



Derleme Makalesi-Review Article

Acari'de Endosimbiyont Bakteriler

Endosymbiont Bacteria in Acari

Gizem Berber¹, Sibel Yorulmaz^{2*}

Geliş / Received: 30/11/2023

Revize / Revised: 22/03/2023

Kabul / Accepted: 27/03/2023

ÖZ

Acari, arthropoda şubesi içerisinde sayıca fazla ve önemli bir grubu oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde keneler, örümcekler ve özellikle tarımsal yararlı ile zararlı akar türleri bulunmaktadır. Tüm bu canlı grupları doğada önemli faaliyetlere sahiptir. Acari içerisinde yer alan canlılar endosimbiyotik bakteriler ile ilişki içerisinde. Endosimbiyont bakteriler, eklembacaklılarda partenogenez, erkek öldürücülük, feminizasyon, sitoplazmik uyumsuzluk (CI) gibi çeşitli üreme manipülasyonlarına neden olmaktadır. Ayrıca besin desteği, doğal düşmanlara karşı savunma ve detoksifikasyon gibi süreçlerde rol almaktadırlar. Konukçularındaki bu etkileri nedeniyle özellikle de tıbbi ve tarımsal zararlı türlerde endosimbiyotik bakteri ilişkilerinin belirlenmesi hem biyolojik çeşitlilik hem de zararlılara karşı alternatif mücadele stratejilerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu derlemede Acari içerisinde yer alan canlılar ile endosimbiyotik bakteriler arasındaki ilişkilerinden söz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Acari, Endosimbiyont Bakteri, Sitoplazmik Uyumsuzluk

ABSTRACT

Acari are a large and important phylum within the arthropoda. Ticks, spiders, and especially agricultural beneficial and harmful mite species are included in this group. All of these living groups play significant roles in nature. Endosymbiotic bacteria interact with living things in Acari. Endosymbiont bacteria cause various reproductive manipulations such as parthenogenesis, male killing, feminization, cytoplasmic incompatibility (CI) in arthropods. They also play a role in processes such as nutritional support, defense against natural enemies, and detoxification. Due to these effects on their hosts, the determination of endosymbiotic bacteria relationships, especially in medicinal and agricultural pest species, is important in terms of both biodiversity and determination of alternative control strategies against pests. The relationships between living things in Acari and endosymbiotic bacteria are mentioned in this review.

Keywords- Acari, Cytoplasmic Incompatibility, Endosymbiotic Bacteria

¹İletişim: gizem.berber@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3090-3705>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: sibelyorulmaz@isparta.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3836-5673>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

I.GİRİŞ

Acari, 55.214 tanımlanmış tür ile Arthropoda şubesinde Arachnida sınıfı içerisindeki en büyük taksondur [1]. Çeşitli habitatlarda predatör, parazit, fitofag veya detritivor olarak yaşarlar [2]. Parasitif ve Acariformes olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplarda yer alan Tetranychidae, Tarsonomidae, Tenuipalpidae ve Eriophyidae gibi familyalara ait akarlar, tarımsal ürünlerin önemli zararlıları olarak bilinmektedir [3]. Phytoseiidae familyasının da içerisinde yer aldığı predatör akar familyaları ise biyolojik mücadelede kullanılmaktadır [4]. Depolanmış ürünlerde zarar yapanlar ise Acaridae familyası içerisinde [5]. Ixodidae familyasındaki keneler, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden hastalıkların taşınmasında rol oynamaktadır.

Simbiyozis ilk olarak 1877 yılında Albert Frank tarafından “iki farklı türden birinin diğerinde bulunması veya içinde yaşaması” olarak tanımlanmış, daha sonra 1879’da Anten de Bary simbiyozu “farklı iki organizmanın birlikte yaşaması” şeklinde ifade etmiştir [6]. Endosimbiyozis ise, genellikle bir organizmanın başka bir organizmanın vücudunda veya hücrelerinde karşılıklı bir ilişki içinde yaşamasına denmektedir [7]. Genel olarak, simbiyotik yaşam çok hücreli birçok canlıda görülen ortak yaşam şeklidir. Eklembacaklılardaki simbiyotik ilişkiler incelenmekte ve özellikle de bütün eklembacaklıların %40-60’ında bulunan maternal olarak aktarılan endosimbiyontlar üzerinde durulmaktadır [8,9].

Karasal eklembacaklılar genellikle konukçu hücrelerin sitoplazmasında meydana gelen ve yumurta sitoplazması yoluyla anneden yavruya aktarılan birçok bakteriyi içermektedir [10]. Endosimbiyotik bakteriler eklembacaklılarda oldukça yaygın ve çeşitlidirler [11]. Diğer birçok eklembacaklı türünde olduğu gibi Acaritaksonu içerisinde yer alan canlılarda, konukçularında farklı etkilere neden olabilen simbiyotik ve patojenik bakterilerle yakından ilişkilidir [12,13]. Endosimbiyont bakteriler, konukçularının uygunluğunu doğrudan artırarak [13] veya konukçunun üreme davranışını kendi iletimlerini geliştirecek şekilde etkileyerek [14] frekanslarını arttırmaktadır. Genellikle dikey (vertikal) transfer ile yani anneden yavruya aktarılmakta [15], ancak farklı konukçular arasında yatay transfer yoluyla da bireyler arasında veya farklı taksonlar arasında geçiş meydana gelebilmektedir [16–18]. Yatay iletim, türdeş veya heterospesifik konukçularda veya doğrudan çevre yoluyla gerçekleşebilmesine rağmen, bu endosimbiyontların çoğu ağırlıklı olarak dikey olarak iletilmektedir [19,20].

Şimdiye kadar, arthropodlarda anneden aktarılan altı bakteri türü tanımlanmıştır. Bu endosimbiyontlar arasında, Wolbachia, Rickettsia, Cardinium, Spiroplasma, Arsenophonus [21], Hamiltonella [22,23] ve Flavobacterium bulunmaktadır [24]. Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium özellikle örümcekler, akarlar ve keneler olmak üzere keliseratlarda yaygın bulunmaktadır [25–28]. Wolbachia ve Cardinium, Tetranychus [29], Oligonychus [30], Panonychus [30], Schizotetranychus [30], Bryobia [31] ve Amphitetranychus [32] cinslerinde yaygındır ve çeşitli türlerde sitoplazmik uyumsuzluk (CI) görülmektedir [30,33,34].

Maternal olarak aktarılan bu endosimbiyotik bakteriler özellikle son yıllarda potansiyelleri nedeniyle birçok zararlıda taranmaktadır [35–40]. Tarımsal üretimde verim ve kalite açısından zararlılar risk kaynağıdır ve bunların mücadelesinde kullanılan kimyasallara alternatif olarak üreme manipülatörü bakteriler, yenilikçi bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [38]. Zararlılarla (özellikle de Akdeniz Meyve Sineği gibi küresel yayılım gösteren türlerde) mücadelede endosimbiyotik bakterilerin kullanımına yönelik Kısır Böcek Tekniği (KBT) kapsamında ya da KBT’nin etkinliğinin artırılması için umut vaat eden yenilikçi çalışmalar gerçekleştirilmektedir [41].

II.ENDOSİMBİYONTBAKTERİLERİN ACARİ’DE ÜREME ÜZERİNE ETKİLERİ

Endosimbiyont bakterilerin konukçularının ekolojisi ile evriminde rolleri çok önemlidir ve onları farklı şekillerde etkileyebilmektedir [42,43]. Bazıları, partenogenez, erkek öldürme, dişileştirme veya CI yoluyla etki göstermektedir [44]. Bazıları ise konukçularının pestisit direncini etkileyebilmektedir [45] veya doğurganlıklarını arttırabilmektedirler [46].

Dikey olarak bulaşan bakterilerden Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium eklembacaklıların üreme şeklini partenogenetiğe değiştirebilmektedir [47–49]. Wolbachia ve Spiroplasma’nın *Tetranychus truncatus* Ehara (Acari: Tetranychidae) üzerindeki etkisi araştırılmış ve Wolbachia CI’ a sebep olurken Spiroplasma’nın herhangi bir üreme biyolojisini etkilemediği görülmüştür [50]. Wolbachia ve Cardinium endosimbiyontlarının birlikte enfeksiyonu *T. truncatus* dişilerinin doğurganlığını arttırabilmektedir [51].

Wolbachia, Cardinium, Spiroplasma ve Rickettsia birçok eklembacaklı türünün üreme biyolojisi üzerinde etkili olan bu bakteriyel endosimbiyontların temsili cinsleridir [52–55].

A. Erkek Öldürücülük

Endosimbiont bakteriler, canlılarda sadece enfekte ettiği erkek yumurtaları öldürmektedir. Erkek öldürücülük özellikle zararlılarda Diptera [56], Coleoptera [57] ve Arachnida'da [58] belirlenmiştir. Erkek bireyler öldüğü için herhangi bir besin sınırlılığında endosimbiontlu dişi bireyler daha fazla besleneceğinden dolayı bu bir avantaj olarak görülmektedir. Bu şekilde enfekteli dişilerin hayatta kalma şansı artmakta dolayısıyla da endosimbiontların yayılışları artmaktadır [56–59].

B. Sitoplazmik Uyumsuzluk

CI, endosimbiont bakteriler ile enfekteli erkek ve enfekteli olmayan dişiler arasında görülen bir embriyo (döllenen yumurta) ölümüdür. CI, enfekte olmuş dişilerde üremeyi ve dolayısıyla maternal olarak kalıtsal endosimbiontların iletimini destekler [21]. Embriyo ölümünün nedeni sperm ve yumurta arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır [60]. Ancak bunun tersi bir durumda, yani enfekteli erkek ile enfekteli bir dişinin çiftleşmesi durumunda CI etkisi gerçekleşmemektedir. Aynı şekilde enfektesiz bir erkek ile enfekteli bir dişi çiftleştiğinde de bu etki görülmemektedir [61–63]. CI moleküler mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemekle birlikte, farklı böcek ve izopod türlerinde yapılan sitolojik çalışmalar, erkek ve dişi pronükleusların gelişimindeki uyumsuzluğu tanımlayarak embriyonun ilk mitotik bölünmesinde kusurlara yol açmıştır [64,65].

Bakteriyel endosimbiontlar tarafından etkilenen farklı üreme etkileri arasında CI en yaygın görülenidir; akarlarda, izopodlarda ve böceklerde Wolbachia ile Cardinium tarafından kaynaklandığı bildirilmiştir [21].

Birçok eklambacıklı türünde CI' neden olan en yaygın ve iyi araştırılmış endosimbiont bakterisi, Wolbachia cinsinin üyeleridir. Son zamanlarda, Rickettsiales'teki başka bir türün de CI' a neden olduğu öne sürülmüştür [66]. Ayrıca, Cardinium cinsinin üyelerinin de CI' u teşvik ettiği belirtilmiştir [67].

C. Partenogenez

Endosimbiont bakterilerden bazılarının konukçularının üreme davranışı üzerindeki diğer bir etkisi de partenogenezdir. Bunu çekirdekte kromozom duplikasyonu sayesinde, thelytokie (döllenen yumurtalardan dişilerin meydana gelmesi) yoluyla gerçekleştirmektedir. Böylece partenogenetik dişilerin üretilmesi teşvik edilmektedir. Bu partenogenetik dişiler, seksüel erkeklerle çiftleştiklerinde, diploid dişiler meydana gelmektedir [15,68,69]. Sitoplazma yoluyla aktarılan ve partenogenez teşvik eden bakteriler Thysanoptera, Hymenoptera gibi böcek takımlarında ve akarlarda ise phytoseiidler, tetranychid ile bryobia türlerinde tespit edilmiştir [61,70–73]. Wolbachia, Cardinium ve Rickettsia endosimbiontları bu stratejiyi kullanarak haplodiploid böceklerde (hymenopteranlar ve thripsler) ve akarlarda partenogenez neden olmaktadır [74,75].

D. Dişileştirme (Feminizasyon)

Dişileştirici endosimbiont bakteriler, anneden yavruya aktarımlarını gerçekleştirmek için dişi gelişimini yönlendirmektedirler. Başarılı bir endosimbiont geçişi, yalnızca erkek ve dişilerin üretimini değil, aynı zamanda çiftleşmeyi de gerektirmektedir. Bir endosimbiont bakterisi açısından, manipülasyon, erkekleri önemsiz hale getirirken dişilerin gelişimini devam ettirmektedir. Genel olarak cinsiyet belirlenmesi üzerinde etkili olarak genetik erkekler fonksiyonel fenotipik dişilere dönüştürmektedirler [68,69,76]. Yapılan çalışmalarda dişileştirme Wolbachia, Cardinium ve Rickettsia gibi bakteriler tarafından kullanılmaktadır [74,75]. Bakteriyel endosimbiont Cardinium tarafından *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) dişileştirilmiştir [72].

III. ACARI'DE BELİRLenen ENDOSİMBİYONT BAKTERİLER

A. Wolbachia

Wolbachia, Rickettsiales takımında Anaplasmataceae familyasına ait gram negatif bir bakteridir [77]. Çeşitli eklambacıklı gruplarında obligat endosimbiont olarak kabul edilir [77]. Dağılımı konukçu ekolojisi ve biyolojisi ile ilgilidir [78,79]. Arthropodların üreme dokularında bulunmaktadırlar [69] ve bu organizmaların üreme biyolojilerini etkileyen bakteriler türleri arasında en yaygın olanıdır [27]. Konukçularında, CI, partenogenez, erkek öldürücülük, virülenslik ve feminizasyon şeklinde üreme değişikliklerine neden olmaktadır [68]. Bu bakteriler, cinsiyet belirlenmesini bozmakta ve genetik erkekler, fonksiyonel fenotipik dişilere dönüşmektedir. Wolbachia, konukçunun feminizasyonunu teşvik eden bezlerin gelişimini baskılayarak erkekleri dişilere dönüştürmektedir [68–70].

Akarlar içinde Wolbachia'nın, esas olarak CI ve partenogenez sebepleri olduğu phytoseiidler ile tetranychid türlerinde tespit edilmiştir [30,80,81]. Çeşitli çalışmalar, herbivor akarların sıklıkla Wolbachia ile enfekte olduğunu göstermiştir [28,30,82–86].

Wolbachia, *T. truncatus* Ehara, *T. kanzawai* Kishida ve *T. urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) gibi birçok tetranychid türde bulunabilir [87]. 1997 yılının başlarında yapılan bir çalışmada, Wolbachia'nın *T. urticae* ve *T. turkestanii* Ugarov ve Nikolskii'de CI' a sebep olduğu belirlenmiştir [29]. Japonya'da 42 tetranychid türü

üzerinde yapılan sistematik bir araştırmada, yedi türün (%16,7) Wolbachia ile enfekte olduğu ortaya çıkarılmış ve CI göstermediği bildirilmiştir [30]. Yapılan bir çalışmada *T. urticae*'nin ve *Bryobia rubrioculus* Scheuten (Acari: Tetranychidae)'un Wolbachia taşıdığı belirlenmiştir. Wolbachia'nın bazı endosimbiyonlarla birlikte enfeksiyonu beklenenden daha yüksek bulunmuştur [88].

Endosimbiyotik bakterilerle ilişkili hastalıklar ve/veya üreme bozuklukları, predatör akarların yetiştirilmesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir [89]. Çeşitli yapılan çalışmalar sonucu, phytoseiid akarlarda da endosimbiyotik bakterilerin varlığı bildirilmiştir [89,90]. Predatör akarlar arasında *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acari: Phytoseiidae) muhtemelen en iyi çalışılan türdür [12]. *M. occidentalis*'te, Wolbachia, enfekte olmuş erkekler ve enfekte olmamış dişiler arasında karşılıklı olmayan üreme uyumsuzluklarına neden olmuştur. Enfekte olmayan dişiler, enfekte erkeklerle çaprazlandığında az sayıda yumurta üretilmiş ve dişi birey meydana gelmemiştir. Üretilen yumurtaların çoğu da buruşmuştur [91]. Wolbachia'nın *M. occidentalis*'te üreme uyumsuzluklarına neden olduğu mekanizmalar bilinmemektedir.

Wolbachia, ekonomik ve tıbbi açıdan önemli depolanmış ürün akarları *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae)'de tespit edilmiştir [92]. *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) kenelerinde Wolbachia endosimbiyontunun genetik kimliği Tayvan'da ilk kez belirlenmiştir [93]. Oribatid akar *Gustavia microcephala* (Acari: Oribatida)'da ilk kez Wolbachia rapor edilmiştir [94].

B. Cardinium

Cardinium sp. ilk olarak *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) kenesinden oluşturulan hücre kültürlerinde bulunmuştur [95]. Cardinium (Bacteroidetes şubesinde), örümceklerden parazitik yaban arılarına kadar çeşitli eklembacaklıları enfekte etmiştir ayrıca feminizasyon, partenogenez ve CIdahil olmak üzere farklı üreme bozukluklarına neden olmuştur [55]. Cardinium enfeksiyonları Wolbachia'dan daha az görülür ve Hymenoptera, Hemiptera, Diptera ve Acari ile sınırlıdır [96,97]. Cardinium, Phytoseiidae, Acaridae, Glycyphagidae, Pyroglyphidae ve Tenuipalpidae familyalarının birden fazla türünde belirlenmiştir [28].

Cardinium, Tetranychidae familyasının 15 türünde bulunmuş, *Tetranychus piercei* McGregor [34], *T. phaselus* Ehara [51], *T. truncatus* [51] ve *Eotetranychus suginamensis* (Yokoyama) (Acari: Tetranychidae) [82], *Bryobia sarothamni* [31] ve *Tetranychus cinnabarinus* [86] türlerinde ise CI'a neden olmuştur.

Cardinium ayrıca predatör akar *Euseius finlandicus* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) ve herbivor akar *Eotetranychus uncatus* Garman (Acari: Tetranychidae)'da da bulunmuştur [80]. Cardinium'un *M. occidentalis* ve *Balaustium* sp. [55,97] gibi predatörleri ve *Petrobia harti* Erwing (Acari: Tetranychidae), *Brevipalpus obovatus* Donnadieu, *B. phoenicis* Geijskes [97,98] ve *B. californicus* (Banks) (Acari: Tenuipalpidae) [98,99] gibi herbivor türleri de enfekte ettiği gösterilmiştir. Tarımsal ürünlerde önemli zarara neden olan kırmızı örümceklerin önemli bir avcısı olan phytoseiid *M. occidentalis*'te Cardiniumun karşılıklı olmayan üreme uyumsuzluğu ile ilişkili olduğu bulunmuştur [100].

Wolbachia sp., *Rickettsia* sp., *Cardinium* sp., *Spiroplasma* sp., *Arsenophonus* sp., *Hamiltonella* sp. ve *Flavobacterium* bakterilerinin Oribatid akarlarda dağılımını araştırmışlardır ve *Achipteria coleoprata* (Linnaeus, 1758) (Acari: Oribatida)'da *Cardinium* sp. ilk kez belirlenmiştir [101].

C. Spiroplasma

Spiroplasma, Mollicutes (Firmicutes içinde) sınıfına ait hücre duvarı olmayan gram pozitif bir bakteridir. Öncelikli olarak böceklerle, ancak çok daha az sıklıkla akarlar ve bitkilerle ilişkili maternal kalıtsal endosimbiyonlardan biridir [102]. Konukçularının biyotik ve abiyotik streslere karşı korunmasında rol oynamaktadırlar [103–106].

Spiroplasma bugüne kadar sadece Tetranychidae familyasında *T. truncatus* ve *T. urticae*'de bulunmuştur [88,107] fakat bu türlerde üreme bozuklukları görülmemiştir [50]. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada Spiroplasma, *T. urticae*, *T. truncatus* [50] ve predatör akar *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae)'da [80] belirlenmiştir. *T. truncatus*'ta Spiroplasma ve Wolbachia'nın aynı bireyi birlikte enfekte edebileceği bildirilmiştir [50].

E. finlandicus'ta Cardinium ve *N. californicus* (McGregor)'da Spiroplasma bakterisini belirlemişlerdir [80]. *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae)'in birkaç ticari popülasyonunda *Acaricomus phytoseiuli* bakterisi keşfedilmiştir [108]. Enfekte olmuş predatör akarlar, olmayanlara göre daha düşük doğurganlık ile uzun ömür sergilemiş ve tetranychidlerin neden olduğu bitki uçucularına karşı daha az çekicilik göstermiştir. Ayrıca enfekte olmuş *P. persimilis* popülasyonları tetranychidlerin etkin kontrolü için uygunsuz hale gelmiştir [109].

Keneler, genellikle anneden aktarılan endosimbiyot bakterileri bulundurmaktadır [26,110]. 1982 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde *Haemaphysalis leporis-palustris* (Packard) (Acari: Ixodidae)'de riketsiya araması

sırasında *Spiroplasma mirum* elde edilmiştir ve kene ilişkili ilk bildirilen Spiroplasmadır [111]. Başka bir tür, *Spiroplasma ixodetis*, 1981'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki *Ixodes pacificus* Cooley & Kohls (Acari: Ixodidae)'tan izole edilmiştir [112].

Spiroplasma ixodetis, esas olarak kenelerden tanımlanan, ancak diğer eklembacaklılarda da yaygın olarak bulunan, anneden aktarılan bir endosimbiont bakteridir. İlk keşfinden bu yana, *S. ixodetis* türünün konukçu aralığı genişlemiştir; *I. pacificus*, *I. ricinus*, *I. arboricola*, *I. frontalis*, *I. uriae*, *I. ovatus*, *I. persulcatus*'de ve diğer bazı belirlenmemiş, *Ixodes* türlerinde ayrıca *Dermacentor marginatus*, *Rhipicephalus annulatus*, *R. decoloratus*, *R. pusillus* ve *R. Geigy*'de bulunmuştur [26,113–118].

Macrocheles subbadius (Berlese) (Acari: Macrochelidae)'ta olduğu gibi birçok kene Spiroplasma'yı beslenmeden alabilir, Spiroplasmaların ektoparazitik keneler tarafından *Drosophila nebulosi* ve *D. willistoni* arasında türlerarası geçişe sahip olduğu belirlenmiştir [119]. Benzer şekilde bal arısı parazit akarı *Varroa destructor* Anderson ve Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae)'un da bal arısı hemolenfini emmesiyle Spiroplasma'yı alabilirdiği belirtilmiştir [120].

D. Rickettsia

Rickettsiyalar, Rickettsiaceae familyasında, gram-negatif, zorunlu hücre içi patojenler olup küçük kokobasillerdir. Oldukça kalabalık ve heterojen bir bakteri grubu olan rickettsiya cinsinde 24 tür tanımlanmıştır; çoğunluğu kenelerle, bazıları ise akarlarla ilişkilidir [121]. Rickettsia ve Wolbachia cinsleri Rickettsiales'e (alfa proteobakteriler içinde) aittir ve üreme değişikliklerine (feminizasyon, thelytokous partenogenez, CI ve erkek ölümü gibi) neden olan ve aynı zamanda pestisit direnci gelişimi ile ilgili olan türlerdir [69,122–126].

Tetranychid türleri çok çeşitli endosimbiontları barındırır ve birçok türün birden fazla endosimbiontu vardır [29,84]. Bugüne kadar, tetranychid türlerinden en az dört farklı, Wolbachia, Cardinium, Rickettsia ve Spiroplasma endosimbiontları bildirilmiştir [28]. Endosimbiont'ların doğal popülasyonlarda yayılmasını kolaylaştıran CI ve diğer etkilere neden olma yeteneklerine rağmen, enfeksiyon sıklıkları tetranychidlerin coğrafi popülasyonları arasında farklılık göstermektedir [28].

Wolbachia ve Cardinium'a göre, Rickettsia ve Spiroplasma daha az yaygın görülürler ve sırasıyla yalnızca *T. urticae* ve *T. truncatus*'ta bulunmuşlardır [28]. Kırmızı örümcekler üzerindeki fenotipik etkileri henüz bilinmemektedir [127].

Bugüne kadar, Rickettsia'nın varlığı için keneler, diğer konukçulardan çok daha fazla örneklenmiştir [128]. Rickettsiyaların vektörleri olan Ixodidae'ler, bu endosimbiont bakteriler için kaynak ve çoğaltıcı konukçu görevi görebilir [129].

IV.SONUÇ

Son yıllarda maternal olarak aktarılan endosimbiont bakteriler potansiyelleri nedeniyle birçok zararlıda taranmaktadır. Zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşiği altında tutmak amacıyla popülasyonlarını baskılayacak yöntemlerden biri olarak yumurta yolu ile aktarılan, konukçularında beslenme, doğal düşmanlara karşı savunma, detoksifikasyon ve/veya üreme manipülasyonları gibi etkilere sebep olan bakterilerin kullanımı gösterilmektedir. Bu amaçla son 20 yıldır özellikle zararlı arthropodlardasimbiont olarak yaşayan sekonderendosimbiont bakterilere yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Acari, arthropoda şubesi içerisinde sayıca fazla olması ve farklı ortamlarda yaşam alanları sebebiyle önemli bir grubu oluşturmaktadır. Endosimbiont bakterilerin, akarların biyolojisi, ekolojisi ve üreme değişiklikleri üzerindeki rolleri çok önemlidir. Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium özellikle örümcekler, akarlar ve keneler olmak üzere keliseratlarda en yaygın olarak bulunan endosimbiont bakterilerdir. Bu endosimbiont bakteriler Acaritaksonu içerisinde yer alan canlıları birçok konuda pozitif, negatif veya nötr olarak etkileyebilmektedir. Endosimbiont bakterilerin bu akar türleri üzerinde belirlenen direkt etkilerinin olması sebebiyle aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi mücadelelerinde yeni stratejilerin oluşturulabilmesi açısından önemlidir. Yine son yıllarda üzerinde durulan diğer bir konu da endosimbiont bakterilerin tarımsal zararlı akarlarda pestisit direnç gelişimi üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkileridir. Bu tür bir etkinin akar ve bakteri türleri açısından belirlenmesi de yine mücadele stratejilerini değiştirebilecektir. İşte tüm bu nedenler göz önüne alındığında, ileride yapılacak çalışmalarda, bu organizmaların akarlarda varlığı tespit edilip hangi mekanizmalarda etkili oldukları detaylı bir şekilde araştırılmalı ve mücadelelerinde kullanımları değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, Z.-Q. (2013). 'Phylum Arthropoda. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013)'. *Zootaxa*. 3703 (1), 17.
- [2] Krantz, G.W. & Walter, D.E., Eds. (2009). A manual of acarology. 3rd ed Texas Tech University Press, Lubbock, Tex.

- [3] Helle, W. & Sabelis, M.W. (1985). Spider mites: their biology, natural enemies and control. in: pp. 141–160.
- [4] Gerson, U., Smiley, R.L., & Ochoa, R., (2003). Mites (acari) for pest control. 2nd ed. Blackwell Science, Oxford ; Malden, MA.
- [5] Palyvos, N.E., Emmanouel, N.G., & Saitanis, C.J. (2008). Mites associated with stored products in Greece. *Experimental and Applied Acarology*. 44 (3), 213–226.
- [6] Sapp, J. (1994). Evolution by Association: A History of Symbiosis. Oxford University Press, .
- [7] Kumar, N., Anjana, N., & Anjana, G. (2022). Endosymbionts: A New Frontier in Insect Pest Management. in: Applied Entomology and Zoology, pp. 43–57.
- [8] Brelsfoard, C. & Dobson, S. (2009). Wolbachia-based strategies to control insect pests and disease vectors. *Asia Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.* 17.
- [9] Zug, R. & Hammerstein, P. (2012). Still a Host of Hosts for Wolbachia: Analysis of Recent Data Suggests That 40% of Terrestrial Arthropod Species Are Infected. *PLoS ONE*. 7 (6), e38544.
- [10] Moran, N.A., McCutcheon, J.P., & Nakabachi, A. (2008). Genomics and Evolution of Heritable Bacterial Symbionts. *Annual Review of Genetics*. 42 (1), 165–190.
- [11] Buchner, P. (1965) Endosymbiosis of animals with plant microorganisms.
- [12] Hoy, M.A. & Jeyaprakash, A. (2008). Symbionts, including pathogens, of the predatory mite *Metaseiulus occidentalis*: current and future analysis methods. *Experimental and Applied Acarology*. 46 (1–4), 329–347.
- [13] Schütte, C. & Dicke, M. (2009). Verified and potential pathogens of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). in: J. Bruin, L.P.S. van der Geest (Eds.), Diseases of Mites and Ticks, Springer Netherlands, Dordrecht pp. 307–328.
- [14] Werren, J.H. & O’Neill, S.L. (1997). The evolution of heritable symbionts. *Influential passengers: inherited microorganisms and arthropod reproduction*. 1–41.
- [15] Bandi, C., Dunn, A.M., Hurst, G.D.D., & Rigaud, T. (2001). Inherited microorganisms, sex-specific virulence and reproductive parasitism. *Trends in Parasitology*. 17 (2), 88–94.
- [16] Ahmed, M.Z., Breinholt, J.W., & Kawahara, A.Y. (2016). Evidence for common horizontal transmission of Wolbachia among butterflies and moths. *BMC Evolutionary Biology*. 16 (1), 118.
- [17] Brown, A.N. & Lloyd, V.K. (2015). Evidence for horizontal transfer of Wolbachia by a Drosophila mite. *Experimental and Applied Acarology*. 66 (3), 301–311.
- [18] Kremer, N. & Huigens, M.E. (2011). Vertical and horizontal transmission drive bacterial invasion: NEWS AND VIEWS: PERSPECTIVE. *Molecular Ecology*. 20 (17), 3496–3498.
- [19] Caspi-Fluger, A., Inbar, M., Mozes-Daube, N., Katzir, N., Portnoy, V., Belausov, E., et al. (2012). Horizontal transmission of the insect symbiont *Rickettsia* is plant-mediated. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 279 (1734), 1791–1796.
- [20] Sintupachee, S., Milne, J.R., Poonchaisri, S., Baimai, V., & Kittayapong, P. (2006). Closely Related Wolbachia Strains within the Pumpkin Arthropod Community and the Potential for Horizontal Transmission via the Plant. *Microbial Ecology*. 51 (3), 294–301.
- [21] Cordaux, R., Bouchon, D., & Grève, P. (2011). The impact of endosymbionts on the evolution of host sex-determination mechanisms. *Trends in Genetics*. 27 (8), 332–341.
- [22] Dykstra, H.R., Weldon, S.R., Martinez, A.J., White, J.A., Hopper, K.R., Heimpel, G.E., et al. (2014). Factors Limiting the Spread of the Protective Symbiont *Hamiltonella defensa* in *Aphis craccivora* Aphids. *Applied and Environmental Microbiology*. 80 (18), 5818–5827.
- [23] Rao, Q., Wang, S., Su, Y.-L., Bing, X.-L., Liu, S.-S., & Wang, X.-W. (2012). Draft Genome Sequence of “Candidatus *Hamiltonella defensa*,” an Endosymbiont of the Whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Bacteriology*. 194 (13), 3558–3558.
- [24] Majerus, T.M. & Majerus, M.E. (2010). Discovery and identification of a male-killing agent in the Japanese ladybird *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *BMC Evolutionary Biology*. 10 (1).
- [25] Duron, O., Bouchon, D., Boutin, S., Bellamy, L., Zhou, L., Engelstädter, J., et al. (2008). The diversity of reproductive parasites among arthropods: Wolbachia do not walk alone. *BMC Biology*. 6 (1).
- [26] Duron, O., Binetruy, F., Noël, V., Cremaschi, J., McCoy, K.D., Arnathau, C., et al. (2017). Evolutionary changes in symbiont community structure in ticks. *Molecular Ecology*. 26 (11), 2905–2921.
- [27] Weinert, L.A., Araujo-Jnr, E.V., Ahmed, M.Z., & Welch, J.J. (2015). The incidence of bacterial endosymbionts in terrestrial arthropods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 282 (1807), 20150249.
- [28] Zhang, Y.-K., Chen, Y.-T., Yang, K., & Hong, X.-Y. (2016). A review of prevalence and phylogeny of the bacterial symbiont *Cardinium* in mites (subclass: Acari). *Systematic and Applied Acarology*. 21 (7), 978–990.
- [29] Breeuwer, J.A.J. (1997). Wolbachia and cytoplasmic incompatibility in the spider mites *Tetranychus urticae* and *T. turkestanus*. *Heredity*. 79 (1), 41–47.

- [30] Gotoh, T., Noda, H., & Hong, X.-Y. (2003). Wolbachia distribution and cytoplasmic incompatibility based on a survey of 42 spider mite species (Acari: Tetranychidae) in Japan. *Heredity*. 91 (3), 208–216.
- [31] Ros, V.I.D. & Breeuwer, J. a. J. (2009). The effects of, and interactions between, *Cardinium* and *Wolbachia* in the doubly infected spider mite *Bryobiasarothamni*. *Heredity*. 102 (4), 413–422.
- [32] Zhang, Y., Sun, B., & Hong, X. (2014). Infection and reproductive effects of *Wolbachia* in the hawthorn spider mite, *Amphitetranychus viennensis* (Acarina: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*. 57 (8), 914–920.
- [33] Zhao, J., Neher, D.A., Fu, S., Li, Z., & Wang, K. (2013). Non-target effects of herbicides on soil nematode assemblages. *Pest Management Science*. 69 (6), 679–684.
- [34] Zhu, L.-Y., Zhang, K.-J., Zhang, Y.-K., Ge, C., Gotoh, T., & Hong, X.-Y. (2012). *Wolbachia* Strengthens *Cardinium*-Induced Cytoplasmic Incompatibility in the Spider Mite *Tetranychus piercei* McGregor. *Current Microbiology*. 65 (5), 516–523.
- [35] Asimakis, E.D., Doudoumis, V., Hadapad, A.B., Hire, R.S., Batargias, C., Niu, C., et al. (2019). Detection and characterization of bacterial endosymbionts in Southeast Asian tephritid fruit fly populations. *BMC Microbiology*. 19 (S1),.
- [36] Bourtzis, K. & Miller, T.A., Eds. (2003). *Insect symbiosis*. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- [37] Hancock, P.A., Sinkins, S.P., & Godfray, H.C.J. (2011). Strategies for Introducing *Wolbachia* to Reduce Transmission of Mosquito-Borne Diseases. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5 (4), e1024.
- [38] Madhav, M., Baker, D., Morgan, J.A.T., Asgari, S., & James, P. (2020). *Wolbachia*: A tool for livestock ectoparasite control. *Veterinary Parasitology*. 288, 109297.
- [39] İpekdal, K. & Kaya, T. (2020). Screening stored wheat beetles for reproductive parasitic endosymbionts in central Turkey. *Journal of Stored Products Research*. 89, 101732.
- [40] Xu, X., Ridland, P.M., Umina, P.A., Gill, A., Ross, P.A., Pirtle, E., et al. (2021). High Incidence of Related *Wolbachia* across Unrelated Leaf-Mining Diptera. *Insects*. 12 (9), 788.
- [41] Kaya, T. & İpekdal, K. (2017). Türkiye’de Yayılış Gösteren Akdeniz Meyve Sineğinde, *Ceratitiscapitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), *Cardinium* Bakterisinin Taranması ve Tanımlanması. *undefined*. 1–77.
- [42] Feldhaar, H. (2011) Bacterial symbionts as mediators of ecologically important traits of insect hosts. *Ecological Entomology*. 36 (5), 533–543.
- [43] Oliver, K.M., Smith, A.H., & Russell, J.A. (2014). Defensive symbiosis in the real world – advancing ecological studies of heritable, protective bacteria in aphids and beyond. *Functional Ecology*. 28 (2), 341–355.
- [44] Correa, C.C. & Ballard, J.W.O. (2016). *Wolbachia* Associations with Insects: Winning or Losing Against a Master Manipulator. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3.
- [45] Li, Y., Liu, X., & Guo, H. (2018). Variations in Endosymbiont Infection Between Buprofezin-Resistant and Susceptible Strains of *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Current Microbiology*. 75 (6), 709–715.
- [46] Weeks, A.R. & Stouthamer, R. (2004). Increased fecundity associated with infection by a *Cytophaga*-like intracellular bacterium in the predatory mite, *Metaseiulus occidentalis*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 271 (suppl_4),.
- [47] van der Kooij, C.J., Matthey-Doret, C., & Schwander, T. (2017). Evolution and comparative ecology of parthenogenesis in haplodiploid arthropods. *Evolution Letters*. 1 (6), 304–316.
- [48] Ma, W.-J. & Schwander, T. (2017). Patterns and mechanisms in instances of endosymbiont-induced parthenogenesis. *Journal of Evolutionary Biology*. 30 (5), 868–888.
- [49] Tomassone, L., Portillo, A., Nováková, M., de Sousa, R., & Oteo, J.A. (2018). Neglected aspects of tick-borne rickettsioses. *Parasites & Vectors*. 11 (1), 263.
- [50] Yang, K., Xie, K., Zhu, Y.-X., Huo, S.-M., Hoffmann, A., & Hong, X.-Y. (2020). *Wolbachia* dominate *Spiroplasma* in the co-infected spider mite *Tetranychus truncatus*. *Insect Molecular Biology*. 29 (1), 19–37.
- [51] Zhao, D.-X., Zhang, X.-F., & Hong, X.-Y. (2013). Host-Symbiont Interactions in Spider Mite *Tetranychus truncatus* Doubly Infected With *Wolbachia* and *Cardinium*. *Environmental Entomology*. 42 (3), 445–452.
- [52] Duron, O. & Hurst, G.D. (2013). Arthropods and inherited bacteria: from counting the symbionts to understanding how symbionts count. *BMC Biology*. 11 (1), 45.
- [53] Engelstädter, J. & Hurst, G.D. (2009). What use are male hosts? The dynamics of maternally inherited bacteria showing sexual transmission or male killing. *The American Naturalist*. 173 (5), E159–E170.
- [54] Jeyaprakash, A. & Hoy, M.A. (2000). Long PCR improves *Wolbachia* DNA amplification: wsp sequences found in 76% of sixty-three arthropod species. *Insect Molecular Biology*. 9 (4), 393–405.
- [55] Zchori-Fein, E. & Perlman, S.J. (2004). Distribution of the bacterial symbiont *Cardinium* in arthropods. *Molecular Ecology*. 13 (7), 2009–2016.
- [56] Hurst, G.D.D., Johnson, A.P., Schulenburg, J.H.G. v d, & Fuyama, Y. (2000). Male-Killing *Wolbachia* in *Drosophila*: A Temperature-Sensitive Trait With a Threshold Bacterial Density. *Genetics*. 156 (2), 699–709.

- [57] Fialho, R.F. & Stevens, L. (2000). Male-killing *Wolbachia* in a flour beetle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 267 (1451), 1469–1473.
- [58] Zeh, D.W., Zeh, J.A., & Bonilla, M.M. (2005). *Wolbachia*, sex ratio bias and apparent male killing in the harlequin beetle riding pseudoscorpion. *Heredity*. 95 (1), 41–49.
- [59] Hurst, L.D. (1991). The incidences and evolution of cytoplasmic male killers. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 244 (1310), 91–99.
- [60] McGraw, E.A. & O'Neill, S.L. (1999). Evolution of *Wolbachia pipientis* transmission dynamics in insects. *Trends in Microbiology*. 7 (7), 297–302.
- [61] Markov, A.V. & Zakharov, I.A. (2005). Sexual Reproduction of Insects Is Regulated by Cytoplasmic Bacteria. *Russian Journal of Developmental Biology*. 36 (4), 230–239.
- [62] Werren, J.H., Baldo, L., & Clark, M.E. (2008). *Wolbachia*: master manipulators of invertebrate biology. *Nature Reviews Microbiology*. 6 (10), 741–751.
- [63] Werren, J.H. & Beukeboom, L.W. (1998). Sex Determination, Sex Ratios, and Genetic Conflict. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29 (1), 233–261.
- [64] Moret, Y., Juchault, P., & Rigaud, T. (2001). *Wolbachia* endosymbiont responsible for cytoplasmic incompatibility in a terrestrial crustacean: effects in natural and foreign hosts. *Heredity*. 86 (3), 325–332.
- [65] Serbus, L.R., Casper-Lindley, C., Landmann, F., & Sullivan, W. (2008). The Genetics and Cell Biology of *Wolbachia* -Host Interactions. *Annual Review of Genetics*. 42 (1), 683–707.
- [66] Takano, S., Tuda, M., Takasu, K., Furuya, N., Imamura, Y., Kim, S., et al. (2017). Unique clade of alphaproteobacterial endosymbionts induces complete cytoplasmic incompatibility in the coconut beetle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114 (23), 6110–6115.
- [67] Penz, T., Schmitz-Esser, S., Kelly, S.E., Cass, B.N., Müller, A., Woyke, T., et al. (2012). Comparative Genomics Suggests an Independent Origin of Cytoplasmic Incompatibility in *Cardinium hertigii*. *PLoS Genetics*. 8 (10), e1003012.
- [68] Doran, T. & Moore, R. (2001). Application of the reproductive parasite *Wolbachia* to the biological control of flystrike. In *Proceedings of the FLICS Conference, Launceston* (pp. 4-6).
- [69] Werren, J.H. (1997). BIOLOGY OF *WOLBACHIA*. *Annual Review of Entomology*. 42 (1), 587–609.
- [70] Charlat, S. & Merçot, H. (2000). News and Comment Trends. *Trends in Ecology and Evolution* 15 (11): 438. 440.
- [71] Saridaki, A. & Bourtzis, K. (2010). *Wolbachia*: more than just a bug in insects genitals. *Current Opinion in Microbiology*. 13 (1), 67–72.
- [72] Weeks, A.R., Marec, F., & Breeuwer, J.A.J. (2001). A Mite Species That Consists Entirely of Haploid Females. *Science*. 292 (5526), 2479–2482.
- [73] Zchori-Fein, E., Faktor, O., Zeidan, M., Gottlieb, Y., Czosnek, H., & Rosen, D. (1995). Parthenogenesis-inducing microorganisms in *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Insect Molecular Biology*. 4 (3), 173–178.
- [74] Huigens, M.E. & Stouthamer, R. (2003). Parthenogenesis Associated with *Wolbachia*. *Insect symbiosis*, in: p. 247.
- [75] Stouthamer, R. (1997). *Wolbachia*-induced parthenogenesis. *Influential Passengers*. Edited by: O'Neill SL, Werren JH.
- [76] Charlat, S., Hurst, G.D.D., & Merçot, H. (2003). Evolutionary consequences of *Wolbachia* infections. *Trends in Genetics*. 19 (4), 217–223.
- [77] Scola, B., Bandi, C., & Raoult, D. (2005). *Wolbachia Hertig* 1936, 472 AL. in: D.J. Brenner, N.R. Krieg, G.M. Garrity, J.T. Staley, D.R. Boone, P. Vos, et al. (Eds.), *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*, Springer-Verlag, New York pp. 138–143.
- [78] Dewayne Shoemaker, D., Machado, C.A., Molbo, D., Werren, J.H., Windsor, D.M., & Herre, E.A. (2002). The distribution of *Wolbachia* in fig wasps: correlations with host phylogeny, ecology and population structure. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 269 (1506), 2257–2267.
- [79] Lachowska, D., Kajtoch, Ł., & Knutelski, S. (2010). Occurrence of *Wolbachia* in central European weevils: correlations with host systematics, ecology, and biology. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 135 (1), 105–118.
- [80] Enigl, M. & Schausberger, P. (2007). Incidence of the endosymbionts *Wolbachia*, *Cardinium* and *Spiroplasma* in phytoseiid mites and associated prey. *Experimental and Applied Acarology*. 42 75–85.
- [81] Ros, V.I.D., Fleming, V.M., Feil, E.J., & Breeuwer, J.A.J. (2009). How Diverse Is the Genus *Wolbachia* ? Multiple-Gene Sequencing Reveals a Putatively New *Wolbachia* Supergroup Recovered from Spider Mites (Acari: Tetranychidae). *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (4), 1036–1043.
- [82] Gotoh, T., Sugawara, J., Noda, H., & Kitashima, Y. (2007). *Wolbachia*-induced cytoplasmic incompatibility in Japanese populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*. 42 (1), 1–16.

- [83] Liu, Y., Miao, H., & Hong, X.-Y. (2006). Distribution of the endosymbiotic bacterium *Cardinium* in Chinese populations of the carmine spider mite *Tetranychuscinnabarinus* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Applied Entomology*. 130 (9–10), 523–529.
- [84] Ros, V.I., Fleming, V.M., Feil, E.J., & Breeuwer, J.A. (2012). Diversity and recombination in *Wolbachia* and *Cardinium* from Bryobiaspider mites. *BMC Microbiology*. 12 (1), 1–15.
- [85] Suh, E., Sim, C., Park, J.-J., & Cho, K. (2015). Inter-population variation for *Wolbachia* induced reproductive incompatibility in the haplodiploid mite *Tetranychusurticae*. *Experimental and Applied Acarology*. 65 (1), 55–71.
- [86] Xie, R.-R., Chen, X.-L., & Hong, X.-Y. (2011). Variable fitness and reproductive effects of *Wolbachia* infection in populations of the two-spotted spider mite *Tetranychusurticae* Koch in China. *Applied Entomology and Zoology*. 46 (1), 95–102.
- [87] Zhang, Y.-K., Chen, Y.-T., Yang, K., Qiao, G.-X., & Hong, X.-Y. (2016). Screening of spider mites (Acari: Tetranychidae) for reproductive endosymbionts reveals links between co-infection and evolutionary history. *Scientific Reports*. 6 (1), 1–9.
- [88] Zhu, Y.-X., Song, Y.-L., Zhang, Y.-K., Hoffmann, A.A., Zhou, J.-C., Sun, J.-T., et al. (2018). Incidence of Facultative Bacterial Endosymbionts in Spider Mites Associated with Local Environments and Host Plants. *Applied and Environmental Microbiology*. 84 (6), e02546-17.
- [89] Bjørnson, S. (2008). Natural enemies of the convergent lady beetle, *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville: their inadvertent importation and potential significance for augmentative biological control. *Biological Control*. 44 (3), 305–311.
- [90] Van der Geest, L.P., Elliot, S.L., Breeuwer, J.A.J., & Beerling, E.A.M. (2000). Diseases of mites. *Experimental & Applied Acarology*. 24, 497–560.
- [91] Johnowicz, D.L. & Hoy, M.A. (1998). The Manipulation of Arthropod Reproduction by *Wolbachia* Endosymbionts. *The Florida Entomologist*. 81 (3), 310.
- [92] Erban, T., Klimov, P.B., Smrz, J., Phillips, T.W., Nesvorna, M., Kopecky, J., et al. (2016). Populations of Stored Product Mite *Tyrophagusputrescentiae* Differ in Their Bacterial Communities. *Frontiers in Microbiology*. 7, 1046.
- [93] Chao, L.-L., Castillo, C.T., & Shih, C.-M. (2021). Molecular detection and genetic identification of *Wolbachia* endosymbiont in *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) ticks of Taiwan. *Experimental and Applied Acarology*. 83 (1), 115–130.
- [94] Konecka, E., Olszanowski, Z., & Koczura, R. (2019). *Wolbachia* of phylogenetic supergroup E identified in oribatid mite *Gustaviamicrocephala* (Acari: Oribatida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 135 230–235.
- [95] Kurti, T.J., Munderloh, U.G., Andreadis, T.G., Magnarelli, L.A., & Mather, T.N. (1996). Tick Cell Culture Isolation of an Intracellular Prokaryote from the Tick *Ixodes scapularis*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 67 (3), 318–321.
- [96] Nakamura, Y., Kawai, S., Yukuhiro, F., Ito, S., Gotoh, T., Kisimoto, R., et al. (2009). Prevalence of *Cardinium* Bacteria in Planthoppers and Spider Mites and Taxonomic Revision of “*CandidatusCardiniumhertigii*” Based on Detection of a New *Cardinium* Group from Biting Midges. *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (21), 6757–6763.
- [97] Weeks, A.R., Velten, R., & Stouthamer, R. (2003). Incidence of a new sexratio-distorting endosymbiotic bacterium among arthropods. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 270(1526), 1857–1865.
- [98] Groot, T.V.M. & Breeuwer, J.A.J. (2006). *Cardinium* symbionts induce haploid thelytoky in most clones of three closely related *Brevipalpus* species. *Experimental & Applied Acarology*. 39 (3), 257–271.
- [99] Chigira, A. & Miura, K. (2005). Detection of ‘*CandidatusCardinium*’ Bacteria from the Haploid Host *Brevipalpus Californicus* (Acari: Tenuipalpidae) and Effect on the Host. *Experimental & Applied Acarology*. 37 (1), 107–116.
- [100] Wu, K. & Hoy, M.A. (2012). *Cardinium* is associated with reproductive incompatibility in the predatory mite *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Invertebrate Pathology*. 110 (3), 359–365.
- [101] Konecka, E. & Olszanowski, Z. (2019). A new *Cardinium* group of bacteria found in *Achipteriacoleoptrata* (Acari: Oribatida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 131, 64–71.
- [102] Gasparich, G.E., Whitcomb, R.F., Dodge, D., French, F.E., Glass, J., and Williamson, D.L. (2004). The genus *Spiroplasma* and its non-helical descendants: phylogenetic classification, correlation with phenotype and roots of the *Mycoplasma mycoides* clade. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 54 (3), 893–918.
- [103] Bolaños, L., Servín-Garcidueñas, L., & Martínez-Romero, E. (2015). Arthropod-Spiroplasma relationship in the genomic era. *FEMS Microbiology Ecology*. 91.

- [104] Frago, E., Mala, M., Weldegergis, B.T., Yang, C., McLean, A., Godfray, H.C.J., et al. (2017). Symbionts protect aphids from parasitic wasps by attenuating herbivore-induced plant volatiles. *Nature Communications*. 8 (1), 1860.
- [105] Guidolin, A.S. and Cônsoli, F.L. (2018). Diversity of the most commonly reported facultative symbionts in two closely-related aphids with different host ranges. *Neotropical Entomology*. 47, 440–446.
- [106] Heyworth, E.R. & Ferrari, J. (2015). A facultative endosymbiont in aphids can provide diverse ecological benefits. *Journal of Evolutionary Biology*. 28 (10), 1753–1760.
- [107] Staudacher, H., Schimmel, B.C.J., Lamers, M.M., Wybouw, N., Groot, A.T., & Kant, M.R. (2017). Independent Effects of a Herbivore's Bacterial Symbionts on Its Performance and Induced Plant Defences. *International Journal of Molecular Sciences*. 18 (1), 182.
- [108] Gols, R., Schütte, C., Stouthamer, R., & Dicke, M. (2007). PCR-based identification of the pathogenic bacterium, *Acaricomesphytoseiuli*, in the biological control agent *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Biological Control*. 42 (3), 316–325.
- [109] Pekas, A., Palevsky, E., Sumner, J.C., Perotti, M.A., Nesvorna, M., & Hubert, J. (2017). Comparison of bacterial microbiota of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and its factitious prey *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *Scientific Reports*. 7 (1), 2.
- [110] Bonnet, S.I., Binetruy, F., Hernández-Jarguín, A.M., & Duron, O. (2017). The tick microbiome: why non-pathogenic microorganisms matter in tick biology and pathogen transmission. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 7, 236.
- [111] Tully, J.G., Whitcomb, R.F., Rose, D.L., & Bové, J.M. (1982). *Spiroplasmamirum*, a new species from the rabbit tick (*Haemaphysalis leporispalustris*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 32 (1), 92–100.
- [112] Tully, J.G., Rose, D.L., Yunker, C.E., Cory, J., Whitcomb, R.F., & Williamson, D.L. (1981). Helical mycoplasmas (spiroplasmas) from *Ixodes* ticks. *Science*. 212 (4498), 1043–1045.
- [113] Bell-Sakyi, L., Palomar, A.M., & Kazimirova, M. (2015). Isolation and propagation of a *Spiroplasma* sp. from Slovakian *Ixodes ricinus* ticks in *Ixodes* spp. cell lines. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 6 (5), 601–606.
- [114] Henning, K., Greiner-Fischer, S., Hotzel, H., Ebsen, M., & Theegarten, D. (2006). Isolation of *Spiroplasma* sp. from an *Ixodes* tick. *International Journal of Medical Microbiology*. 296, 157–161.
- [115] Hornok, S., Meli, M.L., Perreten, A., Farkas, R., Willi, B., Beugnet, F., et al. (2010). Molecular investigation of hard ticks (Acari: Ixodidae) and fleas (Siphonaptera: Pulicidae) as potential vectors of rickettsial and mycoplasmal agents. *Veterinary Microbiology*. 140 (1), 98–104.
- [116] Qiu, Y., Nakao, R., Ohnuma, A., Kawamori, F., & Sugimoto, C. (2014). Microbial population analysis of the salivary glands of ticks; a possible strategy for the surveillance of bacterial pathogens. *PloS One*. 9 (8), e103961.
- [117] Taroura, S., Shimada, Y., Sakata, Y., Miyama, T., Hiraoka, H., Watanabe, M., et al. (2005). Detection of DNA of “*Candidatus Mycoplasma haemominutum*” and *Spiroplasma* sp. in Unfed Ticks Collected from Vegetation in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*. 67 (12), 1277–1279.
- [118] Van Oosten, A.R., Duron, O., & Heylen, D.J.A. (2018). Sex ratios of the tick *Ixodes arboricola* are strongly female-biased, but there are no indications of sex-distorting bacteria. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 9 (2), 307–313.
- [119] Jaenike, J., Polak, M., Fiskin, A., Helou, M., & Minhas, M. (2007). Interspecific transmission of endosymbiotic *Spiroplasma* by mites. *Biology Letters*. 3 (1), 23–25.
- [120] Hubert, J., Erban, T., Kamler, M., Kopecky, J., Nesvorna, M., Hejdankova, S., et al. (2015). Bacteria detected in the honeybee parasitic mite *Varroa destructor* collected from beehive winter debris. *Journal of Applied Microbiology*. 119 (3), 640–654.
- [121] Sutcu, M. & Somer, A. (2015). Riketsiyal Enfeksiyonlar. in: pp. 457–465.
- [122] Hosokawa, T., Koga, R., Kikuchi, Y., Meng, X.-Y., & Fukatsu, T. (2010). *Wolbachia* as a bacteriocyte-associated nutritional mutualist. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107 (2), 769–774.
- [123] Liu, X.-D. & Guo, H.-F. (2019). Importance of endosymbionts *Wolbachia* and *Rickettsia* in insect resistance development. *Current Opinion in Insect Science*. 33, 84–90.
- [124] Perlman, S. J., Hunter, M. S., & Zchori-Fein, E. (2006) The emerging diversity of *Rickettsia*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1598), 2097–2106.
- [125] Stevens, L., Giordano, R., & Fialho, R.F. (2001). Male-killing, nematode infections, bacteriophage infection, and virulence of cytoplasmic bacteria in the genus *Wolbachia*. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32 (1), 519–545.
- [126] Stouthamer, R., Breeuwer, J.A.J., & Hurst, G.D.D. (1999). *Wolbachia pipientis*: Microbial Manipulator of Arthropod Reproduction. *Annual Review of Microbiology*. 53 (1), 71–102.

- [127] Zélé, F., Santos, I., Olivieri, I., Weill, M., Duron, O., & Magalhães, S. (2018). Endosymbiont diversity and prevalence in herbivorous spider mite populations in South-Western Europe. *FEMS Microbiology Ecology*. 94 (4), fiy015.
- [128] Raoult, D. & Roux, V. (1997). Rickettsioses as paradigms of new or emerging infectious diseases. *Clinical Microbiology Reviews*. 10 (4), 694–719.
- [129] Azad, A.F. & Beard, C.B. (1998). Rickettsial pathogens and their arthropod vectors. *Emerging Infectious Diseases*. 4 (2), 179.