

MİKROBİYAL SİMBİYOSİZ ÜZERİNE NOTLAR

Ebru ÇELEN



© Copyright 2023

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi AŞ'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 978-625-399-516-4	Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı Mikrobiyal Simbiyoz Üzerine Notlar	Yayıncı Sertifika No 47518
Yazar Ebru ÇELEN ORCID iD: 0000-0002-8452-5933	Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık
Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN	Bisac Code SCI049000
Kapak Görseli Ebru ÇELEN	DOI 10.37609/akya.2937

Kütüphane Kimlik Kartı

Çelen, Ebru.

Mikrobiyal Simbiyoz Üzerine Notlar / Ebru Çelen.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2023.

99 s. : şekil, tablo. ; 135x210 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253995164

1. Moleküler Biyoloji.

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi AŞ

Halk Sokak 5 / A

Yenişehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

SUNUŞ

Yazmanın çeşitli nedenleri olabilir ve bu eylem yazara, konuya, içeriğe bağlı olarak çeşitli sapmalar ve farklılaşmalar gösterebilir. Buna mukabil yazma eylemini gerçekleştirenlerin ortak amaçları da olabilir. Bu kitabın yazarı ise bu kitabı herşeyiyle birlikte kendisi için yazdığını itiraf edebilir. Aynı zamanda kitabın başka ellere vardığında ulaşılmaması hedeflenen amaçları da göz ardı etmemiştir. Dolayısıyla bu kitap kapsam ve içerik bakımından çeşitli amaçlar barındırmaktadır. Bunlardan ilki mikroorganizmaları tanımadır. Ya da farklı bir bakış açısıyla bu tanımayı zenginleştirmektir. Farklı bakış açısını ise önemli bir biyolojik kavram olan “simbiyosiz” oluşturmaktadır.

Simbiyosiz çoğunlukla “birlikte yaşam” olarak algılanmaktadır. Kelimenin kökeni bakımından da bu doğru bir ifadedir. Simbiyosiz terim olarak ilk (1879) tanımlanmasından itibaren tüm dünyada ve tarihsel süreç boyunca farklı şekillerde kullanılarak bir anlam kargaşasına neden olmuştur. Bundan dolayı, simbiyosizi kavram olarak daha iyi anlayabilmek amacıyla, geçen zaman içindeki anlam kaymalarını burada paylaşmak istedim. Aynı zamanda biyoloji ile ilgili bazı Türkçe yazılmış temel kaynakların taramasını yaparak simbiyosizin Türkiye’deki kullanımı ile ilgili de sonuçları burada sundum.

Hemen hemen tüm hayvanlar, bitkiler, hatta mikroorganizmalar farklı şekillerde ve düzeylerde çeşitli organizmlarla simbiyotik ilişkiler kurarlar. Simbiyosiz, canlı yapıları inceleyen ve anlamak isteyenlerin karşılaştığı temel bir fenomen olması dolayısıyla son yıllarda biyolojik bilimlerin odağı haline gelmiştir. Simbiyosiz denince dimağa yerleşmiş olan ilk örnek likenler olacaktır. Tarımsal aktivitelerde bitkisel üretimin desteklenmesi için azot bağlayan *Rhizobium* gibi simbiyont bakteriler ya da mikoriza

gibi mantarların kullanımı amacı ile kapsamlı araştırmalar yürütülmüştür. Son yıllarda insan üzerinde yaşayan çeşitli mikroorganizmaların insan sağlığı üzerine olumlu etkileri ile ilgili çok hızlı büyüyen bir literatür de vardır. Bununla birlikte hayvan ve bitki sağlığını tehdit eden parazit ve mikroorganizmaları belirlemek ve yayılımlarını kontrol edebilmek, insan için patojen yapılarla mücadele etmek de bu çalışmalar içinde değerlendirilebilir. Dolayısıyla simbiyosiz aslında tüm canlıları anlamak için kapı aralayan bir konudur.

Öğrencilik yıllarında simbiyosiz ve alt grup tanımları ile ilgili kafa karışıklığını hatırlıyorum. Yerli yerine oturtamadığım tanımlamalardı bunlar. Sonraki yıllarda da buna ek olarak kullandığımız kaynakların konuyu farklı değerlendirmelerinin de bu kafa karışıklığının bir parçası olduğunu fark ettim. Zaman içinde hasbel kader simbiyosiz konusunun içinde kendimi bulduğumda bu terimleri çok daha sık kullanmaya ve dolayısıyla bu kavramların kendi içinde de problemler barındırdığını gördüm. Bu konuyla ilgili zengin bir literatür mevcuttu. Terimin geçmişi de bir o kadar inişli çıkışlıydı. Terimin ilk tanımlanmasından itibaren zamana, araştırmacılara ve hatta kıtalara göre farklı şekillerde ifade edilmiş ve kullanılmıştı. Tarihsel bakış açısıyla bunun nedenlerini açıklamaya çalışan ve terminolojiyi yine ve yeniden tanımlayan araştırmacılar bu karışıklığı mütemadiyen çözmeye çalışmıştı. Terimin tanımlanmasıyla ilgili tutarsızlıklar yabancı ülkelerin eğitimde kullandıkları temel biyoloji ile ilgili çeşitli kaynaklarda da mevcuttu. Bu durumun Türkçe yazarlar tarafından nasıl değerlendirildiğini görmek için Türkiye'deki biyoloji ile ilgili Türkçe yazılmış temel kaynakları simbiyosiz teriminin nasıl kullanıldığını incelediğimde, sonuç şaşırtıcı değildi. Türkiye'de terimin kullanımı açısından yabancı kaynaklara paralel olarak problemler vardı. Dolayısıyla kendim için aldığım notlar birikirken bunların, boşluğu doldurabilecek ya da simbiyosizi daha iyi anlamaya katkı

sağlayacağını dūřunerek elimdeki notları paylaşmaya ve kitap haline getirmeye karar verdim. Simbiyosiz tūm canlıları kapsayan bir konu olmakla birlikte kendi ęalıřtıęım alanının mikrobiyoloji olması dolayısıyla simbiyosizi mikroorganizmaların gōzūyle ele aldım. Keza mikroorganizmaların simbiyotik ilişkileri de ayrıca derinliğe sahip, heyecan verici, merak uyandırıcı zengin bir alandı. Mikrobiyal simbiyosiz mikroorganizmaları klasik anlayışımızdan başka yere konumlandırma imkanı da veriyordu.

Kitap mūmkūn olduęunca temel kavramlar aęıklanarak ilerlemektedir. Bazı durumlarda ek bilgiler ya da ۆrnekler koyu bōlūmler ięine alınmıř notlar dūřūlerek verilmiřtir. Bazı konular řekillerle birlikte sunulmuřtur ve řekillerin alındıęı kaynaklar řeklin alt kısmında belirtilmiřtir. Ancak metin ięinde kullanılan kaynaklara toplu řekilde kitabın arka bōlūmūnde yer verilmiřtir.

Ebru ÇELEN

Bolu Abant İzzet Baysal Őniversitesi

Bolu (2023)

elektronlara, protonlara.....

insanca

Titreşiyor.

Titriyor elektronlar

Üşüyor belki!

çarpıyor,

Sığınıyor,

Saklanıyor

protonlara.

yaklaşıyor, bağlanıyor

sonra

kımıl kımıl proteinler

yanaşüyor, bağlanıyor

sonra

mikrometrelerce yüzeye

tane tane çok tane

gömülüyor sana

kendi diliyle

uzun uzun

çeşit çeşit hikaye

anlatıyor sana

Ebru

İÇİNDEKİLER

Sunuş.....	iii
1. Mikrobiyal Dünya	1
2. Kitabın Konusunu Oluşturan Mikroorganizmalara Genel Bakış	3
3. Terim Olarak Simbiyozun KÖkeni ve Kısa Tarihçesi.....	6
4. Simbiyoz Teriminin Türkiye'deki Kullanımı	10
5. Simbiyozun Çeşitleri	11
6.Endosimbiyoz Teorisi ve Kısa Tarihçesi.....	24
7.Ökaryot Hücrenin Evrimi.....	35
8.Bitkilerde Simbiyoz	38
9.Hayvanlarda Simbiyoz	49
10.Simbiyoz ve Sintrofi	75
11.Simbiyozden Yeni Teknolojilere	83
Kaynaklar.....	85

Kaynaklar

- Aanen, D. K., & Eggleton, P. (2017). Symbiogenesis: Beyond the endosymbiosis theory?. *Journal of theoretical biology*, 434, 99-103.
- Androuin, T., Six, C., Bordeyne, F., de Bettignies, F., Noisette, F., & Davoult, D. (2020). Better off alone? New insights in the symbiotic relationship between the flatworm *Symsagittifera roscoffensis* and the microalgae *Tetraselmis convolutae*. *Symbiosis*, 81, 161-171.
- Archibald, J. M. (2015). Endosymbiosis and eukaryotic cell evolution. *Current Biology*, 25(19), R911-R921.
- Bae, Y. S., Choi, M. K., Lee, W. J. (2010). Dual oxidase in mucosal immunity and host-microbe homeostasis. *Trends Immunol* 31:278–87.
- Beinart, R. A. (2019). The significance of microbial symbionts in ecosystem processes. *Msystems*, 4(3), 10-1128.
- Bennett, G. M., & Moran, N. A. (2015). Heritable symbiosis: the advantages and perils of an evolutionary rabbit hole. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(33), 10169-10176.
- Benson, D.R., Silvester, W.B. (1993). Biology of *Frankia* strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. *Microbiological reviews*, 57(2), 293-319.
- Boyd, B. M., Allen, J. M., De Crecy-Lagard, V. ve Reed, D. L. (2014). Genome sequence of *Candidatus Riesia pediculischaeffi*, endosymbiont of chimpanzee lice, and genomic comparison of recently acquired endosymbionts from human and chimpanzee lice. *G3 (Bethesda)* 4: 2189–2195.
- Bright, M., & Bulgheresi, S. (2010). A complex journey: transmission of microbial symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 8(3), 218-230.
- Brune, A. (2014). Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts. *Nat Rev Microbiol* 12:168–80.
- Buchon, N., Broderick, N.A., Chakrabarti, S., Lemaitre, B. (2009). Invasive and indigenous microbiota impact intestinal stem cell activity through multiple pathways in *Drosophila*. *Genes Dev* 23:2333–44.
- Cary, S. C. (1994). Vertical transmission of a chemoautotrophic symbiont in the protobranch bivalve, *Solemya reidi*. *Mol Mar Biol Biotechnol* 3:121-130.
- Clawson, M.L., Bourret, A., ve Benson, D.R. (2004). Assessing the phylogeny of *Frankia*-actinorhizal plant nitrogen-fixing root nodule symbioses with *Frankia* 16S rRNA and glutamine synthetase gene sequences. *Molecular phylogenetics and evolution*, 31(1), 131-138.

- Currie, C. R. (2001). A community of ants, fungi, and bacteria: a multilateral approach to studying symbiosis. *Annu Rev Microbiol* 55:357–80.
- Çelen E. (2023) The use of the term symbiosis in Turkey. 4. Baskent international conference on multidisciplinary studies. Ankara, Türkiye.
- Dawson, J.O. (1986). Actinorhizal plants: their use in forestry and agriculture. *Outlook on Agric.* 15, 202-208.
- Douglas, A. E. (2006). Phloem-sap feeding by animals: problems and solutions. *J Exp Bot* 57:747–54.
- Douglas, A. E. (1998). Nutritional interactions in insect-microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria Buchnera. *Annual review of entomology*, 43(1), 17-37.
- Duperron, S. (2010). The diversity of deep-sea mussels and their bacterial symbioses. *The Vent and Seep Biota: Aspects from Microbes to Ecosystems*, 137-167.
- Eloe-Fadrosh, E. A., & Rasko, D. A. (2013). The human microbiome: from symbiosis to pathogenesis. *Annual review of medicine*, 64, 145-163.
- Faust, K., & Raes, J. (2012). Microbial interactions: from networks to models. *Nature Reviews Microbiology*, 10(8), 538-550.
- López-García, P., & Moreira, D. (2023). The symbiotic origin of the eukaryotic cell. *Comptes Rendus. Biologies*, 346(G1), 55-73.
- Gabaldón, T. (2021). Origin and early evolution of the eukaryotic cell. *Annual review of microbiology*, 75, 631-647.
- Godfray, H. C. J. (1994) *Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology* Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Graham, P.H., (2009). Soil biology with an emphasis on symbiotic nitrogen fixation. *Nitrogen Fixation in Crop Production*. Madison: Crop Science Society of America, 171-209.
- Ha, E. M., Oh, C. T., Bae, Y. S., Lee, W. J. (2005). A direct role for dual oxidase in *Drosophila* gut immunity. *Science* 310:847–50.
- Hajishengallis, G., Darveau, R. P., & Curtis, M. A. (2012). The keystone-pathogen hypothesis. *Nature Reviews Microbiology*, 10(10), 717-725.
- Hardoim, P. R., Van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., ... & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and molecular biology reviews*, 79(3), 293-320.

- Hooper L. V., Wong M. H., Thelin A., Hansson L., Falk P. G., Gordon J. I. (2001). Molecular analysis of commensal host-microbial relationships in the in-testine. *Science* 291:881–884.
- Hooper L. V., Littman D. R., Macpherson A. J. 2012. Interactions between the microbiota and the immune system. *Science* 336:1268–1273.
- Horsfall, J. G., & Wilhelm, S. (1982). Heinrich Anton De Bary: Nach Einhundertfünfzig Jahren. *Annual Review of Phytopathology*, 20(1), 27-32.
- Hurst G, Jiggins FM, Graf von der Schulenburg JH, Bertrand D et al. (1999) Male killing *Wolbachia* in two species of insects. *Proceedings of the Royal Society B* 266 (1420): 735-740.
- Khan, Y., Shah, S., & Tian, H. (2022). The roles of arbuscular mycorrhizal fungi in influencing plant nutrients, photosynthesis, and metabolites of cereal crops—A review. *Agronomy*, 12(9), 2191.
- Koga, R., Tsuchida, T. & Fukatsu, T. (2003). Changing partners in an obligate symbiosis: a facultative endosymbiont can compensate for loss of the essential endosymbiont *Buchnera* in an aphid. *Proc. Biol. Sci.* 270: 2543–2550.
- Kolenbrander, P. E., Andersen, R. N., Blehert, D. S., Eglund, P. G., Foster, J. S., & Palmer Jr, R. J. (2002). Communication among oral bacteria. *Microbiology and molecular biology reviews*, 66(3), 486-505.
- Kolenbrander, P. E., Palmer Jr, R. J., Periasamy, S., & Jakubovics, N. S. (2010). Oral multispecies biofilm development and the key role of cell–cell distance. *Nature Reviews Microbiology*, 8(7), 471-480.
- Lanning D. K., Rhee K.-J., Knight K. L. (2005). Intestinal bacteria and development of the B-lymphocyte repertoire. *Trends in Immunology* 26:419–425.
- Lehane, M.J. (2005). *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lemaitre, B. ve Hoffmann, J. (2007). The host defense of *Drosophila melanogaster*. *Annu Rev Immunol* 25:697–743.
- Mandel, M. J., & Dunn, A. K. (2016). Impact and influence of the natural *Vibrio*-squid symbiosis in understanding bacterial–animal interactions. *Frontiers in microbiology*, 7, 1982.
- Martin, B. D., & Schwab, E. (2012). Symbiosis: “Living together” in chaos. *Studies in the History of Biology*, 4(4), 7-25.
- Martin, B. D., & Schwab, E. (2012). Current usage of symbiosis and associated terminology. *International Journal of Biology*, 5(1), 32-45.
- Mathis, K. A., & Bronstein, J. L. (2020). Our current understanding of commensalism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 167-189.

- Mazmanian S. K., Round J. L., Kasper D. L. 2008. Amicrobial symbiosis factor prevents intestinal in-flammatory disease. *Nature* 453:620–625.
- Mohammadi, K., & Sohrabi, Y. (2012). Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. *ARPN J Agric Biol Sci*, 7(5), 307-316.
- Molina-Cruz, A., DeJong, R. J., Charles, B., Gupta, L., Kumar, S., Jaramillo-Gutierrez, G., ve Barillas-Mury, C. (2008). Reactive oxygen species modulate *Anopheles gambiae* immunity against bacteria and *Plasmodium*. *Journal of biological chemistry*, 283(6): 3217-3223.
- Mougi, A. (2016). The roles of amensalistic and commensalistic interactions in large ecological network stability. *Scientific Reports*, 6(1), 29929.
- Nicholson J. K., Holmes E., Kinross J., Burcelin R., Gibson G., Jia W., Pettersson S. (2012). Host-gutmicrobiota metabolic interactions. *Science* 336:1262–1267.
- Nozaki, T., & Shigenobu, S. (2022). Ploidy dynamics in aphid host cells harboring bacterial symbionts. *Scientific Reports*, 12(1), 9111.
- Oikonomou, C. M., Chang, Y. W., & Jensen, G. J. (2016). A new view into prokaryotic cell biology from electron cryotomography. *Nature Reviews Microbiology*, 14(4), 205-220.
- O'Malley, M. (2014). *Philosophy of microbiology*. Cambridge University Press.
- Pahua, V.J, Stokes, P.J.N, Hollowell, A.C, Regus, J.U, Gano-CohenKA, Wendlandt, C.E., Quides, K.W., Lyu, J.Y., Sachs, J.L. 2018. Fitness variation among host species and the paradox of ineffective rhizobia. *J Evolution Biol* 31, 599–610.
- Paul, E.A. ve Clark, F.E. (1996). Closing the Nitrogen Cycle: Return of Nitrogen to the soil. Editör: Paul E.A., Clark, F.E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Newyork: Academic Press Sf 215-243.
- Palmer, R.J.Jr, Diaz, P. I. & Kolenbrander, P. E. (2006). Rapid succession within the *Veillonella* population of a developing human oral biofilm *in situ*. *J. Bacteriol.* 188, 4117–4124.
- Perlman, D., Martínez-Álvaro, M., Morais, S., Altshuler, I., Hagen, L. H., Jami, E., ve Mizrahi, I. (2022). Concepts and consequences of a core gut microbiota for animal growth and development. *Annual Review of Animal Biosciences*, 10, 177-201.
- Petrini O (1991) Fungal endophytes of tree leaves. In: Andrews JH, Hirano SS (eds) *Microbial Ecology of Leaves*. Springer-Verlag, New York, USA, p 179

- Pita, L., Rix, L., Slaby, B. M., Franke, A., & Hentschel, U. (2018). The sponge holobiont in a changing ocean: from microbes to ecosystems. *Microbiome*, 6(1), 1-18.
- Rawls J. F., Mahowald M. A., Ley R. E., Gordon J. I. (2006). Reciprocal gut microbiota transplants from zebrafish and mice to germ-free recipients reveal host habitat selection. *Cell* 127:423–433.
- Rhee K.-J., Sethupathi P., Driks A., Lanning D. K., Knight K. L. (2004). Roles of commensal bacteria in development of gut-associated lymphoid tissues and preimmune antibody repertoire. *Journal of Immunology* 172:1118–1124.
- Rio, R. V., Symula, R. E., Wang, J., Lohs, C., Wu, Y. N., Snyder, A. K., Bjornson R. D., Oshima, K., Biehl, B. S., Perna N. T., Hattori M. ve Aksoy, S. (2012). Insight into the transmission biology and species-specific functional capabilities of tsetse (Diptera: Glossinidae) obligate symbiont *Wigglesworthia*. *MBio*, 3(1): e00240-11.
- Rosenberg, E., & Zilber-Rosenberg, I. (2011). Symbiosis and development: the hologenome concept. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 93(1), 56-66.
- Rosier, B. T., De Jager, M., Zaura, E., & Krom, B. P. (2014). Historical and contemporary hypotheses on the development of oral diseases: are we there yet?. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 4, 92.
- Saffo, M. B. (1993). Coming to Terms with a Field- Words and Concepts in Symbiosis (Vol 14, Pg 29, 1993). *Symbiosis*, 15(1-2), 181-181.
- Sandstrom, J. ve N. Moran (1999). How nutritionally imbalanced is phloem sap for aphids? *Entomol. Exp. Appl.* 91: 203–210.
- Sapp, J. (2004). The dynamics of symbiosis: an historical overview. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1046-1056.
- Sapp, J. (2005). The prokaryote-eukaryote dichotomy: meanings and mythology. *Microbiology and molecular biology reviews*, 69(2), 292-305.
- Schilthuisen MO, Stouthamer R (1997) Horizontal transmission of parthenogenesis-inducing microbes in *Trichogramma* wasps. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 264, 361-366.
- Shigenobu, S., Watanabe, H., Hattori, M., Sakaki, Y., & Ishikawa, H. (2000). Genome sequence of the endocellular bacterial symbiont of aphids *Buchnera* sp. APS. *Nature*, 407(6800): 81-86.
- Sipe, A. R., Wilbur, A. E. ve S. C. Cary. (2000). Bacterial symbiont transmission in the wood-boring shipworm *Bankia setacea* (Bivalvia: Teredinidae). *Appl Environ Microbiol* 66:1685-1691.

- Sloan, D. B. ve Moran N.A. (2012). Endosymbiotic bacteria as a source of carotenoids in whiteflies. *Biol. Lett.* 8: 986– 989.
- Smith, D. C. (2001). Symbiosis research at the end of the millenium. *Hydrobiologia*, 461, 49-54.
- Spang, A. (2023). Is an archaeon the ancestor of eukaryotes?. *Environmental Microbiology*, 25(4), 775-779.
- Stouthamer, R., Breeuwer, J.A., ve Hurst, G.D. (1999). *Wolbachia pipiensis*: microbial manipulator of arthropod reproduction. *Annual Reviews in Microbiology*, 53(1), 71-102.
- Quicke, D. L. J. (2014) The Braconid and Ichneumonid parasitoid wasps: biology, systematics, evolution and ecology. John Wiley & Sons.
- Taylor MJ, Bordenstein SR, Slatko B (2018) Microbe Profile: Wolbachia: a sex selector, a viral protector and a target to treat filarial nematodes. *Microbiology* 164(11):1345–1347
- Tipton, L., Darcy, J. L., & Hynson, N. A. (2019). A developing symbiosis: enabling cross-talk between ecologists and microbiome scientists. *Frontiers in microbiology*, 10, 292.
- Visick, K. L., Stabb, E. V., & Ruby, E. G. (2021). A lasting symbiosis: how *Vibrio fischeri* finds a squid partner and persists within its natural host. *Nature Reviews Microbiology*, 19(10), 654-665.
- Vural, T., ve Çelen, E. (2005). Sistemle Dost Mikroorganizmalar ve Probiyotikler. *Güncel Gastroenteroloji*. 115-123
- Yadav, M., Verma, M. K., & Chauhan, N. S. (2018). A review of metabolic potential of human gut microbiome in human nutrition. *Archives of microbiology*, 200, 203-217.
- Young, J.P.W., (1992). Phylogenetic classification of nitrogen-fixing organisms. *Biological nitrogen fixation*, 1544, pp.43-86.
- Zchori-Fein E, Perlman SJ, Kelly SE, Katzir N, Hunter MS (2004). Characterization of a 'Bacteroidetes' symbiont in Encarsia wasps (Hymenoptera: Aphelinidae): proposal of 'Candidatus Cardinium hertigii'. *Int J Syst Evol Microbiol* 54: 961–968.
- Zielinski, F. U., Perntaler, A., Duperron, S., Raggi, L., Giere, O., Borowski, C., & Dubilier, N. (2009). Widespread occurrence of an intranuclear bacterial parasite in vent and seep bathymodiolin mussels. *Environmental microbiology*, 11(5), 1150-1167.
- Zilber-Rosenberg, I., & Rosenberg, E. (2008). Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution. *FEMS microbiology reviews*, 32(5), 723-735.
- Shapira, M. (2016). Gut microbiotas and host evolution: scaling up symbiosis. *Trends in ecology & evolution*, 31(7), 539-549.

- Wani, Z. A., Ashraf, N., Mohiuddin, T., & Riyaz-Ul-Hassan, S. (2015). Plant-endophyte symbiosis, an ecological perspective. *Applied microbiology and biotechnology*, 99, 2955-2965.
- Webster, N. S. (2014). Cooperation, communication, and co-evolution: grand challenges in microbial symbiosis research. *Frontiers in microbiology*, 5, 164.
- Werren JH, Baldo L, Clark ME (2008) Wolbachia: master manipulators of invertebrate biology. *Nature Reviews Microbiology* 6, 741-751.