001.
- Hou, Y.Q., S.C. Jia, G. Nawaratna, S.D. Hu, S. Dahanayaka, F.W. Bazer, and G. Wu. 2015a. Analysis of L-homoarginine in biological samples by HPLC involving pre-column derivatization with *o*-phthalaldehyde and *N*-acetyl-L-cysteine. *Amino Acids*. 47:2005-2014.
- Hou, Y.Q., L.Wang, D. Yi, and G. Wu. 2015b. N-acetylcysteine and intestinal health: A focus on mechanisms of its actions. *Front. Biosci.* 20:872-891.
- Hou, Y.Q., Z.L. Wu, Z.L. Fai, G.H. Wang, and G. Wu. 2017. Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:24.
- Huges, A.B. 2012. *Amino Acids, Peptides and Proteins in Organic Chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- Ikada, K., M. Takeishi, N. Ishikawa, H. Hori, F. Sakurai, and T. Ishibashi. 2002. Relationship between dietary protein levels and concentration of plasma free amino acids in adult dogs. *J. Pet. Anim. Nutr.* 5:120-127.
- Jones, S. 2012. Computational and structural characterisation of protein associations. *Adv. Exp. Med. Biol.* 747:42-54.
- Karlsson, A., E.J. Eliason, L.T. Mydland, A.P. Farrel, and A. Kiessling. 2006. Postprandial changes in plasma free amino acid levels obtained simultaneously from the hepatic portal vein and the dorsal aorta in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Exp. Biol.* 209:4885-4894.
- Kawai, M., Y. Sekine-Hayakawa, A. Okiyama, and Y. Ninomiya. 2012. Gustatory sensation of L – and D-amino acids in humans. *Amino Acids*. 43:2349-2358.
- Kreil, G. 1997. D-amino acids in animal peptides. *Annu. Rev. Biochem.* 66:337-345.
- Kwon, H, T.E. Spencer, F.W. Bazer, and G.Wu. 2003. Developmental changes of amino acids in ovine fetal fluids. *Biol. Reprod.* 68:1813-1820.
- Kyte, J. 2006. *Structure in Protein Chemistry*, 2nd ed. Garland Science, New York, p. 832.
- Lamberth, C. 2016. Naturally occurring amino acid derivatives with herbicidal, fungicidal or insecticidal activity. *Amino Acids*. 48:929-940.
- Leibungut, M., C. Frick, M. Thanbichler, A. Böck, and N. Ban. 2005. Selenocysteine tRNA-specific elongation factor SelB is a structural chimaera of elongation and initiation factors. *EMBO J.* 24:11-22.
- Li, H., N. Anuwongcharoen, A.A. Malik, V. Prachayasittikul, J.E. Wikberg, and C. Nantasenamat. 2016. Roles of D-amino acids on the bioactivity of host defense peptides. *Int. J. Mol. Sci.* 17:pii: E1023.
- Li, P., Y.L. Yin, D.F. Li, S.W. Kim, and G. Wu. 2007. Amino acids in immun function. *Br. J. Nutr.* 98:237-252.
- Li, X.L., R. Rezaei, P. Li, and G. Wu. 2011. Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets. *Amino Acids*. 40:1159-1168.
- Lubec, G. and G.A. Rosenthal (eds). 1990. *Amino Acids: Biology and Medicine*. ESCOM Science Publisher B.V., Leiden, The Netherlands.
- Manso Filho, H.C., K.H. McKeever, M.E. Gordon, H.E. Manso, W.S. Lagakos, G. Wu, and M. Watford. 2009. Developmental changes in the concentration of glutamine and other amino acids in plasma and skeletal muscle of Standardbred foal.

- J. Anim. Sci.* 87:2528-2535.
- Marglin, A. and R.B. Merrifield. 1970. Chemical synthesis of peptides and proteins. *Annu. Rev. Biochem.* 39:841-866.
- Mateo, R.D., G. Wu, H.K. Moon, J.A. Carrol, and S.W. Kim. 2008. Effects of dietary arginine supplementation during gestation and lactation on the performance of lactating primiparous sows and nursing piglets. *J. Anim. Sci.* 86:827-835.
- McCalla, J., T. Waugh, and E. Lohry. 2010. Protein hydrolysates/peptides in animal nutrition. In: *Protein Hydrolysates in Biotechnology*. Edited by V.K. Pasupuleki and A.L. Demain. Springer Science, New York, pp. 179-190.
- Meister, A. 1965. *Biochemistry of Amino Acids*. Academic Press, New York.
- Mephram, T.B. and J.L. Linzell. 1966. A quantitative assessment of the contribution of individual plasma amino acids to the synthesis of milk proteins by the goat mammary gland. *Biochem. J.* 101:76-83.
- Moughan, P.J., A.J. Darragh, W.C. Smith, and C.A. Butts. 1990. Perchloric and trichloroacetic acids as precipitants of protein in endogenous ileal digesta from the rat. *J. Sci. Food Agric.* 52:13-21.
- Nagasawa, M., T. Murakami, S. Tomonaga, and M. Furuse. 2012. The impact of chronic imipramine treatment on amino acid concentrations in the hippocampus of mice. *Nutr. Neurosci.* 15:26-33.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academies Press, Washington, DC.
- Nishikawa, T. 2011. Analysis of free D-serine in mammals and its biological relevance. *J. Chromatogr. B.* 879:3169-3183.
- Nunn, P.B., E.A. Bell, A.A. Watson, and R.J. Nash. 2010. Toxicity of non-protein amino acids to humans and domestic animals. *Nat. Prod. Commun.* 5:485-504.
- Outerbridge, C.A., S.L. Marks, and Q.R. Rogers. 2002. Plasma amino acid concentrations in 36 dogs with histologically confirmed superficial necrolytic dermatitis. *Vet. Dermatol.* 13:177-186.
- Pasupuleki, V.K., and S. Braun. 2010. State of the art manufacturing of protein hydrolysates. In: *Protein Hydrolysates in Biotechnology*. Edited by V.K. Pasupuleki and A.L. Demain. Springer Science, New York, pp. 11-32.
- Pasupuleki, V.K., C. Holmes, and A.L. Demain. 2010. Applications of protein hydrolysates in biotechnology. In: *Protein Hydrolysates in Biotechnology*. Edited by V.K. Pasupuleki and A.L. Demain. Springer Science, New York, pp.1-9.
- Phang, J.M., S.P. Donald, J. Pandhare, and Y. Liu. 2008. The metabolism of proline, a stress substrate, modulates carcinogenic pathways. *Amino Acids.* 35:681-690.
- Rajalingam, D., C. Loftis, J.J. Xu, and T.K.S. Kumar. 2009. Trichloroacetic acid-induced protein precipitation involves the reversible association of a stable partially structured intermediate. *Protein Sci.* 18:980-993.
- Rennie, M.J. and K.D. Tipton. 2000. Protein and amino acid metabolism during and after exercise and the effects of nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 20:457-483.
- Sabatino, B.R., B.W. Rohrbach, P.J. Armstrong, and C.A. Kirk. 2013. Amino acid, iodine, selenium, and coat color status among hyperthyroid, siamese, and age-matched control cats. *J. Vet. Intern. Med.* 27:1049-1055.
- San Gabriel, A., E. Nakamura, H. Uneyama, and K. Torii. 2009. Taste, visceral information and exocrine reflexes with glutamate through umami receptors. *J. Med. Invest.* 56(Suppl):209-217.
- Shurson, G.C. 2017. The Role of biofuels coproducts in feeding the world sustainably. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 5:229-254.
- Song, M., S.K. Baidoo, G.C. Shurson, M.H. Whitney, L.J. Johnston, and D.D. Gallaher. 2010. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88:3313-3319.
- Stadtman, T.C. 1996. Selenocysteine. *Annu. Rev. Biochem.* 65:83-100.
- Sterck, L., S. Rombauts, K. Vandepoele, P. Rouze, and Y. Van de Peer. 2007. How many genes are there in plants (...and why are they there)? *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:199-203.
- Sugahara, M. 1995. Black vomit, gizzard erosion and gizzerosine. *Worlds Poult. Sci. J.* 51:293-306.
- Sweeney, H.L. and A. Houdusse. 2010. Structural and functional insights into the myosin motor mechanism. *Annu. Rev. Biophys.* 39:539-557.
- Veis, A. and J. Anesey. 1965. Modes of intermolecular cross-linking in mature insoluble collagen. *J. Biol. Chem.* 240:3899-3908.
- Vickery, H.B. and C.A. Schmidt. 1931. The history of the discovery of the amino acids. *Chem. Rev.* 9:169-318.
- Wagner, I. and H. Musso. 1983. New naturally occurring amino acids. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 22:816-828.
- Watford, M. and G. Wu. 2005. Glutamine metabolism in uricotelic species: Variation in skeletal muscle glutamine synthetase, glutaminase, glutamine levels and rates of protein synthesis. *Comp. Biochem. Physiol. B.* 140:607-614.
- Widyaratne, G.P. and R.T. Zijlstra. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87:103-114.
- Wilcockson, J. 1975. The differential precipitation of nucleic acids and proteins from aqueous solutions by ethanol. *Anal. Biochem.* 66:64-68.
- Wu, G. 1993. Determination of proline by reversed-phase high performance liquid chromatography with automated pre-column o-phthalaldehyde derivatization. *J. Chromatogr.* 641:168-175.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wu, G. 2016. Dietary protein intake and human health. *Food Funct.* 7:1251-1265.
- Wu, G., F.W. Bazer, and H.R. Cross. 2014a. Land-based production of animal protein: Impacts, efficiency, and sustainability. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1328:18-28.
- Wu, G., F.W. Bazer, Z.L. Dai, D.F. Li, J.J. Wang, and Z.L. Wu. 2014b. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis

- and beyond. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2:387-417.
- Wu, G., F.W. Bazer, W. Tuo, and S.P. Flynn. 1996. Unusual abundance of arginine and ornithine in porcine allantoic fluid. *Biol. Reprod.* 54:1261-1265.
- Wu, G., H.R. Cross, K.B. Gehring, J.W. Savell, A.N. Arnold, and S.H. McNeill. 2016. Composition of free and peptide-bound amino acids in beef Chuck, loin, and round cuts. *J. Anim. Sci.* 94:2603-2613.
- Wu, G. and C.J. Meininger. 2008. Analysis of citrulline, arginine and methylarginines using high-performance liquid chromatography. *Methods Enzymol.* 440:177-189.
- Wu, G. and S.M. Morris, Jr. 1998. Arginine metabolism: Nitric oxide and beyond. *Biochem. J.* 336:1-17.
- Yamuchi, O., A. Odani, and M. Takani. 2002. Metal-amino acid chemistry. Weak interactions and related functions of side chain groups. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 2002:3411-3421.
- Yen, J.T., B.J. Kerr, R.A. Easter, and A.M. Parkhurst. 2004. Difference in rates of net protal absorption between crystalline and protein-bound lysine and threonine in growing pigs fed once daily. *J. Anim. Sci.* 82:1079-1090.
- Yin, J., W.K. Ren, Y.Q. Hou, M.M. Wu, H. Xiao, J.L. Duan, Y.R. Zhao, T.J. Li, Y.L. Yin, G. Wu, and C.M. Nyachoti. 2015. Use of homoarginine for measuring true ileal digestibility of amino acids in food protein. *Amino Acids.* 47:1795-1803.
- Zhang, H., C.A. Hu, J. Kovacs-Nolan, and Y. Mine. 2015. Bioactive dietary peptides and amino acids in inflammatory bowel disease. *Amino Acids.* 47:2127-2141.

5 Karbonhidratların Metabolizması ve Besleme

Karbonhidratlar, karasal herbivor ve omnivorların yem maddelerinde en bol bulunan besin maddesidir ve sonuçta bu hayvanlar için en bol bulunan metabolik yakıtlardır. Aksine, balık rasyonları, karasal hayvanlarından daha az miktarda karbonhidrat içerirler ve karnivorların katı gıdaları sınırlı miktarlarda karbonhidrat sağlar. Polisakkaritlerin sindirimi türler arasında, verilen belirli bir türün sindirim sisteminin farklı bölümlerinde belirgin farklılıklar gösterir (McDonald vd 2011). Nonruminantlarda, nişasta ve glikojen, serbest glikoz elde edebilmek için ince bağırsaklarda sindirilebilen kompleks karbonhidratlardır, oysa diyet lifleri kalın bağırsaklarda mikroplar tarafından kısa zincirli yağ asitlerine fermente edilir (SCFA'lar), fermentasyonun derecesi farklı türler arasında büyük farklılıklar göstermektedir (Stevens ve Hume 1998). Aksine, ruminantlarda, nişasta, glikojen ve diyet lifleri, SCFA'lar ve metan üretmek için rumende yoğun olarak fermente edilirler ve ön mideden kaçan diyet lifleri kalın bağırsakta fermente edilir. Sonuç olarak, ruminantlarda glikozun ince veya kalın bağırsaklardan kan dolaşıma emilimi çok azdır veya hiç yoktur, ancak karaciğerde propiyonatin glikoza dönüşümü çok aktiftir (Thompson vd 1975). Benzer şekilde, seminal veziküllerde ve gebelikte glikozun früktoza dönüşümü, toynaklılarda başarılı üreme için hayati önem taşımaktadır (Kim vd 2012). Bundan dolayı, karbonhidrat metabolizmasının çeşitliliği, hayvanların çevrelerine adaptasyonu, hayatta kalma ve gelişmeleri için bir stratejidir.

Glikoz ve SCFA'lar ruminant ve nonruminantların her ikisi için de önemlidir. Özellikle, glikoz, plazmadaki keton cisimlerinin konsantrasyonu düşük olduğunda (örneğin, < 0,1 mM; Brosnan 1999) beslenme veya postabsorptif durumdaki beyin için neredeyse tek metabolik yakıttır. Bütün fizyolojik durumlar altında, glikoz, aynı zamanda kırmızı kan hücreleri için tek enerji kaynağıdır ve immun sistem hücreleri, retina ve renal medulla için metabolik bir yakıttır (Swenson ve Reece 1984). Bütün hücre tiplerinde, glikoz, nitrik oksit sentetaz (Devlin 2011) ve antioksidatif enzimlerin (Fang vd 2002; Krebs 1964) içinde olduğu birçok enzim için gerekli olan NADPH'nin ana kaynağıdır. Bundan dolayı, diyetdeki karbonhidratların emiliminin yanı sıra glikozun endojen sentezi ve katabolizmasıyla ulaşılan kandaki glikoz homestazının devam ettirilmesi memeliler, kuşlar ve balıkların hayatta kalması, büyümesi ve gelişmesi için gereklidir. Diğer taraftan, bütirat (bir SCFA) kalın bağırsak epitel hücreleri için ana metabolik yakıttır ve dolayısıyla diyet lifleri bağırsak sağlığında önemli bir rol oynar (Turner ve Lupton 2011).

Diyet karbonhidratları, özellikle lifler, ruminant ve nonruminantların her ikisindeki besin maddelerinin sindirim, emilim ve metabolizmasını etkiler (Bondi 1987; Pond vd 1995). Örneğin, ruminantlarda yüksek nişasta alımı, rumendeki bakteriler tarafından diyet proteinlerinin kullanımını baskılar (Bondi 1987), oysa diyet liflerinin aşırı tüketilmesi nonruminantların ince bağırsaklarındaki protein, çözülebilir karbonhidrat ve toplam kuru madde (KM) sindirimini düşürür (Zhang vd 2013). Bu durum, nişasta olamayan ve glikojen olmayan karbonhidratların bağırsak sağlığını geliştirmede faydalarından nasıl yararlanırken, bunların ince bağırsaktaki besin sindirimi ve emilimi üzerine olan olumsuz etkilerinin nasıl hafifletileceği hayvan beslemedeki bir muammadır. Bu tür beslenme ikileminin daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak, **Bölüm 5**, nonruminantlar, ruminantlar ve balıklarda karbonhidratların sindirimi ve emiliminin yanı sıra, glikolizis, Krebs döngüsü, pentoz döngüsü, üronik asit yolağı, glikoneogenez, glikojenez, glikojenoliz ve diğer ilişkili yollarla glikoz metabolizmasına aydınlatmaktadır.

D-glikoz enterositler tarafından emildikten sonra, birden fazla yolla metabolize edilir. Tüm hayvan hücrelerinin sitozolünde D-glukoz, piruvat ve NADH elde etmek için glikoliz yoluyla kullanılır. Piruvat, mitokondrisi olmayan hücrelerde veya mitokondrisi olan hücrelerde, glikoliz elektron taşıma zincirinin oksitleyebileceğinden daha hızlı NADH ürettiğinde, örneğin hipoksik koşullar altında veya yoğun egzersiz sırasında l-laktata dönüştürülür. Oksijen kaynağı yeterli olduğunda, piruvat ve NADH özel taşıyıcı sistemler aracılığıyla sitozolden mitokondriye taşınır, burada piruvat PDH tarafından asetil-CoA'ya ve ardından Krebs döngüsü yoluyla CO₂, FADH₂ ve NADH'ye oksitlenir. İndirgeyici eşdeğerler (FADH₂ ve NADH) mitokondriyal solunum zinciri aracılığıyla H₂O'ya oksitlenir ve 1 molekül FADH₂ ve NADH başına sırasıyla 1,5 ve 2,5 molekül ATP üretilir. D-glukozun karaciğer, yumurtalıklar, plasenta ve erkek seminal veziküllerinde d-fruktoza dönüştürüldüğüne dikkat edilmelidir. Üreme kanalında, d-fruktoz mTOR hücre sinyalinin aktive eder, konseptus gelişimini destekler ve sperm canlılığını korur. Tüm hayvanlarda, fazla D-glikoz, glikojenez yoluyla öncelikle karaciğer ve iskelet kasında glikojen olarak depolanır ve glikojen fosforilaz cAMP'ye bağlı protein kinaz tarafından aktive edildiğinde (örn, oruç ve ağır egzersiz koşullarında) d-Glikoz ayrıca NADPH ve riboz-5-P üretmek için pentoz döngüsü yoluyla ve glukuronik asit, askorbik asit (bazı türlerde C vitamini) ve pentoz üretmek için üronik asit yoluyla metabolize edilir.

Katabolizmasının yanı sıra D-glukoz, hayvanların karaciğer ve böbrekleri tarafından türe ve beslenme durumuna bağlı bir şekilde glukojenik substratlardan (örn. alanin, glutamin, serin, gliserol, laktat, piruvat ve propiyonat) sentezlenir. Glikoz veya glikoz içeren karbonhidratların diyetle alımı sınırlı olduğunda veya yem alımı olmadığında, glukojenik AA'lerden ve gliserolden glikoz sentezi, hem geniş getiren hem de geniş getirmeyen hayvanların dokuları, özellikle beyin ve kırmızı kan hücreleri için glikoz sağlamak üzere oldukça aktiftir. Buna ek olarak, diyet karbonhidratları (örneğin nişasta, glikojen ve oligosakkaritler) rumende SCFA oluşturmak için kapsamlı bir şekilde fermente edilir ve propiyonattan glukoneogenez yolu beslenen ruminantlarda özellikle önemlidir. Bu nedenle, bu hayvanlar hayatta kalmak ve büyümek için glikoz sentezlemelidir. Laktasyondaki meme bezlerinin epitel hücrelerinde glikoz; galaktoz ve laktoz sentezi için kullanılır. Diyetle alınan galaktoz, ilk olarak glikoza dönüştürülerek kullanılır. Glikoz metabolizması yolları hormonlar (örn. insülin, glukagon, katekolaminler ve prolaktin), hücresel enerji durumu ve kandaki glikoz homeostazını korumak için metabolitlerin hücresel konsantrasyonları tarafından düzenlenir. Özellikle glikoliz ve glukoneogenez, karaciğerdeki fruktoz-2,6-bisfosfat tarafından karşılıklı olarak kontrol edilir. Bu tür iyi koordine edilmiş metabolik kontrol, tüm hayvanlar için büyüme, gelişme ve sağlığın yanı sıra diyet karbonhidratlarının verimli kullanımı ve glikoz homeostazı için gereklidir. Aksi takdirde, hipoglisemi tüm hayvanlarda sinirsel işlev bozukluğu ile nihayetinde koma ve ölümle sonuçlanır. Benzer şekilde, glikozun iskelet kası tarafından kullanımının bozulması diyabetle sonuçlanır ve galaktoz katabolizmasının azalması ölümlere neden olur ve tavuklar galaktozemiye karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, karbonhidrat metabolizmasının mükemmel bir şekilde düzenlenmesi hayvanların büyümesi, gelişmesi ve hayatta kalması için hayati önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akhter, S., M.S. Ansari, B.A. Rakha, S.M.H. Andrabi, M. Qayyum, and N. Ullah. 2014. Effect of fructose in extender on fertility of buffalo semen. *Pakistan J. Zool.* 46:279–281.
- Akin, D.E. and W.S. Borneman. 1990. Role of rumen fungi in fiber degradation. *J. Dairy Sci.* 73:3023–3032.
- Alonso, M.D., J. Lomako, W.M. Lomako, and W.J. Whelan. 1995. A new look at the biogenesis of glycogen. *FASEB J.* 9:1126–1137.
- Arelovich, H.M., C.S. Abney, J.A. Vizcarra, and M.L. Galyean. 2008. Effects of dietary neutral detergent fiber on intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: Analysis of published data. *Prof. Anim. Sci.* 24:375–383.
- Aschenbach, J.R., K. Steglich, G. Gäbel, and K.U. Honscha. 2009. Expression of mRNA for glucose transport proteins in jejunum, liver, kidney and skeletal muscle of pigs. *J. Physiol. Biochem.* 65:251–266.
- Bach Knudsen, K.E. 2001. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90:3–20.
- Bach Knudsen, K.E., N.P. Nørskov, A.K. Bolvig, M.S. Hedemann, and H.N. Lærke. 2017. Dietary fibers and associated phytochemicals in cereals. *Mol. Nutr. Food Res.* 61(7):1–15.
- Bakke, A.M., C. Glover, and A. Kroghdahl. 2011. Feeding, digestion and absorption of nutrients. *Fish Physiol.* 30:57–110.

- Baldwin, R.L., L.J. Koong, and M.J. Ulyatt. 1977. Model of ruminant digestion. *Agr-Bio. Syst.* 2:282.
- Barceló-Fimbres, M. and G.E. Seidel. 2008. Effects of embryo sex and glucose or fructose in culture media on bovine embryo development. *Reprod. Fertil. Dev.* 20:141–142.
- Bedford, M.R. and A.J. Morgan. 1996. The use of enzymes in poultry diets. *World's Poult. Sci. J.* 52:61–68.
- Bergman, E.N. 1983. The pool of cellular nutrients: Glucose. In: *World Animal Science*, Vol. 3. Edited by P.M. Riis, Elsevier, New York, pp. 173–196.
- Bergman, E.N., R.P. Brockman, and C.F. Kaufman. 1974. Glucose metabolism in ruminants: Comparison of whole-body turnover with production by gut, liver, and kidneys. *Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol.* 33:1849–1854.
- Binet, M.R., M.N. Rager, and O.M. Bouvet. 1998. Fructose and mannose metabolism in *Aeromonas hydrophila*: Identification of transport systems and catabolic pathways. *Microbiology.* 144:1113–1121.
- Blaak, E.E., J.-M. Antoine, D. Benton, I. Björck, L. Bozzetto, F. Brouns, M. Diamant et al. 2012. Impact of postprandial glycaemia on health and prevention of disease. *Obesity Rev.* 13:923–984.
- Bondi, A.A. 1987. *Animal Nutrition*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Brøkner, C., D. Austbø, J.A. Næsset, D. Blache, K.E. Bach Knudsen, and A.H. Tauson. 2016. Metabolic response to dietary fibre composition in horses. *Animal.* 10:1155–1163.
- Brøkner, C., D. Austbø, J.A. Næsset, K.E. Knudsen, and A.H. Tauson. 2012. Equine pre-caecal and total tract digestibility of individual carbohydrate fractions and their effect on caecal pH response. *Arch. Anim. Nutr.* 66:490–506.
- Brosnan, J.T. 1999. Comments on metabolic needs for glucose and the role of gluconeogenesis. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53(Suppl. 1):S107–S111.
- Castillo, J., D. Crespo, E. Capilla, M. Díaz, F. Chauvigné, J. Cerdà, and J.V. Planas. 2009. Evolutionary structural and functional conservation of an ortholog of the GLUT2 glucose transporter gene (SLC2A2) in zebrafish. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 297:R1570–R1581.
- Chesson, A. and C.W. Fossberg. 1997. Polysaccharides degradation by rumen microorganisms. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*, 2nd ed. Edited by P.N. Hobson and C.S. Stewart. Blackie, London, UK, pp. 329–381.
- Chotinsky, D., E. Toncheva, and Y. Pro_rov. 2001. Development of disaccharidase activity in the small intestine of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 42:389–393.
- Chung, S.T., S.K. Chacko, A.L. Sunehag, and M.W. Haymond. 2015. Measurements of gluconeogenesis and glycogenolysis: A methodological review. *Diabetes.* 64:3996–4010.
- Clark, P.W. and L.E. Armentano. 1993. Effectiveness of neutral detergent fibre in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.* 76:2644–2650.
- Coelho, A.I., G.T. Berry, and M.E. Rubio-Gozalbo. 2015. Galactose metabolism and health. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 18:422–427.
- Cuatrecasas, P. and S. Segal. 1966. Galactose conversion to D-xylulose: An alternate route of galactose metabolism. *Science.* 153:549–551.
- Deng, D. and N. Yan. 2016. GLUT, SGLT, and SWEET: Structural and mechanistic investigations of the glucose transporters. *Protein Sci.* 25:546–558.
- Devlin, T.M. 2011. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Douglas, M.W., M. Persia, and C.M. Parsons. 2003. Impact of galactose, lactose, and Grobionic-B70 on growth performance and energy utilization when fed to broiler chicks. *Poult. Sci.* 82:1596–1601.
- Downs, D.M. 2006. Understanding microbial metabolism. *Annu. Rev. Microbiol.* 60:533–559.
- Drozdowski, L.A. and A.B.R. Thomson. 2006. Intestinal sugar transport. *World J. Gastroenterol.* 12:1657–1670.
- Driedzic, W.R., K.A. Clow, C.E. Short, and K.V. Ewart. 2006. Glycerol production in rainbow smelt (*Osmerus mordax*) may be triggered by low temperature alone and is associated with the activation of glycerol-3-phosphate dehydrogenase and glycerol-3-phosphatase. *J. Exp. Biol.* 209:1016–1023.
- Drozdowski, L.A., T. Clandinin, and A.B.R. Thomson. 2010. Ontogeny, growth and development of the small intestine: Understanding pediatric gastroenterology. *World J. Gastroenterol.* 16:787–799.
- Egan, J.M., T.E. Henderson, and M. Bernier. 1995. Arginine enhances glycogen synthesis in response to insulin in 3T3-L1 adipocytes. *Am. J. Physiol.* 269:E61–E66.
- Ekberg, K., V. Chandramouli, K. Kumaran, W.C. Schumann, J. Wahren, and B.R. Landau. 1995. Gluconeogenesis and glucuronidation in liver *in vivo* and the heterogeneity of hepatocyte function. *J. Biol. Chem.* 270:21715–21717.
- Ellis, W.C., J.H. Matis, and C. Lascano. 1979. Quantitating ruminal turnover. *Fed. Proc.* 38:2702–2706.
- Eswaran, S., J. Muir, and W.D. Chey. 2013. Fiber and functional gastrointestinal disorders. *Am. J. Gastroenterol.* 108:718–727.
- Fang, Y.Z., S. Yang, and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 18:872–879.
- Fellner, V. 2002. Rumen microbes and nutrient management. *Proceedings of American Registry of Professional Animal Scientists—California Chapter Conference*, October 2002, Coalinga, California.
- Ferraris, R.P. 2001. Dietary and developmental regulation of intestinal sugar transport. *Biochem. J.* 360:265–276.
- Ferraris, R.P., R.K. Buddington, and E.S. David. 1999. Ontogeny of nutrient transporters. In: *Development of the Gastrointestinal Tract*. Edited by I.R. Sanderson and W.A. Walker. B.C. Decker Inc., Hamilton, Canada, pp. 123–146.
- Firkins, J.L., Z. Yu, and M. Morrison. 2007. Ruminal nitrogen metabolism: Perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy. *J. Dairy Sci.* 90(E. Suppl.):E1–E16.
- Flint, A., A. Raben, A. Astrup, and J.J. Holst. 1998. Glucagon-like peptide 1 promotes satiety and suppresses energy intake in humans. *J. Clin. Invest.* 101:515–520.
- Frøystad, M.K., E. Lilleeng, A. Sundby, and A. Krogdahl. 2006. Cloning and characterization of alpha-amylase from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Comp. Biochem. Physiol. A* 145:479–492.
- Gaby, A.R. 2005. Adverse effects of dietary fructose. *Altern. Med. Rev.* 10:294–306.

- Galyean, M.L. and P.J. Defoor. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 2):E8–E16.
- Gerrits, W.J.J., J. Dijkstra, and J. France. 1997. Description of a model integrating protein and energy metabolism in preruminant calves. *J. Nutr.* 127:1229–1242.
- Gilbert, E.R., H. Li, D.A. Emmerson, K.E. Webb Jr., and E.A. Wong. 2007. Developmental regulation of nutrient transporter and enzyme mRNA abundance in the small intestine of broilers. *Poult. Sci.* 86:1739–1753.
- Gonzales, G.F. 2001. Function of seminal vesicles and their role on male fertility. *Asian J. Androl.* 3:251–258.
- Gordon, M., H. Wells, and S. Segal. 1971. Enzymes of the sugar nucleotide pathway of galactose metabolism in chick liver. *Enzyme* 12:513–522.
- Greenway, F., C.E. O’Neil, L. Stewart, J. Rood, M. Keenan, and R. Martin. 2007. Fourteen weeks of treatment with Viscober (R) increased fasting levels of glucagon-like peptide-1 and peptide-YY. *J. Med. Food.* 10:720–724.
- Hall, J.R., C.E. Short, and W.R. Driedzic. 2006. Sequence of Atlantic cod (*Gadus morhua*) GLUT4, GLUT2 and GPDH: Developmental stage expression, tissue expression and relationship to starvation-induced changes in blood glucose. *J. Exp. Biol.* 209:4490–4502.
- Han, H.S., G. Kang, J.S. Kim, B.H. Choi, and S.H. Koo. 2016. Regulation of glucose metabolism from a liver-centric perspective. *Exp. Mol. Med.* 48:e218.
- Heald, P.J. 1951. The assessment of glucose-containing substances in rumen microorganisms during a digestion cycle in sheep. *Br. J. Nutr.* 5:84–93.
- Hers, H.G. and M. Van Schaftingen. 1982. Fructose 2,6-bisphosphate 2 years after its discovery. *Biochem. J.* 206:1–12.
- Hoek, J.B. and J. Rydstrom. 1988. Physiological roles of nicotinamide nucleotide transhydrogenase. *Biochem. J.* 254:1–10.
- Holt, S., J. Brand, C. Soveny, and J. Hansky. 1992. Relationship of satiety to postprandial glycaemic, insulin and cholecystokinin responses. *Appetite* 18:129–141.
- Hook, S.E., A.G. Wright, and B.W. McBride. 2010. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea* 2010: Article ID 945785.
- Huhtanen, P., S. Ahvenjärvi, M.R. Weisbjerg, and P. NØrregaard. 2008. Digestion and passage of fibre in ruminants. In: *Ruminant Physiology*. Edited by K. Sejrsen, T. Hvelplund, and M.O. Nielsen. Wageningen Academic, Wageningen, The Netherlands, pp. 87–135.
- Huston, J.E., B.S. Rector, W.C. Ellis, and M.L. Allen. 1986. Dynamics of digestion in cattle, sheep, goats and deer. *J. Anim. Sci.* 62:208–215.
- Jensen, R.B., D. Austbø, K.E. Bach Knudsen, and A.H. Tauson. 2014. The effect of dietary carbohydrate composition on apparent total tract digestibility, feed mean retention time, nitrogen and water balance in horses. *Animal.* 8:1788–1796.
- Jones, A.R. 1998. Chemical interference with sperm metabolic pathways. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 53:227–234.
- Jouany, J.P. and K. Ushida. 1999. The role of protozoa in feed digestion—Review. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 12:113–128.
- Julliard, V., A. De Fombelle, and M. Varloud. 2006. Starch digestion in horses: The impact of feed processing. *Livest. Sci.* 100:44–52.
- Kandler, O. 1983. Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek* 49:209–224.
- Katz, J. and H.G. Wood. 1963. The use of C¹⁴O₂ yields from glucose-1 – and – 6-C¹⁴ for the evaluation of the pathways of glucose metabolism. *J. Biol. Chem.* 238:517–523.
- Kim, J.Y., G.W. Song, G. Wu, and F.W. Bazer. 2012. Functional roles of fructose. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 109:E1619–E1628.
- Kletzien, R.F., P.K. Harris, and L.A. Foellmi. 1994. Glucose-6-phosphate dehydrogenase: A “housekeeping” enzyme subject to tissue-specific regulation by hormones, nutrients, and oxidant stress. *FASEB J.* 8:174–181.
- Krasnov, A., H. Teerijoki, and H. Mölsä. 2001. Rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) hepatic glucose transporter. *Biochim. Biophys. Acta.* 1520:174–178.
- Krebs, H.A. 1964. Gluconeogenesis. *Proc. R. Soc. (Biol).* 159:545.
- Krebs, H.A., R.A. Freedland, R. Hems, and M. Stubbs. 1969. Inhibition of hepatic gluconeogenesis by ethanol. *Biochem. J.* 112:117–124.
- Krisman, C.R. and R. Barengo. 1975. A precursor of glycogen biosynthesis: Alpha-1,4-glucoan-protein. *Eur. J. Biochem.* 52:117–123.
- Kristensen, N.B. and G. Wu. 2012. Metabolic functions of the porcine liver. In: *Nutritional Physiology of Pigs*, Chapter 13. Edited by K.E. Bach, N.J. Knudsen, H.D. Kjeldsen, and B.B. Jensen. Danish Pig Research Center, Copenhagen, Denmark, pp. 1–17.
- Kwon, H., T.E. Spencer, F.W. Bazer, and G. Wu. 2003. Developmental changes of amino acids in ovine fetal fluids. *Biol. Reprod.* 68:1813–1820.
- Larrabee, M.G. 1989. The pentose cycle (hexose monophosphate shunt). *J. Biol. Chem.* 264:15875–15879.
- Larrabee, M.G. 1990. Evaluation of the pentose phosphate pathway from ¹⁴CO₂ data. *Biochem. J.* 272:127–132.
- Lechner-Doll, M., M. Kaske, and W. van Engelhardt. 1991. Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. In: *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Edited by T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima. Academic Press, Inc., New York, NY, pp. 455–482.
- Lindberg, J.E. 2014. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:15.
- Longland, A.C., J. Carruthers, and A.G. Low. 1994. The ability of piglets 4 to 8 weeks old to digest & perform on diets containing two contrasting sources of non-starch polysaccharide. *Anim. Prod.* 58:405–410.
- Macrae, J.C. and D.G. Armstrong. 1969. Studies on intestinal digestion in sheep. II. Digestion of carbohydrate constituents in hay, cereal, and hay-cereal rations. *Br. J. Nutr.* 23:377–387.
- Manners, M.J. 1976. The development of digestive function in the pig. *Proc. Nutr. Soc.* 35:49–55.
- McAllister, T.A., Y. Dong, L.J. Yanke, H.D. Bae, and K.-J. Cheng. 1993. Cereal grain digestion by selected strains of ruminal fungi. *Can. J. Microbiol.* 39:113–118.
- McAuley, M., H. Kristiansson, M. Huang, A.L. Pey, and D.J. Timson 2016. Galactokinase promiscuity: A question of _exi-

- bility? *Biochem. Soc. Trans.* 44:116–122.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York, NY.
- Miles, R.D., D.R. Campbell, J.A. Yates, and C.E. White. 1987. Effect of dietary fructose on broiler chick performance. *Poult. Sci.* 66:1197–1201.
- Mountfort, D.O. and R.A. Asher. 1988. Production of α -amylase by the ruminal anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 54:2293–2299.
- Mráček, T., Z. Drahotka, and J. Houštěk. 2013. The function and the role of the mitochondrial glycerol-3-phosphate dehydrogenase in mammalian tissues. *Biochim. Biophys. Acta.* 1827:401–410.
- Murray, R.K., D.K. Granner, P.A. Mayes, and V.W. Rodwell. 2001. *Harper's Review of Biochemistry*. Appleton & Lange, Norwalk, Connecticut.
- Nakayama, A., K. Yamamoto, and S. Tabata. 2001. Identification of the catalytic residues of bifunctional glycogen debranching enzyme. *J. Biol. Chem.* 276:28824–28828.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, DC.
- Neese, R.A., J.M. Schwarz, D. Faix, S. Turner, A. Letscher, D. Vu, and P. Hellerstein. 1995. Gluconeogenesis and intracellular triose phosphate flux in response to fasting or substrate loads. *J. Biol. Chem.* 270:14452–14463.
- Nizielski, S.E., J.E. Morley, T.J. Bartness, U.S. Seal, and A.S. Levine. 1986. Effects of manipulations of glucoregulation on feeding in the ground squirrel. *Physiol. Behav.* 36:53–58.
- Noy, Y. and D. Sklan. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poult. Sci.* 74:366–373.
- Oba, M. and M.S. Allen. 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: Effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:589–596.
- Olson, A.L. and J.E. Pessin. 1996. Structure, function, and regulation of the mammalian facilitative glucose transporter gene family. *Annu. Rev. Nutr.* 16:235–256.
- Palm, D.C., J.M. Rohwer, and J.S. Hofmeyr. 2013. Regulation of glycogen synthase from mammalian skeletal muscle—A unifying view of allosteric and covalent regulation. *FEBS J.* 280:2–27.
- Permyakov, E.A., S.E. Permyakov, L. Breydo, E.M. Redwan, H.A. Almehdar, and V.N. Uversky. 2016. Disorder in milk Proteins: α -lactalbumin. *Curr. Protein Pept. Sci.* 17:352–367.
- Polakof, S. and J.L. Soengas. 2013. Evidence of sugar sensitive genes in the gut of a carnivorous fish species. *Comp. Biochem. Physiol. B* 166:58–64.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 4th ed. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Porter, J.W.G. 1969. Digestion in the pre-ruminant animal. *Proc. Nutr. Soc.* 28:115–121.
- Refstie, S., B. Svihus, K.D. Shearer, and T. Storebakken. 1999. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products. *Aquaculture.* 79:331–345.
- Rezaei, R., Z.L. Wu, Y.Q. Hou, F.W. Bazer and G. Wu. 2016. Amino acids and mammary gland development: nutritional implications for neonatal growth. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:20.
- Richard, P. and S. Hilditch. 2009. D-Galacturonic acid catabolism in microorganisms and its biotechnological relevance. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 82:597–604.
- Rønnestad, I., M. Yúfera, B. Ueberschär, L. Ribeiro, Ø. Sæle, and C. Boglione. 2013. Feeding behaviour and digestive physiology in larval fish: Current knowledge, and gaps and bottlenecks in research. *Rev. Aquaculture.* 5(Suppl. 1):S59–S98.
- Sala-Rabanal, M., M.A. Gallardo, J. Sánchez, and J.M. Planas. 2004. Na-dependent D-glucose transport by intestinal brush border membrane vesicles from gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *J. Membr. Biol.* 201:85–96.
- Schirren, C. 1963. Relation between fructose content of semen and fertility in man. *J. Reprod. Fertil.* 5:347–358.
- Shiau, S.Y., H.L. Yu, S. Hwa, S.Y. Chen, and S.I. Hsu. 1988. The influence of carboxymethylcellulose on growth, digestion, gastric emptying time and body composition of tilapia. *Aquaculture.* 70:345–354.
- Shima, S., E. Warkentin, R.K. Thauer, and U. Ermler. 2002. Structure and function of enzymes involved in the methanogenic pathway utilizing carbon dioxide and molecular hydrogen. *J. Biosci. Bioeng.* 93:519–530.
- Simoyi, M. F., M. Milimu, R. W. Russell, R. A. Peterson, and P. B. Kenney. 2006. Effect of dietary lactose on the productive performance of young turkeys. *J. Appl. Poult Res.* 15:20–27.
- Stevens, C.E. and I.D. Hume. 1998. Contributions of microbes in vertebrate gastrointestinal tract to production and conservation of nutrients. *Physiol. Rev.* 78:393–427.
- Sundell, K.S. and I. Rønnestad. 2011. Intestinal absorption. In: *Encyclopedia of Fish Physiology*. Edited by A.P. Farrell, Elsevier, New York, NY, pp. 1311–1321.
- Svihus, B. 2014. Starch digestion capacity of poultry. *Poult. Sci.* 93:2394–2399.
- Swenson, M.J. and W.O. Reece. 1984. *Duke's Physiology of Domestic Animals*. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Symonds, H.W. and G.D. Baird. 1975. Evidence for the absorption of reducing sugar from the small intestine of the dairy cow. *Br. Vet. J.* 131:17–22.
- Tanaka, N. and M.J. Johnson. 1971. Equilibrium constant for conversion of pyruvate to acetyl phosphate and formate. *J. Bacteriol.* 108:1107–1111.
- Teerijoki, H., A. Krasnov, T. Pitkänen, and H. Mölsä. 2000. Cloning and characterization of glucose transporter in teleost fish rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biochim. Biophys. Acta.* 1494:290–294.
- Thompson, J.R., G. Weiser, K. Seto, and A.L. Black. 1975. Effect of glucose load on synthesis of plasma glucose in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 58:362–370.

- Turner, N.D. and J.R. Lupton. 2011. Dietary fiber. *Adv. Nutr.* 2:151–152.
- Van de Werve, G., A. Lang, C. Newgard, M.C. Mechin, Y. Li, and A. Berteloot. 2000. New lessons in the regulation of glucose metabolism taught by the glucose 6-phosphatase system. *Eur. J. Biochem.* 267:1533–1549.
- Van Schaftingen, E. 1995. Glucosamine-sensitive and -insensitive deamination of [2-³H]glucose in isolated rat hepatocytes: A study of the contributions of glucokinase and glucose-6-phosphatase. *Biochem. J.* 308:23–29.
- Van Schaftingen, E., Hue, L. and Hers, H.G. 1980. Fructose 2,6-bisphosphate, the probably structure of the glucose - and glucagon-sensitive stimulator of phosphofructokinase. *Biochem. J.* 192:897–901.
- Wamelink, M.M., E.A. Struys, and C. Jakobs. 2008. The biochemistry, metabolism and inherited defects of the pentose phosphate pathway: A review. *J. Inherit. Metab. Dis.* 31:703–717.
- Ward, K.A. 2000. Transgene-mediated modifications to animal biochemistry. *Trends Biotechnol.* 18:99–102.
- Watford, M. 1985. Gluconeogenesis in the chicken: Regulation of phosphoenolpyruvate carboxykinase gene expression. *Fed. Proc.* 44:2469–2074.
- Watford, M. 1988. What is the metabolic fate of dietary glucose? *Trends Biochem. Sci.* 13:329–330.
- Watford, M., Y. Hod, Y.B. Chiao, M.F. Utter, and R.W. Hanson. 1981. The unique role of the kidney in gluconeogenesis in the chicken. The significance of a cytosolic form of phosphoenolpyruvate carboxykinase. *J. Biol. Chem.* 256:10023–10027.
- Weimer, P.J. 1998. Manipulating ruminal fermentation: A microbial perspective. *J. Anim. Sci.* 76:3114–3122.
- Weinhouse, S. 1976. Regulation of glucokinase in liver. *Curr. Top Cell. Regul.* 11:1–50.
- Weinman, E.O., E.H. Strisower, and I.L. Chaikoff. 1957. Conversion of fatty acids to carbohydrate: Application of isotopes to this problem and role of the Krebs cycle as a synthetic pathway. *Physiol. Rev.* 37:252–272.
- Williamson, D.H. and J.T. Brosnan. 1974. Concentrations of metabolites in animal tissues. In: *Methods of Enzymatic Analysis*. Edited by H.U. Bergmeyer, Academic Press, New York, pp. 2266–2292.
- Wilson, S., J.C. MacRae, and P.J. Buttery. 1983. Glucose production and utilization in non-pregnant, pregnant and lactating ewes. *Br. J. Nutr.* 50:303–316.
- Wu, G. 1996. An important role for pentose cycle in the synthesis of citrulline and proline in porcine enterocytes. *Arch. Biochem. Biophys.* 336:224–230.
- Wu, G., C.J. Field and E.B. Marliss. 1991. Glutamine and glucose metabolism in thymocytes from normal and spontaneously diabetic BB rats. *Biochem. Cell Biol.* 69:801–808.
- Wu, G., T.E. Haynes, H. Li, W. Yan, and C.J. Meininger. 2001. Glutamine metabolism to glucosamine is necessary for glutamine inhibition of endothelial nitric oxide synthesis. *Biochem. J.* 353:245–252.
- Wu, G., S. Majumdar, J. Zhang, H. Lee, and C.J. Meininger. 1994. Insulin stimulates glycolysis and pentose cycle activity in bovine microvascular endothelial cells. *Comp. Biochem. Physiol.* 108C:179–185.
- Wu, G. and E.B. Marliss. 1993. Enhanced glucose metabolism and respiratory burst in peritoneal macrophages from spontaneously diabetic BB rats. *Diabetes.* 42:520–529.
- Wu, G. and J.R. Thompson. 1988. The effect of ketone bodies on alanine and glutamine metabolism in isolated skeletal muscle from the fasted chick. *Biochem. J.* 255:139–144.
- Wu, X., S. Castillo, M. Rosales, A. Burns, M. Mendoza, and D.M. Gatlin III. 2015. Relative use of dietary carbohydrate, non-essential amino acids, and lipids for energy by hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture* 435:116–119.
- Yager, C., C. Ning, R. Reynolds, N. Leslie, and S. Segal. 2004. Galactitol and galactonate accumulation in heart and skeletal muscle of mice with deficiency of galactose-1-phosphate uridylyltransferase. *Mol. Genet. Metab.* 81:105–111.
- Yang, J.Q., S.C. Kalhan, and R.W. Hanson. 2009. What is the metabolic role of phosphoenolpyruvate carboxykinase? *J. Biol. Chem.* 284:27025–27029.
- Yen, J.T. 2001. Digestive system. In: *Biology of the Domestic Pig*. Edited by W.G. Pond and H.J. Mersmann. Cornell University Press, Ithaca, New York, pp. 390–453.
- Yin, F., Z. Zhang, J. Huang, and Y.L. Yin. 2010. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103:1404–1412.
- Ying, W. 2008. NAD⁺/NADH and NADP⁺/NADPH in cellular functions and cell death: Regulation and biological consequences. *Antioxid. Redox Signal.* 10:179–206.
- Yu, B. and P.W.S. Chiou. 1996. Effects of crude fiber level in the diet on the intestinal morphology of growing rabbits. *Lab. Anim.* 30:143–148.
- Yu, C., S. Zhang, Q. Yang, Q. Peng, J. Zhu, X. Zeng, and S. Qiao. 2016. Effect of high fiber diets formulated with different fibrous ingredients on performance, nutrient digestibility and faecal microbiota of weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.* 70:263–277.
- Zhang, W., D. Li, L. Liu, J. Zang, Q. Duan, W. Yang, and L. Zhang. 2013. The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4(1):17.
- Zhao, F.Q. and A.F. Keating. 2007. Expression and regulation of glucose transporters in the bovine mammary gland. *J. Dairy Sci.* 90(E. Suppl.):E76–E86.
- Zijlstra, N., M. Mars, D.E. Wijk, R.M. Westerterp-Plantenga, and C. de Graaf. 2007. The effect of viscosity on ad libitum food intake. *Int. J. Obesity.* 32:676–683.

6 Lipitlerin Metabolizması ve Besleme

Lipitler, yağların (triacilgliseroller [TAGlar]; aynı zamanda trigliseritler olarak da isimlendirilirler), yağ asitlerinin, fosfolipitlerin, kolesterol ve ilişkili metabolitlerin dahil olduğu yüksek derecede indirgenmiş moleküllerdir (**Bölüm 3**). Lipitler, organik çözücülerde çözünürdüler (benzen, eter veya kloroform gibi). Kısa – ve orta-zincirli yağ asitleri hariç, lipitler suda az çözünürdüler. Bundan dolayı, yağlar ve uzun zincirli yağ asitleri (LCFAleri, aynı zamanda esterifiye olmamış yağ asitleri olarak da bilinirler) kanda bir albümin kompleksi olarak dolaşırlar (Goldberg vd 2009). Hücreler içerisinde, bu besinler ve bu besinlerin hidrofilik türevleri spesifik TAGlara veya yağ asidi bağlayıcı proteinlere (FABPler) bağlanırlar (Pepino vd 2014). Dolayısıyla, bir hayvandaki “serbest” yağ asitleri aslında toksik etkilerini önleyecek şekilde serbest değildirler. Yem analizlerinde, eter ekstrakt yöntemiyle her türdeki lipit bir arada belirlenir (Li vd 1990). Enerji maddeleri olarak önemli rollerinden dolayı, yağlar ve yağ asitleri, lipit beslemesi ve metabolizması yönünden bu bölümün odak noktasını oluşturacaktır.

Lipitler rasyondaki temel makro besinlerdir ve beslenme metabolizmasında önemli sinyal moleküllerini kapsamaktadırlar (Field vd 1989; Hou vd 2016). İnce bağırsaklarda, lipitler safra tuzları tarafından emülsifiye edilir ve serbest yağ asitleri ve monoacilgliserollere (MAG’lar) enzimatik olarak hidrolize olurlar ve daha sonra karışık miseller halinde birleştirilirler. Lipit sindirim ürünleri, karışık misellerden enterositlere taşınır ve burada şilomikronlar ve diğer lipoproteinler içerisindeki apolipoproteinlerle (Apo) tekrar birleştirilerek lenfatik damarlara ve buradan kan dolaşımına geri dönerler (Besnard vd 1996). Kandaki taşınmaları esnasında, lipoproteinler, ekstra hepatik dokular (örneğin, iskelet kası ve beyaz yağ dokusu [WAT]) içerisindeki damarların yüzey endotelinde bulunan lipoprotein lipazlar (LPL’ler) tarafından ekstrasellüler olarak hidrolize edilirler (Kesten 2014; Thomson ve Dietschy 1981). Rasyonla yağ alımı, öğünler arasındaki parçalanmış yağların miktarından fazla olması durumunda, *de novo* yağ asitleri sentezi zayıflayacaktır fakat rasyonun fazla enerjisi TAGler olarak depo edilecektir (Jobgen vd 2006). Aksine, bir hayvan düşük yağ fakat yüksek nişasta tükettiğinde, fazla olan karbonhidratlar, dokuya özgü bir şekilde yağ asitleri ve TAG’lerin sentezi için kullanılırlar. Beslenme açısından gerekli ω -3 ve ω 6 doymamış yağ asitlerinin yetersizliği olduğunda, hayvanlar; deri lezyonları, büyümenin gecikmesi ve üreme bozuklukları gibi çeşitli sendromlar sergilerler (Spector ve Kim 2015). Enerjinin olmaması veya yetersiz enerji alımı şartları altında (örneğin, açlık ve erken laktasyon) TAG’ler, hormon duyarlı lipazların (HSL’ler) etkisi aracılığıyla metabolik yakıtları (örneğin, LCFAler, keton cisimleri ve gliserol) oluşturmak için dokulardan (özellikle WAT fakat aynı zamanda karaciğeri de içerir) mobilize olurlar (Yeaman 1990). Plazmadaki glikoz seviyesi düştüğünde, kan-beyin bariyerinden dolayı beynin dolaşımından doymuş veya tekli doymamış LCFAleri almadığından, keton cisimleri beynin fonksiyonu için çok önemlidir.

Niceliksel olarak, tokluk ve açlık durumunun her ikisinde de LCFAlar karaciğer, iskelet kası, kalp ve böbrek için önemli enerji maddeleridirler, bundan dolayı bu dokuların fonksiyonu için önemli role sahiptirler (Jobgen vd 2006). Yağ asitleri, β -oksidasyon yoluyla, başlıca hücrelerdeki mitokondrielerde CO_2 ve H_2O ’ya okside olurlar. Çok uzun zincirli yağ asitlerinin zincir kısaltma işlemi peroksizomlarda meydana gelir ve sonrasında meydana gelen açıl-CoA, β -oksidasyon için mitokondrilere girer (Reddy ve Hashimoto 2001). Yağ asidi sentezi gibi yağ asidi oksidasyonu hormonlar (örneğin, insülin, glikokortikoidler),

- of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. *J. Dairy Sci.* 83:2564-2573.
- Beitz, D.C. 1993. Lipid metabolism. In: *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Edited by M.J. Swenson and W.O. Reece. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 453-472.
- Bell R.M. and R.A. Coleman. 1980. Enzymes of glycerolipid synthesis in eukaryotes. *Annu. Rev. Biochem.* 49:459-487.
- Bergen, W.G. and H.J. Mersmann. 2005. Comparative aspects of lipid metabolism: Impact on contemporary research and use of animal models. *J Nutr.* 135:2499-2502.
- Besnard, P., I. Niot, A. Bernard, and H. Carlier. 1996. Cellular and molecular aspects of fat metabolism in the small intestine. *Proc. Nutr. Soc.* 55:19-37.
- Bijland, S., S.J. Mancini, and I.P. Salt. 2013. Role of AMP-activated protein kinase in adipose tissue metabolism and inflammation. *Clin. Sci.* 124:491-507.
- Bobe, G., J.W. Young, and D.C. Beitz. 2004. Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 124:491-507.
- Brasaemle D.L. 2007. The perilipin family of structural lipid droplet proteins: Stabilization of lipid droplets and control of lipolysis. *J. Lipid Res.* 48:2547-2559.
- Brown, M.S., J. Herz, and J.L. Goldstein. 1997. LDL-receptor structure. Calcium cages, acid baths and recycling receptors. *Nature* 388:629-630.
- Calder, P.C. 2015. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim. Biophys. Acta* 1851:469-484.
- Cao J., L. Cheng, and Y. Shi. 2007. Catalytic properties of MGAT3, a putative triacylglycerol synthase. *J. Lipid Res.* 48:583-591.
- Carew, L.B., Jr., R.H. Machemer, Jr., R.W. Sharp, and D.C. Foss. 1972. Fat absorption by the very young chick. *Poult. Sci.* 51:738-742.
- Chen, M., Y. Yang, E. Braunstein, K.E. Georgeson, and C.M. Harmon. 2001. Gut expression and regulation of FAT/CD36: Possible role in fatty acid transport in rat enterocytes. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 281:E916-E923.
- Christmas, P. 2015. Role of cytochrome P450s in inflammation. *Adv. Pharmacol.* 74:163-192.
- Clandinin, M.T., S. Cheema, C.J. Field, and V.E. Baracos. 1993. Dietary lipids influence insulin action. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 683:151-163.
- Clanton, R.G., G. Wu, G. Akabani, and R. Aramayo. 2017. Control of seizures by ketogenic diet-induced modulation of metabolic pathways. *Amino Acids* 49:1-20.
- Coleman, R.A. and D.G. Mashek. 2011. Mammalian triacylglycerol metabolism: Synthesis, lipolysis, and signaling. *Chem. Rev.* 111:6359-6386.
- Cortner, J.A., P.M. Coates, N.A. Le, D.R. Cryer, M.C. Ragni, A. Faulkner, and T. Langer. 1987. Kinetics of chylomicron remnant clearance in normal and in hyperlipoproteinemic subjects. *J. Lipid Res.* 28:195-206.
- Davidson, N.O. and G.S. Shelness. 2000. Apolipoprotein B: mRNA editing, lipoprotein assembly, and presecretory degradation. *Annu. Rev. Nutr.* 20:169-193.
- DeFronzo, R.A. 2010. Insulin resistance, lipotoxicity, type 2 diabetes and atherosclerosis: The missing links. *Diabetologia.* 53:1270-1287.
- Denisova, N.A. and S.L. Booth. 2005. Vitamin K and sphingolipid metabolism: Evidence to date. *Nutr. Rev.* 63:111-121.
- Donsmark, M., J. Langfort, C. Holm, T. Ploug, and H. Galbo. 2004. Regulation and role of hormone-sensitive lipase in rat skeletal muscle. *Proc. Nutr. Soc.* 63:309-314.
- Doreau, M. and Y. Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78:S15-S35.
- Drackley, J.K. 2000. Lipid metabolism. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. Edited by J.P.F. D'Mello. CAPI Publishing, Wallingford, UK, pp. 97-119.
- Dubland, J.A. and G.A. Francis. 2015. Lysosomal acid lipase: At the crossroads of normal and atherogenic cholesterol metabolism. *Front. Cell Dev. Biol.* 3:1-11 (Article 3).
- Duee, P.H., J.P. Pegorier, P.A. Quant, C. Herbin, C. Kohl, and J. Girard. 1994. Hepatic ketogenesis in newborn pigs is limited by low mitochondrial 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA synthase activity. *Biochem. J.* 298:207-212.
- Eliason, E.J., B. Djordjevic, S. Trattner, J. Pickova, A. Karlsson, A.P. Farrell, and A.K. Kiessling. 2010. The effect of hepatic passage on postprandial plasma lipid profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after a single meal. *Aquacult. Nutr.* 16:536-543.
- Etherton, T.D. and P.E. Walton. 1986. Hormonal and metabolic regulation of lipid metabolism in domestic livestock. *J. Anim. Sci.* 63:76-88.
- Field, C.J., M. Toyomizu, and M.T. Clandinin. 1989. Relationship between dietary fat, adipocyte membrane composition and insulin binding in the rat. *J. Nutr.* 119:1483-1489.
- Field, C.J., J.E. Van Aerde, L.E. Robinson, and M.T. Clandinin. 2008. Effect of providing a formula supplemented with long-chain polyunsaturated fatty acids on immunity in full-term neonates. *Br. J. Nutr.* 99:91-99.
- Fowler, M.A., D.P. Costa, D.E. Crocker, W.J. Shen, and F.B. Kraemer. 2015. Adipose triglyceride lipase, not hormone-sensitive lipase, is the primary lipolytic enzyme in fasting elephant seals (*Mirounga angustirostris*). *Physiol. Biochem. Zool.* 88:284-294.
- Fraser, R., V.R. Heslop, F.E. Murray, and W.A. Day. 1986. Ultrastructural studies of the portal transport of fat in chickens. *Br. J. Exp. Pathol.* 67:783-791.

- Fried, S.K., C.D. Russell, N.L. Grauso, and R.E. Brolin. 1993. Lipoprotein lipase regulation by insulin and glucocorticoids in subcutaneous and omental tissues of obese women and men. *J. Clin. Invest.* 92:2191-2198.
- Gentz, J., G. Bengtsson, J. Hakkarainen, R. Hellström, and B. Persson. 1970. Metabolic effects of starvation during neonatal period in the piglet. *Am. J. Physiol.* 218:662-668.
- Gerrits, W.J., J. France, J. Dijkstra, M.W. Bosch, G.H. Tolman, and S. Tamminga. 1997. Evaluation of a model integrating protein and energy metabolism in Preruminant calves. *J. Nutr.* 127:1243-1252.
- Gimenez, M.S., L.B. Olveros, and N.N. Gomez. 2011. Nutritional deficiencies and phospholipid metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 12:2408-2433.
- Goldberg, I.J., R.H. Eckel, and N.A. Abumrad. 2009. Regulation of fatty acid uptake into tissues: Lipoprotein lipase – and CD36-mediated pathways. *J. Lipid Res.* 50:S86-S90.
- Golstein, J.L. and M.S. Brown. 2015. A century of cholesterol and coronaries: From plaques to genes to statins. *Cell* 161:161-172.
- Goodman, H.M. 1968. Growth hormone and the metabolism of carbohydrate and lipid in adipose tissue. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 148:419-440.
- Greenberg, A.S., J.J. Egan, S.A. Wek, N.B. Garty, E.J. Blanchette-Mackie, and C. Londos. 1991. Perilipin, a major hormonally regulated adipocyte-specific phosphoprotein associated with the periphery of lipid storage droplets. *J. Biol. Chem.* 266:11341-11346.
- Hansen, R.P. and F.B. Shorland. 1951. The branched chain fatty acids of butterfat. II. Isolation of a multi-branched C20 saturated fatty acid fraction. *Biochem. J.* 50:358-360.
- Hastings, N., M. Agaba, D.R. Tocher, M.J. Leaver, J.R. Dick, J.R. Sargent, and A.J. Teale. 2001. A vertebrate fatty acid desaturase with $\Delta 5$ and $\Delta 6$ activities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:199-208.
- He, Q.H., X.F. Kong, G. Wu, P.P. Ren, H.R. Tang, F.H. Hao, R.L. Huang et al. 2009. Metabolomic analysis of the response of growing pigs to dietary L-arginine supplementation. *Amino Acids* 37:199-208.
- Hegardt, F.G. 1999. Mitochondrial 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA synthase: A control enzyme in ketogenesis. *Biochem. J.* 338:569-582.
- Hermier, D. 1997. Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *J. Nutr.* 127:805S-808S.
- Hou, T.Y., D.N. McMurray, and R.S. Chapkin. 2016. Omega-3 fatty acids, lipid rafts, and T cell signaling. *Eur. J. Pharmacol.* 785:2-9.
- Huang, C.W., Y.S. Chien, Y.J. Chen, K.M. Ajuwon, H.M. Mersmann, and S.T. Ding. 2016. Role of n-3 polyunsaturated fatty acids in ameliorating the obesity-induced metabolic syndrome in animal models and humans. *Int. J. Mol. Sci.* 17:1689.
- Iqbal, J. and M.M. Hussain. 2009. Intestinal lipid absorption. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 296:E1183-E1194.
- Jansen, G.A. and R.J. Wanders. 2006. Alpha-oxidation. *Biochim. Biophys. Acta* 1763:1403-1412.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863.
- Jobgen, W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutr. Biochem.* 17:571-588.
- Jump, D.B., S. Tripathy, and C.M. Depner. 2013. Fatty acid-regulated transcription factors in the liver. *Annu. Rev. Nutr.* 33:249-269.
- Kashiwaya, Y., T. Takeshima, N. Mori, K. Nakashima, K. Clarke, and R.L. Veech. 2000. D- β -hydroxybutyrate protects neurons in models of Alzheimer's and Parkinson's disease. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:5440-5444.
- Kawase, A., S. Hata, M. Takagi, and M. Iwaki. 2015. Pravastatin modulate: Neimnn-Pick C1-like 1 and ATP-binding cassette G5 and G8 to influence intestinal cholesterol absorption. *J. Pharm. Pharm. Sci.* 18:765-772.
- Kersten, S. 2014. Physiological regulation of lipoprotein lipase. *Biochem. Biophys. Acta.* 1841:919-933.
- Knop, F. 1904. Der Abbau aromatischer Fettsäuren im Tierkörper. *Beitr. Chem. Physiol. Pathol.* 6:150-162.
- Koeberle, A., K. Löser, and M. Thürmer. 2016. Stearoyl-CoA desaturase-1 and adaptive stress signaling. *Biochim. Biophys. Acta* 1861:1719-1726.
- Kohan, A., S. Yoder, and P. Tso. 2010. Lymphatics in intestinal transport of nutrients and gastrointestinal hormones. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1207 (Suppl. 1):E44-E51.
- Kouba, M., J. Mouro, and P. Peiniau. 1997. Stearoyl-CoA desaturase activity in adipose tissues and liver of growing large white and Meishan pigs. *Comp. Biochem. Physiol. B* 118:509-514.
- Kraemer, F.B. and W.J. Shen. 2002. Hormone-sensitive lipase: Control of intracellular tri-(di)-acylglycerol and cholesteryl ester hydrolysis. *J. Lipid Res.* 43:1585-1594.
- Kramer, S.A., W.G. Bergen, A.L. Grant, and R.A. Merkel. 1993. Fatty acid profiles, lipogenesis, and lipolysis in lipid depots in finishing pigs treated with recombinant porcine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 71:2066-2072.
- Krieger, M. 1998. The "best" of cholesterol, the "worst" of cholesterol: A tale of two receptors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:4077-4080.
- Kroetz, D.L. and F. Xu. 2005. Regulation and inhibition of arachidonic acid omega-hydroxylases and 20-HETE formation. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 45:413-438.
- Kwon, H., T.E. Spencer, F.W. Bazer, and G. Wu. 2003. Developmental changes of amino acids in ovine fetal fluids. *Biol. Reprod.* 68:1813-1820.
- Laplaud, P.M., D. Bauchart, D. Durand, and M.J. Chapman. 1990. Lipoproteins and apolipoproteins in intestinal lymph of the Preruminant calf, 60s spp., at peak lipid absorption. *J. Lipid Res.* 31:1781-1792.
- Lee, J., Y. Park, and S.I. Koo. 2012. ATP-binding cassette transporter A1 and HDL metabolism: Effects of fatty acids. *J.*

- Nutr. Biochem.* 23:1-7.
- Lee, M.J. P. Pramyothin, K. Karastergiou, and S.K. Fried. 2014. Deconstructing the roles of glucocorticoids in adipose tissue biology and development of central obesity. *Biochim. Biophys. Acta.* 1842:473-481.
- Lehner, R. and Kuksis, A. 1993. Triacylglycerol synthesis by an sn-1,2(2,3)-diacylglycerol transacylase from rat intestinal microsomes. *J. Biol. Chem.* 268:8781-8786.
- Li, D.F., R.C. Thaler, J.L. nelssen, D.L. Harmon. G.L. Allee, and T.L. Weeden. 1990. Effect of fat sources and combinations on starter pig performance, nutrient digestibility and intestinal morphology. *J. Anim. Sci.* 68:3694-3704.
- Li, Y., O Monroig, L. Zhang, S. Wang, X. Zheng, J.R. Dick, C. You, and D.R. Tocher. 2010. Vertebrate fatty acyl desaturase with Δ^4 activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107:16840-16845.
- Lin, X., J. Bo, S.A. Oliver, B.A. Corl, S.K. Jacobi, W.T. Oliver, R.J. Harrell, and J. Odle. 2011. Dietary conjugated linoleic acid alters long chain polyunsaturated fatty acid metabolism in brain and liver of neonatal pigs. *J. Nutr. Biochem.* 22:1047-1054.
- Lower, M.E. 2002. The triglyceride lipases of the pancreas. *J. Lipid Res.* 43:20007-2016.
- Lynen, F. and E. Reichert. 1951. Zur chemischen Struktur der, aktivierten Essigsäure. *Angew. Chem.* 63:47-48.
- Macfarlane, D.P., S. Forbes, and B.R. Walker. 2008. Glucocorticoids and fatty acid metabolism in humans: Fuelling fat redistribution in the metabolic syndrome. *J. Endocrinol.* 197:189-204.
- Manners, M.J. 1976. The development of digestive function in the pig. *Proc. Nutr. Soc.* 35:49-55.
- Mayes, P.A. 1996a. Biosynthesis of fatty acids. In: *Harper's Biochemistry*. Edited by R.K. Murray, D.K. Granner, and V.W. Rodwell. Appleton & Lange, Stamford, CT, pp. 216-223.
- Mayes, P.A. 1996b. Oxidation of fatty acids: Ketogenesis. In: *Harper's Biochemistry*. Edited by R.K. Murray, D.K. Granner, and V.W. Rodwell. Appleton & Lange, Stamford, CT, pp. 224-235.
- McGarry, J.D. 1995. Malonyl-CoA and carnitine palmitoyltransferase I: An expanding partnership. *Biochem. Soc. Trans.* 23:481-485.
- McKnight, J.R., M.C. Satterfield, W.S. Jobgen, S.B. Smith, T.E. Spencher, C.J. Meininger, C.J. McNeal, and G. Wu. 2010. Beneficial effects of L-arginine on reducing obesity: Potential mechanism and important implications for human health. *Amino Acids.* 39:349-357.
- Minnich, A., N. Tian, L. Byan, and G. Bilder. 2001. A potent PPARalpha agonist stimulates mitochondrial fatty acid beta-oxidation in liver and skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 280:E270-E279.
- Nafikov, R.A. and D.C. Beitz. 2007. Carbohydrate and lipid metabolism in farm animals. *J. Nutr.* 137:702-705.
- Nagy, H.M., M. Paar, C. Heier, T. Moustafa, P. Hofer, G. Haemmerle, A. Lass, R. Zechner, M. Oberer, and R. Zimmermann. 2014. Adipose triglyceride lipase activity is inhibited by long-chain acyl-coenzyme A. *Biochim. Biophys. Acta* 1841:588-594.
- Nahle, Z., M. Hsieh, T. Pietka, C.T. Coburn, P.A. Grimaldi, M.Q. Zhang, D. Das, and N.A. Abumrad. 2008. CD36-dependent regulation of muscle FoxO1 and PDK4 in the PPAR delta/beta-mediated adaptation to metabolic stress. *J. Biol. Chem.* 283:14317-14326.
- Nakamura, M.T. and T.Y. Nara. 2004. Structure, function and dietary regulation of Δ^6 , Δ^5 , and Δ^9 desaturases. *Annu. Rev. Nutr.* 24:345-376.
- Ntambi, J.M. 1999. Regulation of stearoyl-CoA desaturase by polyunsaturated fatty acids and cholesterol. *J. Lipid Res.* 40:1549-1558.
- Palmquist, D.L. 1988. The feeding value of fats. In: *Feed Science*. Edited by E.R. Orskov. Elsevier Science Publishers B.V., New York, NY, pp. 293-311.
- Park, H.G., W.J. Park, K.S. Kothapalli, and J.T. Brenna. 2015. The fatty acid desaturase 2 (*FADS2*) gene product catalyzes Δ^4 desaturation to yield *n*-3 docosahexaenoic acid and *n*-6 docosapentaenoic acid in human cells. *FASEB J.* 29:3911-3919.
- Pepino, M.Y., O. Kuda, D.Samovski, and N.A. Abumrad. 2014. Structure-function of CD36 and importance of fatty acid signal transduction in fat metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 34:281-303.
- Perret, B., L. Mabile, L. Martinez, F. Terce, R. Barbaras, and X. Collect. 2002. Hepatic lipase: Structure/function relationship, synthesis, and regulation. *J. Lipid Res.* 43:1163-1169.
- Phan, C.T. and P. Tso. 2001. Intestinal lipid absorption and transport. *Front. Biosci.* 6:D299-D319.
- Picard, F., D. Arsenijevic, D. Richard, and Y. Deshaies. 2002. Responses of adipose and muscle lipoprotein lipase to chronic infection and subsequent acute lipopolysaccharide challenge. *Clin. Vaccine Immunol.* 9:4771-47776.
- Place, A.R. 1992. Comparative aspect of lipid digestion and absorption: Physiological correlates of wax ester digestion. *Am. J. Physiol.* 263:R464-R471.
- Porter, J.W.G. 1969. Digestion in the pre-ruminant animal. *Proc. Nutr. Soc.* 28:115-121.
- Powerll, W.S. and J.Rokach. 2015. Biosynthesis, biological effects, and receptors of hydroxyeicosatetraenoic acids (HETEs) and oxoeicosatetraenoic acids (oxo-ETEs) derived from arachidonic acid. *Bichim. Biophys. Acta* 1851:340-355.
- Price, E.R. 2017. The physiology of lipid storage and use in reptiles. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 92:1406-1426. Doi: 10.1111/brv.12288.
- Price, N.T., V.N. Jackson, F.R. van der Leij, J.M. Cameron, M.T. Travers, B. Bartelds, N.C. Huijckman, and V.A. Zammit. 2003. Cloning and expression of the liver and muscle isoforms of ovine carnitine palmitoyltransferase 1: Residues within the N-terminus of the muscle isoform influence the kinetic properties of the enzyme. *Biochem. J.* 372:871-879.
- Prior, R.L. and S.B. Smith. 1982. Hormonal effects on partitioning of nutrients for tissue growth: Role of insulin. *Fed. Proc.*

- 41:2545-2549.
- Prior, R.L. and S.B. Smith, and J.J. Jacobson. 1981. Metabolic pathways involved in lipogenesis from lactate and acetate in bovine adipose tissue: effects of metabolic inhibitors. *Arch. Biochem. Biophys.* 211:202-210.
- Puri, D., Ed. 2011. Lipid metabolism II: Lipoproteins, cholesterol and prostaglandins. In: *Textbook of Medical Biochemistry*. Elsevier, New York, NY, pp. 235-266.
- Qiu, X., Hong, and S.L. Mackenzie. 2001. Identification of a $\Delta 4$ fatty acid desaturase from *Thraustochytrium cerevisiae* and *Brassica juncea*. *J. Biol. Chem.* 276:31561-31566.
- Reddy, J.K. and T. Hashimoto. 2001. Peroxisomal β -oxidation and peroxisome proliferator-activated receptor α : An adaptive metabolic system. *Annu. Rev. Nutr.* 21:193-230.
- Reid, B.N., G.P. Ables, O.A. Otlivanchik, G. Schoiswohl, R. Zechner, W.S. Blaner, I.J. Goldberg, R.F. Schwabe, S.C. Chua, J., and L.S. Huang. 2008. Hepatic overexpression of hormone-sensitive lipase and adipose triglyceride lipase promotes fatty acid oxidation, stimulates direct release of free fatty acids, and ameliorates steatosis. *J. Biol. Chem.* 283:13087-13099.
- Reisenberg, M., P.K. Singh, G. Williams, and P. Doherty. 2012. The diacylglycerol lipases: Structure, regulation and roles in and beyond endocannabinoid signaling. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 367:3264-3275.
- Rezaei, R., Z.L. Wu, Y.Q. Hou, F.W. Bazer, and G. Wu. 2016. Amino acids and mammary gland development: Nutritional implications for neonatal growth. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:20
- Rivers, J.P.W., A.G. Hassam, M.A. Crawford, and M.R. Brambell. 1976. The inability of the lion (*Panthero le. L.*) to desaturate linoleic acid. *FEBS Lett.* 67:269-270.
- Rivers, J.P.W., A.J. Sinclair, and M.A. Crawford. 1975. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. *Physiol. Rev.* 60:143-187.
- Rosero, D.S., E. van Heugten, J. Odle, R. Cabrera, C. Arellano, and R.D. Boyd. 2012. Sow and litter response to supplemental dietary fat in lactation diets during high ambient temperatures. *J. Anim. Sci.* 90:550-559.
- Rust, M.B. 2002. Nutritional physiology. *Fish Nutr.* 3:367-452.
- Saha, A.K., T.G. Kurowski, and N.B. Ruderman. 1995. A malonyl-CoA fuel-sensing mechanism in muscle: Effects of insulin, glucose, and denervation. *Am. J. Physiol.* 269:E283-E284.
- Sanderson, J.T. 2006. The steroid hormone biosynthesis pathway as a target for endocrine-disrupting chemicals. *Toxicol. Sci.* 94:3-21.
- Sanz, M., C.J. Lopez-Bote, D. Menoya, and J.M. Bautista. 2000. Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and beta-oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat. *J. Nutr.* 130:3034-3037.
- Semenkovich, C.F., S.H. Chen, M. Wims, C.C. Luo, W.H. Li, and L. Chan. 1989. Lipoprotein lipase and hepatic lipase mRNA tissue specific expression, development regulation, and evolution. *J. Lipid Res.* 30:423-431.
- Serhan, C.N. 2014. Pro-resolving lipid mediators are leads for resolution physiology. *Nature* 510:92-101.
- Sinclair, A.J., J.G. McLean, and E.A. Monger. 1979. Metabolism of linoleic acid in the cat. *Lipids* 14:932-936.
- Sire, M.F., C. Lutton, and J.M. Vernier. 1981. New views on intestinal absorption of lipids in teleostan fishes: An ultrastructural and biochemical study in the rainbow trout. *J. Lipid Res.* 22:81-94.
- Smith, S.B. 2013. Functional development of stearoyl-CoA desaturase gene expression in livestock species. In: *Stearoyl-CoA Desaturase in Lipid Metabolism*. Edited by J.M. Ntambi. Springer, New York, NY, pp. 141-160.
- Smith, S.B. and R.L. Prior. 1986. Comparisons of lipogenesis and glucose metabolism between ovine and bovine adipose tissues. *J. Nutr.* 116:1279-1282.
- Spector, A.A. and H.Y. Kim. 2015. Discovery of essential fatty acids. *J. Lipid Res.* 56:11-21.
- Steffensen, J.F. and J.P. Lomholt. 1992. The secondary vascular system. *Fish Physiol.* 12A:185-217.
- Storch, J. and B. Corsico. 2008. The emerging functions and mechanisms of mammalian fatty acid-binding proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 28:73-95.
- Tan, B.E., X.G. Li, Y.L. Yin, Z.L. Wu, C. Liu, C.D. Tekwe, and G. Wu. 2012. Regulatory roles for L-arginine in reducing white adipose tissue. *Front. Biosci.* 17:2237-2246.
- Tan, B.E., Y.L. Yin, Z.Q. Liu, X.G. Li, H.J. Xu, X.F. Kong, R.L. Huang et al. 2009. Dietary L-arginine supplementation increases muscle gain and reduces body fat mass in growing-finishing pigs. *Amino Acids.* 37:169-175.
- Tatsuta, T., M. Scharwey, and T. Langer. 2014. Mitochondrial lipid trafficking. *Trends Cell Biol.* 24:44-52.
- Tekwe, C.D., J. Lei, K. Yao, R. Rezaei, X.L. Li, S. Dahanayaka, R.J. Carroll, C.J. Meininger, F.W. Bazer, and G. Wu. 2013. Oral administration of interferon tau enhances oxidation of energy substrates and reduces adiposity in Zucker diabetic fatty rats. *BioFactors* 39:552-563.
- Teshima, S. and A. Kanazawa. 1971. Biosynthesis of sterols in the lobster, *Panirlirus japonica*, the pranw, *Penaeus japonicus*, and the crab, *Porturius trituberculatus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 38B: 597-602.
- Thompson, J.R. and G. Wu. 1991. The effect of ketone bodies on nitrogen metabolism in skeletal muscle. *Comp. Biochem. Physiol. B* 100:209-216.
- Thomson, A.B.R. and J.M. Dietschy. 1981. Intestinal lipid absorption: Major extracellular and intracellular events. In: *Physiology of the Gastrointestinal Tract*. Edited by L.R. Johnson. Raven Press, New York, NY, pp. 1147-1220.
- Titus, E. and G.A. Ahearn. 1991. Transepithelial acetate transport in a herbivorous teleost: Anion exchange at the basola-

- teral membrane. *J. Exp. Biol.* 156:41-61.
- Tocher, D.R. and B.D. Glencross. 2015. Lipids and fatty acids. In: *Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health*. Edited by C.S. Lee, C. Lim, D.M. Gatlin, and C.D. Webster. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, pp. 47-94.
- Tochter, D.R. and J.R. Sargent. 1984. Studies on triacylglycerol wax ester and sterol ester hydrolases in intestinal caeca of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed diets rich in triacylglycerols and wax esters. *Comp. Biochem. Physiol.* 77B:561-571.
- Tso, P. and M. Liu. 2004. Ingested fat and satiety. *Physiol. Behav.* 8:275-287.
- Turgeon, D., S. Chouinard, P. Belanger, S. Picart, J.F. Labbe, P. Borgeat, and A. Belanger. 2003. Glucuronidation of arachidonic and linoleic acid metabolites by human UDP-glucuronosyltransferases. *J. Lipid Res.* 44:1182-1191.
- Turner, N.D. and J.R. Lupton. 2011. Dietary fiber. *Adv. Nutr.* 2:151-152.
- Van Veldhoven, P.P. 2010. Biochemistry and genetics of inherited disorders of peroxisomal fatty acid metabolism. *J. Lipid Res.* 52:2863-2895.
- Vance, J.E. and G. Tasseva. 2013. Formation and function of phosphatidylserine and phosphatidylethanolamine in mammalian cells. *Biochim. Biophys. Acta* 1831:543-554.
- Velazquez, O.C., R.W. Seto, and J.L. Rombeau. 1996. The scientific rationale and clinical application of short-chain fatty acids and medium-chain triacylglycerols. *Proc. Nutr. Soc.* 55:49-78.
- Vesper, H., E.M. Schmelz, M.N. Nikolova-Karakashian, D.L. Dillehay, D.V. Lynch, and A.H. Merrill, Jr. 1999. Sphingolipids in food and the emerging importance of sphingolipids to nutrition. *J. Nutr.* 129:1239-1250.
- Wang, F., A.B. Kohan, C.M. Lo, M. Liu, P. Howles, and P. Tso. 2015. Apolipoprotein A-IV: A protein intimately involved in metabolism. *J. Lipid Res.* 56:1403-1418.
- Wray-Cahen, D., F.R. Dunshea, R.D. Boyd, A.W. Bell, and D.E. Bauman. 2012. Porcine somatotropin alters insulin response in growing pigs by reducing insulin sensitivity rather than changing responsiveness. *Domest. Anim. Endocrinol.* 43:37-46.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Wu, G., A. Gunasekara, H. Brunengraber, and E.B. Marlis. 1991. Effects of extracellular pH, CO₂, and HCO₃⁻ on ketogenesis in perfused rat liver. *Am. J. Physiol.* 261:E221-E226.
- Xu, C., J. He, H. Jiang, L. Zu, W. Zhai, S. Pu, and G. Xu. 2009. Direct effect of glucocorticoids on lipolysis in adipocytes. *Mol. Endocrinol.* 23:1161-1170.
- Xu, X., R. Li, G. Chen, S.L. Hoopes, D.C. Zeldin, and D.W. Wang. 2016. The role of cytochrome P450 epoxygenases, soluble epoxide hydrolase, and epoxyeciosatrienoic acids in metabolic diseases. *Adv. Nutr.* 7:1122-1128.
- Yang, P. and P.V. Subbaiah. 2015. Regulation of hepatic lipase activity by sphingomyelin in plasma lipoproteins. *Biochim. Biophys. Acta* 1851:1327-1336.
- Yeaman, S.J. 1990. Hormone-sensitive lipase-A multipurpose enzyme in lipid metabolism. *Biochim. Biophys. Acta* 1052:128-132.
- Yen, C.E., D.W. Nelson, and M.I. Yen. 2015. Intestinal triacylglycerol synthesis in fat absorption and systemic energy metabolism. *J. Lipid Res.* 56:489-501.
- Zeisel, S.H. 1981. Dietary choline: Biochemistry, physiology, and pharmacology. *Annu. Rev. Nutr.* 1:95-121.

7 Protein ve Amino Asitlerin Metabolizması ve Besleme

Peptid bağlarıyla bağlanmış amino asitleri (AAler) içeren protein, hayvanların ana bir bileşenidir. Organizmaların büyümesi, plasenta, iskelet kası ve ince bağırsak gibi dokularındaki protein depolanmasına bağlıdır (Bergen 2008; Buttery 1983; Reed vd 1993). Rasyondaki proteinler, gastrointestinal kanal lümeninde tripeptitler, dipeptidler ve serbest AAler oluşturmak için proteazlar ve peptidazlar (oligo-, tri – ve di-peptidazlar) tarafından hidrolize edilirler. Sindirim ürünleri hem ince bağırsaklardaki bakteriler tarafından kullanılır hem de enterositler içerisine emilirler (Dai vd 2011). İnce bağırsaklar tarafından parçalanmadan emilen AAler, bağırsak dışındaki dokular tarafından kullanılmak için (protein sentezi dahil) portal vene girerler. Yeni doğan memelilerin ince bağırsakları tarafından bütün haldeki immunglobülinlerin emilimi dışında, rasyondaki proteinlerin sindirilmeden hayvanlar için bir besleyicilik değeri bulunmamaktadır. Bundan dolayı, hayvanların AAler yönünden ihtiyaçları vardır proteinler yönünden yoktur (Chiba vd 1991; Wu vd 2014a). Rasyondaki proteinlerin AAler oranı, sindirilebilirliği ve içeriği onun besleyicilik değerini belirleyen faktörlerdir.

AAler, hidrokarbon iskeletlerinin yanı sıra azot ve kükürt içerirler ve diğer besinlerle (örneğin, karbonhidratlar ve yağlar) yer değiştiremezler. Hidrokarbon iskeletlerini hayvansal hücreler tarafından de novo olarak sentezlenip sentezlenememesi AA' in ve hayvanın türüne bağlıdır (Baker 2009; Reeds vd 2000). Rasyondaki AAlerin yeterli alımı bütün hayvanların optimal büyümesi, gelişmesi ve sağlığı için temeldir. Bundan dolayı, proteinden yetersiz beslenme durumu büyüme geriliği, anemi, fiziksel zayıflık, ödem, vasküler bozukluklar ve bağışıklığın bozulmasına neden olur (Waterlow 1995). Bununla birlikte aşırı protein alımı sindirim, hepatik, renal ve vasküler bozuklukların yanı sıra israf ve çevresel kirlenmeyle sonuçlanır. Dolayısıyla, hayvanlar için rasyon AA ihtiyaçlarına ilişkin önerilerin optimize edilmesi büyüme, üreme performansı ve yemden yararlanmalarını en üst düzeye çıkarmak için önemli olmasıyla birlikte sağlıklarının ve enfeksiyon hastalıklara karşı dirençlerinin de geliştirilmesinde önemlidir.

Sadece azot dengesi veya büyüme dayalı olarak AAler geleneksel olarak hayvanlar için esansiyel ve esansiyel olmayanlar şeklinde sınıflandırılırlar. Sözde “beslenme açısından esansiyel olmayan AAler” (NEAAlar) ABD Ulusal Araştırma Konseyi (U.S. National Research Council [NRC]) tarafından herhangi bir tür için dikkate alınmamıştır çünkü bunlar taktiksel şekilde de novo olarak yeterince sentezlenebildikleri varsayılmaktadır. Ancak, artan literatürler bu varsayımın geçersiz olduğunu göstermektedir çünkü sentezlenebilir AAlerin rasyona ilavesi hayvanların hayatta kalma, büyüme, üreme veya laktasyon performanslarını en üst düzeyde destekleyememektedir (Hout vd 2015; McKnight vd 2010). Proteinler için yapısal bloklar olarak hizmet etmenin ötesinde AAlerin farklı bireysel fonksiyonları pet hayvanlarının yanı sıra çiftlik hayvanları, kanatlılar ve akuatik türlerin etkili besin kullanımı ve refahlarının geliştirilmesi için rasyonlarının hesaplanması esnasında dikkate alınmalıdır (Wang vd 2017; Wu 2013). Hayvanların tüm proteojenik AAlerden oluşan rasyon gereksinimlerine sahip olduğu ve uzun süredir kullanılan “NEAAlar” teriminin beslenme biliminde yanlış bir adlandırma olduğu şimdilerde kabul edilmektedir (Hou ve Wu 2017). Hayvanlardaki AA besleme ve metabolizmasının temel yönleri bu bölümde vurgulanmıştır. Bütün AAlerin standart kısaltmaları (Bölüm 4) okumanın kolaylaştırılması için metin boyunca kullanılmıştır.

NONTRUMİNANLARDA PROTEİN SİNDİRİMİ VE EMİLİMİ

Beslenme temelinde, domuz rasyonları genellikle %12-%20 ham protein (HP) içerir: örneğin, süttten kesimde (21 günlük yaşta) %20; besi sonunda %14; gebelik esnasında %12 ve laktasyon esnasında %18.

KAYNAKLAR

- Agricultural Research Council (United Kingdom) 1981. The Nutrient Requirements of Pigs: Technical Review. *Commonwealth Agricultural Bureaux*, Slough, U.K.
- Austic, R.E. 1985. Development and adaptation of protein digestion. *J. Nutr.* 115:5686–5697.
- Averill, B.A. 1996. Dissimilatory nitrite and nitric oxide reductases. *Chem. Rev.* 96:2951–2964.
- Baracos, V.E., W.T. Whitmore, and R. Gale. 1987. The metabolic cost of fever. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 65:1248–1254.
- Baragi, V. and R.T. Lovell. 1986. Digestive enzyme activities in striped bass from rst feeding through larva development. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115:478–484.
- Baker, D.H. 1997. Ideal amino acid proles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *BioKiyowa Tech. Rev.* 9:1–24.
- Baker, D.H. 2000. Recent advances in use of the ideal protein concept for swine feed formulation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:294–301.
- Baker, D.H. 2005. Comparative nutrition and metabolism: Explication of open questions with emphasis on protein and amino acids. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 102:17897–17902.
- Baker, D.H. 2009. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids* 37:29–41.
- Baker, D.H. and Y. Han. 1994. Ideal amino acid prole for broiler chicks during the rst three weeks posthatching. *Poult. Sci.* 73:1441–1447.
- Baker, D.H., M. Sugahara, and H.M. Scott. 1968. The glycine-serine interrelationship in chick nutrition. *Poult. Sci.* 47:1376–1377.
- Ball, R.O., J.L. Atkinson, and H.S. Bayley. 1986. Proline as an essential amino acid for the young pig. *Br. J. Nutr.* 55:659–668.
- Baracos, V., R.E. Greenberg, and A.L. Goldberg. 1986. Influence of calcium and other divalent cations on protein turnover in rat skeletal muscle. *Am. J. Physiol.* 250:E702–710.
- Barrett, K.E. 2014. *Gastrointestinal Physiology*. McGraw Hill, New York.
- Bazer, F.W., G. Wu, G.A. Johnson, and X.Q. Wang. 2014. Environmental factors affecting pregnancy: Endocrine disrupters, nutrients and metabolic pathways. *Mol. Cell. Endocrinol.* 398:53–68.
- Bazer, F.W., W. Ying, X.Q. Wang, K.A. Dunlap, B.Y. Zhou, G.A. Johnson, and G. Wu. 2015. The many faces of interferon tau. *Amino Acids* 47:449–460.
- Benevenga, N.J. and K.P. Blemings. 2007. Unique aspects of lysine nutrition and metabolism. *J. Nutr.* 137:1610S–1615S.
- Bergen, W.G. 2008. Measuring in vivo intracellular protein degradation rates in animal systems. *J. Anim. Sci.* 86 (Suppl. 14):E3–E12.
- Bergen, W.G. 2015. Small-intestinal or colonic microbiota as a potential amino acid source in animals. *Amino Acids* 47:251–258.
- Bergen, W.G. and D.B. Bates. 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58:1465–1483.
- Bergen, W.G., D.R. Mulvaney, D.M. Skjaerlund, S.E. Johnson, and R.A. Merkel. 1987. In vivo and in vitro measurements of protein turnover. *J. Anim. Sci.* 65(Suppl. 2):88–106.
- Bergen, W.G. and D.B. Purser. 1968. Effect of feeding different protein sources on plasma and gut amino acids in the growing rat. *J. Nutr.* 95:333–340.
- Bergen, W.G. and G. Wu. 2009. Intestinal nitrogen recycling and utilization in health and disease. *J. Nutr.* 139:821–825.
- Bergen, W.G., D.B. Purser, and J.H. Cline. 1968a. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497–1501.
- Bergen, W.G., D.B. Purser, and J.H. Cline. 1968b. Determination of limiting amino acids of rumen-isolated microbial proteins fed to rat. *J. Dairy Sci.* 51:1698–1700.
- Blachier, F., A.M. Davila, R. Benamouzig, and D. Tome. 2011. Channelling of arginine in NO and polyamine pathways in colonocytes and consequences. *Front. Biosci.* 16:1331–1343.
- Brinkhuis, J. and T.A. Payens. 1985. The rennet-induced clotting of para-kappa-casein revisited: Inhibition experiments with pepstatin A. *Biochim. Biophys. Acta* 832:331–336.
- Brock, F.M., C.W. Forsberg, and J.G. Buchanan-Smith. 1982. Proteolytic activity of rumen microorganisms and effects of proteinase inhibitors. *Appl. Environ. Microbiol.* 44:561–569.
- Broderick, G.A. and W.J. Radloff. 2004. Effect of molasses supplementation on the production of lactating dairy cows fed diets based on alfalfa and corn silage. *J. Dairy Sci.* 87:2997–3009.
- Broderick, G.A., R.J. Wallace, and E.R. Ørskov. 1991. Control of rate and extent of protein degradation. In: *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Edited by T. Tsuda and Y. Sasaki. Academic Press, Orlando, Florida, pp. 541–592.
- Bröer, S. and M. Palacín. 2011. The role of amino acid transporters in inherited and acquired diseases. *Biochem. J.* 436:193–211.
- Brosnan, J.T. and M.E. Brosnan. 2006. Branched-chain amino acids: Enzyme and substrate regulation. *J. Nutr.* 136:207S–211S.
- Burrin, D.G. and T.A. Davis. 2004. Proteins and amino acids in enteral nutrition. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 7:79–87.
- Bush, J.A., G. Wu, A. Suryawan, H.V. Nguyen, and T.A. Davis. 2002. Somatotropin-induced amino acid conservation in pigs involves differential regulation of liver and gut urea cycle enzyme activity. *J. Nutr.* 132:59–67.
- Buttery, P.J. 1983. Hormonal control of protein deposition in animals. *Proc. Nutr. Soc.* 42:137–148.
- Chalupa, W. and C.J. Sniffen. 1994. Carbohydrate, protein and amino acid nutrition of dairy cows. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Edited by P.C. Garnsworthy and D.J.A. Cole. University of Nottingham Press, Nottingham, pp. 265–275.
- Chamberlain, D.G., P.C. Thomas, and J. Quig. 1986. Utilization of silage nitrogen in sheep and cows: Amino acid composi-

- tion of duodenal digesta and rumen microbes. *Grass Forage Sci.* 41:31–38.
- Chelikani, P.K., D.R. Glimm, D.H. Keisler, and J.J. Kennelly. 2004. Effects of feeding or abomasal infusion of canola oil in Holstein cows. 2. Gene expression and plasma concentrations of cholecystokinin and leptin. *J. Dairy Res.* 71:288–296.
- Chen, L.X., P. Li, J.J. Wang, X.L. Li, H.J. Gao, Y.L. Yin, Y.Q. Hou, and G. Wu. 2009. Catabolism of nutritionally essential amino acids in developing porcine enterocytes. *Amino Acids* 37:143–152.
- Chen, L.X., Y.L. Yin, W.S. Jobgen, S.C. Jobgen, D.A. Knabe, W.X. Hu, and G. Wu. 2007. In vitro oxidation of essential amino acids by intestinal mucosal cells of growing pigs. *Livest. Sci.* 109:19–23.
- Chiba, L.L., A.J. Lewis, and E.R. Peo Jr. 1991. Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: I. Rate and efficiency of weight gain. *J. Anim. Sci.* 69:694–707.
- Chung, T.K. and D.H. Baker. 1992. Ideal amino acid pattern for ten kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 70:3102–3111.
- Ciechanover, A. 2012. Intracellular protein degradation: From a vague idea thru the lysosome and the ubiquitin-proteasome system and onto human diseases and drug targeting. *Biochim. Biophys. Acta* 1824:3–13.
- Cole, D.J.A. 1980. The amino acid requirements of pigs: The concept of an ideal protein. *Pig News Info.* 1:201–205.
- Columbus, D.A., J. Steinhoff-Wagner, A. Suryawan, H.V. Nguyen, A. Hernandez-Garcia, M.L. Fiorotto, and T.A. Davis. 2015. Impact of prolonged leucine supplementation on protein synthesis and lean growth in neonatal pigs. *Am. J. Physiol.* 309:E601–E610.
- Colvin, B.M. and H.A. Ramsey. 1968. Soy flour in milk replacers for young calves. *J. Dairy Sci.* 51:898–904.
- Cranwell, P.D. 1995. Development of the neonatal gut and enzyme systems. In: *The Neonatal Pig: Development and Survival*. Edited by M.A. Varley. CAB International, Wallingford, Oxon, U.K, pp. 99–154.
- Daenzer, M., K.J. Petzke, B.J. Bequette, and C.C. Metges. 2001. Whole-body nitrogen and splanchnic amino acid metabolism differ in rats fed mixed diets containing casein or its corresponding amino acid mixture. *J. Nutr.* 131:1965–1972.
- Dai, Z.L., Z.L. Wu, S.Q. Hang, W.Y. Zhu, and G. Wu. 2015. Amino acid metabolism in intestinal bacteria and its potential implications for mammalian reproduction. *Mol. Hum. Reprod.* 21:389–409.
- Dai, Z.L., G. Wu, and W.Y. Zhu. 2011. Amino acid metabolism in intestinal bacteria: Links between gut ecology and host health. *Front. Biosci.* 16:1768–1786.
- Dai, Z.L., J. Zhang, G. Wu, and W.Y. Zhu. 2010. Utilization of amino acids by bacteria from the pig small intestine. *Amino Acids* 39:1201–1215.
- Davis, A.J. and R.E. Austic. 1997. Dietary protein and amino acid levels alter threonine dehydrogenase activity in hepatic mitochondria of *Gallus domesticus*. *J. Nutr.* 127:738–744.
- Davis, T.A., J.A. Bush, R.C. Vann, A. Suryawan, S.R. Kimball, and D.G. Burrin. 2004. Somatotropin regulation of protein metabolism in pigs. *J. Anim. Sci.* 82(E-Suppl.):E207–E213.
- Davis, T.A. and P.J. Reeds. 2001. Of flux and flooding: The advantages and problems of different isotopic methods for quantifying protein turnover in vivo: II. Methods based on the incorporation of a tracer. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 4:51–56.
- Debray, L., I. Le Huerou-Luron, T. Gidenne, and L. Fortun-Lamothe. 2003. Digestive tract development in rabbit according to the dietary energetic source: Correlation between whole tract digestion, pancreatic and intestinal enzymatic activities. *Comp. Biochem. Physiol. A* 135:443–455.
- Dhanakoti, S.N., J.T. Brosnan, M.E. Brosnan, and G.R. Herzberg. 1992. Net renal arginine flux in rats is not affected by dietary arginine or dietary protein intake. *J. Nutr.* 122:1127–1134.
- Dillon, E.L., D.A. Knabe, and G. Wu. 1999. Lactate inhibits citrulline and arginine synthesis from proline in pig enterocytes. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 276:G1079–G1086.
- Dixon, R.M. 2013. Controlling voluntary intake of molasses-based supplements in grazing cattle. *Anim. Prod. Sci.* 53:217–225.
- Doepel, C.L., G.E. Lobley, J.F. Bernier, P. Dubreuil, and H. Lapierre. 2007. Effect of glutamine supplementation on splanchnic metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:4325–4333.
- Dorward, D.A., C.D. Lucas, G.B. Chapman, C. Haslett, K. Dhaliwal, and A.G. Rossi. 2015. The role of formylated peptides and formyl peptide receptor 1 in governing neutrophil function during acute inflammation. *Am. J. Pathol.* 185:1172–1184.
- Elango, R., R.O. Ball, and P.B. Pencharz. 2012. Recent advances in determining protein and amino acid requirements in humans. *Br. J. Nutr.* 108(Suppl. 2):S22–S30.
- Emery, R.S. 1978. Feeding for increased milk protein. *J. Dairy Sci.* 61:825–828.
- Ewaschuk, J.B., G.K. Murdoch, I.R. Johnson, K.L. Madsen, and C.J. Field. 2011. Glutamine supplementation improves intestinal barrier function in a weaned piglet model of *Escherichia coli* infection. *Br. J. Nutr.* 106:870–877.
- Faichney G.J., C. Poncet, B. Lassalas, J.P. Jouany, L. Millet, J. Doré, and A.G. Brownlee. 1997. Effect of concentrates in a hay diet on the contribution of anaerobic fungi, protozoa and bacteria to nitrogen in rumen and duodenal digesta in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64:193–213.
- FAO (Food and Agriculture Organizations of the United Nations) 2013. *Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition*. Rome, Italy. Fellner, V. 2002. Rumen microbes and nutrient management. Proceedings of American Registry of Professional Animal Scientists—California Chapter Conference, October, 2002.
- Coalinga, CA. Ffoulkes, D. and R.A. Leng. 1988. Dynamics of protozoa in the rumen of cattle. *Br. J. Nutr.* 59:429–436.
- Field, C.J., I.R. Johnson, and P.D. Schley. 2002. Nutrients and their role in host resistance to infection. *J. Leukoc. Biol.* 71:16–32.
- Firkins, J.L. and Z. Yu. 2015. How to use data on the rumen microbiome to improve our understanding of ruminant nutrition. *J. Anim. Sci.* 93:1450–1470.
- Firkins, J.L., Z. Yu, and M. Morrison. 2007. Ruminant nitrogen metabolism: Perspectives for integration of microbiology and

- nutrition for dairy. *J. Dairy Sci.* 90(E. Suppl.):E1–E16.
- Fisher, H. and H.M. Scott. 1954. The essential amino acid requirements of chicks as related to their proportional occurrence in the fat-free carcass. *Arch. Biochem. Biophys.* 51:517–519.
- Flores, D.A., L.E. Phillip, D.M. Veira, and M. Ivan. 1986. Digestion in the rumen and amino acid supply to the duodenum of sheep fed ensiled and fresh alfalfa. *Can. J. Anim. Sci.* 66:1019–1027.
- Flynn, N.E., J.G. Bird, and A.S. Guthrie. 2009. Glucocorticoid regulation of amino acid and polyamine metabolism in the small intestine. *Amino Acids* 37:123–129.
- Fuller, M.F. and P.J. Reeds. 1998. Nitrogen cycling in the gut. *Annu. Rev. Nutr.* 18:385–411.
- Gabaudan, J. 1984. Posthatching morphogenesis of the digestive system of striped bass. *Ph.D. Dissertation*, Auburn University, Auburn, Alabama.
- García-Gasca, A., M.A. Galaviz, J.N. Gutiérrez, and A. García-Ortega. 2006. Development of the digestive tract, trypsin activity and gene expression in eggs and larvae of the bullseye puffer sh *Sphoeroides annulatus*. *Aquaculture* 251:366–376.
- Gerrits, W.J.J., J. Dijkstra, and J. France. 1997. Description of a model integrating protein and energy metabolism in preruminant calves. *J. Nutr.* 127:1229–1242.
- Ghorbani, G.R. 2012. *Dynamics of Protein Metabolism in the Ruminant*. <http://www.freeptdb.com/details-dynamics-of-protein-metabolism-in-the-ruminant>. Accessed on January 16, 2017.
- Gilbert, E.R., E.A. Wong, and K.E. Webb, Jr. 2008. Peptide absorption and utilization: Implications for animal nutrition and health. *J. Anim. Sci.* 86:2135–2155.
- Giuffrida, P., P. Biancheri, and T.T. MacDonald. 2014. Proteases and small intestinal barrier function in health and disease. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 30:147–153.
- Goldberg, A.L. 2003. Protein degradation and protection against misfolded or damaged proteins. *Nature* 426:895–899.
- Goll, D.E., G. Neti, S.W. Mares, and V.F. Thompson. 2008. Myofibrillar protein turnover: The proteasome and the calpains. *J. Anim. Sci.* 86(14 Suppl.):E19–E35.
- Graber, G. and D.H. Baker. 1973. The essential nature of glycine and proline for growing chickens. *Poul. Sci.* 52:892–896.
- Gruninger, R.J., A.K. Puniya, T.M. Callaghan, J.E. Edwards, N. Youssef, S.S. Dagar, K. Fliegerova et al. 2014. Anaerobic fungi (phylum Neocallimastigomycota): Advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *FEMS Microbiol. Ecol.* 90:1–17.
- Hanigan, M.D., J.P. Cant, D.C. Weakley, and J.L. Beckett. 1998. An evaluation of postabsorptive protein and amino acid metabolism in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 81:3385–3401.
- Harper, A.E., R.H. Miller, and K.P. Block. 1984. Branched-chain amino acid metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 4:409–454.
- Haüssinger, D. 1990. Nitrogen metabolism in liver: Structural and functional organization and physiological significance. *Biochem. J.* 267:281–290.
- Hendriks, W.H., J. van Baal, and G. Bosch. 2012. Ileal and faecal protein digestibility measurement in humans and other non-ruminants—A comparative species view. *Br. J. Nutr.* 108(Suppl. 2):S247–S257.
- Higgins, C.F. and M.M. Gibson. 1986. Peptide transport in bacteria. *Methods Enzymol.* 125:365–377.
- Hook, S.E., J. Dijkstra, A.D.G. Wright, B.W. McBride, and J. France. 2012. Modeling the distribution of ciliate protozoa in the reticulo-rumen using linear programming. *J. Dairy Sci.* 95, 255–265.
- Hou, Y.Q. and G. Wu. 2017. Nutritionally nonessential amino acids: A misnomer in nutritional sciences. *Adv. Nutr.* 8:137–139.
- Hou, Y.Q., K. Yao, Y.L. Yin, and G. Wu. 2016. Endogenous synthesis of amino acids limits growth, lactation and reproduction of animals. *Adv. Nutr.* 7:331–342.
- Hou, Y.Q., Y.L. Yin, and G. Wu. 2015. Dietary essentiality of “nutritionally nonessential amino acids” for animals and humans. *Exp. Biol. Med.* 240:997–1007.
- Hristov, A.N., J.K. Ropp, K.L. Grandeen, S. Abedi, R.P. Etter, A. Melgar, and A.E. Foley. 2005. Effect of carbohydrate source on ammonia utilization in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83:408–421.
- Huang, Y.F., Y. Wang, and M. Watford. 2007. Glutamine directly downregulates glutamine synthetase protein levels in mouse C2C12 skeletal muscle myotubes. *J. Nutr.* 137:1357–1361.
- Hungate, R.E. 1966. *The Rumen and Its Microbes*. Academic Press, New York.
- Hyde, R., P.M. Taylor, and H.S. Hundal. 2003. Amino acid transporters: Roles in amino acid sensing and signalling in animal cells. *Biochem. J.* 373:1–18.
- Irie, M., T. Terada, M. Okuda, and K. Inui. 2004. Eflux properties of basolateral peptide transporter in human intestinal cell line Caco-2. *Pflugers Arch.* 449:186–194.
- Irwin, D.M. 1995. Evolution of the bovine lysozyme gene family: Changes in gene expression and reversion of function. *J. Mol. Evol.* 41:299–312.
- Irwin, D.M. and A.C. Wilson. 1990. Concerted evolution of ruminant stomach lysozymes. Characterization of lysozyme cDNA clones from sheep and deer. *J. Biol. Chem.* 265:4944–4952.
- Jois, M., B. Hall, K. Fewer, and J.T. Brosnan. 1989. Regulation of hepatic glycine catabolism by glucagon. *J. Biol. Chem.* 264:3347–3351.
- Jouany, J.P. 1996. Effect of rumen protozoa on nitrogen utilization by ruminants. *J. Nutr.* 126:1335S–1346S.
- Kertz, A.F. 2010. Urea feeding to dairy cattle: A historical perspective and review. *Prof. Anim. Sci.* 26:257–272.
- Kim, S.W., D.H. Baker, and R.A. Easter. 2001. Dynamic ideal protein and limiting amino acids for lactating sows: The im-

- part of amino acid mobilization. *J. Anim. Sci.* 79:2356–2366.
- Kim, S.W. and G. Wu. 2004. Dietary arginine supplementation enhances the growth of milk-fed young pigs. *J. Nutr.* 134:625–630.
- Kim, S.W., G. Wu, and D.H. Baker. 2005. Ideal protein and amino acid requirements by gestating and lactating sows. *Pig News Inform.* 26:89N–99N.
- Klain, G.J., H.M. Scott, and B.C. Johnson. 1960. The amino acid requirements of the growing chick fed a crystalline amino acid diet. *Poult. Sci.* 39:39–44.
- Klasing, K.C., C.C. Calvert, and V.L. Jarrell. 1987. Growth characteristics, protein synthesis, and protein degradation in muscles from fast and slow-growing chickens. *Poult. Sci.* 66:1189–1196.
- Knabe, D.A., D.C. LaRue, E.J. Gregg, G.M. Martinez, and T.D. Tanksley, Jr. 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 67:441–458.
- Koeln, L.L., T.G. Schlagheck, and K.E. Webb Jr. 1993. Amino acid flux across the gastrointestinal tract and liver of calves. *J. Dairy Sci.* 76:2275–2285.
- Kong, J. and P. Lasko. 2012. Translational control in cellular and developmental processes. *Nature Rev. Genet.* 13:383–394.
- Krebs, H. 1972. Some aspects of the regulation of fuel supply in omnivorous animals. *Adv. Enzyme Regul.* 10:397–420.
- Kristensen, N.B. and G. Wu. 2012. Metabolic functions of the porcine liver. In: *Nutritional Physiology of Pigs*. Edited by K.E. Bach, N.J. Knudsen, H.D. Kjeldsen, and B.B. Jensen. Danish Pig Research Center, Copenhagen, Denmark, Chapter 13, pp. 1–17.
- Kwon, H., G. Wu, F.W. Bazer, and T.E. Spencer. 2003. Developmental changes in polyamine levels and synthesis in the ovine conceptus. *Biol. Reprod.* 69:1626–1634.
- Lackner, D.H. and J. Bähler. 2008. Translational control of gene expression from transcripts to transcriptomes. *Int. Rev. Cell Mol. Biol.* 271:199–251.
- Lam, P. and M.M.M. Kuypers. 2011. Microbial nitrogen cycling processes in oxygen minimum zones. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 3:317–345.
- Lapierre, H., D. Pacheco, R. Berthiaume, D.R. Ouellet, C.G. Schwab, P. Dubreuil, G. Holtrop, and G.E. Lobley. 2006. What is the true supply of amino acids for a dairy cow? *J. Dairy Sci.* 89(E. Suppl.):E1–E14.
- Larsen, M., T.G. Madsen, M.R. Weisbjerg, T. Hvelplund, and J. Madsen. 2001. Small intestinal digestibility of microbial and endogenous amino acids in dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 85:9–21.
- Laursen, B.S., H.P. Sørensen, K.K. Mortensen, and H.U. Sperling-Petersen. 2005. Initiation of protein synthesis in bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 69:101–123.
- Lee, C. and K.A. Beauchemin. 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: Nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Can. J. Anim. Sci.* 94:557–570.
- Le Floch, N., W. Otten, and E. Merlot. 2011. Tryptophan metabolism, from nutrition to potential therapeutic applications. *Amino Acids* 41:1195–1205.
- Lei, J., D.Y. Feng, Y.L. Zhang, S. Dahanayaka, X.L. Li, K. Yao, J.J. Wang, Z.L. Wu, Z.L. Dai, and G. Wu. 2013. Hormonal regulation of leucine catabolism in mammary epithelial cells. *Amino Acids* 45:531–541.
- Lescoat, P., D. Sauvant, and A. Danfær. 1996. Quantitative aspects of blood and amino acid flows in cattle. *Reprod. Nutr. Dev.* 36:137–174.
- Li, M., C. Li, A. Allen, C.A. Stanley, and T.J. Smith. 2012. The structure and allosteric regulation of mammalian glutamate dehydrogenase. *Arch. Biochem. Biophys.* 519:69–80.
- Li, P., K.S. Mai, J. Trushenski, and G. Wu. 2009. New developments in sh amino acid nutrition: Towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids* 37:43–53.
- Li, Y.H., H.K. Wei, F.N. Li, S.W. Kim, C.Y. Wen, Y.H. Duan, Q.P. Guo, W.L. Wang, H.N. Liu, and Y.L. Yin. 2016. Regulation in free amino acid prole and protein synthesis pathway of growing pig skeletal muscles by low-protein diets for different time periods. *J. Anim. Sci.* 94:5192–5205.
- Liao, S.F., W.C. Sauer, A.K. Kies, Y.C. Zhang, M. Cervantes, and J.M. He. 2005. Effect of phytase supplementation to diets for weanling pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *J. Anim. Sci.* 83:625–633.
- Liao, S.F., T. Wang, and N. Regmi. 2015. Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals: Muscle protein biosynthesis and beyond. *SpringerPlus* 4:147.
- Lin, C., D.C. Mahan, G. Wu and S.W. Kim. 2009. Protein digestibility of porcine colostrum by neonatal pigs. *Livest. Sci.* 121:182–186.
- Lund, P. and M. Watford. 1976. Glutamine as a precursor of urea. In: *The Urea Cycle*. Edited by S. Grisolia, R. Bagnuena, and F. Mayor. John Wiley & Sons, New York, pp. 479–488.
- Males, J.R. and D.B. Purser. 1970. Relationship between rumen ammonia levels and the microbial population and volatile fatty acid proportions in faunated and defaunated sheep. *Appl. Microbiol.* 19:483–490.
- Manning, K.S. and T.A. Cooper. 2017. The roles of RNA processing in translating genotype to phenotype. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 18:102–114.
- Matthews, J.C. 2000. Amino acid and peptide transport system. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. Edited by J.P.F. D’Mello. CAPI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp. 3–23.
- Mavromichalis, I., T.M. Parr, V.M. Gabert, and D.H. Baker. 2001. True ileal digestibility of amino acids in sow’s milk for 17-day-old pigs. *J. Anim. Sci.* 79:707–713.

- McAllister, T.A., J.R. Thompson, and S.E. Samuels. 2000. Skeletal and cardiac muscle protein turnover during cold acclimation in young rats. *Am. J. Physiol.* 278:R705–R711.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- McKnight, J.R., M.C. Sattereld, W.S. Jobgen, S.B. Smith, T.E. Spencer, C.J. Meininger, C.J. McNeal, and G. Wu. 2010. Beneficial effects of L-arginine on reducing obesity: Potential mechanisms and important implications for human health. *Amino Acids* 39:349–357.
- McLaughlin, J.T., R.B. Lomax, L. Hall, G.J. Dockray, D.G. Thompson, and G. Warhurst. 1998. Fatty acids stimulate cholecystokinin secretion via an acyl chain length-specific, Ca²⁺-dependent mechanism in the enteroendocrine cell line STC-1. *J. Physiol.* 513:11–18.
- Michel, V., G. Fonty, L. Millet, F. Bonnemoy, and P. Gouet. 1993. In vitro study of the proteolytic activity of rumen anaerobic fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 110:5–10.
- Morris, S.M. Jr. 2002. Regulation of enzymes of the urea cycle and arginine metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 22:87–105.
- Moss, A.R., J.-P. Jouany, and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:231–253.
- Moughan, P.J. and S.M. Rutherford. 2012. Gut luminal endogenous protein: implications for the determination of ileal amino acid digestibility in humans. *Br. J. Nutr.* 108 (Suppl. 2):S258–263.
- Moughan, P.J., V. Ravindran, and J.O.B. Sorbara. 2014. Dietary protein and amino acids—Consideration of the undigestible fraction. *Poult. Sci.* 93:2400–2410.
- Nagaraja, T.G. 2016. Microbiology of the rumen. In: *Rumenology*. Edited by D.D. Millen, M.D.B. Arrigoni, and R.D.L. Pacheco, Springer, New York, NY, pp. 39–61.
- National Research Council (NRC) 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC) 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC) 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council (NRC) 2017. <http://www.nationalacademies.org/nrc/>. Accessed on June 1, 2017.
- Naylor, J.M., T. Leibel, and D.M. Middleton. 1997. Effect of glutamine or glycine containing oral electrolyte solutions on mucosal morphology, clinical and biochemical findings, in calves with viral induced diarrhea. *Can. J. Vet. Res.* 61:43–48.
- Nir, I., Z. Nitsan, and M. Mahagna. 1993. Comparative growth and development of the digestive organs and of some enzymes in broiler and egg type chicks after hatching. *Br. Poult. Sci.* 34:523–532.
- Nitzan, Z., E.A. Dunnington, and P.B. Siegel. 1991. Organ growth and digestive enzyme levels to fifteen days of age in lines of chickens differing in body weight. *Poult. Sci.* 70:2040–2048.
- Noy, Y. and D. Sklan. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poult. Sci.* 74:366–373.
- Ofcer, D.I., E.S., Batterham, and D.J. Farrel. 1997. Comparison of growth performance and nutrient retention of weaner pigs given diets based on casein, free amino acids or conventional proteins. *Br. J. Nutr.* 77:731–744.
- Orellana, R.A., F.A. Wilson, M.C. Gazzaneo, A. Suryawan, T.A. Davis, and H.V. Nguyen. 2011. Sepsis and development impede muscle protein synthesis in neonatal pigs by different ribosomal mechanisms. *Pediatr. Res.* 69:473–478.
- Owsley, W.F., D.E. Orr, Jr., and L.F. Tribble. 1986. Effects of age and diet on the development of the pancreas and the synthesis and secretion of pancreatic enzymes in the young pig. *J. Anim. Sci.* 63:497–504.
- Pedersen, B.H., E.M. Nilssen, and K. Hjelmeland. 1987. Variations in the content of trypsin and trypsinogen in larval herring (*Clupea harengus*) digesting copepod nauplii. *Mar. Biol.* 94:171–181.
- Peng, X., L. Hu, Y. Liu, C. Yan, Z.F. Fang, Y. Lin, S.Y. Xu et al. 2016. Effects of low-protein diets supplemented with indispensable amino acids on growth performance, intestinal morphology and immunological parameters in 13–35 kg pigs. *Animal* 10:1812–1820.
- Porter, J.W.G. 1969. Digestion in the pre-ruminant animal. *Proc. Nutr. Soc.* 28:115–121.
- Pun, H.H.L. and L.D. Satter. 1975. Nitrogen excretion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 41:1161–1163.
- Punia, B.S., J. Leibholz., and G.J. Faichney. 1992. Rate of production of protozoa in the rumen and the flow of protozoal nitrogen to the duodenum in sheep and cattle given a pelleted diet of lucerne hay and barley. *J. Agric. Sci.* 118:229–236.
- Rampilli, M., R. Larsen, and M. Harboe. 2004. Natural heterogeneity of chymosin and pepsin in extracts of bovine stomachs. *Int. Dairy J.* 15:1130–1137.
- Raufman, J.-P. 1992. Gastric chief cells: Receptors and signal-transduction mechanisms. *Gastroenterology* 102:699–710.
- Rawlings, N.D., A.J. Barrett, and A. Bateman. 2012. MEROPS: The database of proteolytic enzymes, their substrates and inhibitors. *Nucleic Acids Res.* 40:D343–D350.
- Reeds, P.J. 1989. Regulation of protein turnover. In: *Animal Growth Regulation*. Edited by D.R. Campion, G.J. Hausman, and R.J. Martin. Plenum Publishing Corporation, New York, NY, pp. 183–210.
- Reeds, P.J., D.G. Burrin, T.A. Davis, and M.L. Fiorotto. 1993. Postnatal growth of gut and muscle: Competitors or collaborators. *Proc. Nutr. Soc.* 52:57–67.
- Reeds, P.J., D.G. Burrin, B. Stoll, and J.B. van Goudoever. 2000. Role of the gut in the amino acid economy of the host. *Nestle Nutr. Workshop Ser. Clin. Perform. Programme.* 3:25–40.
- Reeds, P.J., A. Cadenhead, M.F. Fuller, G.E. Lobley, and J.D. McDonald. 1980. Protein turnover in growing pigs. Effects of

- age and food intake. *Br. J. Nutr.* 43:445–455.
- Reynolds, C.K. 2006. Splanchnic metabolism of amino acids in ruminants. In: *Ruminant Physiology*. Edited by K. Sejrsen, T. Hvelplund, and M.O. Nielsen. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, Wageningen, pp. 225–248.
- Reynolds, C.K. and N.B. Kristensen. 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. *J. Anim. Sci.* 86(14 Suppl.):E293–E305.
- Rezaei, R., J. Lei, and G. Wu. 2017. Dietary supplementation with *Yucca schidigera* extract alleviates heat stress-induced growth restriction in chickens. *J. Anim. Sci.* 95 (Suppl. 4):370–371.
- Ribeiro, F.B., E.A.T. Lanna, M.A.D. Bomm, J.L. Donzele, M. Quadros, and P.D.S.L. Cunha. 2011. True and apparent digestibility of protein and amino acids of feed in Nile tilapia. *R. Bras. Zootec.* 40:939–946.
- Rojas, O.J. and H.H. Stein. 2017. Processing of ingredients and diets and effects on nutritional value for pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:48.
- Rønnestad, I., M. Yúfera, B. Ueberschär, L. Ribeiro, Ø. Sæle, and C. Boglione. 2013. Feeding behaviour and digestive physiology in larval sh: Current knowledge, and gaps and bottlenecks in research. *Rev. Aquaculture.* 5(Suppl. 1):S59–S98.
- Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest, and C.J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci.* 70:3551–3561.
- Salter, D.N., K. Daneshmand, and R.H. Smith. 1979. The origin of nitrogen incorporated into compounds in the rumen bacteria of steers given protein – and urea-containing diets. *Br. J. Nutr.* 41:197–209.
- Samuels, S.E. and V.E. Baracos. 1995. Tissue protein turnover is altered during catch-up growth following *Escherichia coli* infection in weanling rats. *J. Nutr.* 125:520–530.
- San Gabriel, A. and H. Uneyama. 2013. Amino acid sensing in the gastrointestinal tract. *Amino Acids* 45:451–461.
- Sasse, C.E. and D.H. Baker. 1973. Modification of the Illinois reference standard amino acid mixture. *Poult. Sci.* 52:1970–1972.
- Sauer, W.C. and K. de Lange. 1992. Novel methods for determining protein and amino acid digestibility values in feedstuffs. In: *Modern Methods in Protein Nutrition and Metabolism*. Edited by S. Nissen. Academic Press, London.
- Sauer, W.C., M.Z. Fan, R. Mosenthin, and W. Drochner. 2000. Methods for measuring ileal amino acid digestibility in pigs. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. Edited by J.P.F. D'Mello. CAPI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp. 279–307.
- Sauer, W.C. and L. Ozimek. 1986. Digestibility of amino acids in swine—Results and their practical applications—A review. *Livest. Sci. Prod.* 15:367–388.
- Shah, B.P., P. Liu, T. Yu, D.R. Hansen, and T.A. Gilbertson. 2012. TRPM5 is critical for linoleic acid-induced CCK secretion from the enteroendocrine cell line, STC-1. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 302:C210–C219.
- Shepherd, E.J., N. Lister, J.A. Affleck, J.R. Bronk, G.L. Kellett, I.D. Collier, P.D. Bailey, and C.A. Boyd. 2002. Identification of a candidate membrane protein for the basolateral peptide transporter of rat small intestine. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 296:918–922.
- Sherriff, R.M., M.F. Broom, and V.S. Chadwick. 1992. Isolation and purification of N-formylmethionine aminopeptidase from rat intestine. *Biochim. Biophys. Acta* 1119:275–280.
- Singer, M.A. 2003. Do mammals, birds, reptiles and sh have similar nitrogen conserving systems? *Comp. Biochem. Physiol. B.* 134:543–558.
- Sok, M., D.R. Ouellet, J.L. Firkins, D. Pellerin, and H. Lapierre. 2017. Amino acid composition of rumen bacteria and protozoa in cattle. *J. Dairy Sci.* 100:1–9.
- Southorn, B.G., J.M. Kelly, and B.W. McBride. 1992. Phenylalanine flooding dose procedure is effective in measuring intestinal and liver protein synthesis in sheep. *J. Nutr.* 122:2398–2407.
- Southorn, B.G., R.M. Palmer, and P.J. Garlick. 1990. Acute effects of corticosterone on tissue protein synthesis and insulin-sensitivity in rats in vivo. *Biochem. J.* 272:187–191.
- Spooner, H. 2012. *Protein: An Important Nutrient. Horse Extension Program*. Michigan State University, East Lansing, MI.
- Stentoft, C., B.A. Røjen, S.K. Jensen, N.B. Kristensen, M. Vestergaard, and M. Larsen. 2015. Absorption and intermediary metabolism of purines and pyrimidines in lactating dairy cows. *Br. J. Nutr.* 113:560–573.
- Stipanuk, M.H. 2004. Sulfur amino acid metabolism: Pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. *Annu. Rev. Nutr.* 24:539–577.
- Stoll, B. and D.G. Burrin. 2006. Measuring splanchnic amino acid metabolism in vivo using stable isotopic tracers. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl.):E60–E72.
- Storm, E. and E.R. Orskov. 1983. The nutritive value of rumen microorganisms in ruminants. *Br. J. Nutr.* 50:463–470.
- Sun, K.J., Z.L. Wu, Y. Ji, and G. Wu. 2016. Glycine regulates protein turnover by activating Akt/mTOR and inhibiting expression of genes involved in protein degradation in C2C12 myoblasts. *J. Nutr.* 146:2461–2467.
- Suryawan, A., R.A. Orellana, M.L. Fiorotto, and T.A. Davis. 2011. Leucine acts as a nutrient signal to stimulate protein synthesis in neonatal pigs. *J. Anim. Sci.* 89:2004–2016.
- Tamminga, S. 1979. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. *J. Anim. Sci.* 49:1615–1625.
- Tarvid, I.L. 1991. Early postnatal development of peptide hydrolysis in chicks and guinea pigs. *Comp. Biochem. Physiol.* 99A:441–447.
- Tarvid, I.L. 1992. Effect of early postnatal long-term fasting on the development of peptide hydrolysis in chicks. *Comp. Biochem. Physiol.* 101A:161–166.
- Tedeschi, L.O. and D.G. Fox. 2016. *The Ruminant Nutrition System*. XanEdu, Acton, MA.
- Trottier, N.L., C.F. Shipley, and R.A. Easter. 1997. Plasma amino acid uptake by the mammary gland of the lactating sow. *J. Anim. Sci.* 75:1266–1278.
- Van Dijk, S., A.J. Lobsteyn, T. Wensing, and H.J. Breukink. 1983. Treatment of nitrate intoxication in a cow. *Vet. Rec.*

- 112:272–274.
- Vogels, G.D. and C. Van der Driet. 1976. Degradation of purines and pyrimidines by microorganisms. *Bacteriol. Rev.* 40:403–468.
- Wallace, R.J. 1994. Amino acid and protein synthesis, turnover, and breakdown by rumen microorganisms. In: *Principles of Protein Metabolism in Ruminants*. Edited by J.M. Asplund. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 71–111.
- Waltz, D.M. and M.D. Stern. 1989. Evaluation of various methods for protecting soya-bean protein from degradation by rumen bacteria. *Anim. Feed Sci. Technol.* 25:111–122.
- Wang, T., J.M. Feugang, M.A. Crenshaw, N. Regmi, J.R. Blanton, Jr., and S.F. Liao. 2017. A systems biology approach using transcriptomic data reveals genes and pathways in porcine skeletal muscle affected by dietary lysine. *Int. J. Mol. Sci.* 18:885.
- Wang, T.C. and M.F. Fuller. 1989. The optimum dietary amino acid patterns for growing pigs. 1. Experiments by amino acid deletion. *Br. J. Nutr.* 62:77–89.
- Wang, W.W., R. Rezaei, Z.L. Wu, Z.L. Dai, J.J. Wang, and G. Wu. 2013. Concentrations of free and peptidebound hydroxyproline in the sow's milk and piglet plasma. *Amino Acids* 45:595.
- Wang, X.Q., J.W. Frank, D.R. Little, K.A. Dunlap, M.C. Satterled, R.C. Burghardt, T.R. Hansen, G. Wu, and F.W. Bazer. 2014. Functional role of arginine during the peri-implantation period of pregnancy. I. Consequences of loss of function of arginine transporter SLC7A1 mRNA in ovine conceptus trophectoderm. *FASEB J.* 28:2852–2863.
- Wang, Y. and M. Watford. 2007. Glutamine, insulin and glucocorticoids regulate glutamine synthetase expression in C2C12 myotubes, Hep G2 hepatoma cells and 3T3 L1 adipocytes. *Biochim. Biophys. Acta* 1770:594–600.
- Waterlow, J.C. 1995. Whole-body protein turnover in humans—Past, present, and future. *Annu. Rev. Nutr.* 15:57–92.
- Waterlow, J.C., D.J. Millward, and P.J. Garlick. 1978. *Protein Turnover in Mammalian Tissues and in the Whole Body*. Amsterdam, The Netherlands.
- Watford, M., P. Vinay, G. Lemieux, and A. Gougoux. 1980. The regulation of glucose and pyruvate formation from glutamine and citric-acid-cycle intermediates in the kidney cortex of rats, dogs, rabbits and guinea pigs. *Biochem. J.* 188:741–748.
- Watford, M., and G. Wu. 2005. Glutamine metabolism in uricotelic species: Variation in skeletal muscle glutamine synthetase, glutaminase, glutamine levels and rates of protein synthesis. *Comp. Biochem. Physiol. B.* 140:607–614.
- Wilson, R.H. and J. Leibholz. 1981. Digestion in the pigs between 7 and 35 d of age. 4. The digestion of amino acids in pigs given milk and soya-bean proteins. *Br. J. Nutr.* 45:347–357.
- Wolff, J.E., E.N. Bergman, and H.H. Williams. 1972. Net metabolism of plasma amino acids by liver and portal-drained viscera. *Am. J. Physiol.* 223:438–446.
- Wolfson, A.D., J.A. Pleiss, and O.C. Uhlenbeck. 1998. A new assay for tRNA aminoacylation kinetics. *RNA* 4:1019–1023.
- Wright, P.A. 1995. Nitrogen excretion: Three end products, many physiological roles. *J. Exp. Biol.* 198:273–281.
- Wu, G. 1995. Urea synthesis in enterocytes of developing pigs. *Biochem. J.* 312:717–723. Wu, G. 1997. Synthesis of citrulline and arginine from proline in enterocytes of postnatal pigs. *Am. J. Physiol.* 272:G1382–G1390.
- Wu, G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *J. Nutr.* 128:1249–1252.
- Wu, G. 2009. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids* 37:1–17.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction and health. *Adv. Nutr.* 1:31–37.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wu, G. 2014. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: A paradigm shift in protein nutrition. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:34.
- Wu, G., F.W. Bazer, Z.L. Dai, D.F. Li, J.J. Wang, and Z.L. Wu. 2014a. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2:387–417.
- Wu, G., A.G. Borbolla, and D.A. Knabe. 1994b. The uptake of glutamine and release of arginine, citrulline and proline by the small intestine of developing pigs. *J. Nutr.* 124:2437–2444.
- Wu, G., J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J.L. Steiner, and A.E. Thalacker-Mercer. 2014b. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges and innovations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1321:1–19.
- Wu, G., N.E. Flynn, W. Yan, and D.G. Barstow, Jr. 1995. Glutamine metabolism in chick enterocytes: Absence of pyrroline-5-carboxylate synthase and citrulline synthesis. *Biochem. J.* 306:717–721.
- Wu, G., D.A. Knabe, and N.E. Flynn. 1994a. Synthesis of citrulline from glutamine in pig enterocytes. *Biochem. J.* 299:115–121.
- Wu, G., D.A. Knabe, and N.E. Flynn. 2005. Amino acid metabolism in the small intestine: biochemical bases and nutritional significance. In: *Biology of Metabolism of Growing Animals*. Edited by D.G. Burrin and H.J. Mersmann. Elsevier, New York, pp. 107–126.
- Wu, G., D.A. Knabe, and S.W. Kim. 2004. Arginine nutrition in neonatal pigs. *J. Nutr.* 134:2783S–2390S.
- Wu, G. and S.M. Morris, Jr. 1998. Arginine metabolism: Nitric oxide and beyond. *Biochem. J.* 336:1–17.
- Wu, G. and J.R. Thompson. 1988. The effect of ketone bodies on alanine and glutamine metabolism in isolated skeletal muscle from the fasted chick. *Biochem. J.* 255:139–144.
- Wu, G. and J.R. Thompson. 1990. The effect of glutamine on protein turnover in chick skeletal muscle. *Biochem. J.* 265:593–598.
- Wu, G., Z.L. Wu, Z.L. Dai, Y. Yang, W.W. Wang, C. Liu, B. Wang, J.J. Wang and Y.L. Yin. 2013a. Dietary requirements of “nutritionally nonessential amino acids” by animals and humans. *Amino Acids* 44:1107–1113.
- Wu, G., F.W. Bazer, T.A. Davis, S.W. Kim, P. Li, J.M. Rhoads, M.C. Sattereld, S.B. Smith, T.E. Spencer, and Y.L. Yin. 2009. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. *Amino Acids* 37:153–168.
- Wu, G., F.W. Bazer, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, X.L. Li, Z.L. Dai, J.J. Wang, and Z.L. Wu. 2013b. Maternal and fetal

- amino acid metabolism in gestating sows. *Soc. Reprod. Fertil. Suppl.* 68:185–198.
- Wu, Z.L., Y.Q. Hou, S.D. Hu, F.W. Bazer, C.J. Meininger, C.J. McNeal, and G. Wu. 2016. Catabolism and safety of supplemental L-arginine in animals. *Amino Acids* 48:1541–1552.
- Xi, P.B., Z.Y. Jiang, Z.L. Dai, X.L. Li, K. Yao, C.T. Zheng, Y.C. Lin, J.J. Wang, and G. Wu. 2012. Regulation of protein turnover by L-glutamine in porcine intestinal epithelial cells. *J. Nutr. Biochem.* 23:1012–1017.
- Xue, Y., S.F. Liao, K.W. Son, S.L. Greenwood, B.W. McBride, J.A. Boling, and J.C. Matthews. 2010. Metabolic acidosis in sheep alters expression of renal and skeletal muscle amino acid enzymes and transporters. *J. Anim. Sci.* 88:707–717.
- Yang, C., J.A. Rooke, I. Cabeza, and R.J. Wallace. 2016. Nitrate and inhibition of ruminal methanogenesis: Microbial ecology, obstacles, and opportunities for lowering methane emissions from ruminant livestock. *Front. Microbiol.* 7:132.
- Yang, Y.X., Z.L. Dai, and W.Y. Zhu. 2014. Important impacts of intestinal bacteria on utilization of dietary amino acids in pigs. *Amino Acids* 46:2489–2501.
- Yasugi, S. and T. Mizuno. 1981. Developmental changes in acid proteases of the avian proventriculus. *J. Exp. Zool. A* 216:331–335.
- Yen, J.T. 2001. Digestive system. In: *Biology of the Domestic Pig*. Edited by W.G. Pond and H.J. Mersmann. Cornell University Press, Ithaca, NY, pp. 390–453.
- Yen, J.T., B.J. Kerr, R.A. Easter, and A.M. Parkhurst. 2004. Difference in rates of net portal absorption between crystalline and protein-bound lysine and threonine in growing pigs fed once daily. *J. Anim. Sci.* 82:1079–1090.
- Yin, J., W.K. Ren, Y.Q. Hou, M.M. Wu, H. Xiao, J.L. Duan, Y.R. Zhao et al. 2015. Use of homoarginine for measuring true ileal digestibility of amino acids in food protein. *Amino Acids* 47:1795–1803.
- Yoshida, C., M. Maekawa, M. Bannai, and T. Yamamoto. 2016. Glutamate promotes nucleotide synthesis in the gut and improves availability of soybean meal feed in rainbow trout. *Springerplus* 5:1021.
- Young, V.R. and S. Borgonha. 2000. Nitrogen and amino acid requirements: The Massachusetts Institute of Technology amino acid requirement pattern. *J. Nutr.* 130:1841S–1849S.
- Young, V.R. and H.N. Munro. 1978. N τ -Methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: An overview. *Fed. Proc.* 37:2291–2300.
- Zhang, S., E.A. Wong, and E.R. Gilbert. 2015. Bioavailability of different dietary supplemental methionine sources in animals. *Front. Biosci.* E7, 478–490.
- Zhanghi, B.M. and J.C. Matthews. 2010. Physiological importance and mechanisms of protein hydrolysate absorption. In: *Protein Hydrolysates in Biotechnology*. Edited by V.K. Pasupuleki and A.L. Demain. Springer Science, New York, pp. 135–177

8 Enerji Metabolizması

Enerji madde değildir ancak maddenin içinde bulunur. Karbonhidratlar, lipitler, proteinler ve amino asitler (AAler) hayvanlar için başlıca rasyon enerji kaynaklarıdır (Jobgen vd 2006; van Milgen vd 2000) ve bu besinlerin rasyon içindeki oranları karnivorlar, herbivorlar ve omnivorlar arasında değişir (Stevens ve Hume 2004). Bir hayvan, büyümeden ve insan tüketimi için gıda üretmeden (örneğin, kas, süt veya yumurta) önce hayatta kalmalıdır (Pond vd 1995). Eğer hayvanların rasyonuyla aldıkları enerji yetersizse, metabolik süreçler ve doku birimi yeterli enerjiye ihtiyaç duyduğundan, büyümeyecekler ve kilo kaybedeceklerdir (Milligan 1970; Verstegen ve Henken 1987). Hayvansal üretiminin önemli bir maliyeti, vücudun bazal enerji ihtiyacını korumaktır (örneğin, memelilerde ve kuşlarda sabit bir vücut sıcaklığının korunması, kas aktivitesi ve temel fizyolojik fonksiyon) (Kleiber 1961). Hayvanlar, doku büyümesi (ve yün büyümesi), yağlanma, laktasyon, çekim gücü, taşıma, gebelik veya yumurta şekillenmesini içeren üretim amaçları için yaşama ortamına, türüne, ırkına, cinsiyetine ve yaşına bağlı olarak ilave enerjiye ihtiyaç duyarlar (McDonald vd 1022). Bundan dolayı, rasyon enerjisinin kullanım etkinliği, üretim, ekonomik kazanç ve hayvancılığın sürdürülebilirliği için büyük önem taşımaktadır.

Adenozin trifosfat (ATP), hücreler tarafından biyokimyasal reaksiyonlar ve fizyolojik süreçler için kullanıldığından organizmalardaki enerjinin önemli bir para birimidir (Dai vd 2013; Newsholme ve Leech 2009). Bütün hayvanlar kendi biyolojik enerjilerini yağlardan, nişasta/glikojen ve protein/serbest AAlerden elde ettikleri, sırasıyla yağ asitleri, glikoz ve AAlerin hücre spesifik oksidasyonu ile elde ederler (Jobgen vd 2006). Genelde olarak, küçük endotermik hayvanlar daha büyük olanlara göre, kg vücut ağırlığı başına daha yüksek bazal metabolizma hızına (BMR) sahiptir, çünkü küçük hayvanlar daha büyük yüzey alanına sahiptirler, ısıyı daha hızlı kaybederler ve sabit iç sıcaklığı korumak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar (Blaxter 1989; Speakman 2005). Atmış dokuz teleost balık türünün (28 aile ve 12 takımı temsil eder) dahil edildiği 138 çalışmanın sonuçları dinlenme halindeki oksijen tüketiminin (mmol/saat), vücut kitlesi ve çevre sıcaklığıyla pozitif korelasyonlu olduğunu göstermiştir (Clarke ve Johnston 1999). Aynı hayvan türlerinde, fizyolojik ihtiyaçlarını karşılamak için farklı dokular farklı enerji metabolizma oranlarına sahiptir ve enerji substrat tipi doku ve gelişim aşamasına göre değişkenlik göstermektedir (Milligan ve Summers 1986). Örneğin, büyüyen domuzlarda ve sıçanlarda, ince bağırsak, ana metabolik yakıt olarak glutamat, glutamin ve aspartat kullanırken, karaciğer ve iskelet kası için yağ asitlerini büyük miktarda ATP sağlar (Jobgen vd 2006). Yem enerjisinin biyolojik enerjiye dönüşümü, makro besinlerin CO₂ ve suya metabolizmaları için, **Bölüm 5-7**'de ele alındığı gibi karmaşık yollara ihtiyaç duyar. Enerjinin bütün formları ısıya dönüştürülebilir olduğundan, hayvan enerji metabolizma çalışmalarındaki ısı üretimi direkt veya indirekt kalorimetreye ölçülür (Blaxter 1971). Bu bölümün amacı, hayvanlardaki yem enerjisinin bölümlendirilmesinin yanı sıra yem maddelerinin değerlendirilmesi ve beslemede kullanılan enerji sistemlerini ele almaktır.

ENERJİNİN TEMEL KAVRAMLARI

ENERJİNİN TANIMI

Enerji, iş yapma kapasitesi olarak tanımlanabilir (Newsholme ve Leech 2009). Tamamı uygun araçlarla birbirine dönüştürülebilir kimyasal, termal, elektrik ve radyan olmak üzere enerjisinin değişik formları bulunmaktadır. Kimyasal enerji, moleküllerin içerisindeki atomlar arasındaki bağlarda depolanan enerjidir. Enerji, kimyasal bağların yeniden düzenlenmesiyle bir moleküle eklenebilir veya molekülden salınabilir (Brown vd 2003). Yemlerde ve hayvanlarda, enerji başlıca karbonhidratlar, yağlar, yağ asitleri, proteinler ve AAler olarak

sabittir (NE = 0.80 veya 0.82 x ME) fakat, rumen tarafından metan üretimine bağlı olarak ruminantlarda büyük oranda farklılık gösterebilir.

Direkt kalorimetre, indirekt kalorimetre (RQ değerlerine dayanarak) veya karşılaştırmalı kesim teknikleri aracılığıyla ısı üretiminin ölçülmesi, herhangi bir yem maddesinin hayvanlar için NE'nin belirlenmesi için gereklidir. Hayvanlar tarafından ısı üretimi: (1) bazal metabolizmadan gelen ısı ve (2) ısı artışını kapsamaktadır. Bütün hayvanlarda yaşama payı için rasyon ME kullanım verimliliği, üretime kıyasla daha yüksektir ve yağ veya karbonhidratlardan gelen rasyon ME'nin hem bakım hem de üretim için kullanım verimliliği, protein kaynaklı ME'den daha yüksektir. Bu farklılıklar şu gerçeklerden kaynaklanmaktadır: (1) üretim amacıyla (örneğin, doku büyümesi, yumurtlama, laktasyon, gebelik ve yün büyümesi) enerji kullanımını ısı üretimiyle ilişkilidir, (2) biyosentetik süreçler için (örneğin, yağ birikimi ve protein depolanması) enerji verimliliği her zaman %100'den küçüktür ve (3) ATP üretimi için protein oksidasyonunun enerji verimliliği, amonyağın üre veya ürik asit olarak atılmasında enerjiye ihtiyaç duyulmasından dolayı memelilerde ve kuşlarda her zaman yağ ve glikozdan daha düşüktür. Rumendeki yoğun fermantasyon büyük miktarda metan ürettiğinden, yaşama payı ve üretim için gerekli olan rasyon ME kullanım etkinliği, nonruminantlara kıyasla genellikle ruminantlarda daha düşüktür. Aksine, memeliler ve kuşlar kıyaslandığında, balıklar düşük İÜ'den dolayı daha büyük NE değerine sahiptirler. Geleneksel olmayan yem maddelerinin hayvan rasyonlarına ilave edilmesinin artmasıyla, NE kullanımı hem yaşama payı hem de üretim için rasyon enerjisinin verimliliğini daha iyi tahmin edecek ve dolayısıyla rasyonların hassas bir şekilde formüle edilmesini sağlayacaktır. Rasyon enerji kullanım verimliliğinin iyileştirilmesi, hayvan üretiminde ve kaynak kullanımındaki maliyetlerin düşürülmesi ve dolayısıyla, küresel çiftlik hayvanları, kanatlı ve akuakültür endüstrilerinin sürdürülebilirliği için temeldir.

KAYNAKLAR

- Assaad, H., K. Yao, C.D. Tekwe, S. Feng, F.W. Bazer, L. Zhou, R.J. Carroll, C.J. Meininger, and G. Wu. 2014. Analysis of energy expenditure in diet-induced obese rats. *Front. Biosci.* 19:967–985.
- Baldwin, R.L. 1995. *Modeling Ruminant Digestion and Metabolism*. Chapman & Hall, New York, NY.
- Baldwin, R.L. and A.C. Bywater. 1984. Nutritional energetics of animals. *Annu. Rev. Nutr.* 4:101–114.
- Baracos, V.E., W.T. Whitmore, and R. Gale. 1987. The metabolic cost of fever. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 65:1248–1254.
- Ben-Porat, M., S. Sideman, and S. Bursztein. 1983. Energy metabolism rate equations for fasting and post-absorptive subjects. *Am. J. Physiol.* 244:R764–769.
- Blaxter, K.L. 1971. Methods of measuring the energy metabolism and interpretation of results obtained. *Fed. Proc.* 30:1436–1443.
- Blaxter, K.L. 1989. *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Bondi, A.A. 1987. *Animal Nutrition*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Bottje, W.G. and G.E. Carstens. 2009. Association of mitochondrial function and feed efficiency in poultry and livestock species. *J. Anim. Sci.* 87 (Suppl. 14):E48–63.
- Brockway, J.M. 1987. Derivation of formulae used to calculate energy expenditure in man. *Hum. Nutr.: Clin. Nutr.* 41C:463–471.
- Brown, T.L., H.E. LeMay Jr, B.E. Bursten, and J.R. Burdge. 2003. *Chemistry: The Central Science*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. *Energy Metabolism*. In: Edited by K.L. Blaxter, Academic Press, London, UK., pp. 441–443.
- Butterworth M.H. 1985. *Beef Cattle Nutrition and Tropical Pastures*. Longman Inc., New York
- Campbell, R.G. 1988. Nutritional constraints to lean tissue accretion in farm animals. *Nutr. Res. Rev.* 1:233–253.
- Carstens, G.E., D.E. Johnson, M.D. Holland, and K.G. Odde. 1987. Effects of prepartum protein nutrition and birth weight on basal metabolism in bovine neonates. *J. Anim. Sci.* 65:745–751.
- Clark, S.A., O. Davulcu, and M.S. Chapman. 2012. Crystal structures of arginine kinase in complex with ADP, nitrate, and various phosphagen analogs. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 427:212–217.
- Clarke, A. and N.M. Johnston. 1999. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. *J. Anim. Ecol.* 68:893–905.
- Dai, Z.L., Z.L. Wu, Y. Yang, J.J. Wang, M.C. Sattereld, C.J. Meininger, F.W. Bazer, and G. Wu. 2013. Nitric oxide and energy metabolism in mammals. *BioFactors* 39:383–391.
- de Lange, C.F.M. and S.H. Birkett. 2005. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. *Can. J. Anim. Sci.* 85:269–280.

- Even, P.C. and N.A. Nadkarni. 2012. Indirect calorimetry in laboratory mice and rats: Principles, practical considerations, interpretation and perspectives. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 303:R459–476.
- Farrell, D.J. 1974. General principles and assumptions of calorimetry. In: *Energy Requirements of Poultry*. Edited by T.R. Morris, and B.M. Freeman, British Poultry Science Ltd., Edinburgh, U.K., pp. 1–24.
- Fuller, H.L., N.M. Dale, and C.F. Smith. 1983. Comparison of heat production of chickens measured by energy balance and by gaseous exchange. *J. Nutr.* 113:1403–1408.
- Hargrove, J.L. 2007. Does the history of food energy units suggest a solution to “Calorie confusion”? *Nutr. J.* 6:44.
- Hintz, H.F. 1975. Digestive physiology of the horse. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 46:13–7.
- International Bureau of Weights and Measures (IBWM), 2006. *The International System of Units (SI)*. Stedi Media, Paris, France.
- Jobgen, W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutr. Biochem.* 17:571–588.
- Johnson, D.E., K.A. Johnson, and R.L. Baldwin. 1990. Changes in liver and gastrointestinal tract energy demands in response to physiological workload in ruminants. *J. Nutr.* 120:649–655.
- Kaiyala, K.J. and D.S. Ramsay. 2011. Direct animal calorimetry, the underused gold standard for quantifying the re of life. *Comp. Biochem. Physiol. A* 158:252–264.
- Kil, D.Y., F. Ji, L.L. Stewart, R.B. Hinson, A.D. Beaulieu, G.L. Allee, J.F. Patience, J.E. Pettigrew, and H.H. Stein. 2011. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:448–459.
- Kil, D.Y., B.G. Kim, and H.H. Stein. 2013. Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 26:1205–1217.
- Kleiber, M. 1961. *The Fire of Life*. John Wiley, New York, NY.
- Le Goff, G. and J. Noblet. 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 79:2418–2427.
- Ledger, H.P. and A.R. Sayers. 1977. The utilization of dietary energy by steers during periods of restricted food intake and subsequent re-alimentation. 1. The effect of time on the maintenance requirements of steers held at constant ve weights. *J. Agric. Sci.* 88:11–26.
- Lobley, G.E. 1990. Energy metabolism reactions in ruminant muscle: Responses to age, nutrition and hormonal status. *Reprod. Nutr. Dev.* 30:13–34.
- Lodish, H., A. Berk, S.L. Zipursky, P. Matsudaira, D. Baltimore, and J. Darnell. 2000. *Molecular Cell Biology*, 4th ed. W. H. Freeman, New York, NY.
- Lusk, G. 1924. Animal calorimetry. Analysis of the oxidation of the mixture of carbohydrate and fat. *J. Biol. Chem.* 59:41–42.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, and C.A. Morgan. 2002. *Animal Nutrition*, 6th ed. Prentice Hall, New York.
- Mclean, J. and G. Tobin. 1987. *Animal and Human Calorimetry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Milligan, L.P. 1970. Energy efficiency and metabolic transformations. *Fed. Proc.* 30:1454–1458.
- Milligan, L.P. and M. Summers. 1986. The biological basis of maintenance and its relevance to assessing responses to nutrients. *Proc. Nutr. Soc.* 45:185–193.
- Moughan, P. J., Verstegen, M. W. A. and Visser-Reyneveld, M. 2000. *Feed Evaluation—Principles and Practice*. Wageningen Academic Publishing, Wageningen, the Netherlands.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. National Academy Press, Washington, DC.
- Newsholme, E.A. and T.R. Leech. 2009. *Functional Biochemistry in Health and Disease*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- Noblet, J. and M. Etienne. 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 64:774–781.
- Noblet, J., X.S. Shi, and S. Dubois. 1994. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:648–657.
- Pond, W.G., D.B. Church, K.R.
- Pond, and P.A. Schoknecht. 2005. *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 5th ed. Wiley, New York.
- Pond, W.G., K.R. Pond, and D.B. Church. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 4th Ed. Wiley, New York.
- Qaisrani, S.N., M.M. van Krimpen, R.P. Kwakkel, M.W.A. Verstegen, and W.H. Hendriks. 2015. Dietary factors affecting hindgut protein fermentation in broilers: A review. *World Poult. Sci. J.* 71:139–160.
- Ralston, S.L. 1984. Controls of feeding in horses. *J. Anim. Sci.* 59:1354–1361.
- Sibbald, I.R. 1982. Measurement of bioavailable energy in poultry feeding stuffs. *Can. J. Anim. Sci.* 62:983–1048.
- Smith, R.R., G.L. Rumsey, and M.L. Scott. 1978. Heat increment associated with dietary protein, fat, carbohydrate and complete diets in salmonids: Comparative energetic efficiency. *J. Nutr.* 108:1025–1032.
- Speakman, J.R. 2005. Body size, energy metabolism and lifespan. *J. Exp. Biol.* 208:1717–1730.
- Stevens, C.E. and I.D. Hume. 2004. *Comparative Physiology of the Vertebrate Digestive System*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Tedeschi, L.O. and D.G. Fox. 2016. *The Ruminant Nutrition System: An Applied Model for Predicting Nutrient Requirements and Feed Utilization in Ruminants*. XanEdu, Acton, MA.

- Tedeschi, L.O., C. Boin, D.G. Fox, P.R. Leme, G.F. Alleoni, and D.P. Lanna. 2002. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *J. Anim. Sci.* 80:1671–1682.
- van Milgen, J., N. Quiniou, and J. Noblet. 2000. Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs. *Anim. Sci.* 71:119–130.
- van Milgen, J., J. Noblet, and S. Dubois. 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *J. Nutr.* 131:1309–1318.
- Verstegen, M.W.A. and A.M. Henken. 1987. *Energy Metabolism in Farm Animals*. Springer, New York, NY.
- Velayudhan, D.E., I.H. Kim, and C.M. Nyachoti. 2015. Characterization of dietary energy in swine feed and feed ingredients: A review of recent research results. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 28:1–13.
- Weir, J.B. 1949. New methods of calculating metabolic rate with special references to protein metabolism. *J. Physiol. (London)* 109:1–9.
- Wester, A.J.F. 1979. The energetic efficiency of metabolism. *Proc. Nutr. Soc.* 40:121–128.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. CRC Press, Boca Raton.
- Wu, Z., D. Li, Y. Ma, Y. Yu, and J. Noblet. 2007. Evaluation of energy systems in determining the energy cost of gain of growing-nishing pigs fed diets containing different levels of dietary fat. *Arch. Anim. Nutr.* 61:1–9.
- Zhao, L.P. 2013. The gut microbiota and obesity: From correlation to causality. *Nat. Rev. Microbiol.* 11:639–647.

9 Vitaminlerin Metabolizması ve Besleme

Vitaminler hayvan ve insanların büyümeleri ve normal metabolizmalarını gerçekleştirmek için düşük miktarlarda gerekli olan organik bileşiklerdir. Hopkins (1912) saflaştırılmış kazein, domuz yağı, sakaroz, nişasta ve inorganik tuzlar içeren rasyonla beslenen genç sığırcılarda büyümenin yetersiz olduğunu ancak rasyona az miktarda süt (4,7 kalori/g rasyon) eklenmesinin hayvanların normal büyümesine yardımcı olduğunu göstermiştir. Amino nitrojen içerdiği ve hayvanların büyümesi için gerekli olduğu düşünülen “ilave faktörler (accessory factors)” terimi aynı yıl Casimir Funk tarafından “vitaminler” (vital amines/hayati aminler anlamına gelir) olarak adlandırıldı. Artık sadece birkaç vitaminin amino nitrojen içerdiği bilinmektedir (Berdanier 1998). Hopkins’in bu ufuk açıcı bulgusu, o dönemde hayvanlar için sadece dört besin faktörünün (protein, karbonhidrat, yağ ve mineral) gerekli olduğu yönündeki dogmaya meydan okumuştur.

Vitaminlerin keşfi 20. yy’ın başlarına kadar uzansa da, bazı hastalıklar ve vitamin eksiklikleri arasındaki ilişki çok daha önce fark edilmiştir (Semba 2012). Örneğin, 17. yy başlarında limonun insanlarda iskorbüt hastalığını önleme ve iyileştirmedeki yararlı etkisi biliniyordu. İngiliz deniz hekimi olan Lind 1753 yılında insanlarda iskorbüt hastalığının salata ve meyvelerin diyetle dâhil edilmesiyle önlenileceğini bildirmiştir. On dokuzuncu yüzyılın sonunda Eijkmann, insanlarda beriberi hastalığının hastalara kabağı veya kahverengi dış katmanları çıkarılmış olan pirinç (polished rice) yerine kahverengi pirinç tanesi verilerek iyileştirilebileceğini göstermiştir. Ancak vitaminlerin keşfedilmesinden sonra spesifik eksikliklerinin iskorbüt, beriberi, raşitizm, pellagra ve kseroftalmi gibi karakteristik hastalıklara yol açtığı anlaşılmıştır (Zempleni vd 2013).

Vitaminleri alfabetik isimlendirme sistemi kimyasal yapılarının keşfedilmesinden önce kullanılıyordu ve genel olarak kabul görüyordu. Ancak, B kompleksi vitaminlerini (B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₁₂, biotin ve folik asit) tanımlamak için kimyasal isimler giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Vitaminler su veya yağdaki çözünürlüklerine göre suda veya yağda çözünür olarak sınıflandırılır (**Tablo 9.1**). Rasyondaki yağda çözünen vitaminlerin emilim ve taşınma olayları lipit, düşük yoğunluklu lipoproteinler (low density lipoproteins, LDL), çok düşük yoğunluklu lipoproteinler (very low-density lipoproteins, VLDL) ve yüksek yoğunluklu lipoproteinler (high-density lipoproteins, HDL) metabolizmasıyla yakından ilişkilidir. *P*-aminobenzoik asit, karnitin, kolin, flavonoidler, lipoik asit, miyo-inositol, pirolokinolin kinon (pyrroloquinoline quinone, PQQ) ve ubikinonlar gibi bazı maddeler çeşitli zamanlarda vitamin olarak adlandırılmış olsa da, bu tür sınıflandırmalar genel olarak kabul görmemiştir. Bu faktörler yarı-vitaminler, yani vitamin benzeri bileşikler olarak sınıflandırılabilir (Combs 2012). Bazı vitaminler tekli alt durumlardır (riboflavin ve pantotenik asit gibi), diğerleri ise kimyasal olarak ilişkili bileşik-vitamin (niasin için nikotinik asit ve nikotinamid; A vitamini için retinol, retinal ve retinoik asit gibi) sınıfının üyeleridir. Hayvan beslemede vitamin gereksinimleri kg vücut ağırlığı başına mg veya uluslararası birim (international unit, UI) veya tam rasyon yüzdesi olarak ifade edilir (McDonald vd 2011). Bu bölümün temel amacı vitaminlerin kaynakları, metabolizması ve fonksiyonları hakkında bilgi vermektir.

hastalıklardan (örneğin bakteriyel, parazit ve viral enfeksiyonlar) etkilenir. Vitamin eksiklikleri hayvanların büyüme, gelişme, doğurganlık, bağışıklık, üretim ve yem verimliliğini büyük ölçüde azaltabilir ve ayrıca ATP üretimi, antioksidatif tepkiler, protein sentezi ve hücre sel sinyal iletimindeki bozulmalar nedeniyle ciddi vakalarda ölümcül olabilir. Genç hayvanlar vitamin eksikliklerine karşı yetişkinlerden daha hassastır. Eksikliklerin spesifik sendromları genellikle her vitaminin karakteristiğidir (örneğin, niasin eksikliği olan civcivlerde baş retraksiyonu, C vitamini eksikliği olan hayvanlarda bağ dokusu disfonksiyonu ve A vitamini eksikliği olan deneklerde kseroftalmi). Vitamin eksikliklerinden kaynaklanan hastalıkların çoğu, özellikle erken evrelerinde, diyet takviyesi veya intravenöz/intramusküler uygulama ile tedavi edilebilir.

KAYNAKLAR

- Acosta, M.J., L. Vazquez Fonseca, M.A. Desbats, C. Cerqua, R. Zordan, E. Trevisson, and L. Salviati. 2016. Coenzyme Q biosynthesis in health and disease. *Biochim. Biophys. Acta* 1857:1079–1085.
- Ahmad, I., T. Mirza, K. Qadeer, U. Nazim, and F.H.M. Vaid. 2013. Vitamin B6: Deficiency diseases and methods of analysis. *Pak. J. Pharm. Sci.* 26:1057–1069.
- Alpers, D.H. and G. Russell-Jones. 2013. Gastric intrinsic factor: The gastric and small intestinal stages of cobalamin absorption. A personal journey. *Biochimie* 95:989–994.
- Aouameur, R., S. Da Cal, P. Bissonnette, M.J. Coady, and J.-Y. Lapointe. 2007. SMI2 mediates all *myo*-inositol uptake in apical membranes of rat small intestine. *Am. J. Physiol.* 293:G1300–G1307.
- Arnhold, T., H. Nau, S. Meyer, H.J. Rothkoetter, and A.D. Lampen. 2002. Porcine intestinal metabolism of excess vitamin A differs following vitamin A supplementation and liver consumption. *J. Nutr.* 132:197–203.
- Baker, D.H., H.M. Edwards 3rd, C.S. Strunk, J.L. Emmert, C.M. Peter, I. Mavromichalis, and T.M. Parr. 1999. Single versus multiple deficiencies of methionine, zinc, riboflavin, vitamin B-6 and choline elicit surprising growth responses in young chicks. *J. Nutr.* 129:2239–2245.
- Basset, G.J., S. Latimer, A. Fatihi, E. Soubeyrand, and A. Block. 2016. Phylloquinone (vitamin K1): Occurrence, biosynthesis and functions. *Mini-Rev. Med. Chem.* 16.
- Bates, C.J. 1997. Bioavailability of riboflavin. *Eur. J. Clin. Nutr.* 51 (Suppl. 1):S38–42.
- Beedholm-Ebsen, R., K. van de Wetering, T. Hardle, E. Nexø, P. Borst, and S.K. Moestrup. 2010. Identification of multidrug resistance protein 1 (MRP1/ABCC1) as a molecular gate for cellular export of cobalamin. *Blood* 115:1632–1639.
- Bencze, B., E. Ugrai, F. Gerloczy, and I. Juvancz. 1974. The effect of tocopherol on the embryonal development. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 44:180–183.
- Bentinger, M., M. Tekle, and G. Dallner. 2010. Coenzyme Q: Biosynthesis and functions. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 396:74–79.
- Bentley, R. and R. Meganathan. 1982. Biosynthesis of vitamin K (menaquinone) in bacteria. *Microbiol. Rev.* 46:241–280.
- Berdanier, C.D. 1998. *Advanced Nutrition: Micronutrients*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Bettendorff, L., B. Lakaye, G. Kohn, and P. Wins. 2014. Thiamine triphosphate: A ubiquitous molecule in search of a physiological role. *Metab. Brain Dis.* 29:1069–1082.
- Blomhoff, R., M.H. Green, and K.R. Norum. 1992. Vitamin A: Physiological and biochemical processing. *Annu. Rev. Nutr.* 12:37–57.
- Bogan, K.L. and C. Brenner. 2008. Nicotinic acid, nicotinamide, and nicotinamide riboside: A molecular evaluation of NAD⁺ precursor vitamins in human nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 28:115–130.
- Booth, S.L. and J.W. Suttie. 1998. Dietary intake and adequacy of vitamin K. *J. Nutr.* 128:785–788.
- Broberger, O., L. Ernster, and R. Zetterstrom. 1960. Oxidation of human hemoglobin by vitamin K3. *Nature* 188:316–317.
- Brown, G. 2014. Defects of thiamine transport and metabolism. *J. Inherit. Metab. Dis.* 37:577–585.
- Bruce, S.J., P.A. Guy, S. Rezzi, and A.B. Ross. 2010. Quantitative measurement of betaine and free choline in plasma, cereals and cereal products by isotope dilution LC-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.* 58:2055–2061.
- Burtle, G.J. and R.T. Lovell. 1989. Lack of response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to dietary *myo*-inositol. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:218–221.
- Bürzle, M., Y. Suzuki, D. Ackermann, H. Miyazaki, N. Maeda, B. Clémenton, R. Burrier, and M.A. Hediger. 2013. The sodium-dependent ascorbic acid transporter family SLC23. *Mol. Aspects Med.* 34:436–454.
- Butterworth, C.E. Jr. and A. Bendich. 1996. Folic acid and the prevention of birth defects. *Annu. Rev. Nutr.* 16:73–97.
- Byers, T. and G. Perry. 1992. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Annu. Rev. Nutr.* 12:139–159.
- Carpenter, K.J. 1983. The relationship of pellagra to corn and the low availability of niacin in cereals. *Experientia Suppl.* 44:197–222.
- Cascella, M., S. Bärffuss, and A. Stocker. 2013. *Cis*-retinoids and the chemistry of vision. *Arch. Biochem. Biophys.* 539:187–195.

- Castoldi, E. and T.M. Hackeng. 2008. Regulation of coagulation by protein S. *Curr. Opin. Hematol.* 15:529–536.
- Chelstowska, S., M.A.K. Widjaja-Adhi, J.A. Silvaroli, and M. Golczak. 2016. Molecular basis for vitamin A uptake and storage in vertebrates. *Nutrients* 8:676.
- Christakos, S., P. Dhawan, A. Verstuyf, L. Verlinden, and G. Carmeliet. 2016. Vitamin D: Metabolism, molecular mechanism of action, and pleiotropic effects. *Physiol. Rev.* 96:365–408.
- Chu, S.H. and D.M. Hegsted. 1980. Myo-inositol deficiency in gerbils: Comparative study of the intestinal lipodystrophy in *Meriones unguiculatus* and *Meriones libycus*. *J. Nutr.* 110:1209–1216.
- Clagett-Dame, M. and H.F. DeLuca. 2002. The role of vitamin A in mammalian reproduction and embryonic development. *Annu. Rev. Nutr.* 22:347–381.
- Clarke, P. 2010. Vitamin K prophylaxis for preterm infants. *Early Hum. Dev.* 86 (Suppl. 1):17–20.
- Clark, N.P., D.M. Witt, L.E. Davies, E.M. Saito, K.H. McCool, J.D. Douketis, K.R. Metz, and T. Delate. 2015. Bleeding, recurrent venous thromboembolism, and mortality risks during Warfarin interruption for invasive procedures. *JAMA Intern. Med.* 175:1163–1168.
- Collins, M.D. and G.E. Mao. 1999. Teratology of retinoids. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 39:399–430.
- Combs, G.F. 2012. *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. Academic Press, New York, NY.
- Corpe, C.P., P. Eck, J. Wang, H. Al-Hasani, and M. Levine. 2013. Intestinal dehydroascorbic acid (DHA) transport mediated by the facilitative sugar transporters, GLUT2 and GLUT8. *J. Biol. Chem.* 288:9092–9101.
- Coxon, K.M., E. Chakauya, H.H. Ottenhof, H.M. Whitney, T.L. Blundell, C. Abell, and A.G. Smith. 2005. Pantothenate biosynthesis in higher plants. *Biochem. Soc. Trans.* 33:743–746.
- Cronan, J.E. 2016. Assembly of lipoic acid on its cognate enzymes: An extraordinary and essential biosynthetic pathway. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 80:429–450.
- DeGaris, P.J. and I.J. Lean. 2008. Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. *Vet. J.* 176:58–69.
- Dekaney, C.M., G. Wu, Y.L. Yin, and L.A. Jaeger. 2008. Regulation of ornithine aminotransferase gene expression and activity by all-trans retinoic acid in Caco-2 intestinal epithelial cells. *J. Nutr. Biochem.* 19:674–681.
- DeLuca, H.F. 2016. Vitamin D: Historical overview. *Vitam. Horm.* 100:1–20.
- DeLuca, H.F., J.M. Prael, and L.A. Plum. 2011. 1,25-Dihydroxyvitamin D is not responsible for toxicity caused by vitamin D or 25-hydroxyvitamin D. *Arch. Biochem. Biophys.* 505:226–230.
- DiPalma, J.R. and D.M. Ritchie. 1977. Vitamin toxicity. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 17:133–148.
- Durán, J.M., M.J. Peral, M.L. Calonge, and A.A. Ilundáin. 2005. OCTN3: A Na⁺-independent carnitine transporter in enterocytes basolateral membrane. *J. Cell Physiol.* 202:929–935.
- Ducker, G.S. and J.D. Rabinowitz. 2017. One-carbon metabolism in health and disease. *Cell Metab.* 25:27–42.
- Egaas, E. and G. Lambertsen. 1979. Naturally occurring vitamin D3 in fish products analysed by HPLC, using vitamin D2 as an international standard. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 49:35–42.
- Englard, S. and S. Seifter. 1986. The biochemical functions of ascorbic acid. *Annu. Rev. Nutr.* 6:365–406.
- Ennis, E.A. and R.D. Blakely. 2016. Choline on the move: Perspectives on the molecular physiology and pharmacology of the presynaptic choline transporter. *Adv. Pharmacol.* 76:175–213.
- Esmon, C.T., S. Vigano-D'Angelo, A. D'Angelo, and P.C. Comp. 1987. Anticoagulation proteins C and S. *Adv. Exp. Med. Biol.* 214:47–54.
- Fang, Y.Z., S. Yang, and Wu, G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 18:872–879.
- Ferland, G. 2012. The discovery of vitamin K and its clinical applications. *Ann. Nutr. Metab.* 61:213–218.
- Finkel, M.J. 1961. Vitamin K, and the vitamin K analogues. *Clin. Pharmacol. Ther.* 2:794–814.
- Fleming, A. and A.J. Copp. 1998. Embryonic folate metabolism and mouse neural tube defects. *Science* 280:2107–2108.
- Ford, J.E., K.J. Scott, B.F. Sansom, and P.J. Taylor. 1975. Some observations on the possible nutritional significance of vitamin B12 and folate-binding proteins in milk. Absorption of (58Co)cyanocobalamin by suckling piglets. *Br. J. Nutr.* 34:469–492.
- Fugate, C.J. and J.T. Jarrett. 2012. Biotin synthase: Insights into radical-mediated carbon-sulfur bond formation. *Biochim. Biophys. Acta* 1824:1213–1222.
- García-Angulo, V.A. 2017. Overlapping riboflavin supply pathways in bacteria. *Crit. Rev. Microbiol.* 43:196–209.
- Geiger, J.H. and X. Jin. 2006. The structure and mechanism of myo-inositol-1-phosphate synthase. *Subcell. Biochem.* 39:157–180.
- Georgievskii, V.I. 1982. The physiological role of microelements. In: *Mineral Nutrition of Animals*. Edited by V.I. Georgievskii, B.N. Annenkov, and V.T. Samokhin. Butterworths, London, U.K.
- Gill, D.L., T.K. Ghosh, and J.M. Mullaney. 1989. Calcium signaling mechanisms in endoplasmic reticulum activated by inositol-1,4,5 triphosphate and GTP. *Cell Calcium* 10:363–374.
- Gille, D. and A. Schmid. 2015. Vitamin B12 in meat and dairy products. *Nutr. Rev.* 73:106–115.
- Gopalan, C. and K.S. Jaya Rao. 1975. Pellagra and amino acids imbalance. *Vitam. Horm.* 33:505–28.
- Gross, J. and P. Budowski. 1966. Conversion of carotenoids into vitamins A1 and A2 in two species of freshwater fish. *Biochem. J.* 101:747–754.

- Gross, C.J., L.M. Henderson, and D.A. Savaiano. 1986. Uptake of D-carnitine, L-carnitine and acetyl carnitine by isolated guinea-pig enterocytes. *Biochim. Biophys. Acta* 886:425–433.
- Gruber, K., B. Puffer, and B. Kräutler. 2011. Vitamin B12-derivatives-enzyme cofactors and ligands of proteins and nucleic acids. *Chem. Soc. Rev.* 40:4346–463.
- Hall, C.A. 1977. The carriers of native vitamin B12 in normal human serum. *Clin. Sci. Mol. Med.* 53:453–457.
- Halsted, C.H. 2003. Absorption of water-soluble vitamins. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 19:113–117.
- Halsted, C.H. and V. Medici. 2011. Vitamin-dependent methionine metabolism and alcoholic liver disease. *Adv. Nutr.* 2:421–427.
- Hayashi, H. 1995. Pyridoxal enzymes: Mechanistic diversity and uniformity. *J. Biochem.* 118:463–473.
- Helmreich, E.J. 1992. How pyridoxal 5'-phosphate could function in glycogen phosphorylase catalysis. *Biofactors* 3:159–172.
- Hippe, E. and M. Schwartz. 1971. Intrinsic factor activity of stomach preparations from various animal species. *Scand. J. Haematol.* 8:276–281.
- Hirota, Y., N. Tsugawa, K. Nakagawa, Y. Suhara, K. Tanaka, Y. Uchino, A. Takeuchi et al. 2013. Menadione (vitamin K3) is a catabolic product of oral phyloquinone (vitamin K1) in the intestine and a circulating precursor of tissue menaquinone-4 (vitamin K2) in rats. *J. Biol. Chem.* 288:33071–33080.
- Hopkins, F.G. 1912. Feeding experiments illustrating the importance of accessory factors in normal dietaries. *J. Physiol.* 44:425–460.
- How, K.L., H.A. Hazewinkel, and J.A. Mol. 1994. Dietary vitamin D dependence of cat and dog due to inadequate cutaneous synthesis of vitamin D. *Gen. Comp. Endocrinol.* 96:12–18.
- Imai, T., K. Tanaka, T. Yonemitsu, Y. Yakushiji, and K. Ohura. 2017. Elucidation of the intestinal absorption of para-aminobenzoic acid, a marker for dietary intake. *J. Pharm. Sci.* 106:2881–2888. doi: 10.1016/j.xphs.2017.04.070.
- Irie, T., T. Sugimoto, N. Ueki, H. Senoo, and T. Seki. 2010. Retinoid storage in the egg of reptiles and birds. *Comp. Biochem. Physiol. B* 157:113–118.
- Jones, G., S.A. Strugnell, and H.F. DeLuca. 1998. Current understanding of the molecular actions of vitamin D. *Physiol. Rev.* 78:1193–1231.
- Jones, T.C. and R.D. Hunt. 1983. *Veterinary Pathology*. Lea & Febiger, Philadelphia, PA.
- Kamanna, V.S., S.H. Ganji, and M.L. Kashyap. 2013. Recent advances in niacin and lipid metabolism. *Curr. Opin. Lipidol.* 24:239–245.
- Kato, Y., M. Sugiura, T. Sugiura, T. Wakayama, Y. Kubo, D. Kobayashi, Y. Sai, I. Tamai, S. Iseki, and A. Tsuji. 2006. Organic cation/carnitine transporter OCTN2 (Slc22a5) is responsible for carnitine transport across apical membranes of small intestinal epithelial cells in mouse. *Mol. Pharmacol.* 70:829–837.
- Killgore, I. 1989. Nutritional importance of pyrroloquinoline quinone. *Science* 245:850–852.
- Kono, N. and H. Arai. 2015. Intracellular transport of fat-soluble vitamins A and E. *Traffic* 16:19–34.
- Lucock M. 2000. Folic acid: Nutritional biochemistry, molecular biology, and role in disease processes. *Mol. Genet. Metab.* 71:121–138.
- MacKay, D., J. Hathcock, and E. Guarneri. 2012. Niacin: Chemical forms, bioavailability, and health effects. *Nutr. Rev.* 70:357–366.
- Maeda, Y., S. Kawata, Y. Inui, K. Fukuda, T. Igura, and Y. Matsuzawa. 1996. Biotin deficiency decreases ornithine transcarbamylase activity and mRNA in rat liver. *J. Nutr.* 126:61–66.
- Mahan, D.C., S. Ching, and K. Dabrowski. 2004. Developmental aspects and factors influencing the synthesis and status of ascorbic acid in the pig. *Annu. Rev. Nutr.* 24:79–103.
- Mai, K.S., G.T. Wu, and W. Zhu. 2001. Abalone, *Haliotis discus hannai* Ino, can synthesize myo-inositol *de novo* to meet physiological needs. *J. Nutr.* 131:2898–2903.
- Manzetti, S., J. Zhang, and D. van der Spoel. 2014. Thiamin function, metabolism, uptake, and transport. *Biochemistry* 53:821–835.
- March, B.E., V. Coates, and J. Biely. 1968. Reticulocytosis in response to dietary antioxidants. *Science* 164:1398–1399.
- March, B.E., E. Wong, L. Seier, J. Sim, and J. Biely. 1973. Hypervitaminosis E in the chick. *J. Nutr.* 103:371–77.
- Marchioli, R., G. Levantesi, A. Macchia, R.M. Marfisi, G.L. Nicolosi, L. Tavazzi, G. Tognoni, F. Valagussa, and GISSI-Prevenzione Investigators. 2006. Vitamin E increases the risk of developing heart failure after myocardial infarction: Results from the GISSI-Prevenzione trial. *J. Cardiovasc. Med.* 7:347–350.
- Maurice, D.V., S.F. Lightsey, and J.E. Toler. 2004. Ascorbic acid biosynthesis in hens producing strong and weak eggshells. *Br. Poultry Sci.* 45:404–408.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- McKay, E.J. and L.M. McLeay. 1981. Location and secretion of gastric intrinsic factor in the sheep. *Res. Vet. Sci.* 30:261–265.
- McMahon, R.J. 2002. Biotin in metabolism and molecular biology. *Annu. Rev. Nutr.* 22:221–239.
- Meadows, J.A. and M.J. Wargo. 2015. Carnitine in bacterial physiology and metabolism. *Microbiology* 161:1161–1174.
- Meydani, M. and K.R. Martin. 2001. Intestinal absorption of fat-soluble vitamins. In: *Intestinal Lipid Metabolism*. Edited by

- C.M. Mansbach, P. Tso and A. Kuksis. Kluwer Academic, New York, pp. 367–381.
- Miller, E.R.3rd, R. Pastor-Barriuso, D. Dalal, R.A. Riemersma, L.J. Appel, and E. Guallar. 2005. Meta-analysis: High-dose vitamin E supplementation may increase all-cause mortality. *Ann. Intern. Med.* 142:37–46.
- Moura, F.A., K.Q. de Andrade, J.C. dos Santos, and M.O. Goulart. 2015. Lipoic acid: Its antioxidant and anti-inflammatory role and clinical applications. *Curr. Top. Med. Chem.* 15:458–483.
- Nabokina, S.M., K. Inoue, V.S. Subramanian, J.E. Valle, H. Yuasa, and H.M. Said. 2014. Molecular identification and functional characterization of the human colonic thiamine pyrophosphate transporter. *J. Biol. Chem.* 289:4405–4416.
- Nabokina, S.M., M.L. Kashyap, and H.M. Said. 2005. Mechanism and regulation of human intestinal niacin uptake. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 289:C97–C103.
- Nakagawa, K., Y. Hirota, N. Sawada, N. Yuge, M. Watanabe, Y. Uchino, N. Okuda, Y. Shimomura, Y. Suhara, and T. Okano. 2010. Identification of UBIAD1 as a novel human menaquinone-4 biosynthetic enzyme. *Nature* 468:117–121.
- National Research Council (NRC). 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, National Academy Press, Washington, D.C.
- Nau, H. 2001. Teratogenicity of isotretinoin revisited: Species variation and the role of all-trans-retinoic acid. *J. Am. Acad. Dermatol.* 45:S183–187.
- Niehoff, I.D., L. Hüther, and P. Lebzien. 2009. Niacin for dairy cattle: A review. *Br. J. Nutr.* 101:5–19.
- Nielsen, M.J., M.R. Rasmussen, C.B.F. Andersen, E. Nexø, and S.K. Moestrup. 2012. Vitamin B 12 transport from food to the body's cells—A sophisticated, multistep pathway. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 9:345–354.
- Niki, E. and M.G. Traber. 2012. A history of vitamin E. *Ann. Nutr. Metab.* 61:207–212.
- Nilsson, A. and R.D. Duan. 2006. Absorption and lipoprotein transport of sphingomyelin. *J. Lipid Res.* 47:154–171.
- O'Byrne, S.M., N. Wongsiriroy, J. Libien, S. Vogel, I.J. Goldberg, W. Baehr, K. Palczewski, and W.S. Blaner. 2005. Retinoid absorption and storage is impaired in mice lacking lecithin:retinol acyltransferase (LRAT). *J. Biol. Chem.* 280:35647–35657.
- Okano, T., E. Kuroda, H. Nakao, S. Kodama, T. Matsuo, Y. Nakamichi, K. Nakajima, N. Hirao, and T. Kobayashi. 1986. Lack of evidence for existence of vitamin D and 25-hydroxyvitamin D sulfates in human breast and cow's milk. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)* 32:449–462.
- Ouchi, A., M. Nakano, S. Nagaoka, and K. Mukai. 2009. Kinetic study of the antioxidant activity of pyrroloquinolinequinol (PQQH(2), a reduced form of pyrroloquinoline quinone) in micellar solution. *J. Agric. Food Chem.* 57:450–456.
- Owens, C.A. Jr. 1971. Pharmacology and toxicology. In: *The Vitamins: Chemistry, Physiology, Pathology, Methods*. Edited by W.H. Sebrell and R.S. Harris. Academic Press, New York, NY, pp. 492–509.
- Padayatty, S.J. and M. Levine. 2016. Vitamin C: The known and the unknown and Goldilocks. *Oral Dis.* 22:463–493.
- Panche, A.N., A.D. Diwan, and S.R. Chandra. 2016. Flavonoids: An overview. *J. Nutr. Sci.* 5:e47.
- Panter, R.A. and J.B. Mudd. 1969. Carnitine levels in some higher plants. *FEBS Lett.* 5:169–170.
- Penniston, K.L. and S.A. Tanumihardjo. 2006. The acute and chronic toxic effects of vitamin A. *Am. J. Clin. Nutr.* 83:191–201.
- Pesti, G.M., G.N. Rowland 3rd, and K.S. Ryu. 1991. Folate deficiency in chicks fed diets containing practical ingredients. *Poult. Sci.* 70:600–604.
- Peterlik, M. 2012. Vitamin D insufficiency and chronic diseases: Hype and reality. *Food Funct.* 3:784–794.
- Pinto, J.T. and A.J. Cooper. 2014. From cholesterologenesis to steroidogenesis: Role of riboflavin and flavoenzymes in the biosynthesis of vitamin D. *Adv. Nutr.* 5:144–163.
- Politis, I. 2012. Reevaluation of vitamin E supplementation of dairy cows: Bioavailability, animal health and milk quality. *Animal* 6:1427–1434.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 4th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Powers, H.J. 2003. Riboflavin (vitamin B-2) and health. *Am. J. Clin. Nutr.* 77:1352–1360.
- Proszkowiec-Weglarz, M. and R. Angel. 2013. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *J. Appl. Poult. Res.* 22:609–627.
- Puehringer, S., M. Metlitzky, and R. Schwarzenbacher. 2008. The pyrroloquinoline quinone biosynthesis pathway revisited: A structural approach. *BMC Biochem.* 9:8.
- Quick, M. and L., Shi. 2015. The sodium/multivitamin transporter: A multipotent system with therapeutic implications. *Vitam. Horm.* 98:63–100.
- Ragaller, V., P. Lebzien, K.H. Südekum, L. Hüther, and G. Flachowsky. 2011. Pantothenic acid in ruminant nutrition: A review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95:6–16.
- Rai, R.K., J. Luo, and T.H. Tulchinsky. 2017. Vitamin K supplementation to prevent hemorrhagic morbidity and mortality of newborns in India and China. *World J. Pediatr.* 13:15–19.
- Rahman, M.M.A. and P. Hongsprabhas. 2016. Genistein as antioxidant and antibrowning agents in *in vivo* and *in vitro*: A review. *Biomed. Pharmacother.* 82:379–392.
- Ranjan, R., A. Ranjan, G.S. Dhaliwal, and R.C. Patra. 2012. L-Ascorbic acid (vitamin C) supplementation to optimize health and reproduction in cattle. *Vet. Q.* 32:145–150.
- Raux, E., H.L. Schubert, and M.J. Warren. 2000. Biosynthesis of cobalamin (vitamin B12): A bacterial conundrum. *Cell. Mol. Life Sci.* 57:1880–1893.

- Rebhun, W.C., B.C. Tennant, S.G. Dill, and J.M. King. 1984. Vitamin K3-induced renal toxicosis in the horse. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 184:1237–1239.
- Reboul, E. 2015. Intestinal absorption of vitamin D: From the meal to the enterocyte. *Food Funct.* 6:356–362.
- Reboul, E., A. Berton, M. Moussa, C. Kreuzer, I. Crenon, and P. Borel. 2006. Pancreatic lipase and pancreatic lipase-related protein 2, but not pancreatic lipase-related protein 1, hydrolyze retinyl palmitate in physiological conditions. *Biochim. Biophys. Acta* 1761:4–10.
- Reshkin, S.J., S. Vilella, G.A. Ahearn, and C. Storelli. 1989. Basolateral inositol transport by intestines of carnivorous and herbivorous teleosts. *Am. J. Physiol.* 256:G509–G516.
- Roche. 1991. *Vitamin Nutrition for Swine*. Hoffmann-La Roche Inc. Nutley, NJ.
- Sahr, T., S. Ravanel, and F. Rébeillé. 2005. Tetrahydrofolate biosynthesis and distribution in higher plants. *Biochem. Soc. Trans.* 33:758–762.
- Said, H.M. 2011. Intestinal absorption of water-soluble vitamins in health and disease. *Biochem. J.* 437:357–372.
- Said, H.M., H. Chatterjee, R.U. Haq, V.S. Subramanian, A. Ortiz, L.H. Matherly, F.M. Sirotnak, C. Halsted, and S.A. Rubin. 2000. Adaptive regulation of intestinal folate uptake: Effect of dietary folate deficiency. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 279:C1889–C1895.
- Samuel, K.G., H.J. Zhang, J. Wang, S.G. Wu, H.Y. Yue, L.L. Sun, and G.H. Qi. 2015. Effects of dietary pyrroloquinoline quinone disodium on growth performance, carcass yield and antioxidant status of broiler chicks. *Animal* 9:409–416.
- Schmid, A. and B. Walther. 2013. Natural vitamin D content in animal products. *Adv. Nutr.* 4:453–462.
- Schmitt, C.A. and V.M. Dirsch. 2009. Modulation of endothelial nitric oxide by plant-derived products. *Nitric Oxide* 21:77–91.
- Semba, R.D. 2012. The discovery of the vitamins. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 82:310–315.
- Shane B. 2008. Folate and vitamin B12 metabolism: Overview and interaction with riboflavin, vitamin B6, and polymorphisms. *Food Nutr. Bull.* 29(2 Suppl.):S5–16.
- Shearer, M.J., A. Bach, and M. Kohlmeier. 1996. Chemistry, nutritional sources, tissue distribution and metabolism of vitamin K with special reference to bone health. *J. Nutr.* 126(4 Suppl.):1181S–1186S.
- Sherwood, T.A., R.L. Alphin, W.W. Saylor, and H.B. White 3rd. 1993. Folate metabolism and deposition in eggs by laying hens. *Arch. Biochem. Biophys.* 307:66–72.
- Shibata, K., C.J. Gross, and L.M. Henderson. 1983. Hydrolysis and absorption of pantothenate and its coenzymes in the rat small intestine. *J. Nutr.* 113:2107–2115.
- Shiraki, M., N. Tsugawa, and T. Okano. 2015. Recent advances in vitamin K-dependent Gla-containing proteins and vitamin K nutrition. *Osteoporosis Sarcopenia* 1:22–38.
- Shukla, S., C.-P. Wu, K. Nandigama, and S.V. Ambudkar. 2007. The naphthoquinones, vitamin K3 and its structural analogue plumbagin, are substrates of the multidrug resistance-linked ATP binding cassette drug transporter ABCG2. *Mol. Cancer Ther.* 6:3279–3286.
- Smidt, C.R., C.J. Unkefer, D.R. Houck, and R.B. Rucker. 1991. Intestinal absorption and tissue distribution of (14C)pyrroloquinoline quinone in mice. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 197:27–31.
- Smith, C.M. and W.O. Song. 1996. Comparative nutrition of pantothenic acid. *J. Nutr. Biochem.* 7:312–321.
- Smith, R.M. and H.R. Marston. 1970. Production, absorption, distribution and excretion of vitamin B12 in sheep. *Br. J. Nutr.* 24:857–877.
- Soprano, D.R. and K.J. Soprano. 1995. Retinoids as teratogens. *Annu. Rev. Nutr.* 15:111–132.
- Stadtman, T.C. 2002. Discoveries of vitamin B12 and selenium enzymes. *Annu. Rev. Biochem.* 71:1–16.
- Steinberg, F.M., M.E. Gershwin, and R.B. Rucker. 1994. Dietary Pyrroloquinoline quinone: Growth and immune response in BALB/c mice. *J Nutr.* 124:744–753.
- Stephensen, C.B. 2001. Vitamin A, infection, and immune function. *Annu. Rev. Nutr.* 21:167–192.
- Stites, T.E., A.E. Mitchell, and R.B. Rucker. 2000. Physiological importance of quinoenzymes and the O-quinone family of cofactors. *J. Nutr.* 130:719–727.
- Suttle, N.F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th ed. CABI, Wallingford, U.K.
- Thakur, K., S.K. Tomar, A.K. Singh, S. Mandal, and S. Arora. 2016. Riboflavin and health: A review of recent human research. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57:3650–3660. doi: 10.1080/10408398.2016.1145104.
- Tong, L. 2013. Structure and function of biotin-dependent carboxylases. *Cell Mol. Life Sci.* 70:863–891.
- Traber, M.G. 2007. Vitamin E regulatory mechanisms. *Annu. Rev. Nutr.* 27:347–362.
- Trugo, N.M., J.E. Ford, and D.N. Salter. 1985. Vitamin B12 absorption in the neonatal piglet. 3. Influence of vitamin B12-binding protein from sows' milk on uptake of vitamin B12 by microvillus membrane vesicles prepared from small intestine of the piglet. *Br. J. Nutr.* 54:269–283.
- Uchida, Y., K. Ito, S. Ohtsuki, Y. Kubo, T. Suzuki, and T. Terasaki. 2015. Major involvement of Na(+)-dependent multivitamin transporter (SLC5A6/SMVT) in uptake of biotin and pantothenic acid by human brain capillary endothelial cells. *J. Neurochem.* 134:97–112.
- Ueland, P.M., A. Ulvik, L. Rios-Avila, Ø. Midttun, and J.F. Gregory. 2015. Direct and functional biomarkers of vitamin B6 status. *Annu. Rev. Nutr.* 35:33–70.

- Ulatowski, L. and D. Manor. 2013. Vitamin E trafficking in neurologic health and disease. *Annu. Rev. Nutr.* 33:87–103.
- Van Bennekum, A., M. Werder, S.T. Thuahnai, C.H. Han, P. Duong, D.L. Williams, P. Wettstein, G. Schulthess, M.C. Phillips, and H. Hauser. 2005. Class B scavenger receptor-mediated intestinal absorption of dietary β -carotene and cholesterol. *Biochemistry* 44:4517–4525.
- Vadlapudi, A.D., R.K. Vadlapatla, and A.K. Mitra. 2012. Sodium dependent multivitamin transporter (SMVT): A potential target for drug delivery. *Curr. Drug Targets* 13:994–1003.
- Vaz, F.M. and R.J.A. Wanders. 2002. Carnitine biosynthesis in mammals. *Biochem. J.* 361:417–429.
- Vedder, L.C., J.M. Hall, K.R. Jabrouin, and L.M. Savage. 2015. Interactions between chronic ethanol consumption and thiamine deficiency on neural plasticity, spatial memory, and cognitive flexibility. *Alcohol Clin. Exp. Res.* 39:2143–2153.
- Vogel, S., M.V. Gamble, and W.S. Blaner. 1999. Biosynthesis, absorption, metabolism and transport of retinoids. In: *Retinoids*. Edited by H. Nau and W.S. Blaner. Springer, New York, NY.
- Waldrop, G.L., H.M. Holden, and M. St Maurice. 2012. The enzymes of biotin dependent CO₂ metabolism: What structures reveal about their reaction mechanisms. *Protein Sci.* 21:1597–1619.
- Wang, J., H.J. Zhang, K.G. Samuel, C. Long, S.G. Wu, H.Y. Yue, L.L. Sun, and G.H. Qi. 2015. Effects of dietary pyrroloquinoline quinone disodium on growth, carcass characteristics, redox status, and mitochondria metabolism in broilers. *Poult. Sci.* 94:215–225.
- Wang, J.J., Z.L. Wu, D.F. Li, N. Li, S.V. Dindot, M.C. Satterfield, F.W. Bazer, and G. Wu. 2012. Nutrition, epigenetics, and metabolic syndrome. *Antioxid. Redox Signal.* 17:282–301.
- Weir, R.R., J.J. Strain, M. Johnston, C. Lewis, A.M. Fearon, S. Stewart, and L.K. Pourshahidi. 2017. Environmental and genetic factors influence the vitamin D content of cows' milk. *Proc. Nutr. Soc.* 76:76–82.
- Wells, W.W. and D.P. Xu. 1994. Dehydroascorbate reduction. *J. Bioenerg. Biomembr.* 26:369–377.
- Wells, W.W., D.P. Xu, Y.F. Yang, and P.A. Rocque. 1990. Mammalian thioltransferase (glutaredoxin) and protein disulfide isomerase have dehydroascorbate reductase activity. *J. Biol. Chem.* 265:15361–15364.
- Wongsiriroj, N., R. Piantadosi, K. Palczewski, I.J. Goldberg, T.P. Johnston, E. Li, and W.S. Blaner. 2008. The molecular basis of retinoid absorption—A genetic dissection. *J. Biol. Chem.* 283:13510–13519.
- Wrong, O.M., C.J. Edmonds, and V.S. Chadwick. 1981. *The Large Intestine: Its Role in Mammalian Nutrition and Homeostasis*. Wiley and Sons, New York.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wu, G. and C.J. Meininger. 2002. Regulation of nitric oxide synthesis by dietary factors. *Annu. Rev. Nutr.* 22:61–86.
- Wu, G., J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J.L. Steiner, and A.E. Thalacker-Mercer. 2014. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges and innovations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1321:1–19.
- Wyatt, R.D., H.T. Tung, W.E. Donaldson, and P.B. Hamilton. 1973. A new description of riboflavin deficiency syndrome in chickens. *Poult. Sci.* 52:237–244.
- Yao, K., Y.L. Yin, Z.M., Feng, Z.R., Tang, J. Fang, and G. Wu. 2011. Tryptophan metabolism in animals: Important roles in nutrition and health. *Front. Biosci.* S3:286–297.
- Yeum, K.J. and R.M. Russell. 2002. Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annu. Rev. Nutr.* 22:483–504.
- Yin, Z., Z. Huang, J. Cui, R. Fiehler, N. Lasky, D. Ginsburg, and G.J. Broze, Jr. 2000. Prothrombotic phenotype of protein Z deficiency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:6734–6738.
- Zeisel, S.H. and K. da Costa. 2009. Choline: An essential nutrient for public health. *Nutr. Rev.* 67:615–623.
- Zempleni, J., J.W. Suttie, J.F. Gregory III, and P.J. Stover. 2013. *Handbook of Vitamins*, 5th ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zhao, R. and I.D. Goldman. 2013. Folate and thiamine transporters mediated by facilitative carriers (SLC19A1-3 and SLC46A1) and folate receptors. *Mol. Aspects Med.* 34:373–385.
- Zhao, R., N. Diop-Bove, M. Visentin, and I. David Goldman. 2011. Mechanisms of membrane transport of folates into cells and across epithelia. *Annu. Rev. Nutr.* 31:177–201.
- Zingg, J.M. 2015. Vitamin E: A role in signal transduction. *Annu. Rev. Nutr.* 35:135–173.
- Zou, F., Y. Liu, L. Liu, K. Wu, W. Wei, Y. Zhu, and J. Wu. 2007. Retinoic acid activates human inducible nitric oxide synthase gene through binding of RAR α /RXR α heterodimer to a novel retinoic acid response element in the promoter. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 355:494–500.

10 Minerallerin Metabolizması ve Besleme

“Mineral” kelimesi İngilizce “mine” kelimesinden veya yer kabuğunda bulunan ve “minig (madencilik)” yoluyla elde edilebilen maddeden türetilmiştir. Mineraller yer kabuğunda oksijenden sonra en bol bulunan ikinci ile sekizinci elementlerdir. Ağırlıkça oksijen %46.6; silika %27.7; alüminyum %8.1; demir %5; kalsiyum %3.6; sodyum %2.8; potasyum %2.6; magnezyum %2.1; ve diğerleri %1.5 oranında bulunur (Lutgens ve Tarbuck 2000). Mineraller hem gıdalarda hem de hayvanlarda bulunan inorganik elementlerdir. Karbonhidratlar, yağ asitleri ve amino asitlerin aksine, mineraller hayvanlar veya mikroorganizmalar tarafından ne sentezlenir ne de parçalanır (Harris 2014). Organizma ve yemlerde yaklaşık 47 farklı mineral bulunmaktadır (Pond et al. 1995). Bazı mineraller vücutta ≥ 400 mg/kg vücut ağırlığı konsantrasyonlarında bulunur ve makromineraler olarak adlandırılır. Makromineraler arasında sodyum (Na), potasyum (K), klor (Cl), kalsiyum (Ca), fosfor (P), kükürt (S) ve magnezyum (Mg) bulunur (**Tablo 10.1**). Fosfor genellikle hücrelerde ve fizyolojik sıvılarda fosfat olarak bulunur (Takeda et al. 2012). Hayvanlar, mikromineraler veya eser mineraler olarak adlandırılan < 100 mg/kg vücut ağırlığı konsantrasyonlarında yaklaşık 40 minerali düşük miktarlarda içerir (Mertz 1987). Bugüne kadar aşağıdaki 16 mikromineralin hayvanlarda önemli fizyolojik işlevlere sahip olduğu gösterilmiştir. Bunların başlıcalarını demir (Fe), bakır (Cu), kobalt (Co), manganez (Mn), çinko (Zn), iyot (I), selenyum (Se), molibden (Mo), krom (Cr), flor (F), kalay (Sn), vanadyum (V), silikon (Si), nikel (Ni), bor (B) ve brom (Br) oluşturmaktadır (McCall et al. 2014; McDonald et-al. 2011; Mertz 1974). Bu mikromineraler ve daha önce belirtilen yedi makromineral, hayvanlarda beslenme için gerekli olarak sınıflandırılır. Eksiklikleri yem alımının azalması, büyüme kısıtlaması, gelişim bozukluğu ve hatta ölüm gibi belirli semptomlara neden olur (Suttle 2010). Yukarıdaki minerallerden bazıları yüksek seviyelerde beslendiğinde hayvanlar için toksik hale gelebilirken, diğer mineraller (kadmium [Cd], cıva [Hg], kurşun [Pb], berilyum [Be], arsenik [As] ve alüminyum [Al] gibi) çok daha düşük seviyelerde hayvanlar için toksik etkiye neden olur ve rasyonlarda bulunmaması gerekir.

Minerallerin kimyasal özellikleri hayvanların beslenme ve fizyolojik fonksiyonlarını etkiler (Harris 2014). Mineraller elektron kazanabilir veya kaybedebilirler. Bazı mineraller, elektron kaybederek katyon haline gelen ve iyi elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olan metallerdir (Na ve Fe gibi). Metallerin çoğu periyodik tablonun (**Şekil 10.1**) 3 ile 12. gruplarında yer alan ve koordinasyon bileşikleri oluşturmaya güçlü bir eğilimi olan geçiş metallere (Fe, Cu ve Zn gibi) (Rayner-Canham ve Overton 2006). Bununla birlikte, birçok mineral ametal (Cl, I ve P gibi) karakterdedir. Bunlar bir metalin özelliklerini göstermez ve elektron kazanarak anyon haline gelirler. Minerallerin çoğu, taşıma ve biyolojik işlevler için proteinlerle kompleksler oluşturur veya vücutta birbirleriyle etkileşime girer. Metal bağlayıcı proteinler sistemin bakımından oldukça zengindir ve bu da sülfür içeren amino asitlerin mineral metabolizması ve fonksiyonundaki önemini göstermektedir (Harris 2014). Bu nedenle, bazı mineraller diğer minerallerin emilimini ve işlevini etkileyebilir ve bazıları hayvan hücrelerinde gen ekspresyonunu düzenleyebilir (Beckett et al. 2014; Cousins 1994). Ayrıca, bazı mineraller amino asitlerle koordinasyon bileşikleri oluşturur, öyle ki bu kompleksler enterositler ve ekstraintestinal hücreler tarafından yüksek oranlarda emilir. Yararlı veya zararlı olabilen bu tür etkileşimler, hayvanlarda mineral beslenmesinin önemli bir yönüdür. Basit bir eksiklikten farklı olarak mineral dengesizliği, çiftlik hayvanları, kümes hayvanları ve balıklarda bazı beslenme

rolitler olarak mineraller (1) hücre dışı ve hücre içi osmolarite, su dengesi ve kan basıncı ve akışının sürdürülmesi ve (2) kalp, iskelet kası ve beynin fizyolojik faaliyetlerini kontrol eden elektriksel uyarıların iletilmesi için gereklidir. Ayrıca, metaller proteinlerde yapısal rol oynar, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarına katılır, O₂'yi taşır ve depolar ve besin ve enerji metabolizmasında yer alan enzimlerin aktif bölgelerinde işlev görür. Hayvanların bu besin maddelerine yönelik rasyon gereksinimleri fizyolojik durumlardan, çevreden ve hastalıklardan etkilenir. Beslenme yetersizliklerinin yaygın sendromları arasında iştahsızlık, büyüme kısıtlaması ve düşük yem verimliliği; bulantı ve kusma; bağışıklık tepkisinin zayıflaması; doğurganlığın azalması; kemik büyümesi ve gelişiminin bozulması; oksidatif stres ve ciddi vakalarda ölüm yer alır. Bu sorunların aşırı mineral alımına bağlı olarak da ortaya çıktığını belirtmek gerekir. Besleme uygulamalarında, (1) hayvan beslenmesinde önemli olan mineral-mineral ve mineral-organik bileşen etkileşimlerinin (örn, Mg-K, Ca-P, Mg-Ca, Zn-Cu, Zn-Fe, Cu-Mo-S, Cu-Fe, Zn-Cu-Fe ve Fe-vitamin C); ve (2) fizyolojik veya besinsel işlevi olmayan toksik metallerin yem maddeleri, içme suyu ve diğer çevresel kaynaklar (örneğin volkanik patlamalar, madencilik ve eritme) yoluyla hayvanlara girişini en aza indirmek.

KAYNAKLAR

- Abraham, G.E. 2005. The historical background of the iodine project. *The Original Internist*. 12:57–66.
- Agricultural Research Council (ARC). 1981. *The Nutrient Requirements of Pigs*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England.
- Agus, Z. 1999. Hypomagnesemia. *J. Am. Soc. Nephrol.* 10:1616–1622.
- Alexander, R.T. H. Dimke, and E. Cordat. 2013. Proximal tubular NHEs: Sodium, protons and calcium? *Am. J. Physiol.* 305:F229–236.
- Al-Ghamdi, S.M., E.C. Cameron, and R.A. Sutton. 1994. Magnesium deficiency: Pathophysiologic and clinical overview. *Am. J. Kidney Dis.* 24:737–752.
- Allen-Durrance, A.E. 2017. A quick reference on phosphorus. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 47:257–262.
- Anke, M., B. Groppe, W. Arnhold, M. Langer, and U. Krause. 1990. The influence of the ultratrace element deficiency (Mo, Ni, As, Cd, V) on growth, reproduction, and life expectancy. In: *Trace Elements in Clinical Medicine*, Edited by H. Tomita. Springer-Verlag, Tokyo, Japan, pp. 361–376.
- Arfin, S.M., R.L. Kendall, L. Hall, L.H. Weaver, A.E. Stewart, B.W. Matthews, and R.A. Bradshaw. 1995. Eukaryotic methionyl aminopeptidases: Two classes of cobalt-dependent enzymes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92:7714–7718.
- Arnone, A. 1972. X-ray diffraction study of binding of 2,3-diphosphoglycerate to human deoxyhaemoglobin. *Nature* 237:146–149.
- Asagba, S.O. 2013. Cadmium absorption. In: *Encyclopedia of Metalloproteins*, Edited by R.H. Kretsinger, V.N. Uversky, and E.A. Permyakov, Springer, New York, NY, pp. 332–337.
- Asard, H., R. Barbaro, P. Trost, and A. Berczi. 2013. Cytochromes b561: Ascorbate-mediated trans-membrane electron transport. *Antioxid. Redox. Signal.* 19:1026–1035.
- Ascenzi, P. and M. Fasano. 2007. Heme-hemopexin: A “chronosteric” heme-protein. *IUBMB Life* 59:700–708.
- Assem, F.L. and S. Levy. 2009. A review of current toxicological concerns on vanadium pentoxide and other vanadium compounds: Gaps in knowledge and directions for future research. *J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev.* 12:289–306.
- Assi, M.A., M.N.M. Hezmee, A.W. Haron, M.Y.M. Sabri, and M.A. Rajion. 2016. The detrimental effects of lead on human and animal health. *Vet. World* 9:660–671.
- Averill, B.A. 1996. Dissimilatory nitrite and nitric oxide reductases. *Chem. Rev.* 96:2951–2964.
- Bai, S.P., L. Lu, R.L. Wang, L. Xi, L.Y. Zhang, and X.G. Luo. 2012. Manganese source affects manganese transport and gene expression of divalent metal transporter 1 in the small intestine of broilers. *Br. J. Nutr.* 108:267–276.
- Bajaj, M., E. Eiche, T. Neumann, J. Winter, and C. Gallert. 2011. Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India. *J. Hazard Mater.* 189:640–646.
- Baker, D.H. 1999. Cupric oxide should not be used as a copper supplement for either animals or humans. *J. Nutr.* 129:2278–2279.
- Baker, D.H., T.M. Parr, and N.R. Augspurger. 2003. Oral iodine toxicity in chicks can be reversed by supplemental bromine. *J. Nutr.* 133:2309–2312.
- Ballatori, N. 2002. Transport of toxic metals by molecular mimicry. *Environ. Health Perspect.* 110(Suppl. 5):689–694.
- Barbier, O., L. Arreola-Mendoza, and L. María Del Razo. 2010. Molecular mechanisms of fluoride toxicity. *Chem.-Biol. Interact.* 188:319–333.
- Barton, J.C., C.Q. Edwards, and R.T. Acton. 2015. HFE gene: Structure, function, mutations, and associated iron abnormal-

- lities. *Gene* 574:179–192.
- Bazer, F.W., D. Worthington-White, M.F. Fliss, and S. Gross. 1991. Uteroferrin: A progesterone-induced hematopoietic growth factor of uterine origin. *Exp. Hematol.* 19:910–915.
- Beckett, E.L., Z. Yates, M. Veysey, K. Duesing, and M. Lucock. 2014. The role of vitamins and minerals in modulating the expression of microRNA. *Nutr. Res. Rev.* 27:94–106.
- Berbasova, T., S. Nallur, T. Sells, K.D. Smith, P.B. Gordon, S.L. Tausta, and S.A. Strobel. 2017. Fluoride export (FEX) proteins from fungi, plants and animals are “single barreled” channels containing one functional and one vestigial ion pore. *PLoS One* 12(5):e0177096.
- Berg, J.N., J.P. Maas, J.A. Paterson, G.F. Krause, and L.E. Davis. 1984. Efficacy of ethylenediamine dihydriodide as an agent to prevent experimentally induced bovine foot rot. *Am. J. Vet. Res.* 45:1073–1078.
- Besio, R., M.C. Baratto, R. Gioia, E. Monzani, S. Nicolis, L. Cucca, A. Profumo et al. 2013. A Mn(II)-Mn(II) center in human prolidase. *Biochim. Biophys. Acta* 1834:197–204.
- Björklund, G. 2015. Selenium as an antidote in the treatment of mercury intoxication. *Biometals* 28:605–614.
- Blaine, J., M. Chonchol, and M. Levi. 2015. Renal control of calcium, phosphate, and magnesium homeostasis. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* 10:1257–1272.
- Blumberg, W.E. and J. Peisach. 1965. An electron spin resonance study of copper uroporphyrin III and other touraco feather components. *J. Biol. Chem.* 240:870–876.
- Bodnar, M., M. Szczygłowska, P. Konieczka, and J. Namiesnik. 2016. Methods of selenium supplementation: Bioavailability and determination of selenium compounds. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56:36–55.
- Boer, J.L., S.B. Mulrooney, and R.P. Hausinger. 2014. Nickel-dependent metalloenzymes. *Arch. Biochem. Biophys.* 544:142–152.
- Bouron, A. and J. Oberwinkler. 2014. Contribution of calcium-conducting channels to the transport of zinc ions. *Pflugers Arch.* 466:381–387.
- Bremner, I., J.M. Brockway, and H.T. Donnelly. 1976. Anaemia and veal calf production. *Vet. Rec.* 99:203–205.
- Bressler, J.P., L. Olivi, J.H. Cheong, Y. Kim, and D. Bannona. 2004. Divalent metal transporter 1 in lead and cadmium transport. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1012:142–152.
- Brindha, K. and L. Elango. 2013. Causes for variation in bromide concentration in groundwater of a granitic aquifer. *Int. J. Res. Chem. Environ.* 3:163–171.
- Brook, A.A., S.A. Chapman, E.A. Ulman, and G. Wu. 1994. Dietary manganese deficiency decreases rat hepatic arginase activity. *J. Nutr.* 124:340–344.
- Brown, T.L., H.E. LeMay Jr, B.E. Bursten, and J.R. Burdge. 2003. *Chemistry* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bruns, G.A.P. and V.M. Ingram. 1973. Erythropoiesis in the developing chick embryo. *Dev. Biol.* 30:455–459.
- Burgener, D., J.-P. Bonjour, and J. Caverzasio. 1995. Fluoride increases tyrosine kinase activity in osteoblast-like cells: Regulatory role for the stimulation of cell proliferation and Pi transport across the plasma membrane. *J. Bone Mineral Res.* 10:164–171.
- Burk, R.F. and K.E. Hill. 2015. Regulation of selenium metabolism and transport. *Annu. Rev. Nutr.* 35:109–134.
- Butler, A. 1998. Vanadium haloperoxidases. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 2:279–285.
- Cai, L., X.K. Li, Y. Song, and M.G. Cherian. 2005. Essentiality, toxicology and chelation therapy of zinc and copper. *Curr. Med. Chem.* 12:2753–2763.
- Cambier, C., B. Detry, D. Beerens, S. Florquin, M. Ansay, A. Frans, T. Clerboux, and P. Gustin. 1998. Effects of hyperchloremia on blood oxygen binding in healthy calves. *J. Appl. Physiol.* 85:1267–1272.
- Candeal, E., Y.A. Caldas, N. Guillén, M. Levi, and V. Sorribas. 2017. Intestinal phosphate absorption is mediated by multiple transport systems in rats. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 312:G355–G366.
- Carey, H.V., U.L. Hayden, S.S. Spicer, B.A. Schulte, and D.J. Benos. 1994. Localization of amiloride-sensitive Na⁺ channels in intestinal epithelia. *Am. J. Physiol.* 266:G504–510.
- Carlisle, E.M. 1972. Silicon: An essential element for the chick. *Science* 178:619–621.
- Carlisle, E.M. 1980. Biochemical and morphological changes associated with long bone abnormalities in silicon deficiency. *J. Nutr.* 110:1046–1056.
- Carter-Franklin, J.N. and A. Butler. 2004. Vanadium bromoperoxidase-catalyzed biosynthesis of halogenated marine natural products. *J. Am. Chem. Soc.* 126:15060–15066.
- CDC (Center for Disease Control). 2017. Aluminum. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxproles/tp22-c6.pdf>
- Ceko, M.J., S. O’Leary, H.H. Harris, K. Hummitzsch, and R.J. Rodgers. 2016. Trace elements in ovaries: Measurement and physiology. *Biol. Reprod.* 94:86.
- Chandrashekar, J., C. Kuhn, Y. Oka, D.A. Yarmolinsky, E. Hummler, N.J.P. Ryba, and C.S. Zuker. 2010. The cells and peripheral representation of sodium taste in mice. *Nature* 464:297–301.
- Cheek, D.B. and A.B. Holt. 1963. Growth and body composition of the mouse. *Am. J. Physiol.* 205:913–918.
- Cheng, J., B. Poduska, R.A. Morton, and T.M. Finan. 2011. An ABC-type cobalt transport system is essential for growth of *Sinorhizobium meliloti* at trace metal concentrations. *J. Bacteriol.* 193:4405–4416.
- Clarkson, T.W. 2002. The three modern faces of mercury. *Environ. Health Perspect.* 110 (Suppl. 1):11–23.

- Conant, J.B., B.F. Chow, and E.B. Schoenbach. 1933. The oxidation of hemocyanin. *J. Biol. Chem.* 101:463–473.
- Conklin, A.W., Skinner, C.S., Felten, T.L., and Sanders, C.L. 1982. Clearance and distribution of intratracheally instilled vanadium compounds in the rat. *Toxicol. Lett.* 11:199–203.
- Cotton, P.A. and L. Wilkinson. 1988. *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th ed. John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 162–165.
- Cousins, R.J. 1994. Metal elements and gene expression. *Annu. Rev. Nutr.* 14:449–469.
- Crans, D.C., J.J. Smee, E. Gaidamauskas, and L. Yang. 2004. The chemistry and biochemistry of vanadium and the biological activities exerted by vanadium compounds. *Chem. Rev.* 104:849–902.
- Crowe, N.A., M.W. Neathery, W.J. Miller, L.A. Muse, C.T. Crowe, J.L. Varnadoe, and D.M. Blackmon. 1990. Influence of high dietary aluminum on performance and phosphorus bioavailability in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 73:808–818.
- Cromwell, G.L., M.D. Lindemann, H.J. Monegue, D.D. Hall, and D.E. Orr, Jr. 1998. Tribasic copper chloride and copper sulfate as copper sources for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 76:118–123.
- Cunat, L., M.-C. Lanhers, M. Joyeux, and D. Burnel. 2000. Bioavailability and intestinal absorption of aluminum in rats. *Biol. Trace Elem. Res.* 76:31–55.
- Cutting, G.R. 2015. Cystic fibrosis genetics: From molecular understanding to clinical application. *Nat. Rev. Genet.* 16:45–56.
- Davidson, W.B. 1945. Nutritional deficiency diseases, their sources and effects. *Can. J. Comp. Med.* 9:155–162.
- Davidsson, L., B. Lönnerdal, B. Sandström, C. Kunz, and C.L. Keen. 1989. Identification of transferrin as the major plasma carrier protein for manganese introduced orally or intravenously or after *in vitro* addition in the rat. *J. Nutr.* 119:1461–1464.
- de Moraes, H.A. and A.W. Biondo. 2006. Disorders of chloride: Hyperchloremia and hypochloremia. In: *Fluid, Electrolyte, and Acid–Base Disorders*, 3rd ed, Edited by S.P. DiBartola. Elsevier, New York, NY, pp. 80–91.
- Dempski, R.E. 2012. The cation selectivity of the ZIP transporters. *Curr. Top. Membr.* 69:221–245.
- Dick, A.T. 1952. The effect of diet and of molybdenum on copper metabolism in sheep. *Aust. Vet. J.* 28:30–33.
- Dollwet, H.H.A. and J.R.J. Sorenson. 1985. Historic uses of copper compounds in medicine. *Trace Elem. Med.* 2:80–87.
- Dowling, H.J., E.G. Offenbacher, and F.X. Pi-Sunyer. 1989. Absorption of inorganic, trivalent chromium from the vascularly perfused rat small intestine. *J. Nutr.* 119:1138–1145.
- Drewnoski, M.E., D.J. Pogge, and S.L. Hansen. 2014. High-sulfur in beef cattle diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92:3763–3780.
- Dumont, J.E., F. Lamy, P. Roger, and C. Maenhaut. 1992. Physiological and pathological regulation of thyroid cell proliferation and differentiation by thyrotropin and other factors. *Physiol. Rev.* 72:667–697.
- EFSA. 2008. Mercury as undesirable substance in animal feed: Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA J.* 654:1–76.
- Engle, W.A. and J.A. Lemons. 1986. Composition of the fetal and maternal guinea pig throughout gestation. *Pediatr. Res.* 20:1156–1160.
- Eskandari, S., D.D. Loo, G. Dai, O. Levy, E.M. Wright, and N. Carrasco. 1997. Thyroid Na⁺/I⁻ symporter. Mechanism, stoichiometry, and specificity. *J. Biol. Chem.* 272:27230–27238.
- Fang, Y.Z., S. Yang, and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 18:872–879.
- Felix, T.L., C.J. Long, S.A. Metzger, and K.M. Daniels. 2014. Adaptation to various sources of dietary sulfur by ruminants. *J. Anim. Sci.* 92:2503–2510.
- Field, M. 2003. Intestinal ion transport and the pathophysiology of diarrhea. *J. Clin. Invest.* 111:931–943.
- Formigari, A., P. Irato, and A. Santon. 2007. Zinc, antioxidant systems and metallothionein in metal mediated-apoptosis: Biochemical and cytochemical aspects. *Comp. Biochem. Physiol. C.* 146:443–459.
- Fort, D.J., R.L. Rogers, D.W. McLaughlin, C.M. Sellers, and C.L. Schlekot. 2002. Impact of boron deficiency on *Xenopus laevis*. A summary of biological effects and potential biochemical roles. *Biol. Trace Elem. Res.* 90:117–142.
- Fox, J.G., L.C. Anderson, F.M. Loew, and F.W. Quimby. 2002. *Laboratory Animal Medicine*. Academic Press, New York, NY.
- Ganz, T. 2003. Hpcidin, a key regulator of iron metabolism and mediator of anemia of inflammation. *Blood* 102:783–788.
- Garneau, A.P., G.A. Carpentier, A.A. Marcoux, R. Frenette-Cotton, C.F. Simard, W. Rémus-Borel, L. Caron et al. 2015. Aquaporins mediate silicon transport in humans. *PLoS One* 10(8):e0136149.
- Gawenis, L.R., X. Stien, G.E. Shull, P.J. Schultheis, A.L. Woo, N.M. Walker, and L.L. Clarke. 2002. Intestinal NaCl transport in NHE2 and NHE3 knockout mice. *Am. J. Physiol.* 282:G776–G784.
- Georgievskii, V.I., B.N. Annenkov, and V.T. Samokhin. 1982. *Mineral Nutrition of Animals*. Butterworths, London.
- Glanz, J. 1996. Hemoglobin reveals new role as blood pressure regulator. *Science* 271:1670.
- Gould, D.H., D.A. Dargatz, F.B. Garry, D.W. Hamar, and P.F. Ross. 2002. Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 221:673–677.
- Gozzelino, R. and P. Arosio. 2016. Iron homeostasis in health and disease. *Int. J. Mol. Sci.* 17(130):1–14.
- Grasbeck, R., I. Kouvonen, M. Lundberg, and R. Tenhunen. 1979. An intestinal receptor for heme. *Scand. J. Haematol.* 23:5–9.
- Greene, L.W. 2016. Assessing the mineral supplementation needs in pasture-based beef operations in the Southeastern Uni-

- ted States. *J. Anim. Sci.* 94:5395–5400.
- Greene, L.W., P.G. Harms, G.T. Schelling, F.M. Byers, W.C. Ellis, and D.J. Kirk. 1985. Growth and estrous activity of rats fed adequate and deficient levels of phosphorus. *J. Nutr.* 115:753.
- Greene, L.W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 77 (E-Suppl):1–9.
- Greene, L.W., J.P. Fontenot, and K.E. Webb Jr. 1983. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J. Anim. Sci.* 57:503–510.
- Grummer, R.H., O.G. Bentley, P.H. Phillips, and G. Bohstedt. 1950. The role of manganese in growth, reproduction, and lactation of swine. *J. Anim. Sci.* 9:170–175.
- Gulec, S. and J.F. Collins. 2014. Molecular mediators governing iron–copper interactions. *Annu. Rev. Nutr.* 34:95–116.
- Guyton, A.C. and J.E. Hall. 2000. *Textbook of Medical Physiology*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, PA.
- Haider, L.M., L. Schwingshackl, G. Hoffmann, and C. Ekmekcioglu. 2016. The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* [Epub ahead of print].
- Hajjar, J.J., J.C. Fucci, W.A. Rowe, and T.K. Tomicic. 1987. Effect of vanadate on amino acid transport in rat jejunum. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 184:403–409.
- Hansard, S.L., II, C.B. Ammerman, and P.R. Henry. 1982. Vanadium metabolism in sheep. *J. Anim. Sci.* 55:350–356.
- Hanschmann, E.-M., J.R. Godoy, C. Berndt, C. Hudemann, and C.H. Lillig. 2013. Thioredoxins, glutaredoxins, and peroxiredoxins—Molecular mechanisms and health significance: From cofactors to antioxidants to redox signaling. *Antioxid. Redox. Signal.* 19:1539–1605.
- Hardt, P.F., W.R. Ocuppaugh, and L.W. Greene. 1991. Forage mineral concentration, animal performance, and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *J. Anim. Sci.* 69:2310–2320.
- Harris, E.D. 2014. *Minerals in Foods*. DEStech Publications, Inc. Lancaster, PA.
- Hart, E.B., H. Steenbock, J. Waddell, and C.A. Elvehjem. 1928. Iron in nutrition. VII. Copper as a supplement to iron for hemoglobin building in the rat. *J. Biol. Chem.* 277:797–812.
- Heitzmann, D. and W. Richard. 2008. Physiology and pathophysiology of potassium channels in gastrointestinal epithelia. *Physiol. Rev.* 88:1119–1182.
- Herzig, I., M. Navrátilová, J. Totušek, P. Suchý, V. Večerek, J. Blahová, and Z. Zralý. 2009. The effect of humic acid on zinc accumulation in chicken broiler tissues. *Czech. J. Anim. Sci.* 54:121–127.
- Hidiroglou, M. 1979. Trace element deficiencies and fertility in ruminants: A review. *J. Dairy Sci.* 62:1195–1206.
- Hoffer, L.J. 2002. Methods for measuring sulfur amino acid metabolism. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 5:511–517.
- Hojyo, S. and T. Fukada. 2016. Zinc transporters and signaling in physiology and pathogenesis. *Arch. Biochem. Biophys.* 611:43–50.
- Holm, R.H., P. Kennepohl, and E.I. Solomon. 1996. Structural and functional aspects of metal sites in biology. *Chem. Rev.* 96:2239–2314.
- Holmberg, C.G. and C.B. Laurell. 1948. Investigations in serum copper. II. Isolation of the copper containing protein, and a description of some of its properties. *Acta Chem. Scand.* 2:550–556.
- Horsetalk. 2009. Polo pony selenium levels up to 20 times higher than normal. <http://www.horsetalk.co.nz>. Accessed on May 28, 2017.
- Huang, C.L. and E. Kuo. 2007. Mechanism of hypokalemia in magnesium deficiency. *J. Am. Soc. Nephrol.* 18:2649–2652.
- Huang, F., X.M. Wong, and L.Y. Jan. 2012. Calcium-activated chloride channels. *Pharmacol. Rev.* 64:1–15.
- Huck, D.W. and A.J. Clawson. 1976. Excess dietary cobalt in pigs. *J. Anim. Sci.* 43:1231–1246.
- Humer, E., C. Schwarz, and K. Schedle. 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 99:605–625.
- Hunt, C.D. 1989. Dietary boron modified the effects of magnesium and molybdenum on mineral metabolism in the cholecalciferol-deficient chick. *Biol. Trace Elem. Res.* 22:201–220.
- Hunt, C.D. 2012. Dietary boron: Progress in establishing essential roles in human physiology. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 26:157–160.
- Jaishankar, M., T. Tseten, N. Anbalagan, B.B. Mathew, and K.N. Beeregowda. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip. Toxicol.* 7:60–72.
- Jones, T.C. and R.D. Hunt. 1983. *Veterinary Pathology*. Lea & Febiger, Philadelphia, PA.
- Jones, M. and D. van der Merwe. 2008. Copper toxicity in sheep is on the rise in Kansas and Nebraska. Comparative Toxicology, Kansas State Veterinary Diagnostic Laboratory, Kansas.
- Johnson, M.A. and J.L. Greger. 1985. Tin, copper, iron and calcium metabolism of rats fed various dietary levels of inorganic tin and zinc. *J. Nutr.* 115:615–624.
- Kabu, M. and M.S. Akosman. 2013. Biological effects of boron. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 225:57–75.
- Kaler, S.G., C.S. Holmes, D.S. Goldstein, J. Tang, S.C. Godwin, A. Donsante, C.J. Liew, S. Sato, and N. Patronas. 2008. Neonatal diagnosis and treatment of Menkes disease. *N. Engl. J. Med.* 358:605–614.
- Kato, A. and M.F. Romero. 2011. Regulation of electroneutral NaCl absorption by the small intestine. *Annu. Rev. Physiol.* 73:261–281.
- Kemmerer, A.R., C.A. Elvehjem, and E.B. Hart. 1931. Studies on the relation of manganese to the nutrition of the mouse. *J. Biol. Chem.* 92:623–630.

- Kertesz, M.A. 2001. Bacterial transporters for sulfate and organosulfur compounds. *Res. Microbiol.* 152:279–290.
- Kesner, M. 1999. *Bromine and Bromine Compounds from the Dead Sea*. Weizmann Institute of Science, Jerusalem, Israel.
- Kessler, K.L., K.C. Olson, C.L. Wright, K.J. Austin, P.S. Johnson, and K.M. Cammack. 2012. Effects of supplemental molybdenum on animal performance, liver copper concentrations, ruminal hydrogen sulfide concentrations, and the appearance of sulfur and molybdenum toxicity in steers receiving fiber-based diets. *J. Anim. Sci.* 90:5005–5012.
- Ketteler, M., O. Liangos, and P.H. Biggar. 2016. Treating hyperphosphatemia—Current and advancing drugs. *Expert Opin. Pharmacother.* 17:1873–1879.
- Khan, Z.I., M. Ashraf, K. Ahmad, A. Bayat, M.K. Mukhtar, S.A.H. Naqvi, R. Nawaz, M.J. Zaib, and M. Shaheen. 2012. Lead toxicity evaluation in rams grazing on pasture during autumn and winter: A case study. *Pol. J. Environ. Study* 21:1257–1260.
- Khanal, R.C. and I. Nemere. 2008. Regulation of intestinal calcium transport. *Annu. Rev. Nutr.* 28:1791–1796.
- Kienzle, E., J. Zentek, and H. Meyer. 1998. Body composition of puppies and young dogs. *J. Nutr.* 128:2680S–2683S.
- Kikuchi, K. and F.K. Ghishan. 1987. Phosphate transport by basolateral plasma membranes of human small intestine. *Gastroenterology* 93:106–113.
- Knöpfel, M., L. Zhao, and M.D. Garrick. 2005. Transport of divalent transition-metal ions is lost in small-intestinal tissue of *b/b* Belgrade rats. *Biochemistry* 44:3454–3465.
- Kobayashi, M. and S. Shimizu. 1999. Cobalt proteins. *Eur. J. Biochem.* 261:1–9.
- Kollias-Baker, C. 1999. Therapeutics of musculoskeletal disease in the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 15:589–602.
- Kono, S. K. Yoshida, N. Tomosugi, T. Terada, Y. Hamaya, S. Kanaoka, and H. Miyajima. 2010. Biological effects of mutant ceruloplasmin on hepcidin-mediated internalization of ferroportin. *Biochim. Biophys. Acta* 1802:968–975.
- Kornberg, A., N.N. Rao, and D. Ault-Riché. 1999. Inorganic polyphosphate: A molecule of many functions. *Annu. Rev. Biochem.* 68:89–125.
- Kovesdy, C.P. 2017. Updates in hyperkalemia: Outcomes and therapeutic strategies. *Rev. Endocr. Metab. Disord.* 18:41–47.
- Krewski, D., R.A. Yokel, E. Nieboer, D. Borchelt, J. Cohen, J. Harry, S. Kacew, J. Lindsay, A.M. Mahfouz, and V. Rondeau. 2007. Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 10(Suppl. 1):1–269.
- Krishnamachari, K.A.V.R. 1987. Fluorine. In: *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, Vol. 1, Edited by W. Mertz, Academic Press, New York, NY, pp. 365–415.
- Kubena, K.S. and J. Durlach. 1990. Historical review of the effects of marginal intake of magnesium in chronic experimental magnesium deficiency. *Magnes. Res.* 3:219–226.
- Kumar, S. and T. Berl. 1998. Sodium. *Lancet* 352:220–228.
- Lehmann-Horn, F. and K. Jurkat-Rott. 1999. Voltage-gated ion channels and hereditary disease. *Physiol. Rev.* 79:1317–1372.
- Leonhard-Marek, S., F. Stumpff, I. Brinkmann, G. Breves, and H. Martens. 2005. Basolateral Mg^{2+}/Na^{+} exchange regulates apical nonselective cation channel in sheep rumen epithelium via cytosolic Mg^{2+} . *Am. J. Physiol.* 288:G630–G645.
- Leung, A.M. and L.E. Braverman. 2014. Consequences of excess iodine. *Nat. Rev. Endocrinol.* 10:136–142.
- Liao, S.F., J.S. Monegue, M.D. Lindemann, G.L. Cromwell, and J.C. Matthews. 2011. Dietary supplementation of boron differentially alters expression of borate transporter (NaBC1) mRNA by jejunum and kidney of growing pigs. *Biol. Trace Elem. Res.* 143:901–912.
- Lien, Y.H. and J.I. Shapiro. 2007. Hyponatremia: Clinical diagnosis and management. *Am. J. Med.* 120:653–658.
- López-Alonso, M. 2012. Animal feed contamination by toxic metals. In: *Animal Feed Contamination*, Edited by J. Fink-Gremmels. Woodhead Publishing, U.K., pp. 183–204.
- Lutgens, F.K. and E.J. Tarbuck. 2000. *Essentials of Geology*, 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Madsen, K.L., V.M. Porter, and R.N. Fedorak. 1993. Oral vanadate reduces Na^{+} -dependent glucose transport in rat small intestine. *Diabetes* 42:1126–1132.
- Mahajan, R.J., M.L. Baldwin, J.M. Harig, K. Ramaswamy, and P.K. Dudeja. 1996. Chloride transport in human proximal colonic apical membrane vesicles. *Biochim. Biophys. Acta* 1280:12–18.
- Manoharan, P., S. Gayam, S. Arthur, B. Palaniappan, S. Singh, G.M. Dick, and U. Sundaram. 2015. Chronic and selective inhibition of basolateral membrane Na-K-ATPase uniquely regulates brush border membrane Na absorption in intestinal epithelial cells. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 308:C650–656.
- Marks, J., E.S. Debnam, and R.J. Unwin. 2010. Phosphate homeostasis and the renal-gastrointestinal axis. *Am. J. Physiol. Renal Physiol.* 299:F285–F296.
- Martens, H. and M. Schweigel. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16:339–368.
- Mason, J. and C.J. Cardin. 1977. The competition of molybdate and sulphate ions for a transport system in the ovine small intestine. *Res. Vet. Sci.* 22:313–315.
- McBride, M.B., H.A. Shayler, H.M. Spliethoff, R.G. Mitchell, L.G. Marquez-Bravo, G.S. Ferenz, J.M. Russell-Anelli, L. Casey, and S. Bachman. 2014. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban gardengrown vegetables: The impact of soil variables. *Environ. Pollut.* 194:254–261.
- McCall, A.S., C.F. Cummings, G. Bhave, R. Vanacore, A. Page-McCaw, and B.G. Hudson, 2014. Bromine is an essential

- trace element for assembly of collagen IV scaffolds in tissue development and architecture. *Cell* 157:1380–1392.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York, NY.
- Mertz, W. 1974. The newer essential trace elements, chromium, tin, vanadium, nickel and silicon. *Proc. Nutr. Soc.* 33:307–313.
- Mertz, W. 1987. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, Vol. 1, Academic Press, New York, NY.
- Mondal, S., S. Haldar, P. Saha, T.K. Ghosh. 2010. Metabolism and tissue distribution of trace elements in broiler chickens fed diets containing deficient and plethoric levels of copper, manganese, and zinc. *Biol. Trace Elem. Res.* 137:190–205.
- Moore, K.L., M. Schröder, E. Lombi, F.-J. Zhao, S.P. McGrath, M.J. Hawkesford, P.R. Shewry, and C.R.M. Grovenor. 2010. NanoSIMS analysis of arsenic and selenium in cereal grain. *New Phytologist* 185:434–445.
- Morgan, A.M. and O.S. El-Tawil. 2003. Effects of ammonium metavanadate on fertility and reproductive performance of adult male and female rats. *Pharmacol. Res.* 47:75–85.
- Morgan, V.E. and D.F. Chichester. 1935. Properties of the blood of the domestic fowl. *J. Biol. Chem.* 110:285–298.
- Morris, M.E. 1992. Brain and CSF magnesium concentrations during magnesium deficit in animals and humans: Neurological symptoms. *Magnes. Res.* 5:303–313.
- Morrow, D.A. 1969. Phosphorus deficiency and infertility in dairy heifers. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 154:761–768.
- Moxham, J.W. and M.R. Coup. 1968. Arsenic poisoning of cattle and other domestic animals. *New Zealand Vet. J.* 16:161–165.
- Musso, C.G. 2009. Magnesium metabolism in health and disease. *Int. Urol. Nephrol.* 41:357–362.
- Naftz, D.L. and J.A. Rice. 1989. Geochemical processes controlling selenium in ground water after mining, Powder River Basin, Wyoming, U.S.A. *Appl. Geochem.* 4:4565–4575.
- Naranmandura, H. and K.T. Suzuki. 2008. Identification of the major arsenic-binding protein in rat plasma as the ternary dimethylarsinous-hemoglobin-haptoglobin complex. *Chem. Res. Toxicol.* 21:678–685.
- National Academy of Sciences (NAS). 2000. *Toxicological Effects of Methylmercury*. National Academies Press, Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 1976. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. National Academies Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. National Academies Press, Washington, D.C.
- Naylor, G.P.L. and J.D. Harrison. 1995. Gastrointestinal iron and cobalt absorption and iron status in young rats and guinea pigs. *Hum. Exp. Toxicol.* 14:959–954.
- Newnham, R.E. 1994. Essentiality of boron for healthy bones and joints. *Environ. Health Perspect.* 102 (Suppl. 7):83–85.
- Nicola, J.P., C. Basquin, C. Portulano, A. Reyna-Neyra, M. Paroder, and N. Carrasco. 2009. The Na⁺/I⁻ symporter mediates active iodide uptake in the intestine. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 296:C654–662.
- Nicola, J.P., N. Carrasco, and A.M. Masini-Repiso. 2015. Dietary I⁽⁻⁾ absorption: Expression and regulation of the Na⁽⁺⁾/I⁽⁻⁾ symporter in the intestine. *Vitam. Horm.* 98:1–31.
- Nielsen, F.H. 1987. Nickel. In: *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, Vol. 1, Edited by W. Mertz, Academic Press, New York, NY, pp. 245–273.
- Nielsen, F.H. 1991. Nutritional requirements for boron, silicon, vanadium, nickel, and arsenic: Current knowledge and speculation. *FASEB J.* 5:2661–2667.
- Nielsen, F.H. 1995. Vanadium absorption. In: *Handbook of Metal-Ligand Interactions in Biological Fluids. Bioinorganic Medicine*. Vol. 1, Edited by G. Berthon, Marcell Dekker, Inc., New York, NY, pp. 425–427.
- Nielsen, F.H. 2008. Is boron nutritionally relevant? *Nutr. Rev.* 66:183–191.
- Nielsen, F.H. 2009. Micronutrients in parenteral nutrition: Boron, silicon, and fluoride. *Gastroenterology* 137(5 Suppl.):S55–S60.
- Nigam, S.K., K.T. Bush, G. Martovetsky, S.Y. Ahn, H.C. Liu, E. Richard, V. Bhatnagar, and W. Wu. 2015. The organic anion transporter (OAT) family: A systems biology perspective. *Physiol. Rev.* 95:83–123.
- Niles, G.A. 2017. Toxicoses of the ruminant nervous system. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 33:111–138.
- NRC. 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. 2nd ed. National Academies Press, Washington, D.C.
- Nollet, H. and P. Deprez. 2005. Hereditary skeletal muscle diseases in the horse. A review. *Vet. Q.* 27:65–75.
- O'Dell, B.L., B.C. Hardwick, G. Reynolds, and J.E. Savage. 1961. Connective tissue defect in the chick resulting from copper deficiency. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 108:402–405.
- O'Dell, G.D., W.J. Miller, W.A. King, J.C. Ellers, and H. Jurecek. 1970a. Effect of nickel supplementation on production and composition of milk. *J. Dairy Sci.* 53:1545–1548.
- O'Dell, G.D., W.J. Miller, W.A. King, S.L. Moore, and D.M. Blackmon. 1970b. Nickel toxicity in the young bovine. *J. Nutr.* 100:1447–1453.
- Orr, C.L., D.P. Hutcheson, R.B. Grainger, J.M. Cummins, and R.E. Mock. 1990. Serum copper, zinc, calcium and phosphorus concentrations of calves stressed by bovine respiratory disease and infectious bovine rhinotracheitis. *J. Anim. Sci.* 68:2893–2900.
- O'Shaughnessy, K.M. and F.E. Karet. 2004. Salt handling and hypertension. *J. Clin. Invest.* 113:1075–1081.
- Palis, J. and G.B. Segel. 1998. Developmental biology of erythropoiesis. *Blood Rev.* 12:106–114.
- Papanikolaou, G. and K. Pantopoulos. 2005. Iron metabolism and toxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 202:199–211.
- Park, M., Q. Li, N. Shcheynikov, W. Zeng, and S. Muallem. 2004. NaBC1 is a ubiquitous electrogenic Na⁺-coupled borate transporter essential for cellular boron homeostasis and cell growth and proliferation. *Mol. Cell.* 16:331–341.

- Patel, P., A.V. Prabhu, and T.G. Benedek. 2017. The history of John Hans Menkes and kinky hair syndrome. *JAMA Dermatol.* 153(1):54.
- Pena-Munzenmayer, G., M. Catalan, I. Cornejo, C.D. Figueroa, J.E. Melvin, M.I. Niemeyer, L.P. Cid, and F.V. Sepulveda. 2005. Basolateral localization of native CIC-2 chloride channels in absorptive intestinal epithelial cells and basolateral sorting encoded by a CBS-2 domain di-leucine motif. *J. Cell Sci.* 118:4243–4252.
- Pirkmajer, S. and A.V. Chibalin. 2016. Na,K-ATPase regulation in skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 311:E1–E31.
- Pitt, M.A. 1976. Molybdenum toxicity: Interactions between copper, molybdenum and sulphate. *Agents and Actions* 6:758–769.
- Pizzorno, L. 2015. Nothing boring about boron. *Integr. Med (Encinitas)*. 14:35–48.
- Pogge, D.J., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2014. High dietary sulfur decreases the retention of copper, manganese, and zinc in steers. *J. Anim. Sci.* 92:2182–2191.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 4th ed., John Wiley & Sons, New York, NY.
- Poulos, T.L. 2014. Heme enzyme structure and function. *Chem. Rev.* 114:3919–3962.
- Prasad, A.S., A. Schulert, A. Miale, Z. Farid, and H.H. Sandstead. 1963. Zinc and iron deficiencies in male subjects with dwarfism and hypogonadism but without ancylostomiasis, schistosomiasis or severe anemia. *Am. J. Clin. Nutr.* 12:437–444.
- Price, C.T., K.J. Koval, and J.R. Langford. 2013. Silicon: A review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. *Int. J. Endocrinol.* 2013:Article ID 316783.
- Ragsdale, S.W. 2009. Nickel-based enzyme systems. *J. Biol. Chem.* 284:18571–18575.
- Ratcliffe, S., R. Jugdaohsingh, J. Vivancos, A. Marron, R. Deshmukh, J.F. Ma, N. Mitani-Ueno et al. 2017. Identification of a mammalian silicon transporter. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 312:C550–C561.
- Ratnaik, R.N. 2003. Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgrad. Med. J.* 79:391–396.
- Rayner-Canham, G. and T. Overton. 2006. *Descriptive Inorganic Chemistry*. W.H. Freeman and Company, New York, NY.
- Reeves, P.G. and L.C. DeMars. 2006. Signs of iron deficiency in copper-deficient rats are not affected by iron supplements administered by diet or by injection. *J. Nutr. Biochem.* 17:635–642.
- Rehder, D. 2008. *Bioinorganic Vanadium Chemistry*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Rehder, D. 2015. The role of vanadium in biology. *Metallomics* 7:730–742.
- Reynolds, J.A., G.D. Potter, L.W. Greene, G. Wu, G.K. Carter, M.T. Martin, T.V. Peterson, M. Murray-Gerzik, G. Moss, and R.S. Erkert. 1998. Genetic-diet interactions in the hyperkalemic periodic paralysis syndrome in quarter horses fed varying amounts of potassium. IV. Pre-cecal and post-ileal absorption of potassium and sodium. *J. Equine Vet. Sci.* 18:827–831.
- Rezaei, R., D.A. Knabe, C.D. Tekwe, S. Dahanayaka, M.D. Ficken, S.E. Fielder, S.J. Eide, S.L. Lovering, and G. Wu. 2013. Dietary supplementation with monosodium glutamate is safe and improves growth performance in postweaning pigs. *Amino Acids* 44:911–923.
- Rhoads, M. 1999. Glutamine signaling in intestinal cells. *J. Parenter. Enteral. Nutr.* 23(Suppl. 5):S38–40.
- Roberts, R.M., T.J. Raub, and F.W. Bazer. 1986. Role of uteroferrin in transplacental iron transport in the pig. *Fed. Proc.* 45:2513–2518.
- Rodriguez-Castro, K.I., F.J. Hevia-Urrutia, and G.C. Sturniolo. 2015. Wilson's disease: A review of what we have learned. *World J. Hepatol.* 7:2859–2870.
- Rogers, C.S., D.A. Stoltz, D.K. Meyerholz, L.S. Ostedgaard, T. Rokhlina, P.J. Taft, M.P. Rogan et al. 2008. Disruption of the CFTR gene produces a model of cystic fibrosis in newborn pigs. *Science* 321:1837–1841.
- Rondon-Berrios, H., C. Argyropoulos, T.S. Ing, D.S. Raj, D. Malhotra, E.I. Agaba, M. Rohrscheib et al. 2017. Hypertonicity: Clinical entities, manifestations and treatment. *World J. Nephrol.* 6:1–13.
- Ronis, M.J.J., I.R. Miousse, A.Z. Mason, N. Sharma, M.L. Blackburn, and T.M. Badger. 2015. Trace element status and zinc homeostasis differ in breast and formula-fed piglets. *Exp. Biol. Med.* 240:58–66.
- Rosseland, B.O., T.D. Eldhuset, and M. Staurnes. 1990. Environmental effects of aluminium. *Environ. Geochem. Health* 12:17–27.
- Rowe, R.I. and C.D. Eckhert. 1999. Boron is required for zebrafish embryogenesis. *J. Exp. Biol.* 202:1649–1654.
- Ryazanova, L.V., L.J. Rondon, S. Zierler, Z. Hu, J. Galli, T.P. Yamaguchi, A. Mazur, A. Fleig, and A.G. Ryazanov. 2010. TRPM7 is essential for Mg²⁺ homeostasis in mammals. *Nat. Commun.* 1:109.
- Ryu, D.-Y., S.-J. Lee, D.W. Park, B.-S. Choi, C.D. Klaassen, and J.-D. Park. 2004. Dietary iron regulates intestinal cadmium absorption through iron transporters in rats. *Toxicol. Lett.* 152:19–25.
- Sabbagh, Y., H. Giral, Y. Caldas, M. Levi, and S.C. Schiavi. 2011. Intestinal phosphate transport. *Adv. Chronic Kidney Dis.* 18:85–90.
- Salant, W., J.B. Rieger, and E.L.P. Treuthardt. 1914. Absorption and fate of tin in the body. *J. Biol. Chem.* 17:265–273.
- Santamaria, A.B. and S.I. Sulsky. 2010. Risk assessment of an essential element: Manganese. *J. Toxicol. Environ. Health A* 73:128–155.
- Scarratt, W.K., T.J. Collins, and D.P. Sponenberg. 1985. Water deprivation-sodium chloride intoxication in a group of feeder lambs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 186:977–978.
- Scheuhammer, A.M. and M.G. Cherian. 1985. Binding of manganese in human and rat plasma. *Biochim. Biophys. Acta*

- 840:163–169.
- Schryver, H.F., H.F. Hintz, P.H. Craig, D.E. Hogue, and J.E. Lowe. 1972. Site of phosphorus absorption from the intestine of the horse. *J. Nutr.* 102:143–147.
- Schwarz, K. 1978. Significance and function of silicon in warm-blooded animals: Review and outlook. In: *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, Edited by G. Bendz and I. Lindquist, Plenum Press, New York, NY, pp. 207–230.
- Schwarz, K. and C.M. Foltz. 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J. Am. Chem. Soc.* 79:3292–3293.
- Schwarz, K. and W. Mertz. 1959. Chromium (III) and glucose tolerance factor. *Arch. Biochem. Biophys.* 85:292–295.
- Schwarz, K., D.B. Milne, and E. Vinyard. 1970. Growth effects of tin compounds in rats maintained in a trace element-controlled environment. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 40:22–29.
- Schwarz, K. and D.B. Milne. 1971. Growth effects of vanadium in the rat. *Science* 174:426–428.
- Schwarz, K. and D.B. Milne. 1972. Growth-promoting effects of silicon in rats. *Nature* 239:333–334.
- Schweigel, M., I. Lang, and H. Martens. 1999. Mg²⁺ transport in sheep rumen epithelium: evidence for an electrodiffusive uptake mechanism. *Am. J. Physiol.* 277: G976–G982.
- Selz, T., J. Caverzasio, and J.P. Bonjour. 1991. Fluoride selectively stimulates Na-dependent phosphate transport in osteoblast-like cells. *Am. J. Physiol.* 260:E833–E838.
- Sendamarai, A.K., R.S. Ohgami, M.D. Fleming, and C.M. Lawrence. 2008. Structure of the membrane proximal oxidoreductase domain of human Steap3, the dominant ferrireductase of the erythroid transferrin cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105:7410–7415.
- Sheftel, A.D., A.B. Mason, and P. Ponka. 2012. The long history of iron in the universe and in health and disease. *Biochim. Biophys. Acta* 1820:161–187.
- Sheng, H.P., R.A. Huggins, C. Garza, H.J. Evans, A.D. LeBlanc, B.L. Nichols, and P.C. Johnson. 1981. Total body sodium, calcium, and chloride measured chemically and by neutron activation in guinea pigs. *Am. J. Physiol.* 241:R419–422.
- Smith, P. 1982. Cobalt concentrations in equine serum. *Vet. Rec.* 111:149.
- Song, P., A. Onishi, H. Koepsell, and V. Vallon. 2016. Sodium glucose cotransporter SGLT1 as a therapeutic target in diabetes mellitus. *Expert Opin. Ther. Targets* 20:1109–1125.
- Spasovski, G. 2015. Advances in pharmacotherapy for hyperphosphatemia in renal disease. *Expert Opin. Pharmacother.* 16:2589–2599.
- Sripanyakorn, S., R. Jugdaohsingh, W. Dissayabutr, S.H.C. Anderson, R.P.H. Thompson, and J.J. Powell. 2009. The comparative absorption of silicon from different foods and food supplements. *Br. J. Nutr.* 102:825–834.
- Stanier, P. 1983. Molybdenum concentrations in equine serum. *Vet. Rec.* 113:518.
- Starke, I.C., R. Pieper, K. Neumann, J. Zentek, and W. Vahjen. 2014. The impact of high dietary zinc oxide on the development of the intestinal microbiota in weaned piglets. *FEMS Microbiol. Ecol.* 87:416–427.
- Stehling, O. and R. Lill. 2013. The role of mitochondria in cellular iron–sulfur protein biogenesis: Mechanisms, connected processes, and diseases. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 5:a011312.
- Sun, L.-H., N.-Y. Zhang, Q.-H. Zhai, X. Gao, C. Li, Q. Zheng, C.S. Krumm, and D. Qi. 2014. Effects of dietary tin on growth performance, hematology, serum biochemistry, antioxidant status, and tin retention in broilers. *Biol. Trace Elem. Res.* 162:302–308.
- Sunderman, F.W. Jr, L.M. Bibeau, and M.C. Reid. 1983. Synergistic induction of microsomal heme oxygenase activity in rat liver and kidney by diethyldithiocarbamate and nickel chloride. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 71:436–444.
- Suttle, N.F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th ed. CABI, Wallingford, U.K.
- Swarthout, J.T., R.C. D’Alonzo, N. Selvamurugan, and N.C. Partridge. 2002. Parathyroid hormone-dependent signaling pathways regulating genes in bone cells. *Gene* 282:1–17.
- Sweeney, R.W. 1999. Treatment of potassium balance disorders. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 15:609–617.
- Takeda, E., H. Yamamoto, H. Yamanaka-Okumura, and Y. Taketani. 2012. Dietary phosphorus in bone health and quality of life. *Nutr. Rev.* 70:311–321.
- Theil, E.C. 2004. Iron, ferritin, and nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 24:327–343.
- Thom, C.S., C.F. Dickson, D.A. Gell, and M.J. Weiss. 2013. Hemoglobin variants: Biochemical properties and clinical correlates. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 3(3):a011858.
- Tkachuk, R. and F.D. Kuzina. 1972. Mercury levels in wheat and other cereals, oilseed and biological samples. *J. Sci. Food. Agric.* 23:1183–1195.
- Todd, J.R. 1969. Chronic copper toxicity of ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 28:189–198.
- Todd, W.R., C.A. Elvehjem, and E.B. Hart. 1934. Zinc in the nutrition of the rat. *Am. J. Physiol.* 107:146–156.
- Tomas, F.M. and B.J. Potter. 1976. The site of magnesium absorption from the ruminant stomach. *Br. J. Nutr.* 36:37–45.
- Topf, J.M. and P.T. Murray. 2003. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Rev. Endocr. Metab. Disord.* 4(2):195–206.
- Tsiani, E. and I.G. Fantus. 1997. Vanadium compounds. Biological actions and potential as pharmacological agents. *Trends. Endocrinol. Metab.* 8:51–58.
- Ullrey, D.E. 1980. Regulation of essential nutrient additions to animal diets (selenium—a model case). *J. Anim. Sci.* 51:645–651.

- Valdez, C.E., Q.A. Smith, M.R. Nechay, and A.N. Alexandrova. 2014. Mysteries of metals in metalloenzymes. *Acc. Chem. Res.* 47:3110–3117.
- Vázquez, M., M. Calatayud, C. Jadán Piedra, G.M. Chiochetti, D. Vélez, and V. Devesa. 2015. Toxic trace elements at gastrointestinal level. *Food Chem. Toxicol.* 86:163–175.
- Villa-Belosta, R. and V. Sorribas. 2010. Arsenate transport by sodium/phosphate cotransporter type IIb. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 247:36–40.
- Vincent, J.B. 2000. The biochemistry of chromium. *J. Nutr.* 130:715–718.
- Voets, T., B. Nilius, S. Hoefs, A.W. van der Kemp, G. Droogmans, R.J. Bindels, and J.G. Hoenderop. 2004. TRPM6 forms the Mg^{2+} influx channel involved in intestinal and renal Mg^{2+} absorption. *J. Biol. Chem.* 279:19–25.
- Vulpe, C.D., Y.M. Kuo, T.L. Murphy, L. Cowley, C. Askwith, N. Libina, J. Gitschier, and G.J. Anderson. 1999. Hephaestin, a ceruloplasmin homologue implicated in intestinal iron transport, is defective in the sla mouse. *Nat. Genet.* 21:195–199.
- Waldron, K.J., J.C. Rutherford, D., Ford, and N.J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. *Nature* 460:823–830.
- Wang, W.W., Z.L. Wu, Z.L. Dai, Y. Yang, J.J. Wang, and G. Wu. 2013. Glycine metabolism in animals and humans: Implications for nutrition and health. *Amino Acids* 45:463–477.
- Wang, Z.Y., Y.L. Yang, W.F. Wu, H.D. Wang, D.H. Shi, and J. Mason. 1992. Treatment of copper poisoning in goats by the injection of trithiomolybdate. *Small Rumin. Res.* 8:31–40.
- Ward, D.M. and J. Kaplan. 2012. Ferroportin-mediated iron transport: Expression and regulation. *Biochim. Biophys. Acta* 1823:1426–1433.
- Welch, A.H., D.B. Westjohn, D.R. Helsel, and R.B. Wanty. 2000. Arsenic in ground water of the United States: Occurrence and geochemistry. *Groundwater* 38:589–604.
- Whitford, G.M. 1996. The metabolism and toxicity of fluoride. *Monogr. Oral Sci.* 16 (Rev. 2):1–153.
- WHO (World Health Organization). 2003. *Boron in Drinking Water*. Geneva, Switzerland.
- WHO (World Health Organization). 2004. *Inorganic Tin in Drinking Water*. Geneva, Switzerland.
- WHO (World Health Organization). 2005. *Mercury in Drinking Water*. Geneva, Switzerland.
- WHO (World Health Organization). 2006. *Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds*. Geneva, Switzerland.
- WHO (World Health Organization). 2011a. *Cadmium in Drinking Water*. Geneva, Switzerland.
- WHO (World Health Organization). 2011b. *Lead in Drinking Water*. Geneva, Switzerland.
- Wiegmann, T.B., H.D. Day, and R.V. Patak. 1982. Intestinal absorption and secretion of radioactive vanadium ($^{48}VO_3^-$) in rats and effect of $Al(OH)_3$. *J. Toxicol. Environ. Health* 10:233–245.
- Williams, D.M., F.S. Kennedy, and B.G. Green. 1983. Hepatic iron accumulation in copper-deficient rats. *Br. J. Nutr.* 50:653–660.
- Wolf, F.I. and A. Cittadini. 2003. Chemistry and biochemistry of magnesium. *Mol. Aspects. Med.* 24:3–9.
- Wolff, J. and I.L. Chaikoff. 1948. Plasma inorganic iodide as a homeostatic regulator of thyroid function. *J. Biol. Chem.* 174:555–564.
- Wright, E.M. and D.D. Loo. 2000. Coupling between Na^+ , sugar, and water transport across the intestine. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 915:54–66.
- Wrobel, J.K., R. Power, and M. Toborek. 2016. Biological activity of selenium: Revisited. *IUBMB Life* 68:97–105.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Wu, G., B. Imhoff-Kunsch, and A.W. Girard. 2012. Biological mechanisms for nutritional regulation of maternal health and fetal development. *Paediatr. Perinatal. Epidemiol.* 26(Suppl. 1):4–26.
- Yamaguchi, M., Y. Kubo, and T. Yamamoto. 1979. Inhibitory effect of tin on intestinal calcium absorption in rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 47:441–444.
- Yamazaki, D., Y. Funato, J. Miura, S. Sato, S. Toyosawa, K. Furutani, Y. Kurachi et al. 2013. Basolateral Mg^{2+} extrusion via CNNM4 mediates transcellular Mg^{2+} transport across epithelia: A mouse model. *PLoS Genet.* 9(12):e1003983.
- Yokoi, K., M. Kimura, and Y. Itokawa. 1990. Effect of dietary tin deficiency on growth and mineral status in rats. *Biol. Trace Elem. Res.* 24:223–231.
- Yörük, I., Y. Deger, H. Mert, N. Mert, and V. Ataseven. 2007. Serum concentration of copper, zinc, iron, and cobalt and the copper/zinc ratio in horses with equine herpesvirus-1. *Biol. Trace Elem. Res.* 118:38–42.
- Zakon, H.H. 2012. Adaptive evolution of voltage-gated sodium channels: The first 800 million years. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109(Suppl. 1):10619–25.
- Zhang, Z.W., T. Watanabe, S. Shimbo, K. Higashikawa, and M. Ikeda. 1998. Lead and cadmium contents in cereals and pulses in north-eastern China. *Sci. Total Environ.* 220:137–145.
- Zhao, F.J., J.L. Stroud, T. Eagling, S.J. Dunham, S.P. McGrath, and P.R. Shewry. 2010. Accumulation, distribution, and speciation of arsenic in wheat grain. *Environ. Sci. Technol.* 44:5464–5468.
- Zimmermann, M.B. 2009. Iodine deficiency. *Endocr. Rev.* 30:376–408.
- Žofková, I. 2016. Hypercalcemia. Pathophysiological aspects. *Physiol. Res.* 65:1–10.

11 Yaşama Payı ve Üretim için Besin İhtiyaçları

Memeliler (örneğin, sığırlar, domuzlar, sığanlar ve koyunlar) ve kuşlar (örneğin, tavuklar, ördekler ve kazlar) sıcak kanlı hayvanlardır ve soğuk veya sıcak ortama cevap olarak iç ısı üretimindeki değişiklikler yoluyla iç sıcaklıklarını sabit tutarlar (Collier ve Gebremedhin 2015). Çoğu memeli ve kuş sırasıyla 37 °C ve 40 °C civarında vücut sıcaklığına sahiptirler. Aksine, soğukkanlı hayvanlar (örneğin, balıklar, karidesler, amfibiler, reptiller, insektler ve solucanlar) çevre sıcaklığındaki değişimle birlikte vücut sıcaklıklarını sabit tutamazlar (van de Pol vd 2017). Bundan dolayı, kg vücut ağırlığı başına (VA), sıcakkanlı ve soğukkanlı hayvanlar arasında metabolik hız belirgin şekilde farklılık gösterir (Blaxter 1989). Ancak, hayatta kalma ve fiziksel aktiviteler için gerekli olan fizyolojik ihtiyaçlarını devam ettirmek adına, bütün hayvanlar bazal düzeyde enerji ve besin maddelerine ihtiyaç duyarlar. Çiftlik hayvanları, kanatlı ve balık üretiminde, hayvanların besin ihtiyaçları genellikle rasyonlarındaki besin maddelerine olan ihtiyaçlarını ifade etmektedir.

Rasyon enerjisi başlıca üç makro besin sınıfı içerisinde bulunmaktadır: karbonhidratlar, lipitler ve protein/amino asitler (AAler) (**Bölüm 8**). Hayvanı sıfır enerji veya besin maddesi dengesinde tutan enerji veya besin maddelerine olan ihtiyaç, enerji veya besin maddeleri için yaşama payı gereksinimi olarak adlandırılmaktadır. Farklı hayvan türleri, aynı türdeki bireyler ve farklı fizyolojik aşamadaki aynı hayvanlar enerji, AAler, glikoz, yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve su için farklı yaşama payı ihtiyaçlarına sahiptirler (Pond vd 1995). Besin alımı, yaşama payı gereksiniminin üstüne çıktığında, hayvanlar büyür veya üretirler (Campbell 1988). Bu nedenle, toplam enerji veya besin maddesine olan ihtiyaç, hayvan beslemede pratik öneme sahip olan bakım artı üretim (büyüme, laktasyon, gebelik ve çalışma dahi) gereksinimlerinin toplamıdır (NRC 2001, 20011, 2012). Aynı besin maddelerine hem yaşama payı hem de üretim için gereklidir. Ancak, yaşama payı için gerekli olan besin maddeleri veya enerji miktarları, genellikle üretim için gerekli olanlardan farklıdır. Benzer şekilde, yaşama payı için enerji veya besin maddelerinin kullanım etkinliği de üretimdekinden farklıdır (McDonald vd 2011). Pratikte, hayvanların enerji ve besin maddelerine olan ihtiyaçları kalorimetre, beslenme denemeleri, karşılaştırmalı kesim deneyleri ve izotop çalışmalarını kapsayan çeşitli tekniklerin kombinasyonlarıyla belirlenebilmektedir.

Doku proteini kazanmayan veya bir ürün üretmeyen sağlıklı, fiziksel olarak aktif yetişkin hayvanlar (örneğin, yetişkin köpekler, kediler, atlar ve domuzlar) için besin maddeleri ve enerji ihtiyaçları yaşama payı için gerekli olanın üstünde olmalıdır. Bunun nedeni, kas aktivitesinin enerji gerektirmesi ve ayrıca besin maddelerinin dokulara özgü bir şekilde metabolize edilmesiyle ilişkili olmasıdır (Newsholme ve Leech 2009). Büyüyen hayvanlarda proteinler ve yağlar: (1) rasyonla enerji ve AAlerin alınımının yaşama payı için gerekli olan enerji ve AA ihtiyacını aşması ve (2) bütün besin madde ihtiyaçlarının karşılanması durumunda depolanırlar. Ancak, gebelik dönemindeki anne adaylarında, anneler endojen bir besin kaynağı sağlamak için dokularındaki besinleri mobilize ettiğinden, fetüsleri yetersiz maternal enerji, kuru madde (KM) veya makro besin maddesi alımına rağmen büyüyebilirler (Wu vd 2006). Benzer şekilde laktasyondaki inekler, buzağılamadan sonraki ilk ay içerisinde negatif enerji dengesi göstermelerine rağmen büyük miktarlarda süt üretirler (Maltz vd 2013). Bu durum, hayvanların yaşam döngülerindeki besin metabolizması ve gereksinimlerindeki dinamik değişiklikleri veya esnekliği göstermektedir. Besin maddelerinin yetersiz alımı hayvanın büyümesini ve üretkenliğini azaltırken, alımlarındaki fazlalıkların azot ve fosfor kirliliğine katkı ve küresel ısınma gibi çevresel sonuçları vardır (Wu vd 2014c). Yetersiz veya aşırı beslenme hayvan sağlığının kötüleşmesine, metabolik bozukluklara neden olur ve bulaşıcı hastalık risklerini artırır. Hayvan beslemenin optimize edilmesi, insan tüketimi için yüksek kaliteli hayvansal ürünlerin üretimini, hayvansal tarımda ekonomik getiriyi ve hayvanların uzun ömürlülüğünü en üst düzeye çıkarmak için gereklidir. Bu bölümün temel amacı, hayvanların bakım ve üretimi için beslenme gereksinimlerinin ilkelerini vurgulamaktır.

veya postnatal bir dönemi takiben hızlandırılmış büyümeleri ifade eden, hayvanların telafi büyümesi yaygın olarak meydana gelir. Fötal (embriyonik) veya neonatal programlama, memelilerin, kuşların ve muhtemelen balıkların doğum sonrası büyüme ve hayatta kalmalarının yanı sıra yağsız doku büyümesi için yem verimliliklerinin düzenlenmesinde anahtar bir rol oynar. Son olarak, rasyon enerjisi ve besin maddelerinin gereksinimleri için herhangi bir tavsiyenin kullanılabilirliği, pratik üretim koşulları altında büyük ölçekte değerlendirilmelidir. Besin açısından dengeli ve yeterli rasyonların bilimsel temelli formülasyonu sadece hayvanların büyümesini ve verimliliğini arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda çiftlik hayvanları, kanatlı ve balık endüstrilerinin dünya genelinde çevre kalitesi üzerindeki etkilerini de azaltacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbasi, A.A., A.S. Prasad, P. Rabbani, and E. Du Mouchelle. 1980. Experimental zinc deficiency in man. Effect on testicular function. *J. Lab. Clin. Med.* 96:544–550.
- Agre, P. and D. Kozono. 2003. Aquaporin water channels: molecular mechanisms for human diseases. *FEBS Lett.* 555:72–78.
- Akahane, K., S. Murozono, K. Murayama. 1977. Soluble proteins from fowl feather keratin I. Fractionation and properties. *J. Biochem.* 81:11–18.
- Akers, R.M. 2002. *Lactation and the Mammary Gland*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Allen, D.G., G.D. Lamb, and H. Westerblad. 2008. Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiol. Rev.* 88:287–332.
- Anton, M. 2013. Egg yolk: Structures, functionalities and processes. *J. Sci. Food Agric.* 93:2871–2880.
- ARC (Agricultural Research Council). 1981. *The Nutrient Requirements of Pigs*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England.
- Ashworth, C.J. 1991. Effect of pre-mating nutritional status and post-mating progesterone supplementation on embryo survival and conceptus growth in gilts. *Anim. Reprod. Sci.* 26:311–321.
- Baldwin, R.L. 1995. *Modeling Ruminant Digestion and Metabolism*. Chapman & Hall, New York, NY.
- Baldwin, R.L. and A.C. Bywater. 1984. Nutritional energetics of animals. *Annu. Rev. Nutr.* 4:101–114.
- Baxter, C.F., A.L. Black, and M. Kleiber. 1956. The blood precursors of lactose as studied with ¹⁴C-labeled metabolites in intact dairy cows. *Biochim. Biophys. Acta* 21:277–285.
- Bazer, F.W. 2015. History of maternal recognition of pregnancy. *Adv. Anat. Embryol. Cell Biol.* 216:5–25.
- Bazer, F.W., G.W. Song, J.Y. Kim, K.A. Dunlap, M.C. Sattereld, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, and G. Wu. 2012a. Uterine biology in sheep and pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 3:23.
- Bazer, F.W., G.H. Song, J.Y. Kim, D.W. Erikson, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, H. Gao, M.C. Sattereld, T.E. Spencer, and G. Wu. 2012b. Mechanistic mammalian target of rapamycin (mTOR) cell signaling: Effects of select nutrients and secreted phosphoprotein 1 on development of mammalian conceptuses. *Mol. Cell. Endocrinol.* 354:22–33.
- Bazer, F.W., G. Wu, G.A. Johnson, and X.Q. Wang. 2014. Environmental factors affecting pregnancy: Endocrine disruptors, nutrients and metabolic pathways. *Mol. Cell. Endocrinol.* 398:53–68.
- Bazer, F.W., G. Wu, T.E. Spencer, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, and K. Bayless. 2010. Novel pathways for implantation and establishment and maintenance of pregnancy in mammals. *Mol. Hum. Reprod.* 16:135–152.
- Bell, A.W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73:2804–2819.
- Bennett, A.T.D. and M. Thery. 2007. Avian color vision and coloration: Multidisciplinary evolutionary biology. *Am. Nat.* 169:S1–S6.
- Blaxter, K.L. 1989. *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Blesso, C.N. 2015. Egg phospholipids and cardiovascular health. *Nutrients* 7:2731–2747.
- Boersma, B. and J.M. Wit. 1997. Catch-up growth. *Endocr. Rev.* 18:646–661.
- Bohrer, B.M., J.M. Kyle, D.D. Boler, P.J. Rincker, M.J. Ritter, and S.N. Carr. 2013. Meta-analysis of the effects of ractopamine hydrochloride on carcass cutability and primal yields of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:1015–1023.
- Bondi, A.A. 1987. *Animal Nutrition*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Bottje, W.G. and G.E. Carstens. 2009. Association of mitochondrial function and feed efficiency in poultry and livestock species. *J. Anim. Sci.* 87(14 Suppl.):E48–E63.
- Boutry, C., S.W. El-Kadi, A. Suryawan, S.M. Wheatley, R.A. Orellana, S.R. Kimball, H.V. Nguyen, and T.A. Davis. 2013. Leucine pulses enhance skeletal muscle protein synthesis during continuous feeding in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 305:E620–631.
- Bradbury, J.H. 1973. The structure and chemistry of keratin fibers. *Adv. Protein Chem.* 27:111–211. Brake, D.W., E.C. Titgemeyer, and D.E. Anderson. 2014. Duodenal supply of glutamate and casein both improve intestinal starch digestion in cattle but by apparently different mechanisms. *J. Anim. Sci.* 92:4057–4067.
- Braun, U. and E. Forster. 2012. B-mode and colour Doppler sonographic examination of the milk vein and musculophrenic vein in dry cows and cows with a milk yield of 10 and 20 kg. *Acta Vet. Scand.* 54:15.

- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing, New York, NY.
- Brooks, A.A., M.R. Johnson, P.J. Steer, M.E. Pawson, and H.I. Abdalla. 1995. Birth weight: Nature or nurture? *Early Human Dev.* 42: 29–35.
- Burley, R.W. and D.V. Vadehra. 1989. *The Avian Egg: Chemistry and Biology*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Butler, W.R. 1998. Review: effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:2533–2539.
- Cameron, A. and T.A. McAllister. 2016. Antimicrobial usage and resistance in beef production. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:68.
- Campbell, R.G. 1988. Nutritional constraints to lean tissue accretion in farm animals. *Nutr. Res. Rev.* 1:233–253.
- Cardoso, R.C., B.R. Alves, L.D. Prezotto, J.F. Thorson, L.O. Tedeschi, D.H. Keisler, M. Amstalden, and G.L. Williams. 2014. Reciprocal changes in leptin and NPY during nutritional acceleration of puberty in heifers. *J. Endocrinol.* 223:289–298.
- Chen, T.Y., P. Stott, R.Z. Athorn, E.G. Bouwman, and P. Langendijk. 2012. Undernutrition during early follicle development has irreversible effects on ovulation rate and embryos. *Reprod. Fertil. Dev.* 24:886–892.
- Clagett-Dame, M. and D. Knutson. 2011. Vitamin A in reproduction and development. *Nutrients* 3:385–428.
- Collier, R.J. and K.G. Gebremedhin. 2015. Thermal biology of domestic animals. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 3:513–532.
- Combs, G.F. 1998. *The Vitamins*. Academic Press, New York, NY.
- Cormio, L., M. De Siati, F. Lorusso, O. Selvaggio, L. Mirabella, F. Sanguedolce, and G. Carrieri. 2011. Oral L-citrulline supplementation improves erection hardness in men with mild erectile dysfunction. *Urology* 77:119–122.
- Cunningham, F.J., S.C. Wilson, P.G. Knight, and R.T. Gladwell. 1984. Chicken ovulation cycle. *J. Exp. Zool.* 232:485–494.
- Dance, A., J. Thundathil, R. Wilde, P. Blondin, and J. Kastelic. 2015. Enhanced early-life nutrition promotes hormone production and reproductive development in Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* 98:987–998.
- Davis, T.A., D.G. Burrin, M.L. Fiorotto, P.J. Reeds, and F. Jahoor. 1998. Roles of insulin and amino acids in the regulation of protein synthesis in the neonate. *J. Nutr.* 128: 347S–350S.
- Davison, W. and N.A. Herbert. 2013. Swimming-enhanced growth. In: *Swimming Physiology of Fish*. Edited by A.P. Palstra and J.V. Planas, Berlin: Springer, pp. 177–202.
- de Faria, V.P. and J.T. Huber. 1983. Effect of dietary protein and energy levels on rumen fermentation in Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 58:452–259.
- de Lange, K., J. van Milgen, J. Noblet, S. Dubois, and S. Birkett. 2006. Previous feeding level influences plateau heat production following a 24 h fast in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 95:1082–1087.
- Dhandapani, K.M. and D.W. Brann. 2000. The role of glutamate and nitric oxide in the reproductive neuroendocrine system. *Biochem. Cell Biol.* 78:165–179.
- Dunsha, F.R., D.E. Bauman, E.A. Nugent, D.J. Kerton, R.H. King, and I. McCauley. 2005. Hyperinsulinaemia, supplemental protein and branched-chain amino acids when combined can increase milk protein yield in lactating sows. *Br. J. Nutr.* 93:325–332.
- El-Kadi, S.W., A. Suryawan, M.C. Gazzaneo, N. Srivastava, R.A. Orellana, H.V. Nguyen, G.E. Lobley, and T.A. Davis. 2012. Anabolic signaling and protein deposition are enhanced by intermittent compared with continuous feeding in skeletal muscle of neonates. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 302:E674–686.
- Escobar, J., J.W. Frank, A. Suryawan, H.V. Nguyen, S.R. Kimball, L.S. Jefferson, and T.A. Davis. 2006. Regulation of cardiac and skeletal muscle protein synthesis by individual branched-chain amino acids in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 290:E612–621.
- Etherton, T.D. and D.E. Bauman. 1998. Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals. *Physiol. Rev.* 78:745–761.
- Evans, M.C. and G.M. Anderson. 2017. Neuroendocrine integration of nutritional signals on reproduction. *J. Mol. Endocrinol.* 58:R107–R128.
- Ford, S.P., K.A. Vonnahme, and M.E. Wilson. 2002. Uterine capacity in the pig reflects a combination of uterine environment and conceptus genotype effects. *J. Anim. Sci.* 80:E66–E73.
- Foxcroft, G.R., W.T. Dixon, S. Novak, C.T. Putman, S.C. Town, and M.D.A. Vinsky. 2006. The biological basis for prenatal programming of postnatal performance in pigs. *J. Anim. Sci.* 84(E. Suppl.):E105–112.
- Galbraith, H. 2000. Protein and sulphur amino acid nutrition of hair bre-producing Angora and Cashmere goats. *Livest. Prod. Sci.* 64:81–93.
- Geisert, R.D., J.W. Brookbank, R.M. Roberts, Bazer, F.W. 1982. Establishment of pregnancy in the pig: II. Cellular remodeling of the porcine blastocyst during elongation on day 12 of pregnancy. *Biol. Reprod.* 27:941–955.
- Geisert, R.D. and J.V. Yelich. 1997. Regulation of conceptus development and attachment in pigs. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 52:133–149.
- Gerrard, D.E. and A.L. Grant. 2002. *Principles of Animal Growth and Development*. Kendall Hunt, Dubuque, IA.
- Ghorbankhani, F., M. Souri, M.M. Moeini, and R. Mirmahmoudi. 2015. Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ram lambs during the natural breeding season. *Anim. Reprod. Sci.* 153:22–28.
- Gilbert, A.B. 1971a. The female reproductive effort. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, pp. 1153–1162.

- Gilbert, A.B. 1971b. Egg albumen as its formation. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, pp. 1291–1329.
- Girmus, R.L. and M.E. Wise. 1992. Progesterone directly inhibits pituitary luteinizing hormone secretion in an estradiol-dependent manner. *Biol. Reprod.* 46:710–714.
- Gorewit, R.C. 1988. Lactation biology and methods of increasing efficiency. In: *Designing Foods: Animal Product Options in the Marketplace*. National Academies Press, Washington, DC, pp. 208–223.
- Haake, A.R., G. König, and R.H. Sawyer. 1984. Avian feather development: Relationships between morphogenesis and keratinization. *Dev. Biol.* 106:406–413.
- Hackmann, T.J. and J.L. Firkins. 2015. Maximizing efficiency of rumen microbial protein production. *Front. Microbiol.* 6:465.
- Harris, E.D. 2014. *Minerals in Foods*. DEStech Publications, Inc., Lancaster, PA.
- Haussinger, D. and B. Görg. 2010. Interaction of oxidative stress, astrocyte swelling and cerebral ammonia toxicity. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 13:87–92.
- Herbst, K.L. and S. Bhasin. 2004. Testosterone action on skeletal muscle. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 7:271–277.
- Hernandez-García, A.D., D.A. Columbus, R. Manjarín, H.V. Nguyen, A. Suryawan, R.A. Orellana, and T.A. Davis. 2016. Leucine supplementation stimulates protein synthesis and reduces degradation signal activation in muscle of newborn pigs during acute endotoxemia. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 311:E791–E801.
- Heyer, A. and B. Lebret. 2007. Compensatory growth response in pigs: Effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *J. Anim. Sci.* 85:769–778.
- Hironaka, R., C.B. Bailey, and G.C. Kozub. 1970. Metabolic fecal nitrogen in ruminants estimated from dry matter excretion. *Can. J. Anim. Sci.* 50:55–60.
- Hoffman, M.L., K.N. Peck, M.E. Forella, A.R. Fox, K.E. Govoni, and S.A. Zinn. 2016. The effects of poor maternal nutrition during gestation on postnatal growth and development of lambs. *J. Anim. Sci.* 94:789–799.
- Holt, L.E. Jr. and A.A. Albanese. 1944. Observations on amino acid deficiencies in man. *Trans. Assoc. Am. Physicians* 58:143–156.
- Humphrey, B.D., S. Kirsch, and D. Morris. 2008. Molecular cloning and characterization of the chicken cationic amino acid transporter-2 gene. *Comp. Biochem. Physiol. B* 150:301–311.
- Hornick, J.L., C. Van Eenaeme, O. Gérard, I. Dufrasne, and L. Istasse. 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domest. Anim. Endocrinol.* 19:121–132.
- Hurley, W.L. and P.K. Theil. 2011. Perspectives on immunoglobulins in colostrum and milk. *Nutrients* 3:442–474.
- Inman, J.L., C. Robertson, J.D. Mott, and M.J. Bissell. 2015. Mammary gland development: Cell fate specification, stem cells and the microenvironment. *Development* 142:1028–1042.
- Jefferson, W.N. and C.J. Williams. 2011. Circulating levels of genistein in the neonate, apart from dose and route, predict future adverse female reproductive outcomes. *Reprod. Toxicol.* 31:272–279.
- Jensen, R.G. 2002. The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 85:295–350.
- Ji, Y., Z.L. Wu, Z.L. Dai, K.J. Sun, J.J. Wang, and G. Wu. 2016. Nutritional epigenetics with a focus on amino acids: Implications for the development and treatment of metabolic syndrome. *J. Nutr. Biochem.* 27:1–8.
- Ji, Y., Z.L. Wu, Z.L. Dai, X.L. Wang, J. Li, B.G. Wang, and G. Wu. 2017. Fetal and neonatal programming of postnatal growth and feed efficiency in swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:42.
- Jia, S.C., X.Y. Li, S.X. Zheng, and G. Wu. 2017. Amino acids are major energy substrates for tissues of hybrid striped bass and zebrafish. *Amino Acids*. doi: 10.1007/s00726-017-2481-7.
- Jobgen, W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutr. Biochem.* 17:571–588.
- Johnson, B.J., S.B. Smith, and K.Y. Chung. 2014a. Historical overview of the effect of β -adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 27:757–766.
- Johnson, G.A., R.C. Burghardt, and F.W. Bazer. 2014b. Osteopontin: A leading candidate adhesion molecule for implantation in pigs and sheep. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:56.
- Keen, C.L. 1993. The effect of exercise and heat on mineral metabolism and requirements. In: *Nutritional Needs in Hot Environments: Applications for Military Personnel in Field Operations*. Edited by B.M. Marriott. National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 117–135.
- Kelly, J.M., M. Summers, H.S. Park, L.P. Milligan, and B.W. McBride. 1991. Cellular energy metabolism and regulation. *J. Dairy Sci.* 74:678–694.
- Kiess, W., G. Müller, A. Galler, A. Reich, J. Deutscher, J. Klammt, and J. Kratzsch. 2000. Body fat mass, leptin and puberty. *J. Pediatr. Endocrinol. Metab.* 13 (Suppl. 1):717–22.
- Kim, B. 2008. Thyroid hormone as a determinant of energy expenditure and the basal metabolic rate. *Thyroid* 18:141–144.
- Kim, S.W., A.C. Weaver, Y.B. Shen, and Y. Zhao. 2013. Improving efficiency of sow productivity: Nutrition and health. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4(1):26.
- Knudson, B.K., M.G. Hogberg, R.A. Merkel, R.E. Allen, and W.T. Magee. 1985. Developmental comparisons of boars and barrows: II. Body composition and bone development. *J. Anim. Sci.* 61:797–801.
- Kobori, Y., K. Suzuki, T. Iwahata, T. Shin, Y. Sadaoka, R. Sato, K. Nishio et al. 2015. Improvement of seminal quality and

- sexual function of men with oligoasthenoteratozoospermia syndrome following supplementation with L-arginine and Pycnogenol®. *Arch. Ital. Urol. Androl.* 87:190–193.
- Koopman, R., S.M. Gehrig, B. Léger, J. Trieu, S. Walrand, K.T. Murphy, and G.S. Lynch. 2010. Cellular mechanisms underlying temporal changes in skeletal muscle protein synthesis and breakdown during chronic β -adrenoceptor stimulation in mice. *J. Physiol.* 588: 4811–4823.
- Laven, R.A. and S.B. Drew. 1999. Dietary protein and the reproductive performance of cows. *Vet. Rec.* 145:687–695.
- Lean, I.J., J.M. Thompson, and F.R. Dunshea. 2014. A meta-analysis of zilpaterol and ractopamine effects on feedlot performance, carcass traits and shear strength of meat in cattle. *PLoS One* 9(12): e115904.
- Liao, S.F., N. Regmi, and G. Wu. 2018. Homeostatic regulation of plasma amino acid concentrations. *Front. Biosci.* 23:640–655.
- Lieber, R.L. and S.C. Bodine-Fowler. 1993. Skeletal muscle mechanics: Implications for rehabilitation. *Physical Ther.* 73:844–856.
- Linzell, J.L. and T.B. Mephram. 1969. Mammary metabolism in lactating sows: Arteriovenous differences of milk precursors and the mammary metabolism of [¹⁴C]glucose and [¹⁴C]acetate. *Br. J. Nutr.* 23:319–332.
- Liu, S.M., G. Mata, H. O'Donoghue, and D.G. Masters. 1998. The influence of live weight, live-weight change and diet on protein synthesis in the skin and skeletal muscle in young Merino sheep. *Br. J. Nutr.* 79:267–274.
- Louis, G.F., A.J. Lewis, W.C. Weldon, P.S. Miller, R.J. Kittok, and W.W. Stroup. 1994. The effect of protein intake on boar libido, semen characteristics, and plasma hormone concentrations. *J. Anim. Sci.* 72:2038–2050.
- Maltz, E., L.F. Barbosa, P. Bueno, L. Scagion, K. Kaniyamattam, L.F. Greco, A. De Vries, and J.E. Santos. 2013. Effect of feeding according to energy balance on performance, nutrient excretion, and feeding behavior of early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96:5249–5266.
- Manjarin, R., B.J. Bequette, G. Wu, and N.L. Trottier. 2014. Linking our understanding of mammary gland metabolism to amino acid nutrition. *Amino Acids* 46:2447–2462.
- Mateo, R.D., G. Wu, H.K. Moon, J.A. Carroll, and S.W. Kim. 2008. Effects of dietary arginine supplementation during gestation and lactation on the performance of lactating primiparous sows and nursing piglets. *J. Anim. Sci.* 86:827–835.
- Maynard, L.A., J.K. Loosli, H.F. Hintz, and R.G. Warner. 1979. *Animal Nutrition*. McGraw-Hill, New York, NY.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- McIndoe, W.M. 1971. Yolk synthesis. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. Edited by D.J. Bell and B.M. Freeman. Academic Press, London, pp. 1209–1223.
- McNeilly, A.S., C.C. Tay, and A. Glasier. 1994. Physiological mechanisms underlying lactational amenorrhea. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 709:145–155.
- Meadows, M.G., T.E. Roudybush, and K.J. McGraw. 2012. Dietary protein level affects iridescent coloration in Anna's hummingbirds, *Calypte anna*. *J. Exp. Biol.* 215:2742–2750.
- Meldrum, D.R., R.F. Casper, A. Diez-Juan, C. Simon, A.D. Domar, and R. Frydman. 2016. Aging and the environment affect gamete and embryo potential: Can we intervene? *Fertil. Steril.* 105:548–559.
- Mephram, T.B. and J.L. Linzell. 1966. A quantitative assessment of the contribution of individual plasma amino acids to the synthesis of milk proteins by the goat mammary gland. *Biochem. J.* 101:76–83.
- Milligan, L.P. and M. Summers. 1986. The biological basis of maintenance and its relevance to assessing responses to nutrients. *Proc. Nutr. Soc.* 45:185–193.
- Monks, J. and M.C. Neville. 2004. Albumin transcytosis across the epithelium of the lactating mouse mammary gland. *J. Physiol.* 560:267–280.
- Moran, E.T., Jr. 2007. Nutrition of the developing embryo and hatchling. *Poult. Sci.* 86:1043–1049.
- Mount, E.L. 1978. Heat transfer between animals and environment. *Proc. Nutr. Soc.* 37:21–28.
- Muñoz-Calvo, M.T. and J. Argente. 2016. Nutritional and pubertal disorders. *Endocr. Dev.* 29:153–173.
- Murphy, M.E., J.R. King, T.G. Taruscio. 1990. Amino acid composition of feather barbs and rachises in three species of pygoscelid penguins: Nutritional implications. *The Condor* 92:913–921.
- Murray, D.M., J.P. Bowland, R.T. Berg, and B.A. Young. 1974. Effects of enforced exercise on growing pigs: Feed intake, rate of gain, feed conversion, dissected carcass composition, and muscle weight distribution. *Can. J. Anim. Sci.* 54:91–96.
- Musumeci, G., P. Castrogiovanni, M.A. Szychlińska, F.C. Aiello, G.M. Vecchio, L. Salvatorelli, G. Magro, and R. Imbesi. 2015. Mammary gland: From embryogenesis to adult life. *Acta Histoche.* 117:379–385.
- National Research Council (NRC). 1995. *Nutrient Requirements of Laboratory Animals*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. National Academies Press, Washington, DC.
- Navegantes, L.C., N.M. Resano, R.H. Migliorini, and I.C. Kettelhut. 2001. Catecholamines inhibit Ca²⁺ – dependent proteolysis in rat skeletal muscle through β 2-adrenoceptors and cAMP. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 281:E449–454.
- Newsholme, E.A. and T.R. Leech. 2009. *Functional Biochemistry in Health and Disease*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- Norman, J.E. 2010. The adverse effects of obesity on reproduction. *Reproduction* 140:343–345.
- Oksbjerg, N., P.M. Nissen, M. Therkildsen, H.S. Møller, L.B. Larsen, M. Andersen, J.F. Young. 2013. Meat science and

- muscle biology symposium: In utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *J. Anim. Sci.* 91:1443–53.
- Ollivier-Bousquet, M. 2002. Milk lipid and protein trafç in mammary epithelial cells: Joint and independent pathways. *Reprod. Nutr. Dev.* 42:149–162.
- Ontsouka, E.C. and C. Albrecht. 2014. Cholesterol transport and regulation in the mammary gland. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia.* 19:43–58.
- Osorio, J.S., J. Lohakare, and M. Bionaz. 2016. Biosynthesis of milk fat, protein, and lactose: Roles of transcriptional and posttranscriptional regulation. *Physiol. Genomics* 48:231–256.
- Osuji, P.O. 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *J. Range Management.* 27:436–443.
- Palmiter, R.D. 1972. Regulation of protein synthesis in chick oviduct. *J. Biol. Chem.* 247:6450–6461.
- Palmquist, D.L. 2006. Milk fat: Origin of fatty acids and influence of nutritional factors. In: *Advanced Dairy Chemistry*, Vol. 2: Lipids, 3rd ed. Edited by P.F. Fox and P.L.H. McSweeney. Springer, New York.
- Park, Y.W. and G.F.W. Haenlein. 2006. *Handbook of Milk of Non-bovine Mammals*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Pearson, R.A., P. Lhoste, M. Saastamoinen, and W. Martin-Rosset. 2003. Working animals in agriculture and transport. *EAAP Tech. Ser.* 6:1–210.
- Pinares, C. and G. Waghorn. 2012. *Technical Manual on Respiration Chamber Designs*. Ministry of Agriculture and Forestry of New Zealand. Wellington, New Zealand.
- Pond, W.G., R.R. Maurer, and J. Klindt. 1991. Fetal organ response to maternal protein deprivation during pregnancy in swine. *J. Nutr.* 121:504–509.
- Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Pownall, M.E., M.K. Gustafsson, and C.P. Emerson, Jr. 2002. Myogenic regulatory factors and the specification of muscle progenitors in vertebrate embryos. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 18:747–783.
- Qi, K. and C.J. Lupton. 1994. A review of the effect of sulfur nutrition in wool production and quality. *Sheep Goat Res. J.* 10:133–140.
- Reeds, P.J. and P.J. Garlick. 2003. Protein and amino acid requirements and the composition of complementary foods. *J. Nutr.* 133:2953S–2961S.
- Reeds, P.J. and H.J. Mersmann. 1991. Protein and energy requirements of animals treated with β -adrenergic agonists: A discussion. *J. Anim. Sci.* 69:1532–1550.
- Reis, P.J. and J.M. Gillespie. 1985. Effects of phenylalanine and analogues of methionine and phenylalanine on the composition of wool and mouse hair. *Aust. J. Biol. Sci.* 38:151–63.
- Reis, P.J. and T. Sahlu. 1994. The nutritional control of the growth and properties of mohair and wool bers: A comparative review. *J. Anim. Sci.* 72:1899–1907.
- Reynolds, L.P., J.S. Caton, D.A. Redmer, A.T. Grazul-Bilska, K.A. Vonnahme, P.B. Borowicz, J.S. Luther, J.M. Wallace, G. Wu, and T.E. Spencer. 2006. Evidence for altered placental blood ow and vascularity in compromised pregnancies. *J. Physiol. (London)* 572:51–58.
- Rezaei, R., Z.L. Wu, Y.Q. Hou, F.W. Bazer, and G. Wu. 2016. Amino acids and mammary gland development: Nutritional implications for neonatal growth. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:20.
- Sam, A.H. and W.S. Dhilllo. 2010. Endocrine links between fat and reproduction. *Obstetr. Gynaecol.* 12:231236.
- Santos, J.E., R.S. Bisinotto, and E.S. Ribeiro. 2016. Mechanisms underlying reduced fertility in anovular dairy cows. *Theor. Riogenology* 86:254–262.
- Sato, Y., K. Watanabe, and T. Takahashi. 1973. Lipids in egg white. *Poult. Sci.* 52:1564–1570.
- Sattereld, M.C. and G. Wu. 2011. Growth and development of brown adipose tissue: Significance and nutritional regulation. *Front. Biosci.* 16:1589–1608.
- Segal, J., B.R. Troen, S.H. Ingbar. 1982. Influence of age and sex on the concentrations of thyroid hormone in serum in the rat. *J. Endocrinol.* 93:177–181.
- Senger, P.L. 1997. *Pathways to Pregnancy and Parturition*. Current Conceptions, Inc., Pullman, WA.
- Shennan, D. and M. Peaker. 2000. Transport of milk constituents by the mammary gland. *Physiol. Rev.* 80:925–951.
- Smith, S.B. and D.R. Smith. 1995. *The Biology of Fat in Meat Animals. Current Advances*. American Society of Animal Science, Champaign, Illinois, USA.
- Stoneham, S.J., P. Morresey, and J. Ousey. 2017. Nutritional management and practical feeding of the orphan foal. *Equine Vet. Edu.* 29:165–173.
- Susenbeth, A. and K. Keitel. 1988. Partition of whole body protein in different body fractions and some constants in body composition in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 20:37–52.
- Suttle, N.F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th ed. CABI, Wallingford, U.K.
- Tanimura, J. 1967. Studies on arginine in human semen. Part II. The effects of medication with L-arginineHCl on male infertility. *Bull. Osaka Med. School* 13:84–89.
- Thatcher, W.W., J.E. Santos, F.T. Silvestre, I.H. Kim, and C.R. Staples. 2010. Perspective on physiological/ endocrine and nutritional factors influencing fertility in post-partum dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.* 45 (Suppl. 3):2–14.

- Thornton, P.K. 2010. Livestock production: Recent trends, future prospects. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 365:2853–2867.
- Trottier, N.L., C.F. Shipley, and R.A. Easter. 1997. Plasma amino acid uptake by the mammary gland of the lactating sow. *J. Anim. Sci.* 75:1266–1278.
- Tucker, H.A. 2000. Hormones, mammary growth, and lactation: A 41-year perspective. *J. Dairy Sci.* 83:874–884.
- Turner, H.G. and C.S. Taylor. 1983. Dynamic factors in models of energy utilization with particular reference to maintenance requirement of cattle. *World Rev. Nutr. Diet.* 42:135–190.
- Tvrda, E., R. Peer, S.C. Sikka, and A. Agarwal. 2015. Iron and copper in male reproduction: A double-edged sword. *J. Assist. Reprod. Genet.* 32:3–16.
- van de Pol, I., G. Flik, and M. Gorissen. 2017. Comparative physiology of energy metabolism: Fishing for endocrine signals in the early vertebrate pool. *Front. Endocrinol (Lausanne).* 8:36.
- van Es, A.J.H. 1976. Meat production from ruminants. *Meat Animals* 7:391–401.
- van Milgen, J., J. Noblet, and S. Dubois. 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *J. Nutr.* 131:1309–1318.
- Vance, J.E. 2015. Phospholipid synthesis and transport in mammalian cells. *Traffic* 16:1–18.
- Wagner, J.R., A.P. Schinckel, W. Chen, J.C. Forrest, and B.L. Coe. 1999. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *J. Anim. Sci.* 77:1442–1466.
- Wang, J.J., Z.L. Wu, D.F. Li, N. Li, S.V. Dindot, M.C. Sattereld, F.W. Bazer, and G. Wu. 2012. Nutrition, epigenetics, and metabolic syndrome. *Antioxid. Redox. Signal.* 17:282–301.
- White, C.R. and R.S. Seymour. 2002. Mammalian basal metabolic rate is proportional to body mass^{2/3}. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 100:4046–4049.
- Wilkinson, J.M. 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal* 5:1014–1022.
- Won, E.T. and R.J. Borski. 2013. Endocrine regulation of compensatory growth in fish. *Front. Endocrinol (Lausanne)* 4:74.
- Wu, G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *J. Nutr.* 128:1249–1252.
- Wu, G. 2013. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wu, G. 2014. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: A paradigm shift in protein nutrition. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:34.
- Wu, G. 2016. Dietary protein intake and human health. *Food Funct.* 7:1251–1265.
- Wu, G. and D.A. Knabe. 1994. Free and protein-bound amino acids in sow's colostrum and milk. *J. Nutr.* 124:415–424.
- Wu, G., F.W. Bazer, and H.R. Cross. 2014a. Land-based production of animal protein: Impacts, efficiency, and sustainability. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1328:18–28.
- Wu, G., F.W. Bazer, T.A. Cudd, C.J. Meininger, and T.E. Spencer. 2004. Maternal nutrition and fetal development. *J. Nutr.* 134:2169–2172.
- Wu, G., F.W. Bazer, Z.L. Dai, D.F. Li, J.J. Wang, and Z.L. Wu. 2014b. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2:387–417.
- Wu, G., F.W. Bazer, T.A. Davis, S.W. Kim, P. Li, J.M. Rhoads, M.C. Sattereld, S.B. Smith, T.E. Spencer, and Y.L. Yin. 2009. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. *Amino Acids* 37:153–168.
- Wu, G., F.W. Bazer, G.A., Johnson, C. Herring, H. Seo, Z.L. Dai, J.J. Wang, Z.L. Wu, and X.L. Wang. 2017. Functional amino acids in the development of the pig placenta. *Mol. Reprod. Dev.* 84:870–882.
- Wu, G., F.W. Bazer, J.M. Wallace, and T.E. Spencer. 2006. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.* 84:2316–2337.
- Wu, G., J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J.L. Steiner, and A.E. Thalacker-Mercer. 2014c. Production [Name]nd supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges and innovations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1321:1–19.
- Wu, G., N.E. Flynn, W. Yan, and D.G. Barstow, Jr. 1995. Glutamine metabolism in chick enterocytes: Absence of pyrroline-5-carboxylate synthase and citrulline synthase. *Biochem. J.* 306:717–721.
- Wu, G., B. Imhoff-Kunsch, and A.W. Girard. 2012. Biological mechanisms for nutritional regulation of maternal health and fetal development. *Paediatr. Perinatal Epidemiol.* 26 (Suppl. 1): 4–26.
- Wu, G., Z.L. Wu, Z.L. Dai, Y. Yang, W.W. Wang, C. Liu, B. Wang, J.J. Wang and Y.L. Yin. 2013. Dietary requirements of “nutritionally nonessential amino acids” by animals and humans. *Amino Acids* 44:1107–1113.
- Zeyner, A., K. Romanowski, A. Vernunft, P. Harris, A.-M. Müller, C. Wolf, and E. Kienzle. 2017. Effects of different oral doses of sodium chloride on the basal acid–base and mineral status of exercising horses fed low amounts of hay. *PLoS One* 12(1):e0168325.
- Zhao, F.Q. and A.F. Keating. 2007. Expression and regulation of glucose transporters in the bovine mammary gland. *J. Dairy Sci.* 90(E. Suppl.):E76–E86.
- Zhu, C., Z.Y. Jiang, F.W. Bazer, G.A. Johnson, R.C. Burghardt, and G. Wu. 2015. Aquaporins in the female reproductive system of mammals. *Front. Biosci.* 20:838–871.
- Zhu, Y., Q. Niu, C. Shi, J. Wang, and W. Zhu. 2017. The role of microbiota in compensatory growth of protein-restricted rats. *Microb. Biotechnol.* 10:480–491.

12 Hayvanlar Tarafından Yem Alımının Düzenlenmesi

Gıda, hayvana besin ve enerji sağlar. Gıda alımı, tüm hayvanların bakımı, büyümesi, gelişmesi ve üremesi için gereklidir. Gönüllü gıda tüketimleri (1) diyet özellikleri (besin bileşimi ve lezzeti dahil) ve bulunabilirlik; (2) enerji kaynağı; (3) kan metabolitleri (örn, amino asitler [AA'lar], glikoz ve kısa zincirli yağ asitleri [SCFA'lar]); (4) sindirim sistemi kapasitesi ve bağırsak-dolumu (besin sindirilebilirliği); (5) besinlerin diyetle alımına ve kan dolaşımındaki hormon konsantrasyonlarına yanıt olarak gastrointestinal sistem, karaciğer ve beyinden gelen geri bildirim sinyalleri (**Şekil 12.1**); (6) fizyolojik durum (örn, gebelik, laktasyon ve büyüme) ve patolojik durumlar (örn. ateş, enfeksiyon ve kanser); ve (7) ortam sıcaklıkları (Forbes 2007) gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu hayvansal, gıda ve çevresel faktörler **Tablo 12.1**'de özetlenmiştir. Buna ek olarak, hayvanlar görünüm, koku ve doku gibi belirli fiziksel veya duyuşal özelliklere sahip gıdaları tüketmenin metabolik sonuçlarını öğrenmekte ve daha önce deneyimledikleri gıdaları tercih etmekte veya bunlardan kaçınmaktadır (Catanese vd 2016; Wadhwa ve Capaldi-Phillips 2014). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, hayvanların gıda seçimi ile alakalı biyokimyasal bir temel sağlayan dildeki (Niot ve Besnard 2017) ve gastrointestinal sistemdeki (Breer vd 2012) gıda aromaları için reseptörleri ortaya koymuştur. Böylece hayvanlar, beslenme ve fizyolojik ihtiyaçlarına göre gıda alımını reddedebilmekte, buna uyum sağlayabilmekte veya sürdürülebilmektedir.

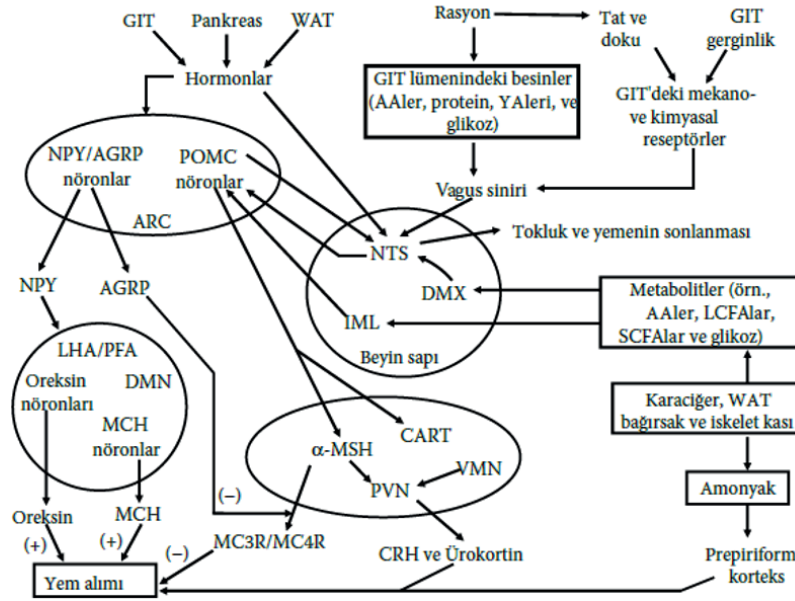
Enteral besinler hayvanlara ağız yoluyla gıda alımı veya gastrointestinal sisteme doğrudan infüzyon yoluyla sağlanmaktadır. Modern yoğun veya ekstansif tarım sistemlerinde, çiftlik hayvanları, kümes hayvanları ve balıklar çoğu üretim koşulunda gıdalara serbest erişime sahiptir. Genel olarak, bir hayvanın aldığı yem (veya kuru madde [KM]) miktarı, vücut ağırlığının (VA) veya öğünlerin büyüklüğü ve sıklığının bir fonksiyonudur (Baile ve Forbes 1974). Büyüyen hayvanlarda, gıda alımı genellikle ağırlık artışları ile orantılıdır. Bu nedenle, gıda alımı beslenmedeki iki önemli konuyla yakından ilişkilidir; çiftlik hayvanlarının verimliliği ve obezite gelişimi. Bu nedenle hayvan yetiştiricileri, laktasyon, süttten kesme ve süttten kesme sonrası büyüme gibi üretimin bazı aşamalarında veya hasta olduklarında çiftlik hayvanlarının gönüllü gıda alımını artırmaya ve vücutta yağ birikimini en aza indirmeye çalışmaktadır (Sartin vd 2011). Buna karşılık, evcil hayvan sahipleri, obeziteyi azaltmak için köpeklerinin, kedilerinin ve diğer evcil hayvanlarının gıda tüketimi konusunda giderek daha fazla endişe duymaktadır. Ayrıca, tüm anne adaylarında, üreme öncesi maternal obezite embriyonik hayatta kalmayı bozarken, gebelik sırasında maternal obezite fetal mortalite ve perinatal komplikasyon riskini artırmaktadır (Wu vd 2006). Bu nedenle, yem alımının çeşitli düzeylerde birden fazla faktör tarafından düzenlenmesi memelilerin, kuşların ve köpeklerin sağlığı ve üretkenliği için kritik öneme sahiptir (**Tablo 12.1**). Bu bölümün temel amacı, hayvanlar tarafından gıda alımının kontrolünden sorumlu mekanizmaları vurgulamaktır.

NONRUMİNANT HAYVANLARIN GIDA ALIMININ DÜZENLENMESİ

Merkezi Sinir Sistemindeki Kontrol Merkezleri

Hipotalamus, Nörotransmitterler ve Nöropeptidler

Beyin, gastrointestinal sistem ve diğer organlardaki özel sensörler ve reseptörlerden gelen bilgileri toplar (Marx 2003). Başlangıçta beyinde serebrumun altında yer alan hipotalamusta merkezler (beslenme merkezi ve tokluk merkezi) olduğu öne sürülmüştür (Auffray 1969). Beslenme merkezi (lateral hipotalamik alan [LHA] olarak da bilinir), gıda tüketiminin bir sonucu olarak vücuttan sinyaller alan tokluk merkezi (ventromedial hipotalamus [VMH] olarak da bilinir) tarafından engellenmedikçe hayvanın yemesine neden olur (**Şekil 12.2**). Bu nedenle, LHA'daki lezyonlar yetersiz beslenmeye neden olurken, VMH veya paraventriküler çekirdekteki (PVN)



ŞEKİL 12.4. Hayvanların gıda alımının besinler (hem gastrointestinal sistemde hem de plazmada), gastrointestinal algılama ve liling, hormonlar, nöropeptidler ve nörotransmitterler arasındaki karmaşık etkileşimli bir ağ tarafından düzenlendiği mekanizmaların bir özeti. AA'lar, amino asitler; AgRP, agouti ile ilişkili peptit; ARC, Arkuat; CART, kokain-amfetamin tarafından düzenlenen transkript; CRH, kortikotropin salgılatıcı hormon; DMX, vagus sinirinin dorsal motor çekirdeği;FA'lar, yağ asitleri; GIT, gastrointestinal sistem; IML, intermediolateral hücre kolonu; LCFA'lar, uzun zincirli yağ asitleri; LHA, lateral hipotalamik alan; MC, melanokortin; MC3R, melanokortin-3 reseptörü; MC4R, melanokortin-4 reseptörü; MCH, melanin yoğunlaştırıcı hormon; α-MSH, α-melanosit uyarıcı hormon; α-MSH, α-melanosit uyarıcı hormon; NPY, nöropeptid Y; PFA, perifornikal alan; POMC, pro-opiomelanokortin; PVN, paraventriküler nükleus; NTS, nükleus tractus solitarius; SCFA'lar, kısa zincirli yağ asitleri; VMN, ventromedial nükleus; WAT, beyaz yağ dokusu; (+), stimülasyon; (-), inhibisyon

KAYNAKLAR

- Abdalla, M.M. 2017. Central and peripheral control of food intake. *Endocr. Regul.* 51:52–70.
- Adam, C.L. and P.A. Findlay. 2010. Decreased blood-brain leptin transfer in an ovine model of obesity and weight loss: Resolving the cause of leptin resistance. *Int. J. Obes.* 34:980–988.
- Alhadeff, A.L., D. Golub, M.R. Hayes, and H.J. Grill. 2015. Peptide YY signaling in the lateral parabrachial nucleus increases food intake through the Y1 receptor. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 309: E759–E766.
- Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83:1598–1624.
- Allen, M.S. and B.J. Bradford. 2012. Control of food intake by metabolism of fuels: A comparison across species. *Proc. Nutr. Soc.* 71:401–409.
- Allen, M.S., B.J. Bradford, and K.J. Harvatine. 2005. The cow as a model to study food intake regulation. *Annu. Rev. Nutr.* 25:523–547.
- Auffray, P. 1969. Effect of ventromedial hypothalamic lesions on food intake in the pig. *Annales de Biologie Animale, Biochimie et Biophysique* 9:513–526.
- Baidoo, S.K., M.K., McIntosh, and F.X. Aherne. 1986. Selection preference of starter pigs fed canola meal and soyabean meal supplemented diets. *Can. J. Anim. Sci.* 66:1039–1049.
- Baile, C.A. and J.M. Forbes. 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol. Rev.* 54:160–214.
- Baile, C.A. and M.A. Della-Fera. 1984. Peptidergic control of food intake in food-producing animals. *Fed. Proc.* 43:2898–2902.
- Baldwin, B.A. 1985. Neural and hormonal mechanisms regulating food intake. *Proc. Nutr. Soc.* 44:303–311.
- Barker, D.J., P.J. May, and W.M. Jones. 1988. Controlling the intake of grain supplements by cattle, using ureasuperphosphate. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 17:146–149.
- Baumgardt, B.R. 1970. Control of feed intake in the regulation of energy balance. In: *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Edited by A.T. Phillipson. Oriel Press Ltd., Newcastle, pp. 235–253.
- Baumgardt, B.R. and Peterson, A.D. 1971. Regulation of food intake in ruminants. 1. Caloric density of diets for young

- growing lambs. *J. Dairy Sci.* 54:1191–1194.
- Breer, H., J. Eberle, C. Frick, D. Haid, and P. Widmayer. 2012. Gastrointestinal chemosensation: Chemosensory cells in the alimentary tract. *Histochem. Cell Biol.* 138:13–24.
- Brujinzeel, A.W., L.W. Corrie, J.A. Rogers, and H. Yamada. 2011. Effects of insulin and leptin in the ventral tegmental area and arcuate hypothalamic nucleus on food intake and brain reward function in female rats. *Behav. Brain. Res.* 219:254–264.
- Buentello, J. A. and D. M. Gatlin 3rd. 2001. Effects of elevated dietary arginine on resistance of channel catfish to exposure to *Edwardsiella ictaluri*. *J. Aquatic Animal Health* 13:194–201.
- Burfeind, K.G., K.A. Michaelis, and D.L. Marks. 2016. The central role of hypothalamic inflammation in the acute illness response and cachexia. *Semin. Cell Dev. Biol.* 54:42–52.
- Catanese, F., P. Fernández, J.J. Villalba, and R.A. Distel. 2016. The physiological consequences of ingesting a toxic plant (*Diploptaxis tenuifolia*) influence subsequent foraging decisions by sheep (*Ovis aries*). *Physiol. Behav.* 167:238–247.
- Chen, L.L., Q.Y. Jiang, X.T. Zhu, G. Shu, Y.F. Bin, X.Q. Wang, P. Gao, and Y.L. Zhang. 2007. Ghrelin ligand-receptor mRNA expression in hypothalamus, proventriculus and liver of chicken (*Gallus gallus domesticus*): Studies on ontogeny and feeding condition. *Comp. Biochem. Physiol. A* 147:893–902.
- Chen, J., K.A. Scott, Z. Zhao, T.H. Moran, and S. Bi. 2008. Characterization of the feeding inhibition and neural activation produced by dorsomedial hypothalamic cholecystokinin administration. *Neurosci.* 152:178–188.
- Choi, Y.H., M. Furuse, J. Okumura, and D.M. Denbow. 1994. Nitric oxide controls feeding behavior in the chicken. *Brain Res.* 654:163–166.
- Cole, D.J.A., R.M. Beal, and J.R. Luscombe. 1968. The effect on performance and bacterial flora of lactic acid, propionic acid, calcium propionate and calcium acrylate in the drinking water of the weaned pigs. *Vet. Rec.* 83:459–464.
- Cowley, M.A., J.L. Smart, M. Rubinstein, M.G. Cerdán, S. Diano, T.L. Horvath, R.D. Cone, and M.J. Low. 2001. Leptin activates anorexigenic POMC neurons through a neural network in the arcuate nucleus. *Nature* 411:480–484.
- Czech, D.A., M.R. Kazel, and J. Harris. 2003. A nitric oxide synthase inhibitor, *N*(G)-nitro-L-arginine methyl ester, attenuates lipoprivic feeding in mice. *Physiol. Behav.* 80:75–79.
- Dabrowski, K., M. Arslan, B.F. Terjesen, and Y.F. Zhang. 2007. The effect of dietary indispensable amino acid imbalances on feed intake: Is there a sensing of deficiency and neural signaling present in fish? *Aquaculture* 268:136–142.
- Daniel, J.A., T.H. Elsasser, C.D. Morrison, D.H. Keisler, B.K. Whitlock, B. Steele, D. Pugh, and J.L. Sartin. 2003. Leptin, tumor necrosis factor- α (TNF), and CD14 in ovine adipose tissue and changes in circulating TNF in lean and fat sheep. *J. Anim. Sci.* 81:2590–2599.
- de Groot, G. 1972. A marginal income and cost analysis of the effect of nutrient density on the performance of White Leghorn hens in battery cages. *Br. Poult. Sci.* 13:503–520.
- De Luca, B., M. Monda, and A. Sullo. 1995. Changes in eating behavior and thermogenic activity following inhibition of nitric oxide formation. *Am. J. Physiol.* 268:R1533–R1538.
- Egan, A.R. 1977. Nutritional status and intake regulation in sheep VIII. Relationships between the voluntary intake of herbage by sheep and the protein/energy ratio in the digestion products. *Aust. J. Agr. Res.* 28:907–915.
- Egan, A.R. and Q.R. Rogers. 1978. Amino acid imbalance in ruminant lambs. *Aust. J. Agr. Res.* 29:1263–1279.
- Edmonds, M.S. and D.H. Baker. 1987a. Amino acid excesses for young pigs: Effects of excess methionine, tryptophan, threonine or leucine. *J. Anim. Sci.* 64:1664–1671.
- Edmonds, M.S. and D.H. Baker. 1987b. Comparative effects of individual amino acid excesses when added to a corn-soybean meal diet: Effects on growth and dietary choice in the chick. *J. Anim. Sci.* 65:699–705.
- Edmonds, M.S., Gonyou HW, and Baker DH. 1987. Effect of excess levels of methionine, tryptophan, arginine, lysine or threonine on growth and dietary choice in the pig. *J. Anim. Sci.* 65:179–185.
- Ellis, W.C., Poppi, D. and Matis, J.H. 2000. Feed intake in ruminants: Kinetic aspects. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. Edited by J.P.F. D’Mello. CABI Publishing, Oxon, UK, pp. 335–363.
- Ettle, T. and F.X. Roth. 2009. Dietary selection for lysine by piglets at differing feeding regimen. *Livest. Sci.* 122:259–263.
- Forbes, J.M. 1996. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74:3029–3035.
- Forbes, J.M. 2000. Physiological and metabolic aspects of feed intake control. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. Edited by J.P.F. D’Mello. CABI Publishing, Oxon, UK, pp. 319–333.
- Forbes, J.M. 2007. *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. CABI International, Wallingford, UK.
- Gietzen, D.W., S. Hao, and T.G. Anthony. 2007. Mechanisms of food intake repression in indispensable amino acid deficiency. *Annu Rev Nutr.* 2007;27:63–78.
- Gregory, P.C., M. McFadyen, and D.V. Rayner. 1987. The influence of gastrointestinal infusions of glucose on regulation of food intake in pigs. *Q. J. Exp. Physiol.* 72:525–535.
- Groneberg, D., B. Voussen, and A. Friebe. 2016. Integrative control of gastrointestinal motility by nitric oxide. *Curr. Med. Chem.* 23:2715–2735.
- Grovum, W. L. 1995. Mechanisms explaining the effects of short chain fatty acids on feed intake in ruminants-osmotic pressure, insulin and glucagons. In: *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Edited by W.V. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves and D. Giesecke. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, pp. 137–197.

- Harper, A.E., N.J. Benevenga, and R.M. Wohlhueter. 1970. Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiol. Rev.* 50:428–558.
- Henry, Y. 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: A review. *Lives. Prod. Sci.* 12:339–354.
- Herd, R.M. and P.F. Arthur. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87(E. Suppl.):E64–E71.
- Houpt, T.R., S.M. Anika, and K.A. Houpt. 1979. Preabsorptive intestinal satiety controls of food intake in pigs. *Am. J. Physiol.* 236:R328–R337.
- Ingvartsen, K.L. and J.B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83:1573–1597.
- Jobgen, W.J., C.J. Meininger, S.C. Jobgen, P. Li, M.-J. Lee, S.B. Smith, T.E. Spencer, S.K. Fried, and G. Wu. 2009. Dietary L-arginine supplementation reduces white-fat gain and enhances skeletal muscle and brown fat masses in diet-induced obese rats. *J. Nutr.* 139:230–237.
- Kaviani, S. and J.A. Cooper. 2017. Appetite responses to high-fat meals or diets of varying fatty acid composition: A comprehensive review. *Eur. J. Clin. Nutr.* doi: 10.1038/ejcn.2016.250.
- Khan, M.A., A. Bach, L. Castells, D.M. Weary, and M.A. von Keyserlingk. 2014. Effects of particle size and moisture levels in mixed rations on the feeding behavior of dairy heifers. *Animal* 8:1722–1727.
- Kintscher, U. 2012. Reuptake inhibitors of dopamine, noradrenaline, and serotonin. *Handb. Exp. Pharmacol.* 209:339–347.
- Kirouac, G.J. 2015. Placing the paraventricular nucleus of the thalamus within the brain circuits that control behavior. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 56:315–329.
- Koch, R.M., L.A. Swiger, D. Chambers, and K.E. Gregory. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22:486–494.
- Kojima, M. and K. Kangawa. 2005. Ghrelin: Structure and function. *Physiol. Rev.* 85:495–522.
- Kuhla, B., C.C. Metges, and H.M. Hammon. 2016. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows. *Dom. Anim. Endocrinol.* 56:S2–S10.
- Kyriazakis, I. and J.D. Oldham. 1993. Diet selection in sheep: The ability of growing lambs to select a diet that meets their crude protein (nitrogen \times 6.25) requirements. *Br. J. Nutr.* 69:617–629.
- Litherland, N.B., S. Thire, A.D. Beaulieu, C.K. Reynolds, J.A. Benson, and J.K. Drackley. 2005. Dry matter intake is decreased more by abomasal infusion of unsaturated free fatty acids than by unsaturated triglycerides. *J. Dairy Sci.* 88:632–643.
- Marx, J. 2003. Cellular warriors at the battle of the bulge. *Science* 299:846–849.
- Mayer, J. 1953. Glucostatic regulation of food intake. *N. Engl. J. Med.* 249:13–16.
- Milne, J.A. 1991. Diet selection by grazing animals. *Proc. Nutr. Soc.* 50:77–85.
- Miryala, C.S.J., N. Maswood, and L. Uphouse. 2011. Fluoxetine prevents 8-OH-DPAT-induced hyperphagia in Fischer inbred rats. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 98:311–315.
- Moore, J.E. and W.E. Kunkle. 1995. Improving forage supplementation programs for beef cattle. *Proc. Florida Ruminant Nutr. Symposium*, University of Florida, Gainesville, FL, pp. 65–74.
- Nelson, G., M.A. Hoon, J. Chandrashekar, Y. Zhang, N.J. Ryba, and C.S. Zuker. 2001. Mammalian sweet taste receptors. *Cell* 106:381–390.
- Niot, I. and P. Besnard. 2017. Appetite control by the tongue-gut axis and evaluation of the role of CD36/SR-B2. *Biochimie* 136:27–32.
- Oba, M. and M.S. Allen. 2003. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.* 86:174–183.
- Patience, J.F., M.C. Rossoni-Serão, and N.A. Gutiérrez. 2015. A review of feed efficiency in swine: Biology and application. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:33.
- Pérez-Maceira, J.J., C. Otero-Rodiño, M.J. Mancebo, J.L. Soengas, and M. Aldegunde. 2016. Food intake inhibition in rainbow trout induced by activation of serotonin 5-HT_{2C} receptors is associated with increases in POMC, CART and CRF mRNA abundance in hypothalamus. *J. Comp. Physiol. B* 186:313–321.
- Pluske, J.R. 2013. Feed – and feed additives-related aspects of gut health and development in weanling pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:1.
- Provenza, F.D. 1996. Acquired aversions as the basis for varied diets of ruminants foraging on rangelands. *J. Anim. Sci.* 74:2010–2020.
- Rezaei, R., D.A. Knabe, C.D. Tekwe, S. Dahanayaka, M.D. Ficken, S.E. Fielder, S.J. Eide, S.L. Lovering, and G. Wu. 2013. Dietary supplementation with monosodium glutamate is safe and improves growth performance in postweaning pigs. *Amino Acids* 44:911–923.
- Robinson, A.M. and D.H. Williamson. 1980. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. *Physiol. Rev.* 60:143–187.
- Rose, S.P. and I. Kyriazakis. 1991. Diet selection of pigs and poultry. *Proc. Nutr. Soc.* 50:87–98.
- Russek, M. 1970. Demonstration of the influence of an hepatic glucose-sensitive mechanism on food intake. *Physiol. Behavior* 5:1207–1209.
- San Gabriel, A. and Uneyama, H. 2013. Amino acid sensing in the gastrointestinal tract. *Amino Acids* 45:451–461.

- Sartin, J.L., B.K. Whitlock, and J.A. Daniel. 2011. Triennial growth symposium: Neural regulation of feed intake: Modulation by hormones, fasting, and disease. *J. Anim. Sci.* 89:1991–2003.
- Sashihara, K., M. Miyamoto, A. Ohgushi, D.M. Denbow, and M. Furuse. 2001. Influence of ketone body and the inhibition of fatty acid oxidation on the food intake of the chick. *Br. Poult. Sci.* 42:405–408.
- Shariatmadari, F. and J.M. Forbes. 1993. Growth and food intake responses to diets of different protein contents and a choice between diets containing two levels of protein in broiler and layer strains of chicken. *Br. Poultry Sci.* 34:959–970.
- Shurlock, T.G.H. and J.M. Forbes. 1981a. Factors affecting food intake in the domestic chicken: The effect of infusions of nutritive and non-nutritive substances into the crop and duodenum. *Br. Poultry Sci.* 22:323–331.
- Shurlock, T.G.H. and J.M. Forbes. 1981b. Evidence for hepatic glucostatic regulation of food intake in the domestic chicken and its interaction with gastrointestinal control. *Br. Poultry Sci.* 22:333–346.
- Shurlock, T.G.H. and J.M. Forbes. 1984. Effects on voluntary intake of infusions of glucose and amino acids into the hepatic portal vein of chickens. *Br. Poultry Sci.* 25:303–308.
- Smith, T.K. and R.E. Austic. 1978. The branched-chain amino acid antagonism in chicks. *J. Nutr.* 108:1180–1191.
- Spangler, M. 2013. Genetic improvement of feed efficiency: Tools and tactics. <http://www.iowabeefcenter.org/proceedings/FeedEfficiencySelection.pdf>. Accessed on April 10, 2017.
- Stanley, S., K. Wynne, and S. Bloom. 2004. Gastrointestinal satiety signals III. Glucagon-like peptide 1, oxyntomodulin, peptide YY, and pancreatic polypeptide. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 286:G693–G697.
- Steinert, R.E., C. Feinle-Bisset, L. Asarian, M. Horowitz, C. Beglinger, and N. Geary. 2017. Ghrelin, CCK, GLP-1, and PYY(3–36): Secretory controls and physiological roles in eating and glycemia in health, obesity, and after RYGB. *Physiol. Rev.* 97:411–463.
- Summers, J.D. and S. Leeson. 1979. Diet presentation and feeding. In: *Food Intake Regulation in Poultry*. Edited by K.N. Boorman and B.M. Freeman. Longman, Edinburgh, pp. 445–469.
- Sun, M., R.J. Martin, and G.L. Edwards. 1997. ICV beta-hydroxybutyrate: Effects on food intake, body composition, and body weight in rats. *Physiol. Behav.* 61:433–436.
- Suiryanrayna, M.V.A.N. and J.V. Ramana. 2015. A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:45.
- Sutton, A.K., M.G. Myers, and D.P. Olson. 2016. The role of PVH circuits in peptin action and energy balance. *Annu. Rev. Physiol.* 78:207–221.
- Tack, J., I. Demedts, A. Meulemans, J. Schuurkes, and J. Janssens. 2002. Role of nitric oxide in the gastric accommodation reflex and in meal induced satiety in humans. *Gut* 51:219–224.
- Taylor, J. 2016. National program for genetic improvement of feed efficiency in beef cattle. *Beef Improvement Federation Annual Meeting and Symposium*. Manhattan, Kansas.
- Thon, M., T. Hosoi, and K. Ozawa. 2016. Possible integrative actions of leptin and insulin signaling in the hypothalamus targeting energy homeostasis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 7:138.
- Van Nguyen, M., I. Ronnestad, L. Buttle, H.V. Lai, and M. Espe. 2014. Imbalanced lysine to arginine ratios reduced performance in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) fed high plant protein diets. *Aquaculture Nutrition* 20:25–35.
- Vogt, M.C. and J.C. Brüning. 2013. CNS insulin signaling in the control of energy homeostasis and glucose metabolism—From embryo to old age. *Trends Endocrinol. Metab.* 24:76–84.
- Voigt, J.P. and H. Fink. 2015. Serotonin controlling feeding and satiety. *Behav. Brain. Res.* 277:14–31.
- Wadhwa, D. and E.D. Capaldi-Phillips. 2014. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eat. Behav.* 15:132–143.
- Weston, R.H. 1996. Some aspects of constraint to forage consumption by ruminants. *Aust. J. Agric. Res.* 47:175–197.
- Williams, N. 2012. Feed efficiency potential for pigs and poultry. https://www.slideshare.net/truf_emedia/dr-noel-williams-feed-eficiency-potential-for-pigs-and-poultry. Accessed on April 10, 2017.
- Wu, G., F.W. Bazer, Z.L. Dai, D.F. Li, J.J. Wang, and Z.L. Wu. 2014. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2:387–417.
- Wu, G., N.E. Flynn, S.P. Flynn, C.A. Jolly, and P.K. Davis. 1999. Dietary protein or arginine deficiency impairs constitutive and inducible nitric oxide synthesis by young rats. *J. Nutr.* 129:1347–1354.
- Wu, G., S.A. Meier, and D.A. Knabe. 1996. Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs. *J. Nutr.* 126:2578–2584.
- Wu G, F.W. Bazer, J.M. Wallace, and T.E. Spencer. 2006. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.* 84:2316–2337.

13 Yem Katkı Maddeleri

Hayvansal üretim ve çiftlik verimliliğini artırmak için besin maddelerinin kullanım etkinliğinin iyileştirilmesi esastır (Spangler 2013, Wu et al. 2014). Ruminantlar, ruminant olmayan hayvanlar, balıklar ve karidesler tarafından besin maddesi kullanımını artırmak amacıyla besin maddelerinin sindirimi ve metabolizması iki ana hedefdir. Sindirim enzimleri, yem maddelerini sindirmek için gastrointestinal sistem, bağırsak mikrobiota, karaciğer ve pankreas tarafından sentezlenir ve salgılanır (Bölüm 1). Bununla birlikte, mide ve ince bağırsaktaki proteaz, karbonhidraz ve lipaz miktarları, belirli üretim koşullarında (sıcak ve soğuk stresleri, hastalık ve süttten kesme gibi) hayvanlarda protein, yağ, lifler, mineral ve vitaminlerin optimal sindirimi için yetersiz olabilir. Benzer şekilde, normalde yemde bulunan besin maddeleri, hayvanların maksimum büyümesi veya yem verimliliği için yeterli olmayabilir ve bu nedenle verimliliği artırmak için rasyonlara eklenir (Tan ve Yin 2017). Ayrıca, üretim koşullarında rasyonlarda küf önleyici veya anti-oksidatif bileşenler olarak eksojen maddelere sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, sindirim enzimleri, fonksiyonel bileşenler, büyümeyi teşvik edici maddeler veya mikotoksin bağlayıcılar ile gıda takviyesi, gübredeki sindirilmemiş besin maddelerinin (protein, karbonhidratlar, kalsiyum ve fosfor) ve mikrobiyal fermantasyon ürünlerinin (amonyak, üre ve indoller gibi) çıktısını azaltırken, çiftlik hayvanları, kümes hayvanları ve balıklar tarafından hammaddelerin daha ekonomik bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir (Bedford ve Schulze 1998; Phillips et al. 1995; Weaver ve Kim 2014).

Yem katkı maddesi, yemlere istenilerek eklenen herhangi bir madde olarak tanımlanır. Son elli yılda, yem katkı maddeleri (amino asitler, yağ asitleri, şekerler, vitaminler, mineraller, probiyotikler, prebiyotikler ve antibiyotikler dahil olmak üzere eksojen enzimler ve nonenzimler) hem beslenme uzmanları hem de üreticiler tarafından giderek artan bir ilgi görmüştür (Cowieson ve Roos 2016; Hou ve diğerleri 2017; Jiang ve Xiong 2016). Çoğu enzim spesifik substratlar üzerinde etkili olduğundan, kullanımları belirli rasyonlarla sınırlıdır (Beauchemin vd 2001; Bedford 2000). Hayvanların bir yem katkı maddesine nasıl tepki vereceği, (a) katkı maddesinin kaynağı, formu ve biyoaktivitesi; (b) hayvanın yaş, fizyolojik durumu, sindirim yapısı ve sağlık durumu (bakteriyel, viral veya parazit enfeksiyon varlığı gibi); (c) rasyon bileşenleri, bunların etkileşimleri ve besin bileşimleriyle beslenme karşıtı faktörlerin miktarları ve (d) hayvanların barındırıldığı ve beslendiği ortam dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, yem katkı maddelerinin etkinliği hayvan türü, çiftlik, yem bileşimi ve üretim yöntemlerine göre değişiklik gösterir, ayrıca ekonomik değer pratik üretim koşulları altında değerlendirilmelidir. Bu bölümün temel amacı, hayvansal üretimde yem katkı maddelerinin kullanımını ve altta yatan etki mekanizmalarını vurgulamak ve bunların rasyona dahil edilmesinin faydalı etkilere yol açmasının en muhtemel olduğu koşulları ana hatlarıyla belirtmektir.

ENZİM KATKI MADDELERİ

GENEL BAKIŞ

Dünyanın birçok bölgesinde arpa, çavdar, tritikale ve buğday kümes hayvanları ve domuz rasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bedford 2000; Pettersson ve Aman 1989). Ancak bu tahıllar, su varlığında viskoz jeller oluşturan yüksek miktarda çözünebilir nişasta olmayan polisakkaritler (non-starch polysaccharides, NSP's ya da NOP) içerir (Bölüm 2). NSP'lerin bazı istenmeyen etkileri vardır. Başlıca olumsuz etkileri gastrointestinal sistemde sindirim viskozitesini artırma, besinlerin sindirimini ve emilimini bozma, sindirim sisteminin morfolojisini ve işlevini değiştirmek için bağırsak mikroflorasıyla etkileşime girme özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Bölüm 5). Bu nedenle, kümes hayvanlarının beslenmesinde kullanılan ticari enzim

Karbonhidrazlar (ksilanaz ve β -glukanaz) ve fitazların bir kombinasyonunun metabolize edilebilir enerji, CP, Ca ve P bakımından fakir mısır-soya bazlı rasyonlara eklenmesi, domuz ve etlik piliçlerde büyüme performansında ve P, kuru madde, enerji ve N kullanımında önemli bir artışla sonuçlanmıştır. Bu enzimler, rasyon besin maddelerinin sindirilebilirliğini ve besleme değerini artırabilir, bileşenlerin besin kalitesindeki varyasyonu azaltabilir, ıslak altlık insidansını azaltabilir ve çevre kirliliğini en aza indirebilir. Kanatlı ve domuz rasyonlarındaki enzim dışı yem katkı maddeleri arasında antibiyotikler, probiyotikler, prebiyotikler, mikotoksin adsorbanları ve gastrointestinal fonksiyonu, besin emilimini ve kas protein sentezini iyileştiren kristal amino asitler bulunur. Dikkat edilmesi gereken nokta, geviş getirmeyen hayvanları beslemek için kullanılan hemen hemen tüm antibiyotiklerin nitrojen içermesidir ve bunlardan bazıları, duyarlı bakterileri öldürme aktivitelerini kazandıran veya artıran aminoglikozidlerdir. Geviş getiren hayvanların sindirim sistemi geviş getirmeyenlerden farklı olduğundan, tüm ruminal mikropların genel olarak engellenmesi nişasta, yağ asitleri, lif ve proteinin fermantasyonunu bozacak ve dolayısıyla verimsiz olacaktır. Bu nedenle, geviş getiren hayvanlara yönelik enzimsiz yem antibiyotiklerinin (temel olarak iyonoforlar) ve doğrudan beslenen mikrobiyal türleri, geviş getirmeyen hayvanlara yönelik olanlardan farklıdır ve işkembedeki kısa zincirli yağ asitleri ve mikrobiyal protein üretimini modüle etmek için kullanılır. İyonoforlar, nadiren nitrojen içeren polieter molekülleridir ve membran iyon taşınmasının uyarılması yoluyla seçilmiş rumen bakterileri tarafından ATP sentezini azaltır. İyonoforların (örneğin monensin) ve bakteri bazlı doğrudan beslenen mikrobiyallerin uygun şekilde uygulanması, geviş getiren hayvanların büyümesini, laktasyonunu ve üretimini artırmak için metabolize edilebilir enerjinin ve dengeli bir amino asit karışımının sağlanmasını artırabilir. Diğer yem katkı maddeleri arasında kristalli amino asitler ve bunların metabolitlerinin yanı sıra küf önleyici organik asitler yer alır. Toplu olarak yem katkı maddeleri (örn. amino asitler, küf önleyici bileşikler ve *Yucca schidigera* ekstraktı), küresel hayvan tarımını sürdürürken, hem geviş getiren hem de geviş getirmeyen hayvanlarda (özellikle stres koşulları altında) kilo alımını ve yem verimliliğini başarılı bir şekilde iyileştirme konusunda umut vaat ediyor.

KAYNAKLAR

- Abbès, S., J. Salah-Abbès, M.M. Hetta, M.I. Ibrahim, M.A. Abdel-Wahhab, H. Bacha, and R. Oueslati. 2008. Efficacy of Tunisian montmorillonite for in vitro aflatoxin binding and in vivo amelioration of physiological alterations. *Appl. Clay Sci.* 42:151–157.
- Allison, M.J., A.C. Hammond, and R.J. Jones. 1990. Detection of ruminal bacteria that degrade toxic dihydroxypyridine compounds produced by mimosine. *Appl. Exp. Microbiol.* 56:590–594.
- Amerah, A.M., C. Gilbert, P.H. Simmins, and V. Ravindran. 2011. Influence of feed processing on the efficacy of exogenous enzymes in broiler diets. *World Poult. Sci. J.* 67:29–46.
- Amerah, A.M., P.W. Plumstead, L.P. Barnard, and A. Kumar. 2014. Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. *Poult. Sci.* 93:906–915.
- Assaad, H., L. Zhou, R.J. Carroll, and G. Wu. 2014. Rapid publication-ready MS-Word tables for one-way ANOVA. *SpringerPlus* 3:474.
- Awawdeh, M.S. 2016. Rumen-protected methionine and lysine: Effects on milk production and plasma amino acids of dairy cows with reference to metabolisable protein status. *J. Dairy Res.* 83:151–155.
- Baker, D.H. 2009. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids* 37:29–41.
- Beauchemin, K.A., D.P. Morgavi, T.A. McAllister, W.Z. Yang, and L.M. Rode. 2001. The use of enzymes in ruminant diets. *Recent Adv. Anim. Nutr.* 297–322.
- Beauchemin, K.A., S.D.M. Jones, L.M. Rode, and V.J.H. Sewalt. 1997. Effects of fibrolytic enzymes in corn or barley diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 77:645–653.
- Bedford, M.R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition—Their current value and future benefits. *Anim. Feed Sci. Tech.* 86:1–13.
- Bedford, M.R. and H. Schulze. 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutr. Res. Rev.* 11:91–114.
- Bedford, M.R., J.F. Patience, H.L. Classens, and J. Inborra. 1992. The effect of dietary enzyme supplementation of rye – and barley-based diets on digestion and subsequent performance in weanling pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 72:97–105.
- Bergen, W.G. and D.B. Bates. 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.*

- 58:1465–1483.
- Bergen, W.G. and G. Wu. 2009. Intestinal nitrogen recycling and utilization in health and disease. *J. Nutr.* 139:821–825.
- Biely, P. 2016. Microbial glucuronoyl esterases: 10 years after discovery. *Appl. Environ. Microbiol.* 82:7014–7018.
- Brauder, R., H.D. Wallace, and T.J. Cunha. 1953. The value of antibiotics in the nutrition of swine: A review. *Antibiot. Chemother (Northfield)* 3:271–291.
- Brenes, A., W. Guenter, R.R. Marquardt, and B.A. Rotter. 1993. Effect of β -glucanase/pentosanase enzyme supplementation on the performance of chickens and laying hens fed wheat, barley, naked oats and rye diets. *Can. J. Anim. Sci.* 73:941–951.
- Burnett, G.S. 1966. Studies of viscosity as the probable factor involved in the improvement of certain barleys for chickens by enzyme supplementation. *Br. Poult. Sci.* 7:55–75.
- Burroughs, W., W. Woods, S.A. Ewing, J. Greig, and B. Theurer. 1960. Enzyme additions to fattening 30 cattle rations. *J. Anim. Sci.* 19:458–464.
- Callaway, T.R., T.S. Edrington, J.L. Rychlik, K.J. Genovese, T.L. Poole, Y.S. Jung, K.M. Bischoff, R.C. Anderson, and D.J. Nisbet. 2003. Ionophores: Their use as ruminant growth promotants and impact on food safety. *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 4:43–51.
- Cameron, A. and T.A. McAllister. 2016. Antimicrobial usage and resistance in beef production. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:68.
- Campbell, G.L. and M.R. Bedford. 1992. Enzyme applications for monogastric feeds: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 72:449–466.
- CAST. 2003. Council for Agricultural Science and Technology Task Force Report 139. *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal and Human Systems*. CAST, Ames, IA.
- Castillo, M., S.M. Martin-Orue, J.A. Taylor-Pickard, J.F. Perez, and J. Gasa. 2008. Use of mannan-oligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs: Effects on microbiota and gut function. *J. Anim. Sci.* 86:94–101.
- Cheeke, P.R. 2000. Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Proc. Phytochem. Soc. Eur.* 45:241–254.
- Choct, M. 2006. Enzymes for the feed industry: Past, present and future. *World's Poult. Sci. J.* 62:5–16.
- Clicker, F.H. and E.H. Follwell. 1925. Application of “protozyme” by *Aspergillus oryzae* to poultry feeding. *Poult. Sci.* 5:241–247.
- Collin, A., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. *J. Anim. Sci.* 79:1849–1857.
- Cowieson, A.J. and F. Roos. 2016. Toward optimal value creation through the application of exogenous mono-component protease in the diets of non-ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 221:331–340.
- Cromwell, G.L. 2000. Antimicrobial and promicrobial agents. In: *Swine Nutrition*. Edited by A.J. Lewis and L.L. Southern. CRC Press, New York, pp. 401–426.
- Cromwell, G.L. 2002. Why and how antibiotics are used in swine production. *Anim. Biotechnol.* 13:7–27.
- Daly, K., A.C. Darby, N. Hall, A. Nau, D. Bravo, and S.P. Shirazi-Beechey. 2014. Dietary supplementation with lactose or artificial sweetener enhances swine gut *Lactobacillus* population abundance. *Br. J. Nutr.* 111:S30–S35.
- Dellinger, C.A. and J.G. Ferry. 1984. Effect of monensin on growth and methanogenesis of *Methanobacterium formicicum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 48:680–682.
- Deng, Z.Y., J.W. Zhang, G.Y. Wu, Y.L. Yin, Z. Ruan, T.J. Li, W.Y. Chu et al. 2007. Dietary supplementation with polysaccharides from semen cassiae enhances immunoglobulin production and interleukin gene expression in early-weaned piglets. *J. Sci. Food Agric.* 87:1868–1873.
- Dersjant-Li, Y., A. Awati, H. Schulze, and G. Partridge. 2015. Phytase in non-ruminant animal nutrition: A critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *J. Sci. Food Agric.* 95:878–896.
- Dilger, R.N., K. Bryant-Angeloni, R.L. Payne, A. Lemme, and C.M. Parsons. 2013. Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. *Poult. Sci.* 92:171–177.
- Edney, M.J., Campbell, G.L., and H.L. Classen. 1989. The effect of β -glucanase supplementation on nutrient digestibility and growth in broilers given diets containing barley, oat groats or wheat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 25:193–200.
- EFSA. 2011. Scientific opinion on the re-evaluation of butylated hydroxyanisole—BHA (E 320) as a food additive. *EFSA J.* 9(10):2392.
- Eklund, M., E. Bauer, J. Wamatu, and R. Mosenthin. 2005. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutr. Res. Rev.* 18:31–48.
- Fakruddin, M.d. 2017. Thermostable enzymes and their industrial application: A review. *Discovery* 53:147–157.
- Fry, R.E., J.B. Allred, L.S. Jensen, and J. McGinnis. 1957. Influence of cereal grain components of the diet on the response of chicks and poult to dietary enzyme supplements. *Poult. Sci.* 36:1120.
- Gaskins, H.R., C.T. Collier, and D.B. Anderson. 2002. Antibiotics as growth promotants. *Anim. Biotechnol.* 13:29–42.
- Girio, F.M., C. Fonseca, F. Carvalheiro, L.C. Duarte, S. Marques, and R. Bogel-Lukasik. 2010. Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresour. Technol.* 101:4775–4800.

- Gostner, J., C. Ciardi, K. Becker, D. Fuchs, and R. Sucher. 2014. Immunoregulatory impact of food antioxidants. *Curr. Pharm. Des.* 20:840–849.
- Graham, H., W. Lowgren, D. Pettersson, and P. Aman. 1988. Effect of enzyme supplementation on digestion of a barley/pollard-based pig diet. *Nutr. Rep. Int.* 38:1073–1079.
- Gregg, K., B. Hamdorf, K. Henderson, J. Kopečný, and C. Wong. 1998. Genetically modified ruminal bacteria protect sheep from fluoroacetate poisoning. 1998. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:3496–3498.
- Grootwassink, J.W.D., G.L. Campbell, and H.L. Classen. 1989. Fractionation of crude pentosanase (Arabinoxylanase) for improvement of the nutritional value of rye diets for broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 46:289–300.
- Gucker, C.L. 2006. *Yucca schidigera*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/yucsch/all.html>. Accessed on April 12, 2017.
- Halas, V. and I. Nochtá. 2012. Mannan oligosaccharides in nursery pig nutrition and their potential mode of action. *Animal* 2:261–274.
- Hastings, W.H. 1946. Enzyme supplements for poultry feeds. *Poult. Sci.* 25:584–586.
- Hou, Y.Q., Z.L. Wu, Z.L. Dai, G.H. Wang, and G. Wu. 2017. Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8:24.
- Hu, H., X. Bai, A.A. Shah, A.Y. Wen, J.L. Hua, C.Y. Che, S.J. He, J.P. Jiang, Z.H. Cai, and S.F. Dai. 2016. Dietary supplementation with glutamine and γ -aminobutyric acid improves growth performance and serum parameters in 22 – to 35-day-old broilers exposed to hot environment. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 100:361–370.
- Humer, E., C. Schwarz, and K. Schedle. 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 99:605–625.
- Huynh, T.T.T., A.J.A. Aarnink, C.T. Truong, B. Kemp, and M.W.A. Verstegen. 2006. Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. *Livest. Sci.* 104:278–291.
- Iwaasa, A.D., L.M. Rode, K.A. Beauchemin, and S. Eivemark. 1997. Effect of fibrolytic enzymes in barley-based diets on performance of feedlot cattle and in vitro gas production. *Proceedings of the Joint Rowett Research Institute and INRA Rumen Microbiology Symposium*. Aberdeen, Scotland.
- Jacela, J.Y., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, D.G. Renter, and S.S. Dritz. 2010. Feed additives for swine: Fact sheets—Flavors and mold inhibitors, mycotoxin binders, and antioxidants. *J. Swine Health Prod.* 18:27–32.
- Jackson, M.E., K. Geronian, A. Knox, J. McNab, and E. McCartney. 2004. A dose-response study with the feed enzyme beta-mannanase in broilers provided with corn-soybean meal based diets in the absence of antibiotic growth promoters. *Poult. Sci.* 83:1992–1996.
- János Bérdy, J. 2012. Thoughts and facts about antibiotics: Where we are now and where we are heading. *J. Antibiot.* 65:385–395.
- Ji, F., D.P. Casper, P.K. Brown, D.A. Spangler, K.D. Haydon, and J.E. Pettigrew. 2008. Effects of dietary supplementation of an enzyme blend on the ileal and fecal digestibility of nutrients in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1533–1543.
- Jiang, J. and Y.L. Xiong. 2016. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Sci.* 120:107–117.
- Jo, J.K., S.L. Ingale, J.S. Kim, Y.W. Kim, K.H. Kim, J.D. Lohakare, J.H. Lee, and B.J. Chae. 2012. Effects of exogenous enzyme supplementation to corn – and soybean meal-based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood metabolites in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:3041–3048.
- Johnson, K.A. and D.E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483–2494.
- Kerr, B.J., J.T. Yen, J.A. Nienaber, and E.A. Easter. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:1998–2007.
- Kerr, B.J. and G.C. Shurson. 2013. Strategies to improve fiber utilization in swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:11.
- Kim, S.W., D.A. Knabe, K.J. Hong, and R.A. Easter. 2003. Use of carbohydrases in corn-soybean meal-based nursery diets. *J. Anim. Sci.* 81:2496–2504.
- Kong, C., J.H. Lee, and O. Adeola. 2011. Supplementation of β -mannanase to starter and grower diets for broilers. *Can. J. Anim. Sci.* 91:389–397.
- Kulkarni, N., A. Shendye, and M. Rao. 1999. Molecular and biotechnological aspects of xylanases. *FEMS Microbiol. Rev.* 23:411–456.
- Kung, L. 2001. Developments in rumen fermentation—Commercial applications. *Recent Adv. Anim. Nutr.* 105:281–295.
- Li, S., W.C. Sauer, R. Mosenthin, and B. Kerr. 1996. Effect of β -glucanase supplementation of cereal-based diets for starter pigs on the apparent digestibilities of dry matter, crude protein and energy. *Anim. Feed Sci. Tech.* 59:223–231.
- Lu, H., S.A. Adedokun, A. Preynat, V. Legrand-Defretin, P.A. Geraert, O. Adeola, and K.M. Ajuwon. 2013. Impact of exogenous carbohydrases and phytase on growth performance and nutrient digestibility in broilers. *Can. J. Anim. Sci.* 93:243–249.
- Lv, J.N., Y.Q. Chen, X.J. Guo, X.S. Piao, Y.H. Cao, and B. Dong. 2013. Effects of supplementation of β -mannanase in corn-soybean meal diets on performance and nutrient digestibility in growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 26:579–587.
- McBreairty, L.E., Robinson, J.L., K.R. Furlong, J.A. Brunton, and R.F. Bertolo. 2015. Guanidinoacetate is more effective

- than creatine at enhancing tissue creatine stores while consequently limiting methionine availability in Yucatan miniature pigs. *PLoS One* 10:e0131563.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, and L.A. Sinclair. 2011. *Animal Nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, New York.
- Meale, S.J., K.A. Beauchemin, A.N. Hristov, A.V. Chaves, and T.A. McAllister. 2014. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve ruminant production. *J. Anim. Sci.* 92:427–442.
- Moore, P.R., A. Evenson, and T.D. Luckey. 1946. Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with the chick. *J. Biochem.* 165:437–441.
- Morrow-Tesch, J.L., J.J. McGlone, and J.L. Salak-Johnson. 1994. Heat and social stress effects on pig immune measures. *J. Anim. Sci.* 72:2599–2609.
- Newbold, C.J., R.J. Wallace, and N.D. Walker. 1993. The effect of tetracycline and monensin on fermentation, microbial numbers and the development of ionophore-resistant bacteria in the rumen. *J. Appl. Bacteriol.* 75:129–134.
- Omogbenigun, F.O., C.M. Nyachoti, and B.A. Slominski. 2004. Dietary supplementation with multienzyme preparations improved nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 82:1053–1061.
- Patrick, G.L. 1995. *An Introduction to Medicinal Chemistry*. Oxford University Press, New York.
- Perez-Muñoz, M.E., M.-C. Arrieta, A.E. Ramer-Tait, and J. Walter. 2017. A critical assessment of the “sterile womb” and “in utero colonization” hypotheses: Implications for research on the pioneer infant microbiome. *Microbiome* 5:48.
- Perry, T.W., D.D. Cope, and W.M. Beeson. 1960. Low vs high moisture shelled corn with and without 14 enzymes and stilbestrol for fattening steers. *J. Anim. Sci.* 19:1284.
- Peters, R.A., R.J. Hall, P.F.V., Ward, and N. Sheppard. 1960. The chemical nature of the toxic compounds containing fluorine in the seeds of *Dichapetalum toxicarium*. *Biochem. J.* 77:17.
- Pettersson, D. and P. Aman. 1989. Enzyme supplementation of a poultry diet containing rye and wheat. *Br. J. Nutr.* 62:139–149.
- Petty, L.A., S.D. Carter, B.W. Senne, and J.A. Shriver. 2002. Effects of beta-mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80:1012–1019.
- Phillips, T.D., A.B. Sarr, and P.G. Grant. 1995. Selective chemisorption and detoxification of aflatoxins by phyllosilicate clay. *Nat. Toxins* 3:204–213.
- Pier, A.C. 1992. Major biological consequences of aflatoxicosis in animal production. *J. Anim. Sci.* 70:3964–3967.
- Pierce, K.M., T. Sweeney, P.O. Brophy, J.J. Callan, E. Fitzpatrick, P. McCarthy, and J.V. O’Doherty. 2006. The effect of lactose and inulin on intestinal morphology, selected microbial populations and volatile fatty acid concentrations in the gastrointestinal tract of the weaned pig. *Anim. Sci.* 82:311–318.
- Renaudeau, D., A. Collin, S. Yahav, V. de Basilio, J.L. Gourdiere, and R.J. Collier. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6:707–728.
- Rezaei, R., D.A. Knabe, and G. Wu. 2013. Impact of aflatoxins on swine nutrition and possible measures of control and amelioration. *Aflatoxin Control: Safeguarding Animal Feed with Calcium Smectite*. Edited by Joe B. Dixon, Ana L. Barrientos Velázquez, and Youjun Deng, American Society of Agronomy and Soil Science, Madison, WI, pp. 54–67.
- Rezaei, R., J. Lei, and G. Wu. 2017. Dietary supplementation with *Yucca schidigera* extract alleviates heat stress-induced growth restriction in chickens. *J. Anim. Sci.* 95 (Suppl. 4):370–371.
- Rode, L.M., W.Z. Yang, and K.A. Beauchemin 1999. Fibrolytic enzyme supplements for dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 82:2121–2126.
- Russell, J.B. and H.J. Strobel. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1–6.
- Rust, J.W., N.L. Jacobsen, A.D. McGilliard, D.K. Hotchkiss. 1965. Supplementation of dairy calf 25 diets with enzymes. II. Effect on nutrient utilization and on composition of rumen fluid. *J. Anim. Sci.* 24:156–160.
- Sauvage, E., F. Kerff, M. Terrak, J.A. Ayala, and P. Charlier. 2008. The penicillin-binding proteins: Structure and role in peptidoglycan biosynthesis. *FEMS Microbiol. Rev.* 32:234–258.
- Shi, Y.H., Z.R. Xu, C.Z. Wang, and Y. Sun. 2007. Efficacy of two different types of montmorillonite to reduce the toxicity of aflatoxin in pigs. *New Zealand J. Agric. Res.* 50:473–478.
- Spangler, M. 2013. Genetic improvement of feed efficiency: Tools and tactics. <http://www.iowabeefcenter.org/proceedings/FeedEfficiencySelection.pdf>. Accessed on April 10, 2017.
- Spencer, J.D., A.M. Gaines, E.P. Berg, and G.L. Allee. 2005. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *J. Anim. Sci.* 83:243–254.
- Starr, M.P. and Reynolds, D.M. 1951. Streptomycin resistance of coliform bacteria from turkeys fed streptomycin. *Am. J. Public Health* 41:1375–1380.
- Sujani, S. and R.T. Seresinhe. 2015. Exogenous enzymes in ruminant Nutrition: A review. *Asian J. Anim. Sci.* 9:85–99.
- Tan, B. and Y. Yin. 2017. Environmental sustainability analysis and nutritional strategies of animal production in China. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 5:171–184.
- Thacker, P.A. 2013. Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: A review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:35.

- Thacker, P.A., Campbell, G.L. and J.W.D. Grootwassink. 1988. The effect of betaglucanase supplementation on the performance of pigs fed hullless barley. *Nutr. Rep. Int.* 38:91–99.
- Thacker, P.A., J.G. McLeod, and G.L. Campbell. 2002. Performance of growing-finishing pigs fed diets based on normal or low viscosity rye fed with and without enzyme supplementation. *Arch. Tierernahr.* 56:361–70.
- Thieu, N.Q., B. Ogle, and H. Pettersson. 2008. Efficacy of bentonite clay in ameliorating aflatoxicosis in piglets fed aflatoxin contaminated diets. *Trop. Anim. Health Prod.* 40:649–656.
- Thompson, J.F., C.J. Morris, and I.K. Smith. 1969. New naturally occurring amino acids. *Annu. Rev. Biochem.* 38:137–158.
- Vieille, C. and G.J. Zeikus. 2001. Hyperthermophilic enzymes: Sources, uses, and molecular mechanisms for thermostability. *Microbiol Mol. Biol. Rev.* 65:1–43.
- Visek, W.J. 1978. The mode of growth promotion by antibiotics. *J. Anim. Sci.* 46:1447–1469.
- Wang, X.Q., F. Yang, C. Liu, H.J. Zhou, G. Wu, S.Y. Qiao, D.F. Li, and J.J. Wang. 2012. Dietary supplementation with the probiotic *Lactobacillus fermentum* I5007 and the antibiotic aureomycin differentially affects the small intestinal proteomes of weanling piglets. *J. Nutr.* 142:7–13.
- Wang, S., X. Zeng, Q. Yang, and S. Qiao. 2016. Antimicrobial peptides as potential alternatives to antibiotics in food animal industry. *Int. J. Mol. Sci.* 17 (5) pii:E603.
- Wang, X.W., Y.G. Du, X.F. Bai, and S.G. Li. 2003. The effect of oligochitosan on broiler gut flora, microvilli density, immune function and growth performance. *Acta Zoonutr. Sin.* 15:32–45.
- Weaver, A.C. and S.W. Kim. 2014. Supplemental nucleotides high in inosine 5' monophosphate to improve the growth and health of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 92:645–651.
- Woyengo, T.A. and C.M. Nyachoti. 2013. Review: Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—Current knowledge and directions for future research. *Can. J. Anim. Sci.* 93:9–21.
- Wu, G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *J. Nutr.* 128:1249–1252.
- Wu, G., J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J.L. Steiner, and A.E. Thalacker-Mercer. 2014. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges and innovations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1321:1–19.
- Wu, L., J. Li, Y. Li, T. Li, Q. He, Y. Tang, H. Liu, Y. Su, Y. Yin, and P. Liao. 2016. Aflatoxin B1, zearalenone and deoxynivalenol in feed ingredients and complete feed from different Province in China. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 7:63.
- Yue, Y., Y.M. Guo, and Y. Yang. 2017. Effects of dietary L-tryptophan supplementation on intestinal response to chronic unpredictable stress in broilers. *Amino Acids* 49:1227–1236.
- Yang, W.Z., K.A. Beauchemin, and L.M. Rode. 2000. A comparison of mentors of adding brolytic enzymes to lactating cow diets. *J. Dairy Sci.* 83:2512–2520.