



Review Article

Journal of Agricultural Biotechnology (JOINABT) 5(2), 79-86, 2024

Received: 20-Aug -2024 Accepted: 16-Dec-2024

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinabt>

<https://doi.org/10.58728/joinabt.1489523>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Simbiyotik Fungusların Cerambycid Türler için Önemi

Furkan DOĞAN^{1*} , İsmail Oğuz ÖZDEMİR¹ , Salih KARABÖRKLÜ¹ 

¹ Bitki Koruma, Ziraat Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye,

ÖZ

Böcekler, doğada çeşitli mikroorganizmalarla birlikte yaşamakta ve bu mikroorganizmalar böceklere, besinleri zengin hale getirmeleri, sindirimi kolaylaştırmaları, doğal düşmanlardan korumaları, böcekler arası iletişime katkıda bulunmaları, hastalık vektörlerinin etkinliklerini arttırmaları ve üreme sistemlerini düzenlemeleri gibi birçok açıdan yarar sağlamaktadır. Mikroorganizmalarla böceklerin simbiyotik ilişkisi, her iki tarafın birbirine bağımlı yaşadığı obligat mutualizmden, birbirlerinin etkisini azalttıkları veya zarar verdikleri antagonizme kadar geniş bir yelpazede etkileşimler içerisindedir. Bu kapsamda ele alınan uzun antenli böcekler (Coleoptera: Cerambycidae) ise, sindirilmesi zor bileşenler içeren odun dokusunda ömürlerinin büyük bir kısmını geçirebilecek şekilde adapte olmuştur. Bu adaptasyon, ürettiği veya bünyesine aldığı selülotik enzimler ve çeşitli mikroorganizmalarla kurduğu simbiyotik ilişkiler sayesinde meydana gelmektedir. Simbiyotik funguslar, odun dokusundaki karmaşık bileşenleri enzimatik aktivite yoluyla böceklere yararlı hale getirebilmekte ayrıca azot ve vitamin alımı, bitki sekonder metabolitlerinin detoksifikasyonu gibi çeşitli işlevsel rolleri de üstlenebilmektedir. Böceklerin simbiyotik funguslarla olan ilişkileri, onların beslenme ve hayatta kalma stratejilerini anlamak için kritik öneme sahiptir. Günümüzde birçok cerambycid türünün karantina listelerine tabi olduğu düşünüldüğünde, zararlılara karşı etkili mücadele yöntemlerinin geliştirilmesinde bu ilişkilerin anlaşılması ve bu ilişki ağının hedef alınması önemli bir katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, simbiyotik fungusların cerambycid türler ile ilişkileri üzerine yapılan araştırmaların artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu derlemede, cerambycid türler ile simbiyotik funguslar arasındaki ilişkiler ve bu ilişkiler sonucunda meydana gelen etkiler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cerambycidae, Fungus, Simbiyotik ilişki, Uzun antenli böcek

*¹ Sorumlu yazarın e-posta adresi: furkandogan@subu.edu.tr

The Importance of Symbiotic Fungi for Cerambycid Species

ABSTRACT

In their natural habitats, insects coexist with various microorganisms that benefit them by enriching their nutrients, facilitating digestion, protecting them from natural enemies, contributing to inter-insect communication, enhancing the effectiveness of pathogen vectors', and regulating their reproductive systems. The symbiotic relationship between microorganisms and insects encompasses a wide range of interactions, from obligate mutualism, where both parties are dependent on each other, to antagonism, where they reduce each other's effects or cause harm. Longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae), which are the focus of this discussion, have adapted to spend a significant part of their lives in woody tissues containing hard-to-digest components. This adaptation occurs through the production of cellulolytic enzymes and the establishment of symbiotic relationships with various microorganisms. Symbiotic fungi can enzymatically convert complex components in woody tissues into beneficial forms for the beetles and also play functional roles such as nitrogen and vitamin acquisition and detoxification of plant secondary metabolites. The relationships between insects and symbiotic fungi are critical for understanding their feeding and survival strategies. Considering that many cerambycid species are on quarantine lists today, understanding these relationships and targeting this interaction network is crucial for developing effective pest control methods. Therefore, increasing research on the relationships between symbiotic fungi and cerambycid species is of great importance. This paper reviews the relationships between cerambycid species and symbiotic fungi and the resulting effects of these interactions.

Keywords: Cerambycidae, Fungi, Symbiotic relationship, Longhorned beetle

1. Giriş

Böcekler pek çok farklı şekilde çeşitli mikroorganizmalarla kolonize bir halde yaşamlarını sürdürmektedir [1]. Böceklerin çeşitliliği ve evrimsel başarısı yararlı mikroorganizmalarla olan farklı ilişkilerine dayanmaktadır. Bu ilişkilerin; içerik açısından zayıf besinleri daha zengin hale getirmeleri; sindirimi zor besinlerin sindirimine yardımcı olmaları, predatörlerden, parazitoitlerden ve patojenlerden korunmaları; türler arası ve tür içi iletişime katkıda bulunmaları; hastalık vektörü olan böceklerin etkinliklerine katkıda bulunmaları ve çiftleşme-üreme sistemlerinin düzenlenmesi açısından önem arz ettiği bilinmektedir [2]. Pek çok canlıda olduğu gibi, mikrobiyal simbiyontlar özellikle sindirim sisteminde belirgin bir role sahiptir ve hem ökaryotik hem de bakteriyel mikroorganizmalar, odunsu bitkilerde beslenen böceklerin sindirimlerini kolaylaştırmaktadır [3]. Mikroorganizmaların böceklerle olan ilişkileri, evrimsel açıdan her iki tarafın da adaptasyonlarını gerektiren karmaşık bir etkileşim ağına sahiptir [4,5]. Her iki tarafın da evrimsel uyumunu gerektiren bu etkileşim ağı, böceklerin ekolojik nişlerini genişletmelerine ve çevresel streslere karşı dirençlerini artırmalarına önemli katkılarda bulunabilmektedir.

Simbiyotik mikroorganizmaların böceklerle olan geniş etkileşim ağı düşünüldüğünde, bu etkileşimlerin detaylı bir şekilde irdelenmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu derleme çalışması, cerambycid türlerle simbiyotik funguslar arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını amaçlamakta olup, gelecekteki çalışmalara ve entegre zararlı mücadele programlarının geliştirilmesine bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

2. Simbiyotik Mikroorganizmaların Böcekler için Önemi

Böcekler ve mikroorganizmalar her iki tarafın birbirine bağımlı olarak yaşadığı ve fayda sağladığı ilişkilerden (obligat mutualizm), birbirlerinin etkisini azalttıkları veya zarar verdikleri ilişkilere (antagonizm) kadar çeşitli simbiyotik ilişkiler içerisindedir [6]. Mikroorganizmaların yalnızca çok küçük bir kısmı bulunduğu konukçular için patojen olarak özelleşmiş olup, çoğu mikroorganizma böcekler için zararsız, faydalı, ya da yalnızca belirli koşullar altında zararlı olarak sınıflandırılabilir [1]. Örneğin, *Bacillus thuringiensis* (Bt) toksininin kırtırtılı [*Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae)] larvaları tarafından tüketildiğinde bağırsak duvarını tahrip etmesi sonucunda bağırsaklarında zaten var olan ve normalde zararsız olan bazı bakteriler vücut dokusuna geçerek patojenik etki göstermektedir, bu olguda bağırsakta bulunan bakteriler fırsatçı patojen (opportunistic pathogen)

olarak nitelendirilmektedir [7]. Birçok araştırmacı böceklerin simbiyotik mikroorganizmalarla olan ilişkisini, böceklere besinsel açıdan katkıları bakımından değerlendirmiştir [1]. Bitki dokularında yeterli oranlarda bulunmayan esansiyel aminoasitler, azot, vitaminler ve steroller gibi bileşiklerin bazı durumlarda simbiyotik mikroorganizmalar tarafından böcekler için sentezlenebildiği rapor edilmiştir [1,8,9]. Bu kapsamda bakla yaprakbiti [*Aphis fabae Scop.* (Hemiptera: Aphididae)] ile yapılan bir çalışmada, *A. fabae*'nin temel aminoasitleri sentezlediği bilinse de antibiyotik uygulamasından sonra ölen *Buchnera* bakterilerinin ardından, bu aminoasitleri artık sentezleyemediği tespit edilmiştir [10]. Benzer şekilde Anobiidae familyasına ait böceklerde ve bitkipirelerinde yapılan sterol analizleri sonucunda, böceklerin sterollerini simbiyotik mayalardan elde ettiği iddia edilmiştir [1].

Simbiyotik mikroorganizmalar pek çok böcek türüne çeşitli şekillerde yarar sağlayabilmektedir ve yapılan çalışmaların çoğu bakteriyel mikroorganizmalara odaklanmıştır. Birçok böcek bağırsak boşluğunda simbiyotik mikroorganizmalar barındırmaktadır. Genellikle kommensal ya da parazitik ilişkilerin görüldüğü mikroorganizma-böcek ilişkileri, böceklerin biyolojisi için de kritik bir öneme sahiptir [11]. Bu kapsamda en dikkat çekici örnekler arasında termitler (Isoptera) ve pis kokulu böceklerin (Hemiptera: Pentatomidae) bakterilerle olan simbiyotik ilişkileri yer almaktadır. Termitler (Isoptera), arka bağırsaklarında selülozu parçalayan bakteriler ve protozoalar gibi mikroorganizmalara sahiptir [12, 13]. Pis kokulu böceklerde ise, orta bağırsağın arka bölgesinde bulunan bir organa sahiptir ve bu organlarda "kript" adı verilen kesecik bulunmaktadır. Keseciklerde yoğun bir şekilde simbiyotik bakteri barındıran pis kokulu böceklerin dişileri, simbiyotik bakterileri anüslerinden yumurtalara bulaştırmakta ve ilk nimf döneminde beslenerek bünyelerine almaktadır. Simbiyotik bakterileri vücuduna alamayan nimflerde; yavaş büyüme, ölüm oranlarında artış, morfolojik anormallikler, ergin hale gelen dişi böceklerin meydana getirdiği nimf sayısında azalma ve kısırılık gibi çeşitli olumsuz etkilere sebep olduğu görülmektedir [6, 14, 15].

Mikroorganizma-böcek ilişkilerini değerlendiren çalışmalar incelendiğinde son zamanlarda böceklerin funguslarla ilişkilerine dair çalışmaların da ilgi görmeye başladığı görülmektedir. Coleoptera takımına ait familyalardan, Cerambycidae, Lymexylidae, Anobiidae, Bostrichidae, Curculionidae ve Platypodidae gibi pek çok familyanın böcekler ve funguslar arasındaki ilişkilere konu olduğu bilinmektedir [16]. Simbiyotik fungusların böceklerle olan ilişkileri genellikle ambrosya böceklerinde (Curculionidae: Scolytinae ve Platypodinae) incelenmiştir [17, 18]. Funguslarla çeşitli simbiyotik ilişkilere sahip ambrosya böceklerinin çoğu türü fungal simbiyontları konukçu ağaçlar arasında taşımaya yarayan ve bir dış iskelet yapısı olan olan mycangiumlara sahiptir [19]. Simbiyotik funguslar ise böceğin taşınması için özelleşmiş yapışkan sporlar üretmesiyle, konukçularına uyum sağlamıştır [20, 21]. Böcekler fungusların konukçu ağaçlara taşınmasını sağladığı için, funguslar ise böceklere besinsel açıdan fayda sağladığı için bu simbiyotik ilişki mutualizm olarak kabul edilmiştir [22]. Besin açısından oldukça fakir dokularda beslenen ambrosya böcekleri azot, steroller ve vitaminler gibi önemli besin maddelerini simbiyotik funguslar aracılığıyla sağlamaktadır [20]. Ancak, fungusların hedef bitkilere taşınarak beslenme amaçlı yetiştiriciliği (fungus farming) dışında Coleoptera takımı türlerinin, funguslarla olan farklı türlerdeki ilişkilerine dair çok fazla şey bilinmemektedir. Tür çeşitliliği bakımından oldukça zengin olan Coleoptera takımındaki böceklerin çoğunda, simbiyotik mikroorganizmalar ile etkileşimler hala yeterince açıklanabilmiş değildir [23]. Genel olarak böceklerin mikroorganizmalarla olan ilişkileri anlaşılma başlandıkça, belirli böcek gruplarının bu simbiyotik ilişkilerdeki rollerini belirlemek, zararlı böceklerle karşı geliştirilebilecek mücadele yöntemleri açısından da oldukça önemlidir. Bu kapsamda *Xylosandrus compactus* ve *X. germanus* gibi yazıcı böceklerdeki simbiyotik funguslara (*Ambrosiella grosmanniae* ve *A. xylebori*) karşı mikoparazitik *Trichoderma* ve antagonistik *Bacillus* türlerinin test edildiği çalışmalar, bu düşüncüyü destekler niteliktedir [24, 25]. Bu bağlamda, özellikle Coleoptera; Cerambycidae familyasına ait bazı önemli böcek türleri düşünüldüğünde, bu böceklerin simbiyotik funguslarla olan ilişkileri ve bunların kullanım potansiyeli önem arz etmektedir.

3. Cerambycidae Türleri ile İlişkili Simbiyotik Funguslar

Cerambycidler bitkilerin gövdelerinde açtıkları galeriler içerisinde ve yeşil aksamında beslenen, Coleoptera takımında bulunan en büyük familyalardan birisi [26, 27] olmakla birlikte Dünya genelinde ekonomik öneme sahip yaklaşık 200 türe sahiptir. Bu zararlılar bitkilerle doğrudan beslenerek ve/veya hastalıkların vektörlüğünü yaparak zarar oluşturmakta ve milyarlarca dolarlık kayba sebep olmaktadır [28]. Ergin öncesi gelişimini tamamen konukçu

içerisinde geçirmekte ve bu süreç birkaç aydan sekiz yıla kadar, hatta bazı türlerde on yılı aşkın bir süreyi bile bulabilmektedir [29]. Odunsu gövde/gövde kısımlarında beslenen (ksilofag) larvalar, sağlıklı, ölü veya çürümekte olan odunsu bitkilerde açtıkları galerilerde yaşamlarını sürdürmektedir [30]. Cerambycidlerin diri odun ve öz odun dokusu gibi beslenmenin oldukça zor olduğu ortamlarda nasıl geliştikleri ve hayatta kaldıkları biyologlar ve entomologlar tarafından uzun zamandır araştırılmaktadır [28]. Beslendiği bitkilerin odun dokusu selüloz, hemiselüloz, lignin gibi sindirilemeyen çeşitli polimerlerden meydana gelmesine rağmen, uzun yaşam döngülerini bu dokularda tamamlayacak şekilde adapte olmuşlardır [31-33]. Bu adaptasyon, odun dokusundaki birçok bileşeni sindirebilmek için gerekli enzimleri kendileri üreterek, tüketilen fungal dokularla (mykofagi) ve bağırsaklarında bulunan mikrobiyal topluluk yardımı ile dokuları parçalayabilmelerine dayanmaktadır [34-36]. Cerambycid türlerinin ömürlerinin büyük bir kısmını ağaçların içerisinde geçirmesi, böceklerin birçok fungusla etkileşim içerisinde olduğu düşüncesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Ksilofag böceklerin meydana getirdiği ve içerisinde yaşadığı galeriler incelendiğinde, bu alanlarda değişen renk ve dokunun böceklerin beslenme sürecinde simbiyotik mikroorganizmaların varlığını göstermektedir [32]. Cerambycidlerin, taksonomik ve tür çeşitliliği açısından zengin bir mikroorganizma topluluğu barındırdığı bilinmekle beraber, günümüzde çoğu cerambycid türünün simbiyotik funguslarla ilişkisi aydınlatılmamıştır [26, 32, 37]. Simbiyotik fungusların diğer işlevsel rolleri incelendiğinde, böceklerin bağırsaklarında bulunan mikroorganizmaların atmosferik azotu sabitleyebildiği ve üreyi hidrolize edebildiği, böylece böceğin azot elde etmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir [38].

1978 yılında yapılan bir çalışmada termitlerin [*Macrotermes* spp. (Isoptera: Termitidae)] bağırsaklarında bulunan ekzosimbiyotik fungus *Termitomyces* spp. türleriyle beslenmesi sonucunda, selülozun parçalanmasında rol oynayan ekso-glukanaz enzimlerini edindiği rapor edilmiştir [39, 40]. Buna ek olarak, odun dokusunda çürüklük meydana getiren funguslardan enzimlerin (özellikle selülaz) elde edilmesine yönelik çalışmalarda, *Sirex cyaneus Fabricius, 1781* (Hymenoptera: Cericidae)'un simbiyotik ilişki içerisinde olduğu *Amylostereum chailletii* fungusu ile beslenerek, böceklerin kendilerinin üretmedikleri selülaz (C_x-cellulases) ve ksilanaz (xylanases) enzimlerini edindikleri belirlenmiştir [41]. Bunun üzerine edinilen enzim konsepti (acquired enzyme) çalışmalarına cerambycidler de dahil olmuştur [42]. Kukor ve Martin [35] *Monochamus marmorator*'un larval galerilerine yakın odun dokularından *Amylostereum chailletii*, *Hirschioporus abietinus*, *Stereum sanguinolentum* ve *Trichoderma harzianum* türlerini izole etmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından balsam göknar (*Abies balsamea*) bitkisi ile beslenen larvalardan elde edilen selülaz enzim kompleksiyle, *T. harzianum*'un ürettiği selülaz enzim kompleksinin tamamen aynı olduğu ve dolayısıyla böceğin bu mikroorganizmayı edinmesi sonucu mideye ve bağırsağa yerleştiği düşünülmektedir [35]. *Saperda calcarata* Say (Coleoptera: Cerambycidae) ile yapılan bir diğer çalışmada, kavak talaşına *Penicillium funiculosum*'dan elde ettikleri selülaz kompleksini uygulamış ve *S. calcarata* larvalarını uygulama yapılan talaş ile beslemiştir. Çalışma sonucunda larvaların selülozu sindirebildiğini ve alınan fungal enzimlerin böceğin bağırsak sıvılarında aktivite gösterebilmesinde etkili olan pH seviyesi gibi koşulların uygun olduğu tespit edilmiştir [43]. Benzer şekilde dört cerambycid türü [*Bellamira scalaris* (Lepturinae), *Graphisurus fasciatus* (Lamiinae), *Orthosoma brunneum* (Prioninae) ve *Parandra brunnea* (Parandrinae)] ile yapılan bir çalışmada selüloz sindiriminin edinilen fungal enzimlerle gerçekleştiğini rapor edilmiştir [44].

Günümüzde modern moleküler ve biyokimyasal tekniklerin kullanılmasıyla birlikte, cerambycid türleri ile simbiyotik fungusların ilişkisi daha da aydınlatılmaya çalışılmaktadır. Linnakoski vd. [32] dünya çapında önem arz eden istilacı tür *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) ve *S. carcharias* (Coleoptera: Cerambycidae) ile bulaşık odun dokusundan izole edilen funguslarla, sağlıklı odun dokusunu karşılaştırılmış ve böcek ile bulaşık odun dokusunda daha zengin bir tür çeşitliliği olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca odun dokularını enzimatik olarak parçalayabilme kabiliyetine sahip birkaç fungus türü tespit edilmiştir. En yaygın tespit edilen türler genellikle *Cadophora-Mollisia* tür kompleksi ile ilişkilendirilmiş ve en sık karşılaşılan fungus ise *C. spadicis* olarak belirlenmiştir. Simbiyotik fungusların varlığı, larvalar tarafından tüketilen fungal enzimlerin böceğin beslenme kalitesinin artırılmasında kilit rol oynadığını göstermektedir

[32]. Geib vd. [45] tarafından *A. glabripennis* larvalarından *Fusarium solani* izole edilmiş ve *F. solani*'nin *A. glabripennis* larvaları ile bulaşık odun dokularında böceğin büyümesine ve gelişmesine olanak sağlayan lignoselülazları zararlıya sağladığı fikri ortaya çıkmıştır. Geib vd. [46], daha önceki yıllarda da *A. glabripennis*'in bağırsaklarında bulunan fungal topluluğu araştırmış ve yumuşak çürüklük etmeni *Fusarium solani/Nectria haematococca* türlerini tanımlamışlardır. Tespit edilen türlerin lignini parçalayabilme kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, *A. glabripennis*'in her ne kadar fuusla bulaşık odun dokusu ile beslenmediği bilinse de, odun dokusunun sindirilme-

sinde bağırsaklarda bulunan simbiyotik fungusların katkısı olduğu düşünülmektedir [46]. Benzer şekilde *A. glabripennis* larvalarının bağırsaklarında tespit edilen patojen *Fusarium solani* (ATCC MYA 4552) fungusu böceğin lignoselülozu parçalama ve odun dokusundan besin elde etme potansiyeline katkı sağladığı belirlenmiştir [47]. *Saperda vestita* Say (Coleoptera: Cerambycidae) da bu kapsamda incelenen böcek türlerinden birisi olup, zararlının ergin bireylerinin bağırsaklarından karboksimetilselülozu yüksek derecede parçalayabilen iki adet fungus izole edilmiştir. İzole edilen fungusların *Fusarium culmorum* ve *Penicillium crustosum* ile yüksek derecede benzerlik gösterdiği tespit edilmiş ve bu çalışma, *S. vestita*'nın bağırsaklarında bulunan mikroorganizmalar ile böcek arasındaki ilişkinin ilk kaydını oluşturmaktadır [37].

Birçok cerambycidin bazı simbiyotik maya türlerini de bünyesinde barındırdığı yapılan çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir [48, 49]. Schomann [50] yaptığı kapsamlı çalışmayla birlikte mayaların yumurtlama sırasında böcek yumurtalarının dış yüzeyine yayıldığını ve böceğin ilk larva döneminde yumurta kabuğunu tüketmesiyle birlikte mayaları bünyesine aldığı açıklamıştır. Mayaların, cerambycid türlerinin orta bağırsaklarının en ön segmentinin çıkıntıları olan miketomlarda bulunduğu tespit edilmiştir [50, 51]. Mayalar, böcekler için çeşitli işlevsel rolleri üstlenmektedir. *Phoracantha semipunctata* larvalarının bağırsaklarından altı adet maya izole edilmiş ve mayaların B grubu vitaminlerini sentezlediği, oligosakkaritleri, heterositleri ve nişasta, pektin gibi bazı polisakkaritleri hidrolize ettiği, ancak selüloz üzerinde herhangi bir aktivite göstermediği tespit edilmiştir [52]. Yapılan bir diğer çalışmada ise bazı cerambycid türlerinin (*Rhagium inquisitor*, *Tetropium castaneum*, *Plagionotus arcuatus* ve *Leptura rubra*) bağırsak mikrobiyotası incelenmiş ve Ascomycota şubesine ait çeşitli mayaların (*Candida* ve *Pichia* cinslerine ait bazı türler) bulunduğu tespit edilmiştir [26]. Derleme kapsamında yapılan literatür taraması sonucunda bazı cerambycidlerden ve böceklerle bulaşık galerilerden elde edilen fungus türleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Bazı Cerambycidae türlerinden ve larval galerilerden elde edilen fungus türleri.

Cerambycidae Türü	Öne Çıkan Funguslar	Referans
<i>Acanthocinus aedilis</i>	<i>Hyphopichia</i> , <i>Nakazawaea</i> , <i>Candida</i> ve <i>Trichoderma</i> türleri	[27]
<i>Acmaeops septentrionis</i>	<i>Hyphopichia</i> , <i>Kuraishia</i> , <i>Ogataea</i> ve <i>Aspergillus</i> türleri	[27]
<i>Anoplophora glabripennis</i>	<i>Fusarium</i> sp., <i>Cosmospora</i> sp., <i>Cadophora spadices</i> , <i>Fusarium solani</i> ve <i>Nectria haematococca</i> ,	[32, 45-47]
<i>Callidium coriaceum</i>	<i>Exophiala</i> , <i>Yamadazyma</i> , <i>Penicillium</i> ve <i>Rhodotorula</i> türleri	[27]
<i>Leptura ochraceofasciata</i>	<i>Scheffersomyces insectosa</i>	[49]
<i>Leptura rubra</i>	<i>Candida</i> ve <i>Pichia</i> cinslerine ait bazı türler	[26]
<i>Monochamus marmorator</i>	<i>Amylostereum chailletii</i> , <i>Hirschioporus abietinus</i> , <i>Stereum sanguinolentum</i> ve <i>Trichoderma harzianum</i>	[35]
<i>Phoracantha semipunctata</i>	<i>Candida guilliermondii</i> , <i>C. diddensii</i> , <i>C. tenuis</i> , <i>C. intermedia</i> ve <i>Torulopsis molischiana</i>	[52]
<i>Plagionotus arcuatus</i>	<i>Candida</i> ve <i>Pichia</i> cinslerine ait bazı türler	[26]
<i>Rhagium inquisitor</i>		
<i>Saperda carcharias</i>	<i>Cadophora margaritata</i> sp. nov., <i>Pseudeurotium bakeri</i> , <i>Coniochaeta</i> sp., <i>Cosmospora</i> sp., ve <i>Cadophora spadiceis</i>	[32]
<i>Saperda vestita</i>	<i>Fusarium culmorum</i> ve <i>Penicillium crustosum</i>	[37]
<i>Tetropium castaneum</i>	<i>Candida</i> ve <i>Pichia</i> cinslerine ait bazı türler	[26]
<i>Trichoferus campestris</i>	<i>Exophiala</i> , <i>Yamadazyma</i> , <i>Penicillium</i> ve <i>Rhodotorula</i> türleri	[27]

4. Sonuçlar

Bu derlemede, Cerambycid türlerin simbiyotik funguslarla olan çeşitli ilişkileri ele alınmıştır. Bu simbiyotik ilişkiler, özellikle sindirim sisteminde belirgin bir role sahiptir. Bu kapsamdaki çalışmalar çok öncesine dayanıyor olsa da günümüzde bu ilişkilerin aydınlatılmasına dair çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Açığa çıkarılan ilişkiler, türlerin beslenme ve hayatta kalma stratejilerinin anlaşılması açısından önemli katkılar sunacak ve zararlı böceklerle faydalı olan fungusların, zararlılarla mücadele kapsamında değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Özellikle ülkemizde karantinaya tabi zararlılar içerisinde yer alan istilacı tür *Anoplophora chinensis* Foster (Coleoptera: Cerambycidae), başta fındık olmak üzere meyve bahçelerinde ve ormanlık alanlarda konukçularının ölümüne varan ciddi kayıplara yol açmaktadır. Simbiyotik fungusların böceklerle olan ilişkilerinin aydınlanması özellikle *A. chinensis* gibi önemli istilacı türlerin benzer ekolojik nişleri işgal ettiği durumlarda risk değerlendirme-

sini kolaylaştıracak ve bu simbiyotik ilişki ağı hedef alınarak zararlılara karşı entegre mücadele programlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, simbiyotik fungusların cerambycid türlerle olan ilişkileri üzerine yapılan araştırmaların devam etmesi ve genişletilmesi büyük önem taşımaktadır.

5. Kaynakça

- [1] Douglas, A.E. (2015). Multiorganismal insects: diversity and function of resident microorganisms. *Annual Review of Entomology*, 60, 17–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020822>
- [2] Engel, P., Moran, N. A. (2013). The gut microbiota of insects—diversity in structure and function. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 699-735. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12025>
- [3] Mason, C.J., Campbell, A.M., Scully, E.D., Hoover, K. (2019). Bacterial and fungal midgut community dynamics and transfer between mother and brood in the Asian longhorned beetle (*Anoplophora glabripennis*), an invasive xylophage. *Microbial Ecology*, 77, 230-242. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1205-1>
- [4] Kaltentpoth, M., Roeser-Mueller, K., Koehler, S., Peterson, A., Nechitaylo, T.Y., Stubblefield, J.W., Herzner, G., Seger, J., Strohm, E. (2014). Partner choice and fidelity stabilize coevolution in a cretaceous-age defensive symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6359-6364. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400457111>
- [5] Moran, N.A., Ochman, H., Hammer, T.J. (2019). Evolutionary and ecological consequences of gut microbial communities. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50, 451–475. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062453>
- [6] Kikuchi, Y. (2009). Endosymbiotic bacteria in insects: their diversity and culturability. *Microbes and Environments*, 24(3), 195-204. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME09140S>
- [7] Broderick, N.A., Raffa, K.F., Handelsman, J. (2006). Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103(41), 15196-15199. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604865103>
- [8] Douglas, A.E. (1989). Mycetocyte symbiosis in insects. *Biol. Rev.* 64, 409–34. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1989.tb00682.x>
- [9] Feldhaar, H., Straka, J., Krischke, M., Berthold, K., Stoll, S., Mueller, M. J., Gross, R. (2007). Nutritional upgrading for omnivorous carpenter ants by the endosymbiont *Blochmannia*. *BMC Biology*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-5-48>
- [10] Douglas, A.E., Minto, L.B., Wilkinson, T.L. (2001). Quantifying nutrient production by the microbial symbionts in an aphid. *Journal of Experimental Biology*, 204(2), 349-358 <https://doi.org/10.1242/jeb.204.2.349>
- [11] Hosokawa, T., Matsuura, Y., Kikuchi, Y., Fukatsu, T. (2016). Recurrent evolution of gut symbiotic bacteria in pentatomid stinkbugs. *Zoological Letters*, 2, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40851-016-0061-4>
- [12] Breznak, J.A., Brune, A. (1994). Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu Rev Entomol.* 39 453-487.
- [13] Ohkuma, M. (2003). Termite symbiotic systems: efficient bio-recycling of lignocellulose. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1189-z>
- [14] Hosokawa, T., Hironaka, M., Mukai, H., Inadomi, K., Suzuki, N., Fukatsu, T. (2012). Mothers never miss the moment: a fine-tuned mechanism for vertical symbiont transmission in a subsocial insect. *Animal Behaviour*, 83(1), 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.11.006>
- [15] Bistolas, K.S., Sakamoto, R.I., Fernandes, J.A., Goffredi, S. K. (2014). Symbiont polyphyly, co-evolution, and necessity in pentatomid stinkbugs from Costa Rica. *Frontiers in Microbiology*, 5, 99233. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00349>
- [16] Arnett, J.R.H., Thomas, M.C., Skelley, P.E., Frank, J.H. (2002) *American Beetles. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea*. CRC Press, Boca Raton.
- [17] Ceriani-Nakamurakare, E.D., Slodowicz, M., Carmaran, C., Gonzalez-Audino, P. (2024). Volatile organic compounds emitted by *Megaplatus mutatus* associated fungi: chemical identification and temperature-modulated responses by the ambrosial beetle. *Ecological Processes*, 13(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13717-024-00490-z>
- [18] Mahony, Z.I., Scarlett, K., Carnegie, A.J., Trollip, C., Laurence, M., Guest, D.I. (2024). Fungi associated with the ambrosia beetle *Xyleborus perforans* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on drought-stressed Pinus in New South Wales, Australia. *Australasian Plant Pathology*, 53(1), 51-62. <https://doi.org/10.1007/s13313-023-00952-6>
- [19] Bracewell, R.R., Six, D.L. (2015). Experimental evidence of bark beetle adaptation to a fungal symbiont. *Ecology and Evolution*, 5(21), 5109-5119. <https://doi.org/10.1002/ece3.1772>
- [20] Six, D.L. (2003). Bark beetle-fungus symbioses. *Insect symbiosis*, 1, 97-114.
- [21] Hsiau, P.T., Harrington, T.C. (2003). Phylogenetics and adaptations of basidiomycetous fungi fed upon by bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Symbiosis*, 34, 111–131.
- [22] Wertman, D.L. (2024). *The evolution of bark beetle–fungus mutualisms: insights from a hardwood system* (Doctoral Dissertation). University of British Columbia, Forestry, Canada. p. 220.

- [23] Schott, J., Rakei, J., Remus-Emsermann, M., Johnston, P., Mbedi, S., Sparmann, S., Hilker, M., Paniagua Voirol, L.R. (2024). Microbial associates of the elm leaf beetle: uncovering the absence of resident bacteria and the influence of fungi on insect performance. *App. and Env.l Microbio.*, 90(1), e01057-23. <https://doi.org/10.1128/aem.01057-23>
- [24] Kushiyeve, R., Tuncer, C., Erper, I., Özer, G. (2021). The utility of *Trichoderma* spp. isolates to control of *Xylosandrus germanus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Jour. of Pla. Dis. and Pro.*, 128, 153-160. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00375-1>
- [25] Gugliuzzo, A., Aiello, D., Biondi, A., Giurdanella, G., Siscaro, G., Zappalà, L., Vitale, A., Garzia, G.T., Polizzi, G. (2022). Microbial mutualism suppression by *Trichoderma* and *Bacillus* species for controlling the invasive ambrosia beetle *Xylosandrus compactus*. *Biological Control*, 170, 104929. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104929>
- [26] Grünwald, S., Pilhofer, M., Höll, W. (2010). Microbial associations in gut systems of wood-and bark-inhabiting longhorned beetles [Coleoptera: Cerambycidae]. *Systematic and Applied Microbiology*, 33(1), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2009.10.002>
- [27] Mohammed, W.S., Ziganshina, E.E., Shagimardanova, E.I., Gogoleva, N.E., Ziganshin, A.M. (2018). Comparison of intestinal bacterial and fungal communities across various xylophagous beetle larvae (Coleoptera: Cerambycidae). *Scientific Reports*, 8(1), 10073. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27342-z>
- [28] Wang, Q. (Ed.) (2017). *Cerambycidae of the world: biology and pest management*. CRC press, Boca Raton.
- [29] Yanega, D. (1996). *Field guide to northeastern longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae)*. Illinois Natural History Survey, Illinois.
- [30] Haack, R.A. (1987). Nutritional ecology of wood-feeding Coleoptera, Lepidoptera, and Hymenoptera. *Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, And Related Invertebrates*, 449-486.
- [31] Haack, R.A., Slansky, F. (1987). Nutritional ecology of wood-feeding Coleoptera, Lepidoptera, and Hymenoptera. In: *Nutritional ecology of insects, mites, and spiders* (pp. 449–486) Slansky, F., Rodriguez, J.G. (eds.). Wiley, New York.
- [32] Linnakoski, R., Kasanen, R., Lasarov, I., Marttinen, T., Oghenekaro, A. O., Sun, H., Asiegbu, F.O., Wingfield, M.J., Hantula, J., Heliövaara, K. (2018). *Cadophora margaritata* sp. nov. and other fungi associated with the longhorn beetles *Anoplophora glabripennis* and *Saperda carcharias* in Finland. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 111(11), 2195-2211. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1112-y>
- [33] Joseph, R., Keyhani, N.O. (2021). Fungal mutualisms and pathosystems: life and death in the ambrosia beetle mycangia. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105, 3393-3410. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11268-0>
- [34] Martin, M.M. (1992). The evolution of insect-fungus associations: from contact to stable symbiosis. *American Zoologist*, 32(4), 593-605. <https://doi.org/10.1093/icb/32.4.593>
- [35] Kukor, J.J., Martin, M.M. (1986). Cellulose digestion in *Monochamus marmorator* Kby. (Coleoptera: Cerambycidae): role of acquired fungal enzymes. *Journal of Chemical Ecology*, 12, 1057-1070. <https://doi.org/10.1007/BF01638996>
- [36] Kim, J.M., Choi, M.Y., Kim, J.W., Lee, S.A., Ahn, J.H., Song, J., Kim, S.H., Weon, H.Y. (2017). Effects of diet type, developmental stage, and gut compartment in the gut bacterial communities of two Cerambycidae species (Coleoptera). *Journal of Microbiology*, 55, 21-30. <https://doi.org/10.1007/s12275-017-6561-x>
- [37] Delalibera, Jr, I., Handelsman, J.O., Raffa, K.F. (2005). Contrasts in cellulolytic activities of gut microorganisms between the wood borer, *Saperda vestita* (Coleoptera: Cerambycidae), and the bark beetles, *Ips pini* and *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental entomology*, 34(3), 541-547. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.3.541>
- [38] Ayayee, P., Rosa, C., Ferry, J.G., Felton, G., Saunders, M., Hoover, K. (2014). Gut microbes contribute to nitrogen provisioning in a wood-feeding cerambycid. *Environmental Entomology*, 43(4), 903-912. <https://doi.org/10.1603/EN14045>
- [39] Abo-Khatwa, N. (1978). Cellulase of fungus-growing termites: a new hypothesis on its origin. *Experientia*, 34(5), 559-560. <https://doi.org/10.1007/BF01936956>
- [40] Martin, M.M., Martin, J.S. (1978). Cellulose digestion in the midgut of the fungus-growing termite *Macrotermes natalensis*: the role of acquired digestive enzymes. *Science*, 199(4336), 1453-1455. DOI: [10.1126/science.199.4336.1453](https://doi.org/10.1126/science.199.4336.1453)
- [41] Kukor, J.J., Martin, M.M. (1983). Acquisition of digestive enzymes by siricid woodwasps from their fungal symbiont. *Science*, 220(4602), 1161-1163. DOI: [10.1126/science.220.4602.1161](https://doi.org/10.1126/science.220.4602.1161)
- [42] Martin, M.M. (1987). *Invertebrate-microbial interactions: ingested fungal enzymes in arthropod biology* Cornell University Press, Ithaca and London.
- [43] Kukor, J.J., Martin, M.M. (1986). The transformation of *Saperda calcarata* (Coleoptera: Cerambycidae) into a cellulose digester through the inclusion of fungal enzymes in its diet. *Oecologia* 71:138-141. <https://doi.org/10.1007/BF00377333>
- [44] Kukor, J.J., Cowan, D.P., Martin, M.M. (1988). The role of ingested fungal enzymes in cellulose digestion in the larvae of cerambycid beetles. *Physiological Zoology*, 61(4), 364-371. <https://doi.org/10.1086/physzool.61.4.30161254>

- [45] Geib, S.M., Scully, E.D., Jimenez-Gasco, M.D.M., Carlson, J.E., Tien, M., Hoover, K. (2012). Phylogenetic analysis of *Fusarium solani* associated with the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis*. *Insects*, 3(1), 141-160. <https://doi.org/10.3390/insects3010141>
- [46] Geib, S.M., Filley, T.R., Hatcher, P.G., Hoover, K., Carlson, J.E., Jimenez-Gasco, M.D.M., Nakagawa-Izumi, A., Sleighter, R.L., Tien, M. (2008). Lignin degradation in wood-feeding insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), 12932-12937. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805257105>
- [47] Scully, E.D., Hoover, K., Carlson, J., Tien, M., Geib, S.M. (2012). Proteomic analysis of *Fusarium solani* isolated from the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis*. *PLoS one*, 7(4), e32990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032990>
- [48] Calderon, O., Berkov, A. (2012). Midgut and fat body bacteriocytes in neotropical cerambycid beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*, 41(1), 108-117. <https://doi.org/10.1603/EN11258>
- [49] Kishigami, M., Matsuoka, F., Maeno, A., Yamagishi, S., Abe, H., Toki, W. (2023). Yeast associated with flower longicorn beetle *Leptura ochraceofasciata* (Cerambycidae: Lepturinae), with implication for its function in symbiosis. *Plos one*, 18(3), e0282351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282351>
- [50] Schomann, H. (1937). Die symbiose der bockkäfer. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 32, 542-612.
- [51] Heitz, E. (1927). Über intrazelluläre symbiose bei holzfressenden käferlarven I. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 7, 279-305.
- [52] Chararas, C., Pignal, M. C., Vodjdani, G. and Bourgeay-Causse, M. (1983). Glycosidases and B group vitamins produced by six yeast strains from the digestive tract of *Phoracantha semipunctata* larvae and their role in the insect development. *Mycopathologia*, 83, 9-15. <https://doi.org/10.1007/BF00437405>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).