



Önemli Bir Fitopatojen Bakteri Cinsi: *Xanthomonas*^A

Gökhan ERARSLAN¹, Aziz KARAKAYA^{2*}

Öz: Bitki bakteriyel hastalıkları arasında en yaygın ve yıkıcı kayıplara sebep olan bakteri cinslerinden birisi *Xanthomonas* türlerinin içinde bulunduğu gruptur. *Xanthomonas* cinsi, çok çeşitli konukçuları etkileyen, ekonomik zarara neden olan önemli birçok bitki patojeni türü içerir. Çoğu tür, bitki, tohum ve gıda ticareti üzerinde küresel, ekonomik ve çevresel etkiye sahip bitki hastalıklarından sorumludur. Konukçu bitkilerin meyve, yaprak ve gövdeleri üzerinde nekroz, kanser, leke ve yanıklık gibi çeşitli hastalık belirtilerine neden olurlar. *Xanthomonas* cinsi fitopatolojik açıdan çeşitlilik durumu ve fenotipik farklılıkları açısından önemli bir cinstir. Üründe kalite ve verim kaybı oluşturması sonrası ortaya çıkan ekonomik zarar açısından geniş taksonomik ve bilimsel çalışmalara konu olmuştur. Bu derlemede, *Xanthomonas* cinsinin önemi, genel olarak tanımı, biyolojisi, taksonomisi, epidemiyolojisi, konukçu patojen ilişkileri, tanı yöntemleri ve mücadele olanakları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Xanthomonas*, Gram-negatif, Patojen, Fitopatojen.

Xanthomonas: An Important Genus of Phytopathogenic Bacteria

Abstract: One of the bacterial genera that causes the most common and devastating losses among plant bacterial diseases is the group that includes *Xanthomonas* species. The genus *Xanthomonas* contains many important species of plant pathogens that affect a wide range of hosts, causing economic damage. Many species are

^A Yapılan bu çalışma etik kurulu izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın ilkelerine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında bir çıkar çatışması yoktur. Yazar katkı oranları eşittir.

^{2*} **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Dışkapı, 06110, Ankara, Türkiye, karakaya@agri.ankara.edu.tr, [OrcID 0000-0003-3019-9009](https://orcid.org/0000-0003-3019-9009)

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Dışkapı, 06110, Ankara, Türkiye, gokhanerarslan@outlook.com, [OrcID 0000-0002-4801-2807](https://orcid.org/0000-0002-4801-2807)

responsible for plant diseases that have a global, economic and environmental impact on the plant, seed and food trade. They cause various disease symptoms such as necrosis, canker, spots and blight on the fruits, leaves and stems of host plants. The genus *Xanthomonas* is an important genus in terms of phytopathological diversity and phenotypic differences. It has been the subject of extensive taxonomic and scientific studies in terms of the economic damage caused by the loss of quality and productivity in the crop. In this review, the importance of the *Xanthomonas* genus, its general definition, biology, taxonomy, epidemiology, host-pathogen relationships, diagnostic methods and control possibilities are discussed.

Keywords: *Xanthomonas*, Gram-negative, Pathogen, Phytopathogen.

Giriş

Bitkilerde hastalık meydana getiren 100’ü aşkın tanımlanmış bakteri cinsi vardır. Bunlar arasında; *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Clavibacter*, *Agrobacterium*, *Ralstonia*, *Pseudomonas*, *Xylella*, *Streptomyces* gibi cinslere ait türler ön plana çıkmaktadır (Mansfield ve ark., 2012).

Xanthomonas (Latince; “sarı” anlamına gelen xanthos ve “varlık” anlamına gelen monas), Gram-negatif bitki patojeni bakterilerin en önemli cinslerinden biri olarak dünya çapında ekonomik açıdan önemli tarımsal ürünleri ciddi şekilde etkilemektedir (Bellanger ve ark., 2022). *Xanthomonas* cinsi bakterilerin kolonilerine özgü sarı renk Şekil 1’deki gibidir.



Şekil 1. Sükroz Pepton Agar (SPA) üzerinde gelişen *Xanthomonas* kolonileri (Anonim, 2023a)

Cinsin bitki patojeni üyeleri, dünya çapında ekonomik açıdan önemli birçok tarımsal ürün de dahil olmak üzere, 400 den fazla konukçu bitkide hastalığa neden olmaktadır (Bellanger ve ark., 2022). *Xanthomonas* türlerinin neden olduğu tipik hastalık belirtileri nekroz, kloroz, solgunluk, bodurluk, çürüklük ve kanser şeklinde görülür (Rudolph, 1993). *Xanthomonas* cinsine dahil türlerin küçük bir grubu epifit ve saprofit olmasına karşılık büyük çoğunluğu bitki patojenleridir (Goto, 1992).

Tarihçe ve Taksonomi

Xanthomonas geleneksel olarak bitki patojeni bakterilerin bir cinsi olarak bilinir. *Xanthomonas* cinsi bir bakterinin neden olduğu bitki hastalığına ilişkin ilk rapor 1883 yılına dayanmaktadır (Wakker, 1883; Vauterin ve ark., 1993). Daha sonra, dünya çapında çeşitli hastalıklara sahip bitkilerden izole edilen benzer birçok bakteri, 1930'da Manual of Bacterial Plant Pathogens'in ilk baskısında *Phytomonas* ve ardından 1939'da Dowson tarafından *Xanthomonas* olarak adlandırılmıştır (Starr, 1983).

Xanthomonas cinsinin sınıflandırılması, 1970'li yıllara kadar yeni bir konukçu bitkiden izole edilen bitki patojeninin *Xanthomonas*'ın yeni bir türü olarak sınıflandırıldığı "yeni konukçu-yeni tür" kavramına göre belirlenmekte idi. 1974'e kadar, bu yöntem ile 100'den fazla *Xanthomonas* türü tanımlanmıştır (Vauterin ve ark., 1993). Dye ve Lelliott (1974) yaptıkları bir çalışma ile birlikte, *Xanthomonas*'ları 5 türe indirgemiş ve eski türlerin büyük çoğunluğunu *X. campestris* patovarı olacak şekilde sınıflandırmışlardır. Tür sayısında meydana gelen bu azalma, türleri birbirinden ayırmayı zorlaştırmıştır (Dye ve Lelliott, 1974). Daha sonra, özellikle belirli konukçular için patojen türlerin isimlendirilmesine yönelik bitki patologlarının pratik ihtiyacını karşılamak için özel amaçlı bir terminoloji oluşturulmuştur (Dye ve ark., 1980). Bu doğrultuda, hemen hemen tüm eski *Xanthomonas* türleri, *X. campestris* patovarı olarak yeniden isimlendirilmiştir. Ancak 1995 yılından sonra DNA-DNA hibridizasyonu gibi moleküler yöntemler, *Xanthomonas* cinsi için de ilk büyük yeniden sınıflandırmaya neden olmuştur (Vauterin ve ark., 1995).

Xanthomonas, büyük DNA-DNA hibridizasyonu, RFLP ve REP-PCR veri setlerinin bulunduğu ve bu verilerin grubun taksonomik çözünürlüğü için kullanıldığı birkaç bakteri cinsinden birisidir (Egel ve ark., 1991). Ayrıca, cinste ondan fazla genomun bulunması (Ryan ve ark., 2011), karşılaştırmalı genomik ve genom evrimi çalışmalarının son zamanlarda yapılmasına olanak sağlamıştır (Moreira ve ark., 2010).

Xanthomonas spp. için genom dizilerinin çoğunun mevcudiyeti, farklı türler arasındaki genel ilişkilerin klasik olarak kullanılan çoklu lokus dizi tiplemesi ötesinde anlaşılmasını genişletmiştir. Temsili suşlar arasındaki ortalama nükleotid özdeşliği, suşların türlere göre sınıflandırılmasında bir kriter olarak kullanılmıştır. (Konstantinidis ve Tiedje 2005). Daha büyük tür kompleksleri olan sp. *axonopodis*, ve sp. *campestris*'te çeşitli taksonomik revizyonlar önerilmiştir. *Xanthomonas*'taki tür adlandırması konukçu özgüllüğüne dayandırılmış olsa da, tüm genom karşılaştırmaları bazı türlerin yeniden tanımlanmasına yol açmıştır. Örneğin, *Xanthomonas gardneri* ve *Xanthomonas cynarae* son zamanlarda tek bir türe yerleştirilmiştir (Timilsina ve ark., 2019). Ayrıca, Florida'da Su Teresi'nden *Xanthomonas* (*Xanthomonas nasturtii* sp. nov. ve *Xanthomonas floridensis* sp. nov.) türleri tanımlanmıştır. Domates ve/veya biberiye bitkilerini enfekte eden yakından ilişkili türlerin çeşitli suşlarının genomlarının dizilimleri, yakından ilişkili türlerin farklı suşları arasında sıkça genetik değişimden kaynaklanan melez suşların karışımını göstermiştir (Barak ve ark., 2002; Jibrin vd. 2018). Bu hibrit suşlar, ortalama nükleotid kimliğine (ANI) dayanan mevcut taksonomik tanımlara bir zorluk oluşturmaktadır. ANI değerleri %96'nın üzerinde olsa da, bu suşlar birçok fenotipik teste farklılık göstermektedir.

İki genom dizisi arasındaki ortalama nükleotid kimliği (ANI) ve dijital DNA-DNA hibridizasyonu (dDDH) hesaplaması ve çekirdek gen filogenilerinin inşası, yeni türlerin karakterizasyonu için faydalı araçlar olarak

ortaya çıkmıştır (Bansal ve ark., 2021). Biyokimyasal analiz ile birleştirildiğinde, genom tabanlı taksonomi, *Xanthomonas* cinsindeki yeni türlerin tanımlanmasının yanı sıra mevcut suşların yeniden sınıflandırılması için güçlü bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır (Martins ve ark., 2020)

Zaman içerisinde *Xanthomonas* cinsine yönelik birçok taksonomik ve filogenetik çalışma yapılmıştır. *Xanthomonas* cinsi, *Bacterium vesicatorium*'un biber ve domates üzerindeki bakteriyel lekeye neden olan etmen olarak tanımlanmasıyla başlayan (Doidge, 1921) ve *Xanthomonas campestris* olarak yeniden sınıflandırılmasıyla devam eden çok sayıda taksonomik ve filogenetik çalışmaya konu olmuştur (Rodriguez ve ark., 2012). *Xanthomonas* ilk olarak monotipik bir cins olarak tanımlanmış, daha sonra A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Stall ve ark., 1994). Sonraki bir çalışma (Vauterin ve ark., 1995), rapor edilen 183 suşu esas olarak DNA-DNA hibridizasyon verilerine dayanarak 20 farklı türe ayırmıştır. O zamandan beri, polifazik analize dayalı genel bir sınıflandırma oluşturulmuştur (Vauterin ve ark., 1995). Diğer analizler ise esas olarak Çoklu Lokus Dizi Analizi (MLSA) ve Güçlendirilmiş Parça Uzunluğu Polimorfizmi (AFLP) kullanılarak spesifik sınıflardaki sınıflandırmanın açıklığa kavuşturulmasına yardımcı olmuştur (Rodriguez ve ark., 2012). Bu, tek lokus analizlerinin sınırlarını gösterirken (Sawada ve ark., 2011), cinsin çeşitliliğini ve karmaşıklığını ortaya koyan (Valverde ve ark., 2007) çeşitli tiplendirme ve karakterizasyon araçlarının (örneğin, Moreira ve ark., (2010) geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Ancak, son on yılda bu cinsin taksonomisi hala ciddi tartışmalara konu olmuş olup cins çapında yeniden sınıflandırmalar önerilmiştir (Schaad ve ark., 2006) ve alt-spesifik yeniden sınıflandırmalar ve yeni türler için öneriler yayınlanmıştır (Young ve ark., 2010).

Bitki patojeni *Xanthomonas* türlerinin sınıflandırılması, yıllar boyunca sayısız revizyona tabi olan karmaşık bir mesele olmuştur (Jones ve ark., 2004). Cins şu anda toplamda 53, geçerli olarak ise tanımlanmış 38 tür içermektedir. *Xanthomonas* cinsi alt türlere (alt türler; genetik kriterlere göre) veya patovarlara (pv) ayrılmıştır (Anonim, 2023b). NCBI taksonomi tarayıcısından elde edilen verilere göre *Xanthomonas* cinsinin bilimsel sınıflandırması Çizelge 1'de verilmiştir. *Xanthomonas* cinsine ait türler ise Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, An ve ark., (2020) yaptıkları bir çalışmada, NCBI Taksonomi tarayıcısından aldıkları ve 'genom dizilimlerine sahip' olarak filtreledikleri takson isimleri listesini ve iTOL (Interactive Tree Of Life) yazılımını kullanarak Şekil 2'de bulunan filogenetik ağacı oluşturmuşlardır.

Leyns ve ark., (1984) tarafından tarif edildiği gibi tanımlanan çeşitli *Xanthomonas* türlerinin konukçuları olarak 124 tek çenekli ve 268 çift çenekli bitki listelenmiştir. Bununla birlikte, tek tek izolatların hastalığa neden olma kabiliyeti, dar konukçu aralıkları ve/veya doku özgüllükleri nedeniyle sınırlıdır. Bitki patojeni bakterilerin konukçu aralığına ilişkin bu yararlı bilgi, farklı konukçu türlerinde aynı hastalığa neden olan izolat/ırk gruplandırma 'patovar' adı verilen alt-özgül birimlere çevirmektedir (Dye ve ark., 1980). Patovar sıralamasının taksonomik bir konumu olmamakla birlikte bitki patologları ve düzenleme amaçları için pratiklik sağlamaktadır (Bull ve ark., 2008). Bu cinsin çeşitli türleri içinde en az 125 patovar tanımlanmıştır (Vauterin ve ark., 1995).

***Xanthomonas*'ların Teşhisi ve Karakterizasyonu**

Xanthomonas türlerinin teşhisinde kullanılan yöntemler, spesifik besi ortamlarında gelişen kolonilerin morfolojik ve fizyolojik karakterizasyonu, biyokimyasal testler, enzim bağlı immün analiz (ELISA), immünofloresan yöntemler ve yağ asidi analizleridir. Ancak, düşük hassasiyette ve pahalı olan bu testler zaman kaybına sebep oldukları ve yanlış pozitif sonuçlar verebildikleri için daha az kabul görmektedirler (Bouzar ve ark., 1994). Son yıllarda DNA tabanlı yaklaşımlar, özellikle PCR tabanlı teknikler, *Xanthomonas*'lar da dahil olmak üzere bitki patojeni bakterilerin karakterizasyonu ve taksonomisinde faydalı olmuştur (Vauterin ve ark., 1995).

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Morfolojik Özellikleri**

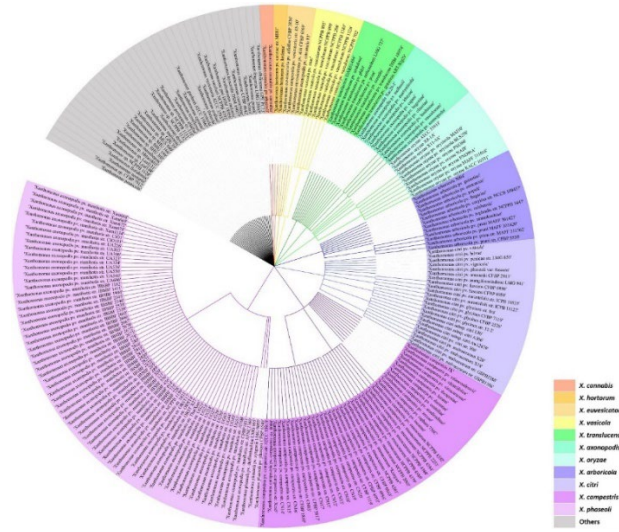
Xanthomonas türleri, boyutları 0.4 µm ila 1.0 µm x 1.2 µm ila 3.0 µm arasında değişen, gram negatif, aerobik, çubuk şeklinde ve tek kamçıya sahip bakterilerdir (Schaad ve ark., 2001) (Şekil 3). Bununla birlikte, hücre uzunluğu suşlar içinde bile değişebilir. Hücreler, polar bir flagellum ile hareketlidir (Şekil 3, Şekil 4) ve hücre dışı polisakkarit (EPS) balçık, xanthan ile çevrilidir (Şekil 4). Bu cinsin bakterileri sporlar, kılıflar, uzantılar veya tomurcuklar oluşturmaz. Xanthomonadin adı verilen sarı pigmentler ve mukoid bir kültürle sonuçlanan bir ekzopolisakkarit olan xanthan bu cinsin karakteristiğidir (Belete ve Baştaş, 2017).

Çizelge 1. NCBI Taksonomi tarayıcısından elde edilen verilere göre *Xanthomonas* spp.'nin bilimsel sınıflandırılması

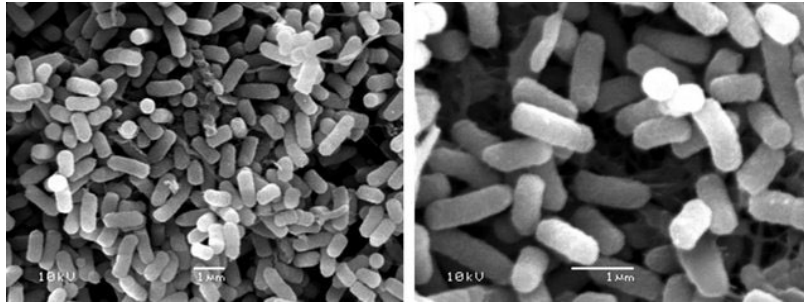
<u>Alem</u>	Bacteria
<u>Şube</u>	<i>Pseudomonadota</i>
<u>Sınıf</u>	<i>Gammaproteobacteria</i>
<u>Takım</u>	<i>Xanthomonadales</i>
<u>Familya</u>	<i>Xanthomonadaceae</i>
<u>Cins</u>	<i>Xanthomonas</i>

Çizelge 2. Prokaryot'ların bilimsel sınıflandırılması (LPSN)'na göre geçerli olarak tanımlanmış *Xanthomonas* türleri ve konukçuları (Anonim, 2023b)

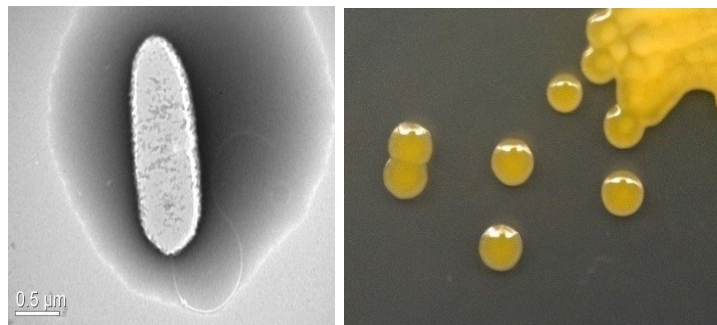
NO	TÜR	KONUKÇU
1	<i>Xanthomonas albilineans</i>	Şeker kamışı (<i>Saccharum officinarum</i>)
2	<i>Xanthomonas alfalfae</i>	Yonca (<i>Medicago sativa</i>)
3	<i>Xanthomonas ampelina</i>	Asma (<i>Vitis</i> spp.)
4	<i>Xanthomonas arboricola</i>	Sert çekirdekli (Prunus spp.)
5	<i>Xanthomonas axonopodis</i>	Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
6	<i>Xanthomonas bonasiae</i>	Sarkık dallı huş (<i>Betula pendula</i>)
7	<i>Xanthomonas bromi</i>	Kılçıksız brom (<i>Bromus inermis</i>)
8	<i>Xanthomonas campestris</i>	Turpgiller (<i>Brassicaceae</i>)
9	<i>Xanthomonas cassavae</i>	Cassava (<i>Manihot</i> spp.)
10	<i>Xanthomonas cissicola</i>	Japon yabani asma (<i>Cissus japonica</i>)
11	<i>Xanthomonas citri</i>	Turunçgiller (<i>Citrus</i>)
12	<i>Xanthomonas codiae</i>	Kroton (<i>Codiaeum variegatum</i>)
13	<i>Xanthomonas cucurbitae</i>	Kabakgiller (<i>Cucurbitaceae</i>)
14	<i>Xanthomonas cynarae</i>	Enginar (<i>Cynara scolymus</i>)
15	<i>Xanthomonas dyei</i>	Trabzon Hurması (<i>Diospyros kaki</i>)
16	<i>Xanthomonas euroxanthea</i>	Ceviz (<i>Juglans regia</i>)
17	<i>Xanthomonas euvesicatoria</i>	Acı biber (<i>Capsicum frutescens</i>)
18	<i>Xanthomonas floridensis</i>	Su teresi (<i>Nasturtium officinale</i>)
19	<i>Xanthomonas fragariae</i>	Çilek (<i>Fragaria chiloensis</i> var. <i>ananassa</i>)
20	<i>Xanthomonas gardneri</i>	Biber (<i>Capsicum annuum</i>)
21	<i>Xanthomonas hortorum</i>	Kemer sardunyası (<i>Pelargonium hortorum</i>)
22	<i>Xanthomonas hyacinthi</i>	Bahçe sümbülü (<i>Hyacinthus orientalis</i>)
23	<i>Xanthomonas hydrangeae</i>	Ortanca çiçeği (<i>Hydrangea arborescens</i>)
24	<i>Xanthomonas maliensis</i>	Çeltik (<i>Oryza sativa</i>)
25	<i>Xanthomonas melonis</i>	Kavun (<i>Cucumis melo</i>)
26	<i>Xanthomonas nasturtii</i>	Su teresi (<i>Nasturtium officinale</i>)
27	<i>Xanthomonas oryzae</i>	Çeltik (<i>Oryza sativa</i>)
28	<i>Xanthomonas perforans</i>	Biber (<i>Capsicum annuum</i>)
29	<i>Xanthomonas phaseoli</i>	Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
30	<i>Xanthomonas pisi</i>	Bezelye (<i>Pisum sativum</i>)
31	<i>Xanthomonas populi</i>	Balsam kavağı (<i>Populus candicans</i>)
32	<i>Xanthomonas prunicola</i>	Nektarin (<i>Prunus persica</i> var. <i>nectarina</i>)
33	<i>Xanthomonas sacchari</i>	Şeker kamışı (<i>Saccharum officinarum</i>)
34	<i>Xanthomonas theicola</i>	Çay (<i>Camellia sinensis</i>)
35	<i>Xanthomonas translucens</i>	Buğdaygiller (<i>Poaceae</i>)
36	<i>Xanthomonas vasicola</i>	Habeş muzu (<i>Ensete ventricosum</i>)
37	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>	Patlıcangiller (<i>Solanaceae</i>)
38	<i>Xanthomonas youngii</i>	Sarkık dallı huş (<i>Betula pendula</i>)



Şekil 2. *Xanthomonas* cinsinin NCBI taksonomisine dayalı filogenetik ağacı (An ve ark., 2020)



Şekil 3. *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* hücrelerinin tarama electron mikroskobu görüntüsü (Queiroz ve ark., 2016)



Şekil 4. *Xanthomonas*'ın morfolojik özellikleri (Belete ve Baştaş, 2017)

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Fizyolojik ve Kültürel Özellikleri**

Gelişmeleri için optimum sıcaklık 25-27 °C aralığındadır. 40 °C nin üzerinde ve 5 °C nin altında gelişme gözlenmemektedir (Sharma, 1999). Yeast Dextrose Calcium Carbonat Agar (YDCA) besiyeri üzerinde mukoid,

konveks ve sarı koloni oluştururlar (Vauterin ve ark., 1993). YDCA besiyeri, en iyi sarı pigment verme özelliği gösterdiği için *Xanthomonas* 'ların izolasyonunda tercih edilmektedir. Bir Lauryl Broth Agar (LBA) besiyerinde tipik olarak, 2-5 mm çapında, mukoid veya yağlı, ortası kabarık ve kenar boşlukları olan koloni oluştururlar (Sharma, 1999). *Xanthomonas* türleri King B besi yerinde floresan pigment oluşturmayan bakterilerdir. Glikoz içeren ortamlarda xanthan isimli ekstraselüler polisakkarit üretirler (Schaad ve ark., 2001). Selülitik *Xanthomonas* spp. türleri CMC-E ortamında dairesel, yassı, kırmızımsı mor koloniler şeklinde gelişmektedir (Gitaitis ve ark., 1991). Tween B besi yerine ekilen izolatların 4 gün 24°C'de inkübasyonundan sonra dairesel kabarık sarı renkte ve etrafında beyaz bir zon oluşumu gözlenir (McGuire ve ark., 1986). Yeast Extract Dekstroz Kalsiyum Karbonat Agar (YDCA) besiyerinde mukoid, dışbükey ve sarı koloni oluştururlar (Şekil 5). Çoğu, büyük miktarlarda hücre dışı polisakkarit üretir (Belete ve Baştaş, 2017).



Şekil 5. YDCA üzerinde sarı pigment oluşturan *Xanthomonas arboricola* (Bafandeh ve ark., 2019)

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Teşhisinde Kullanılan Biyokimyasal Testler**

Enzimatik reaksiyonlar, büyüme için özel ihtiyaçlar ve substratların kullanımı çeşitli bakteriler arasında farklılık gösterir. Bu farklılıklar kullanılarak bakteriler teşhis edilebilmektedir. Biyokimyasal testler, cins ve türlerin tanımlanması için yeterli veriyi sağlasa da, bu testler genellikle maliyetli olup zaman alırlar. Biyokimyasal testler için malzemeler ve yöntemler çeşitli kitaplarda ve el kitaplarında verilmiştir ve fitopatogenik bakterilerin daha kesin bir şekilde tanımlanması için karakterlerin tanımları Bergey's Manual of Determinative Bacteriology kitabında sunulmuştur (Bergey ve Holt, 1994).

Xanthomonas cinsi bakterilerin tanısında kullanılan biyokimyasal testler arasında Gram reaksiyonu, oksidaz reaksiyonu, nitrat indirgemesi, üreaz üretimi, 36°C'de gelişme ve Tween 80 hidrolizi, glikozun oksidatif ve fermentatif metabolizması, jelatin sıvılaşması, nişasta hidrolizi, sisteinden H₂S üretimi, %5 NaCl'de gelişme, süt proteinlerinin sindirimi, tütünde aşırı duyarlılık reaksiyonu, Litmus milk denemesinde etki ve sukroz pepton agarda (SPA) mukoid büyüme, glikoz yeast karbonat agar (GYCA) ve YDC de gelişme, buz çekirdeklenme aktivitesi ve eskülin hidrolizi gibi testler bulunmaktadır (Fahy ve Persley, 1983; Klement ve ark., 1990; Schaad ve ark., 2001). *Xanthomonas* cinsi bakterilerin bazı biyokimyasal testlere verdiği sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Teşhisinde Kullanılan Serolojik Yöntemler**

Enzime Bağlı İmmünosorbent Testi (ELISA) ve İmmünofloresan (IF) gibi tekniklerin farklı formatları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Hampton ve ark., 1990). Herhangi bir serolojik tekniğin başarısı, antiserumun özgüllüğüne ve duyarlılığına ve serolojik reaksiyonu büyütme ve gözlemlemek için kullanılan yöntemlere bağlıdır (Stead, 1992).

Çizelge 3. *Xanthomonas* cinsi bakterilerin bazı biyokimyasal testlere verdiği sonuçlar

Testler	Vauterin ark., (1995)	ve (Schaad ve ark., 2001).	ve ark., Sharma ve ark., 2014	Van den Mooter ve Bergey ve Swings (1990)	ve Holt, 1994
Gram reaksiyon	-	-	-	-	-
4 °C-37 °C arası gelişme	+	+	+	+	+
Levan oluşumu	+	+	+	+	+
Oksidaz reaksiyonu	-	-	-	-	-
Katalaz testi	+	+	+		+
Aerobik gelişim testi	+		+	+	+
Jelatinin hidrolizi		+			
Mukoid gelişim	+			+	
Sisteinden H ₂ S üretimi			+	+	
Tütünde aşırı duyarlılık	+				
Eskulin hidrolizi				+	
Nitrat redüksiyonu	-	-			-
NaCl toleransı					
Niştastanın hidrolizi			+		
Üreaz üretimi	-				
İndol üretimi	-				
Litmus milk'te alkali reaksiyon	+		+	+	

Xanthomonas suşlarının tespiti ve tanımlanması için farklı seroloji formatları kullanılmış olmasına rağmen, bu tekniklerin bazı dezavantajları vardır (Duveiller ve Bragard, 1992). Algılama eşiği nispeten düşük olup yaklaşık olarak 1×10^5 cfu ml⁻¹ civarındadır (Alvarez, 2001). Wang ve ark., (1999), ELISA ve DIA'yı (immünobağlayıcı analiz), şeker kamışı patojeni olan *X. albilineans*'ın tespiti için PCR bazlı bir tanımlama tekniği ile karşılaştırdıklarında serolojik yöntemlerin 10^{5-6} cfu ml⁻¹ civarında en az duyarlılığa sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çeşitli laboratuvarlar tarafından sağlanan antiserumların kalitesi de farklılık gösterebilmektedir. Bazı antiserumlar, özellikle poliklonal antikorlar çapraz reaktivite gösterir, dolayısıyla güvenilir bir teşhis için monoklonal antikorların daha yüksek özgüllüğü gerekir (Schaad ve ark., 2001).

Monoklonal antikorların seçimi ve hazırlanması da zaman alıcı olup pahalıdır ve kapsamlı eğitim gerektirir. Bouzar ve ark., (1994), seçtikleri monoklonal antikorların, *X. campestris* pv. *vesicatoria*'nın tanımlanmasında faydalı olduğunu, ancak diğer patovarylarla reaksiyon gösterdiğini ve çapraz reaksiyonun yüksek derecede heterojen patojenler için kaçınılmaz olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde McDonald ve Wong (2001), monoklonal bir antikor kullanarak *X. populi*'nin serolojik tanısının özgüllüğünde yararlı bir gelişme elde etmiştir.

Ancak bu antikor, patojenin pv. *populi* ve pv. *salicis* arasında ayırt edilmesini sağlayamamıştır. Bragard ve Verhoyen (1993) aynı zamanda poliklonal antiserumlarla karşılaştırıldığında, monoklonal antikorlarla tahıllar üzerinde patojenik olan *Xanthomonas*'ların hassas bir şekilde tanımlandığını ancak monoklonal antikorların farklı patovaryolar arasında ayırım yapamadığını bildirmiştir.

Yağ Asidi Metil Ester (FAME) Analizi

Yağ asitlerini içeren lipitler bakteri hücrelerinin fonksiyonel bir parçasıdır. Lipitler, bakteriler arasında çeşitli yapıya sahiptirler ve Gram pozitif bakterilerde sitoplazmik membranla, Gram negatif bakterilerde ise sitoplazmik ve dış membranla ilişkilidirler (Neidhardt ve ark., 1990). Bakteriyel yağ asitlerinin hem kalitesi hem de miktarındaki çeşitlilik, doğru bir tanımlama yönteminin temelini oluşturmaktadır (Sasser, 1990). Yağ asitlerinin metil ester formununun gaz kromatografisi, profillerin bilgisayar destekli analiziyle birleştiğinde, bakterileri tür içi düzeyde bile tanımlamak ve sınıflandırmak için hızlı ve doğru bir tekniktir (Janse ve ark., 1992).

Xanthomonas'ların çok belirgin profilleri vardır ve bunlar arasında 50'ye kadar yağ asidi bulunur. Bunların çoğu dallı zincir asitlerdir ve tüm suşlar 12:0 3OH, 11:0 iso 3OH ve 13:0 iso 3OH'ye sahiptir. *Xanthomonas* suşlarının profilleri arasındaki varyasyon, patovaryo seviyesinde bile, örneğin *X. campestris* pv. *oryzae* ve pv. *oryzicola*, kesin bir belirleme sağlayacak kadar büyüktür. Bu yaklaşım, fitopatogenik *Xanthomonas*'ların teşhisi ve taksonomisi üzerine yapılan araştırmalarda kullanılmıştır (Chase ve ark., 1992). Vauterin ve ark., (1992), *Poaceae* üyelerini enfekte eden *Xanthomonas*'ları ayırt etmek için bu tekniği (FAME), SDS-PAGE ve DNA:DNA hibridizasyonu ile birleştirmiştir. Yapılan bir çalışmada çilekte yeni bir hastalık üzerinde yapılan polifazik bir çalışmada FAME analizi kullanılmış ve bilinmeyen suşların, yağ asidi analizi açısından yaprak lekeli hastalığının etmeni olan *X. fragariae*'den farklı, homojen bir grup oluşturduğu gösterilmiştir (Janse ve ark., 2001).

Xanthomonas Cinsi Bakterilerin Moleküler Teşhisi

Xanthomonas türlerinin tanısında biyokimyasal testler, morfolojik karakterizasyon, immüno floresan yöntemler, yağ asidi analizleri ve ELISA gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bazen pahalı olabilen bu testlerin hassasiyeti değişebilmekte, vakit kaybı olabilmekte ve yanlış pozitif sonuçlar görülebilmektedir (Ravikumar ve Khan, 2002). *Xanthomonas* tür teşhislerinde de PCR kullanılabilmekte olup son yıllarda Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR)'a dayalı yöntemler öne çıkmaktadır (Kizheva ve ark., 2013).

Moleküler markırlar bakterilerin moleküler tanımlanması ve genetik farklılık çalışmalarında kullanılabilmektedir. Genetik farklılığın tespitinde, RAPD, ISSR, AFLP ve SSR gibi markırlar kullanılabilmektedir (Kıran ve Osmanoğlu, 2011).

Bilinen birçok moleküler yaklaşımdan, 16S rRNA veya onun geni (16S rDNA) temelli yöntemlerin bakteriyel tanımlamada güvenilir ve etkili olduğu belirlenmiştir. Bu, rRNA'yı filogenetik analiz için son derece bilgilendirici hale getirmektedir (Gurunathan ve ark., 2014).

Xanthomonas türlerinin sınıflandırılmasında DNA-DNA hibridizasyonu, yağ asidi profili oluşturma, Rep-PCR ve 16S rRNA gen dizilimi kullanılabilir (Stead, 1989; Vauterin ve ark., 1990).

GyrB sekansları ile, aynı *gyrB* sekansları ile bir tür kompleksi oluşturan *X. euvesicatoria*, *X. perforans* ve *X. alfalfae* hariç tüm *Xanthomonas* strainleri ayırt edilebilmektedir (Parkinson ve ark., 2009).

Ertekin ve ark., (2021) *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*'nin moleküler tanı çalışmasında touchdown koloni PCR metodundan faydalanmışlardır. Bu çalışmada XapMeF ve XapMeR primerleri kullanılmıştır.

Icoz ve ark., (2014) Antalya ilinde yetiştirilen nar ağaçlarında yaptıkları survey çalışmalarında, yağ asit metil ester özellikleri (FAME) ve 16S bölgesine ait spesifik primer çiftleri kullanarak nar meyvelerinde ve yapraklarında belirtilere neden yanıklık hastalığı etmenini *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* olarak tanılamışlardır.

Baştaş ve ark., (2011), *Xanthomonas translucens*'in PCR ile moleküler tanısı için spesifik 139 bp'lik fragmentin amplifikasyonu için T1 ve T2 primerleri kullanmışlardır.

Öztürk ve Aksoy (2018), 16S rDNA sekanslama çalışmaları sonucunda, fasulye üretim alanlarında adi yanıklığa sebep olan 8 adet *X. axonopodis* pv. *phaseoli* izolatu tanılamışlardır. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* için metiltransferaz homologue M.XphI (xphIM) ve restriksiyon endonükleaz homologue R.XphI (xphIR) genlerini hedeflemek üzere XapF R primerleri tasarlanmıştır.

Basım (1998) tarafından *X. axonopodis* pv. *vesicatoria*'nın genom büyüklüğü ve fiziksel haritalanması çalışılmıştır. Bu çalışmada, PFGE kullanılmış ve az sıklıkla kesen restriksiyon enzimleri ile *X. a.* pv. *vesicatoria*'nın genom büyüklüğü ve bakteri genomunun başlangıç fiziksel haritası tanımlanmıştır.

Flávia ve ark., (2005), *X. axonopodis* pv. *citri* strainlerini PFGE ve plazmid profili analizi ile incelemişlerdir. Bu çalışmada genomik DNA VspI ve XbaI enzimleri ile kesilmiştir.

DNA barkodlama (DNA barcoding), spesifik DNA dizileri kullanılarak organizmaların tür düzeyinde tanımlanmasına yönelik hızlı ve pratik bir yöntem olarak geliştirilmiş moleküler bir tekniktir. Çin'de yapılan bir çalışmada *Xanthomonas*'ın karantina türlerini/patovarlarını ayırt etmek için dijital tanımlama yöntemi olan DNA barcoding tekniği kullanılmıştır. Bu analizler için 327 izolat kullanılmış olup bunlara 45 *Xanthomonas* türü / patovarını temsil eden ve ayrıca GenBank'tan beş ek tür / patovar (toplam 50 tür / patovar) dahil edilmiştir. Bu izolatlar, dört DNA barkodu aday genin (16S rRNA geni, *cpn60*, *gyrB* ve *avrBs2*) etkinliğini test etmek için kullanılmıştır. Bu aday genlerden *cpn60*, PCR amplifikasyonu ve dizileme başarısında en yüksek oranı göstermiştir. Daha sonra, ağaç oluşturma (Neighbor-joining), 'en yakın eşleşme' ve barkod boşluğu yöntemleri, her genin tür ve patovar düzeyindeki çözünürlüğünü değerlendirmek için kullanılmıştır. Özellikle, *cpn60* dizileri kullanılarak oluşturulan komşuluk birleştirme ağacında, her karantina türü / patovarının tüm izolatlarının monofiletik bir grup oluşturduğu gözlenmiştir. Ek olarak *cpn60* ayrıca hem barkod gap analizinde hem de 'en iyi yakın eşleşme' testinde en tatmin edici sonuçları göstermiştir (Tian ve ark., 2016).

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Biyolojisi ve Epidemiyolojisi**

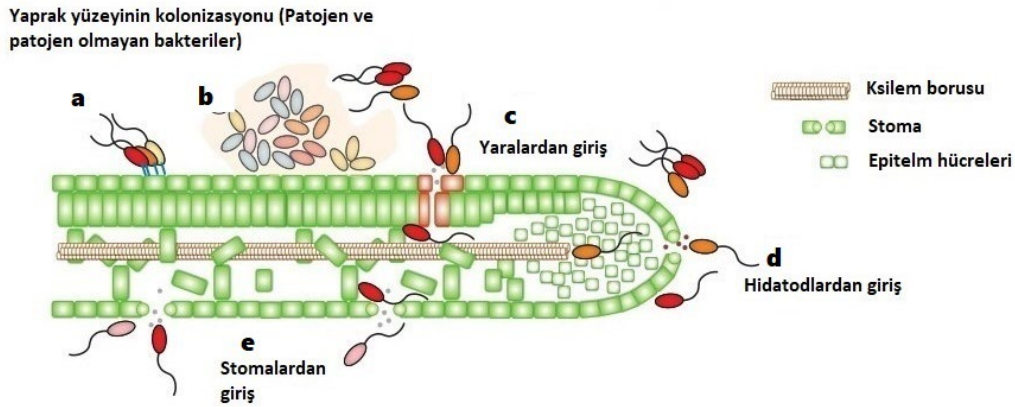
Geleneksel olarak *Xanthomonas* türleri, diğer ortamlarda karşılaşılmayan ve bitki ile ilişkili bakteriler olarak tanımlanmıştır (Hayward 1993). Konukçu bitkinin tüm havai organları, yani, gövdeler, sürgünler, yapraklar, çiçekler, tomurcuklar, meyveler ve tohumlar, *Xanthomonas*'lar tarafından kolonize edilebilir ve belirtiler gösterebilirler (Rudolph, 1993).

Xanthomonas türleri hayat çemberlerinin bir kısmını konukçularından ayrı olarak, hastalıklı bitki artıklarında veya toprakta serbest halde geçirirler (Zhao ve ark., 2002). Bulgarelli ve ark., (2015)'e göre, *Xanthomonadales* takımı üyeleri, rizosfer ve toprak mikrobiyal topluluğunda bulunan bakterilerin %2 ila %7'sini oluşturmakta ve hem rizosfer hem de toprak mikrobiyom ortamlarının önemli bir bileşeni oldukları belirtilmektedir. Ancak, daha yüksek çözünürlüklü metagenomik analizler, *Xanthomonas* cinsinin rizosfer ve toprak mikrobiyomundaki varlığının %0.7'ye kadar değiştiğini göstermiştir (Xu ve ark., 2018).

Xanthomonas'ların enfeksiyon döngüsü epifitik aşama ve endofitik aşama olarak ikiye ayrılabilir. Epifitik aşama, bakterilerin konukçunun havai dokularında, genellikle de yaprak veya meyve dokularının yüzeyinde bulunması ile açıklanabilir. Epifitik aşama, bakterilerin bitkinin doğal açıklıkları (stomalar, hidatodlar, lentiseller ve nektarlar) ve yaraları yoluyla konukçu dokuya girişine kadar devam etmektedir. Bakteriler konukçu bitki dokusuna giriş yaptıktan sonra, endofitik aşama başlar. Konukçu dokuda kolonize olup yüksek popülasyona ulaştıklarında tekrar yaprak yüzeyine çıkarlar ve çoğunlukla rüzgar veya yağmur aracılığıyla yeni bir konukçuya sıçrarlar. Böylece enfeksiyon çemberi yeniden başlamış olur (Moreira ve ark., 2015).

Xanthomonas, tohum kaynaklı enfeksiyon yoluyla veya topraktan, hastalıklı bitkilerden ve bitki artıklarından sağlıklı, duyarlı bitkilere çeşitli biyotik veya abiyotik yollarla bulaşabilir. *Xanthomonas* başlangıçta hayat çemberinin epifitik aşamasına başlar, burada farklı adezinler üretir, hücre dışı polisakkaritler salgılar ve yaprak yüzeyindeki olumsuz koşullardan korunmayı sağlayan biyofilm benzeri yapılar oluşturur ve epifitik uygunluk sağlar.

Xanthomonas türleri, konukçu yüzeyine adezinleri (Şekil 6a) aracılığıyla bağlanır ve yaprak yüzeyinde biyofilmler oluşturabilir (Şekil 6b). Bitki dokusuna girişte bitkinin farklı doğal açıklıklarını tercih edebilmektedirler (Ryan ve ark., 2011) (Şekil 6). *X. euvesicatoria* veya *X. citri* gibi sistemik olmayan *Xanthomonas* türleri, giriş için genellikle stomaları tercih ederken (Şekil 6e), *X. campestris* pv. *campestris* veya *X. oryzae* pv. *oryzae* gibi sistemik ksilem enfeksiyonu yapan türler giriş için genellikle hidatodları (Şekil 6d) tercih etmektedirler (Cerutti ve ark., 2017). Yaralar ve stomalar (Şekil 6c, Şekil 6e) aracılığıyla giriş, mezofilin enfeksiyonuna yol açmaktadır. Yaralar ve hidatodlar (Şekil 6c, Şekil 6d) aracılığıyla penetrasyon, bitki iletim sisteminin ve özellikle ksileminin istilasına yol açmaktadır (Rudolph, 1993).



Şekil 6. *Xanthomonas* türlerinin konukçu bitki dokusuna farklı giriş yolları. Bakteriyel hücreler (a) adezinleri aracılığıyla bağlanır ve (b) yaprak yüzeyleri üzerinde biyofilmler oluşturur. Bakteriler yaprak dokularına (c) yaralarından girebilir. Vasküler patojenler ayrıca (d) hidatodlar yoluyla girerken, yaprak patojenleri (e) stomalar yoluyla girer (Jacques ve ark., 2016).

Örneğin; siyah çürüklük etmeni *Xanthomonas campestris campestris*'in (*Xcc*) (Şekil 7a), konukçu bitkide oluşturduğu belirtileri hidatod veya yaralardaki bakteriyel giriş noktalarından kaynaklanan V şeklinde lezyonları içermektedir (Şekil 7c, e). *Xcc*, bitki damar sistemi boyunca ilerleyerek hastalığa adımı veren siyahlaşmış damarları oluşturmaktadır. Şiddetli enfeksiyonlarda *Xcc*, bitkiyi sistemik olarak dolaşarak baş kısmındaki iletim dokusuna ulaşabilir (Şekil 7d). Sonuç olarak soluk renkli, pazar değeri düşük lahana oluşur ve depolama sırasında ikincil enfeksiyonlara duyarlı hale gelir (Ragasová ve ark., 2020). *Xcc* genellikle gece boyunca guttasyon sıvısı bitkiye geri çekildiğinde hidatodlardan giriş yapmaktadır (Cook ve ark., 1952). Ayrıca yaprak yüzeyinden veya yağmur sıçramasıyla yaralardan da girebilir. Diğer birçok bakteriyel patojenin aksine *Xcc*, stomalar yoluyla enfekte edemez. *Xcc*'nin stomalarda patojenin daha fazla girişini sınırlayabilecek aşırı duyarlı bir tepkiye (HR) neden olabileceğine dair kanıtlar vardır. Alternatif olarak stomaların bir patojene cevap olarak kapanma yeteneğinin *Xcc*'nin girişini sınırlaması da mümkündür; Hidatodların bu aşırı duyarlı tepkiye maruz kaldığına rastlanmamıştır (Cerutti ve ark., 2017). Diğer engeller arasında, mezofil ortamı ile uyumsuzluk gibi faktörler de rol oynayabilir (Dubrow ve Bogdanove 2021).

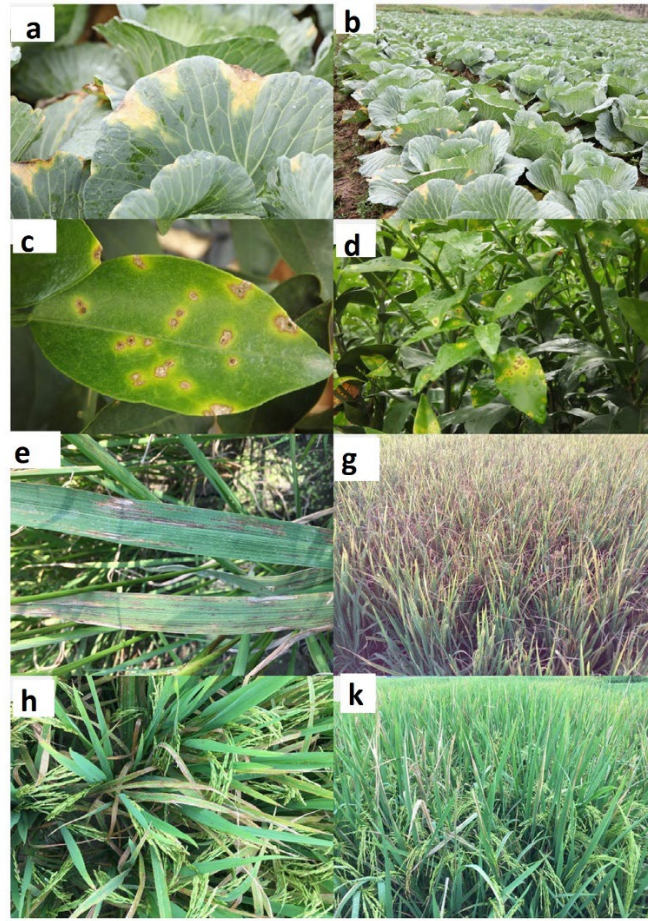


Şekil 7. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*'in (*Xcc*) morfolojisi ve yayılımı. **a)** YDC Agar'da gelişen *Xcc* kolonileri, **b)** Lahana ve karnabahar da dahil olmak üzere haçgil bitkilerinin fideleri genellikle büyük seralarda üstten sulama ile yetiştirilir ve bu da *Xcc*'nin yayılmasını kolaylaştırır, **c)** Lahana yaprağı kenarındaki hidatodlar terleme sıvısı salgılar ve *Xcc* için giriş noktaları görevi görür, **d)** *Xcc* vasküler bir patojendir ve lahananın baş kısmına yayılarak pazar değerini düşürür, **e)** Lahanada *Xcc*'nin neden olduğu siyah çürüklük (Dubrow ve Bogdanove 2021).

Patojenlerin yayılması ve konukçular arasındaki transfer, patojen enfeksiyon çemberinde önemli bir rol oynamaktadır. *Xanthomonas* türleri, hafif yüksek sıcaklıklarda (ortalama 25-35°C) daha iyi gelişir ve konukçuda yüksek miktarda inokulum oluşturabilir (Morales ve ark., 2018). Ek olarak, *Xanthomonas* türlerinin epifitik aşamada, hayatta kalmaları ve bulaşmaları için yüksek nemin (Şekil 7b) gerekli olduğu tespit edilmiştir. (Christiano ve ark., 2009).

***Xanthomonas* Türlerinin Oluşturduğu Hastalık Belirtileri**

Bitkilerin bakteriyel hastalıkları arasında en yaygın ve yıkıcı kayıplar *Erwinia*, *Pseudomonas* ve *Xanthomonas* cinsi Gram-negatif bakterilerden kaynaklanır. *Xanthomonas* cinsi, geniş konukçu yelpazesi nedeniyle büyük ekonomik öneme sahiptir. Genel olarak, *Xanthomonas* cinsinin türleri, bitkinin tüm dokularında çeşitli belirtilere neden olmakla birlikte gövde, yapraklar, çiçekler, tomurcuklar, meyveler ve tohumlar gibi bitki kısımlarında kolonize olabilmektedir. Belirtiler arasında nekrotik lekeler, püstüller, kanserler, çürüklük, solgunluk, hipertrofi ve hiperplazi olabilir ve bakteri ölüme yol açabilir (Ryan ve ark., 2011). Şekil 8 ve Şekil 9'da çeşitli *Xanthomonas* türlerinin neden olduğu hastalık belirtilerine örnekler verilmiştir.



Şekil 8. Çeşitli *Xanthomonas* türlerinin sebep olduğu hastalık belirtilerine örnekler (An ve ark., 2020) (a, b) *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*'in neden olduğu karalahana çürüklüğü; (c, d) *Xanthomonas citri* pv. *citri*'nin neden olduğu turuncgil kanseri; (e, g) *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*'nın neden olduğu bakteriyel çeltik yaprak çizgi hastalığı; (h, k) *X. oryzae* pv. *oryzae*'nin neden olduğu çeltikte yanıklık

Konukçu Adaptasyonu, Konukçu ve Doku Özgüllüğü

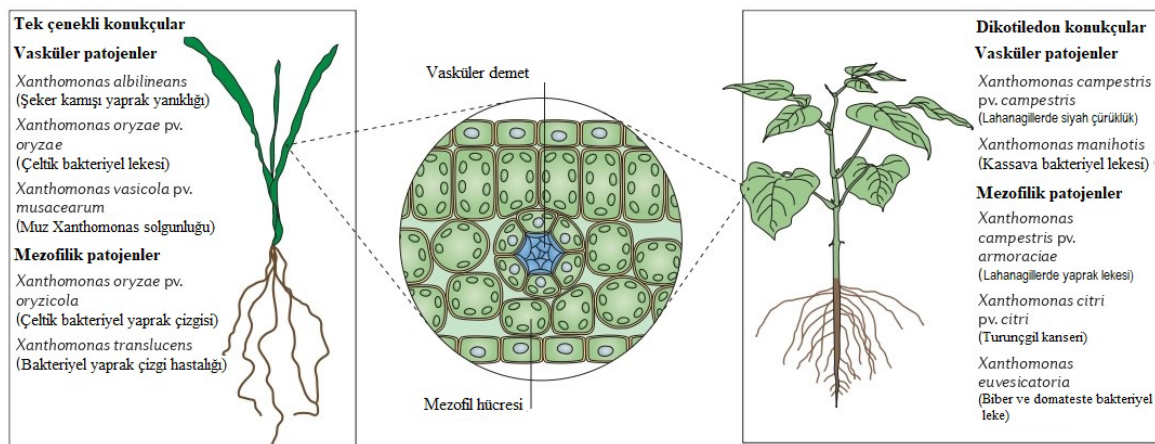
Xanthomonas cinsi büyük ölçüde patojen türleri içerir, ancak *Xanthomonas* suşları sağlıklı bitki kısımlarından da izole edilebilmektedir. Patojenik türler ve patovarlar, yüksek derecede konukçu bitki özgüllüğü gösterir ve birçoğu, Şekil 10'da görüldüğü gibi ya vasküler sistemin ksilem elemanlarını ya da konukçunun mezofil parankima dokusunun hücreler arası boşluklarını istila ederek doku özgüllüğü sergilerler (Ryan ve ark., 2011).

Xanthomonas cinsinde bulunan farklı türdeki bakteriler tek çenekli ve çift çenekli bitkileri enfekte ederek bir dizi hastalığa neden olur. Bu patojenler, yüksek düzeyde konukçu bitki özgüllüğü gösterir ve birçoğu, ya vasküler sistemin ksilem elemanlarını (vasküler patojenler) ya da konukçunun mezofil dokusunun (mezofilik patojenler) hücreler arası boşluklarını istila ederek doku özgüllüğü sergilerler. Cassava bitkisinin patojeni

Xanthomonas manihotis gibi bazı bakteriler alışılmadık derecede çeşitli belirtiler üretebilirler ve hem mezofilik hem de vasküler dokuyu kolonize edebilirler (Ryan ve ark., 2011).



Şekil 9. Çeşitli *Xanthomonas* türlerinin neden olduğu hastalık belirtileri (Timilsina ve ark., 2020). *Xanthomonas* spp. farklı bitkilerde hastalık oluşturabilir. Şekil 9'da da görüldüğü gibi; **a)** *X. oryzae*, çeltikte bakteriyel yanıklığa neden olmaktadır. Bu tür, *oryzae* ve *oryzicola* olmak üzere iki patovarı kapsar; **b)** *X. campestris* pv. *musacearum*, muz bitkisinde *Xanthomonas* solgunluğuna neden olur; **c)** *X. citri* turunçgilleri enfekte eder ve yaprak ve meyve dokularında püstüller üretir; **d)** *X. citri* pv. *mangiferae* mango siyah leke hastalığına neden olmaktadır; **e)** Dört *Xanthomonas* türü, domates ve biberde bakteriyel leke hastalığı ile ilişkilidir. Bu türler, *Xanthomonas hortorum* pv. *pardneri*, *X. euvesicatoria*, *X. vesicatoria* ve *X. perforans*'tır (Jones ve ark., 2004).



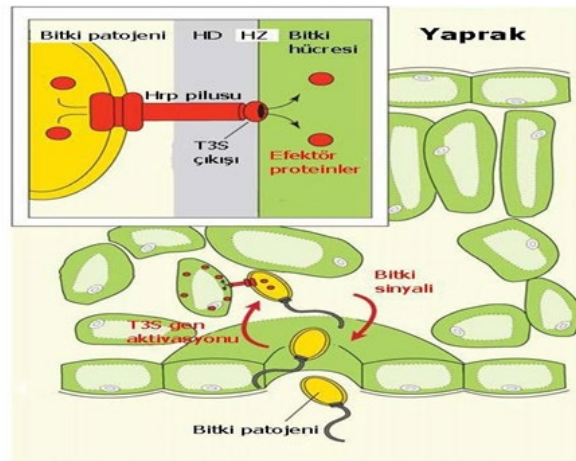
Şekil 10. *Xanthomonas* türleri ve patovarlar konukçu ve doku özgülüğü gösterir (Ryan ve ark., 2011)

***Xanthomonas*'ların Enfeksiyon Mekanizması**

Xanthomonas'ın enfeksiyon döngüsü, epifitik aşama ve endofitik aşamaya ayrılabilir. Epifitik aşama, bakteriler yeni bir konukçunun genellikle yaprak veya meyve dokusuna girdiğinde başlar ve bitkinin doğal açıklıkları ve yaraları yoluyla konukçu dokuya girene kadar devam eder. Konukçu bitkinin içine girdikten sonra, bakteri endofitik aşamaya girer ve konukçuyu kolonize eder. Yüksek popülasyona ulaşan bakteriler yaprak yüzeyinde yeniden ortaya çıkar ve çoğunlukla rüzgar veya yağmur yoluyla yeni bir konukçuya bulaşarak enfeksiyon çemberini yeniden başlatırlar (An ve ark., 2020).

Epifit bir *Xanthomonas*, iç dokuyu uzun süre istila etmeden bitki yüzeyinde çoğalabilir. Bu çoğalma, yaprak yaşı, konukçu fizyolojisi, hava durumu ve diğer mikroflora gibi birçok faktörden etkilenebilir. *Xanthomonas*'lar genellikle güneş ışığına ve kurumaya karşı dayanıksızdırlar. *Xanthomonas* bakterileri, olumsuz koşullardan korunmak için çeşitli savunma mekanizmaları geliştirebilirler. Bunlardan biri ekzopolisakkarit (EPS) üretimidir. EPS, bakterilerin dış yüzeylerinde bir matris oluşturarak çevresel streslere karşı koruma sağlar. Bakteriler toprakta, konukçu bitkilerde, yabancı otlarda ve tohumda yaşayabilirler (Belete ve Baştaş, 2017).

Xanthomonas cinsi bakteriler, hastalık ve hayat çemberinde Tip I ila VI salgı sistemlerine sahiptir. Patojenisitenin anahtar faktörü Tip III salgılama sistemidir. Bitki patojeni Gram negatif bakterilerin çoğunda Tip III salgı sistemi bulunmaktadır (Büttner ve Yang, 2009). Bu salgı sistemi Şekil 11'deki gibi efektör proteinlerin bitki hücresi içine aktarılmasında vazifelidir. Tip III salgı sistemi hastalığın meydana gelmesinde belirleyici bir faktör olarak gözükmemektedir (Mudgett, 2005).



Şekil 11. Gram (-) bakterilerde görülen Tip III salgı sisteminin yaprak enfeksiyonu meydana getirmedeki rolü (HZ: hücre zarı, HD: hücre duvarı) (Aksoy ve Kara, 2012)

Önemli *Xanthomonas* Tür ve Patovaryları

Xanthomonas, dünya çapında her yerde bulunabilmektedir. Çoğu tür ve patovarylar geniş bir alana dağılmıştır. Bazı türler karantina açısından önemlidir. Bazı türler EPPO (Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü) listesinde yer almaktadır (Çizelge 4).

Bu veriler, EPPO çalışma grubunun ortak bir çabası olarak yayınlanan, özellikle Avrupa Birliği'nde düzenlemeye tabi patojenlere, bitkilerde patojen *Xanthomonas* türlerinin çeşitliliğine yönelik teşhis, tespit ve araştırmalara yönelik moleküler yöntemlere odaklanan Catara ve ark., (2021) tarafından yapılan incelemeye dayanmaktadır. Bitkilerde hastalık meydana getiren *Xanthomonas* cinsi üyelerinin konukçu aralığı geniştir. Bu bakteriler genellikle yapraklarda leke, gövde ve yaprak yanıklığı belirtileri meydana getirirler ve marul, lahana, ceviz, muz, patlıcan, çilek, havuç, karnabahar, pamuk, patates, susam, süs bitkileri, meyve ağaçları, hububat, domates ve biber gibi bitkilerde hastalık oluştururlar. Bu patojenin ırkları ve alt grupları bulunmaktadır (Vauterin ve ark., 1990). Farklı konukçularda hastalık oluşturan bazı patovarlar Çizelge 5'te yer almaktadır.

Çizelge 4. EPPO listesinde yer alan *Xanthomonas* türleri (Anonim, 2023d)

Hastalık	Patojen
Turunçgil bakteriyel kanseri	<i>X. citri</i> pv. <i>aurantifolia</i> ; <i>X. citri</i> pv. <i>citri</i>
Soğan bakteriyel yanıklığı	<i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>allii</i>
Çeltik bakteriyel yaprak yanıklığı	<i>X. oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>
Çeltik bakteriyel yaprak çizgi hastalığı	<i>X. oryzae</i> pv. <i>oryzicola</i>
Fındık bakteriyel yanıklığı	<i>X. arboricola</i> pv. <i>corylina</i>
Sert çekirdeklerde bakteriyel leke	<i>X. arboricola</i> pv. <i>pruni</i>
Ceviz bakteriyel yanıklığı	<i>X. arboricola</i> pv. <i>juglandis</i>
Poinsettia bakteriyel yaprak lekesi	<i>X. axonopodis</i> pv. <i>poinsettiicola</i>
Domates ve tatlı biberde bakteriyel leke	<i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>euvesicatoria</i>
Domates ve tatlı biberde bakteriyel leke	<i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i>
Domates ve tatlı biberde bakteriyel leke	<i>X. hortorum</i> pv. <i>gardneri</i>
Domates ve tatlı biberde bakteriyel leke	<i>X. vesicatoria</i>
Çilek bakteriyel köşeli yaprak lekesi	<i>X. fragaria</i>
Antoryum ve diğer aroidlerde bakteriyel yanıklık	<i>X. phaseoli</i> pv. <i>dieffenbachiae</i>
Fasulye yaygın bakteriyel yanıklığı	<i>X. phaseoli</i> pv. <i>phaseoli</i>
Buğdaygillerde bakteriyel yaprak çizgi hastalığı	<i>X. translucens</i> pv. <i>translucens</i>

Çoğu zaman bir *Xanthomonas* türünün veya patovasının konukçu aralığı aynı bitki familyasında birkaç tür ya da bazen birkaç cins ile sınırlı durumdadır. Bazı *Xanthomonas* türlerinin konukçu aralığı geniştir, bazılarının ise dardır (Leyns ve ark., 1984). Örneğin, *X. campestris* pv. *campestris*, *Brassicaceae* familyasındaki bitkilerin genel bir patojenidir. *X. translucens* pv. *graminis* *Poaceae* familyasının birkaç cinsini hastalandırır. *X. translucens* pv. *poae*, *X. campestris* pv. *phlei* ve *X. campestris* pv. *arrhenatheri* ise bir konukçuyla sınırlıdır (Egli ve Schmidt, 1982).

Xanthomonas arboricola

Xanthomonas arboricola pv. *juglandis* (*Xaj*)'in neden olduğu ceviz yanıklık hastalığı, cevizin (*Juglans regia* L.) üretimini etkileyen en önemli ve yaygın bakteriyel hastalıklardan birisidir. Hastalık etmeni ülkemiz ceviz üretim alanlarında ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. *Xaj*'in neden olduğu bakteriyel ceviz yanıklığı hastalığının, Ülkemizin Marmara Bölgesi'nde uygun hava koşullarında şiddetli epidemiyi yaptığı bildirilmiştir

(Özaktan ve ark., 2007a). Tipik belirtiler sürgün, yaprak, dişi çiçek, tomurcuk ve meyve gibi tüm sulu dokularda görülmekte olup enfeksiyon başlangıçta su emmiş leke şeklindeyken zamanla bu lekeler kahverengi-siyah nekrotik alanlara dönüşmektedir. Başlangıçta sarı-yeşil bir hale ile çevrelenmiş dairesel lezyonlar genellikle noktasal olarak genişlemektedir. Özellikle erken ilkbahar donlarından sonra yeşil sürgün ve tomurcuklarda yanıklık belirtisi çok karakteristiktir (Yörük ve Mirik, 2021). Hastalık, ürünlerde %50 ila %70 arasında kayıplara neden olabilmektedir (Lamichhane, 2014).

X. arboricola pv. *corylina* (*Xac*)'nın neden olduğu fındık bakteriyel yanıklık hastalığı Dünya genelinde ve Türkiye'de fındıklarda görülen önemli bir hastalıktır (Gutierrez ve Kotan, 2023). *Xac*, Dünya çapında genç fındık ağaçlarında ekonomik kayıplarla sonuçlanan fındık bakteriyel yanıklığı hastalığına neden olmaktadır (Kalındamar, 2021). Fındık ağaçları, uygun iklim koşulları altında bitki patojeni bakterilerin çeşitli enfeksiyonları nedeniyle tehdit altındadır. Bu bakteriyel patojenler arasında en yaygın ve yıkıcı patojenin, fındık bahçelerinde dikkati çeken ve sektörü önemli ölçüde etkileyen *Xac* olduğu bildirilmektedir (Öztürk, 2023). *Xac* tomurcuk ölümü, yapraklarda ve zuruflarda lekelenme, ve sürgünlerde nekroza sebep olmaktadır. Kısmi olarak zarar görmüş tomurcuklardan bir sonraki yıl çıkan sürgünler de enfekteli olmaktadır. Özellikle genç ağaçlarda tüm gövdeyi çepeçevre kuşatan kanserler nedeniyle ağaç tamamen kurumaktadır. Bu hastalık nedeniyle en fazla kayıp, 1-4 yaşındaki bahçelerde oluşmaktadır. Daha yaşlı bitkilerde ender olarak ölüm meydana gelmekte, ancak çok sayıda tomurcuk zarar gördüğünden verim kaybı %1-10 arasında değişmektedir (Karahana ve ark., 2013). *Xac*, fidanlık ve yeni kurulan bahçelerde ağaçların %10-100'ünü öldürebilmektedir (Moore ve ark., 1974; Gutierrez ve Kotan 2023).

Çizelge 5. Farklı konukçularda hastalık yapan *Xanthomonas* patovamları (Rodriguez ve ark., 2012)

Patovar	Konukçu
pv. <i>alfalfae</i>	Yonca
pv. <i>armoraciae</i>	Turp
pv. <i>campestris</i>	Lahanagiller
pv. <i>carota</i>	Havuç
pv. <i>cucurbitae</i>	Kabakgiller
pv. <i>citri</i>	Turunçgiller
pv. <i>corylina</i>	Fındık
pv. <i>fragariae</i>	Çilek
pv. <i>glycine</i>	Soya
pv. <i>graminis</i>	Buğdaygiller
pv. <i>juglandis</i>	Ceviz
pv. <i>mangiferaeindicae</i>	Mango
pv. <i>malvacearum</i>	Pamuk
pv. <i>musacearum</i>	Muz, Mısır
pv. <i>pelargonii</i>	Sardunya
pv. <i>phaseoli</i>	Fasulye
pv. <i>pruni</i>	Erik
pv. <i>raphani</i>	Turpgiller
pv. <i>sesami</i>	Susam
pv. <i>translucens</i>	Arpa, Buğday, Çavdar, Tritikale
pv. <i>vesicatoria</i>	Biber, Domates, Patlıcangiller
pv. <i>viticola</i>	Asma

X. arboricola pv. *pruni*, sert çekirdekli meyvelerde ve bademde bakteri lekmesine sebep olur. Bu hastalık ağaçların verimini ve gücünü ve ayrıca etkilenen meyvelerin pazarlanabilirliğini azaltabilen önemli bir hastalıktır (Garita-Cambronero ve ark., 2018).

Xanthomonas axonopodis

Xanthomonas axonopodis pv. *phaseoli* (*Xap*)'nin neden olduğu adi yaprak yanıklığı hastalığı, tropikal ve subtropikal iklimlerde önemli verim kayıplarına neden olan ve tohumla taşınan en önemli fasulye bakteriyel etmenlerinden biridir (Gedük ve ark., 2020). Türkiye'de, Dönmez ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmalara göre, *Xap*'ın neden olduğu hastalık ülkemizde fasulye üretiminin verimini ve kalitesini azaltan ciddi bir bakteriyel hastalıktır. Benzer şekilde, Dursun ve ark., (2002) ile Baştaş ve Şahin (2017), çevresel koşulların etmen bakteri (*Xap*) için uygun olduğu durumlarda en yıkıcı fasulye hastalığı olduğunu bildirmişlerdir. Hastalık bitki gelişiminin herhangi bir aşamasında meydana gelerek, tohum kalitesini etkiler ve %20-60 verim kaybına neden olur ve sonuçta binlerce, milyonlarca dolar tutarında ekonomik kayıplara yol açar (Belete ve Baştaş, 2017). Bu hastalıktan etkilenmiş bitkilerin yapraklarında suyla ıslatılmış gibi, sarkık, zamanla genişleyen nekrotik lekeler meydana gelmektedir. Bu lezyonlar genellikle yaprakların damarları arasında veya kenarlarında bulunmakta ve büyüdükçe yanık bir görünüme dönüşmektedir. Kapsüller üzerinde ise boyutu kapsülün büyüklüğüne ve olgunluğuna göre değişmekle birlikte dairesel, hafif çökük, koyu kırmızımsı-kahverengi lezyonlar oluşturmaktadır. Enfekteli tohumlarda şekil bozuklukları meydana gelmekte ve çimlenme yetenekleri kaybolmaktadır (Palacıoğlu ve ark., 2021).

X. axonopodis pv. *manihotis* (kasava bitkisi (*Manihot esculenta*) bakteriyel yanıklığı), kasava bitkilerinin önemli bir patojenidir (Abdulai ve ark., 2018).

Xanthomonas campestris

Siyah damar çürüklük hastalığına vasküler bir bakteri olan *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (*Xcc*) neden olmaktadır ve bu hastalığın dünya çapında lahanagil bitkileri için en tahripkâr ve önemli hastalık olduğu düşünülmektedir. Tipik hastalık belirtileri yaprak uçlarında oluşan V şeklinde klorotik, nekrotik lezyonlar, vasküler dokularda kararma ve sonunda siyah damar çürüklüğü belirtisidir (Vicente ve ark., 2001). Ülkemizde bu etmen ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Samsun ili Bafra ilçesi beyaz baş lahana üretim alanlarında *Xcc*'nin varlığı çeşitli biyokimyasal testler ve patojenisite çalışmalarıyla belirlenmiştir (Aksoy, 2007). Daha sonra *Xcc* Samsun ilinde karnabahar üretim alanlarından izole edilmiştir (Aksoy ve ark., 2018). Akdeniz bölgesinde 2004-2006 yıllarında lahana, brokoli, ve brüksel lahanasında *Xcc* etmeninin varlığı saptanmıştır (Mirik ve ark., 2008a). 2019 yılında Samsun ilinde semptomatik bir beyaz başlı lahana yaprağından izole edilen *Xcc* SB80 ırkı 4 suşuna ait tam genom dizisi rapor edilmiştir (Meral ve ark., 2022).

Xanthomonas oryzae

Xanthomonas oryzae türünün, *oryzae* ve *oryzicola* olmak üzere iki patojenik varyetesi vardır (Swings ve ark., 1990). Bu patojenik varyeteler yakından ilişkilidir ve çeltik her iki patojen için de ana konukçudur. *X. oryzae* pv. *oryzae* ve *X. oryzae* pv. *oryzicola*, enfeksiyon şekillerindeki farklılıklarını yansıtan belirtileri sayesinde net bir şekilde ayırt edilebilirler (Anonim, 2024a).

Çeltik bakteriyel yaprak yanıklığı etmeni *X. oryzae* pv. *oryzae* yaralardan veya hidatodlardan giriş yapar. Epidermiste çoğalır ve aktif çoğalma yaparak yapraklarda leke oluşturur ve ksilem iletim demetlerine geçer. Hastalığın belirtileri arasında yaprak lekesi, sararma ve soluk sarı yapraklar yer alır. Yaprak lekesi, yaprak kenarlarında gelişen dalgalı uzun lezyonlarla karakterize edilmektedir. Belirtiler su gözeneklerinin bulunduğu yaprak uçlarından küçük su emmiş çizgiler olarak başlarlar. Bu çizgiler enine ve boyuna genişleyerek hızla büyürler. Yaprak kenarları boyunca dalgalı, bir kenarlı, sarı bir lezyon oluştururlar. Sonrasında, hastalıklı alanlar beyazdan griye döner. Bu lezyonlar yaprağın bir veya her iki tarafında ve bazen de orta damarlar boyunca gelişebilir ve yaprak yanıklığı belirtileri genellikle maksimum kardeşlenme aşamasından itibaren ortaya çıkmaktadır (Goto, 1992).

Çeltik bakteriyel yaprak çizgi hastalığı etmeni *X. oryzae* pv. *oryzicola*, konukçusunun herhangi bir büyüme evresinde ortaya çıkan bir yaprak hastalığıdır. *X. oryzae* pv. *oryzicola* konukçusuna stomalardan girer ve yaprakların parankim dokularında çoğalır. *X. oryzae* pv. *oryzicola*, genellikle yaprak hücrelerinin parankimasını enfekte eder. Ancak sistemik değildir. İlk belirtiler, uzayabilen ve koyulaşabilen küçük, suya batırılmış, şeffaf damarlar arası çizgilerdir. Şeffaf çizgiler, yaprak çizgisi lezyonlarını, ışık karşısında opak olan *X. oryzae* pv. *oryzae* lezyonlarından ayırır. Bakteriyel sızıntılar küçük sarı boncuklar halinde gözlemlenebilir. Dar, uzun, yarı şeffaf lezyonlar birleşerek büyük alanlar oluşturabilir ve ciddi şekilde etkilenen alanlar yanık gibi görünebilir. Yapraklar solar, kahverengiye döner ve sonunda ölür. Bu aşamada hastalığın bakteriyel yaprak yanıklığından ayırt edilmesi zor olabilir (Ou, 1985).

Xanthomonas translucens

Xanthomonas translucens'in neden olduğu bakteriyel çizgi hastalığı, öncelikle arpada (Jones ve ark., 1917), daha sonra da sırasıyla buğday (Smith ve ark., 1919), çavdar (Reddy ve ark., 1924), çayır bitkileri (Wallin, 1946) ve son olarak da tritikale bitkisinde (Zillinsky ve Borlaug, 1971) tespit edilmiştir.

X. translucens pv. *undulosa* ilk defa buğdaydan izole edilmiş olup arpada da hastalık oluşturmaktadır (Bragard ve ark., 1997). *X. translucens* pv. *secalis*'in konukçuları arasında ise buğday, çeltik, arpa, yulaf, yabani buğday ve ayrik yer almaktadır. *X. translucens* pv. *cerealis* yulaf ve ayrikta hastalık oluştururken; *X. translucens* pv. *translucens* yalnızca buğdaylarda patojen olup uygun koşullar olduğu zaman % 30–40 oranında bir verim kaybına sebep olabilmektedir. Bu hastalık Türkiye'den de rapor edilmiştir (Sands ve Fourest, 1989; Demir ve Üstün, 1992). Hastalığın tipik belirtileri; yapraklar üzerindeki birkaç cm uzunluğa ulaşabilen parlak kahverengi,

birbirine paralel ve uzunca lezyonlardır. Bu lezyonlar başlangıçta yaprak üzerinde ayrı ayrı görülebilir ama zamanla tüm yaprak yüzeyini kaplarlar. Parlak ışık altında bakıldığında çok kolayca fark edilebilir (Kotan, 2008).

Ülkemizde etmenin varlığı ilk kez Demir ve Üstün, (1992) tarafından Ege Bölgesinde belirlenmiştir. Hastalıklı bitkilerden bakteri izole edilmiş ve *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* olarak tanımlanmıştır. Ege bölgesinde yaygın üretimi yapılan ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin *X. c. pv. translucens*'e duyarlı olduğu, bu çeşitler içinde Ege 88 çeşidinin ise çok duyarlı olduğu saptanmıştır.

Baştaş ve ark., (2011) yılında Konya ilinde yaygın olarak ekimi yapılan 36 farklı buğday çeşidini incelemişlerdir. Etmenin izolasyon ve tanısında biyokimyasal, patojenisite testleri ve moleküler tanı yöntemlerini kullanmışlardır. İnceledikleri buğday çeşitlerinden, *X. translucens*'i en fazla Gerek 79 (%63.63) ve en az Yıldız 98 (%6.25) çeşidi tohumlardan izole etmişlerdir. Etmenin, tüm buğday tohumlarındaki genel yüzde bulaşıklılık oranını ise %27.16 olarak belirlemişlerdir.

***Xanthomonas* Cinsi Bakterilerin Sebep Olduğu Hastalıklarla Mücadele**

Xanthomonas türlerinin sebep olduğu hastalıkların önlenmesi ve baskılanması için bir dizi strateji geliştirilmiştir. Bu stratejiler patojen yayılımının engellenmesini, kimyasal ve biyokontrol maddelerinin kullanımını ve dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını içermektedir.

Dayanıklı Çeşitlerin Üretimi

Hastalığa dayanıklı çeşitlerin üretilmesi, en verimli, sürdürülebilir, çevre dostu ve istenen hastalık kontrol yaklaşımlarından birisidir. Belirli patojenlere karşı bitki direnci veya duyarlılığının kalıtsal bir özellik olduğu gösterilmiştir. Farklı bitkilerde birçok kültüvare özgü *Xanthomonas* direnç lokusları tanımlanmıştır. Kültüre alınmış çeşitlerde tanımlanan direnç genlerinin sayısı bitki türleri arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Örneğin, çeltikte düzinelerce *Xanthomonas* direnci ile ilişkili lokus tanımlanırken, bugüne kadar muz, şeftali veya narenciye gibi diğer mahsullerde hiçbiri tanımlanmamıştır. Dayanıklı çeşitlerin üretilmesi genetik mühendisliği yoluyla ya da geleneksel ıslah yoluyla olabilmektedir (Timilsina ve ark., 2020).

Ecevit ve ark., (1996) ıslah çalışmalarına temel oluşturmak amacıyla yaptıkları bir çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen önemli fındık çeşitlerinden Allahverdi, Çakıldak, Foşa, Mincane, Palaz, Sivri ve Tömbül fındık çeşitlerinin fındık kurdu, filiz güvesi, uçkurutan, fındık kokarcası, mayıs böceği ve yaprak bitleri ile bakteriyel yanıklık *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* (*Xac*), mozaik virüsü ve külleme hastalıklarına karşı duyarlılıklarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; yaprak lekeleri dikkate alındığında bakteriyel yanıklık (*Xac*) etmenine karşı en duyarlı çeşidin Allahverdi olduğu görülmüştür. Bu hastalığa karşı duyarlılığı yüksek olan bir diğer çeşidin ise Mincane olduğu tespit edilmiştir.

Xanthomonas cinsine dahil olan bakteriler ile mücadelede sürdürülebilir ve etkin mücadele yöntemi dayanıklı ıslah materyallerinin geliştirilmesi ve kullanılmasıdır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen 40 adet fasulye çeşidi, pas ve adi yaprak yanıklığı (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) (*Xap*) hastalıklarına karşı taşıdıkları dayanıklılık kaynakları bakımından SCAR markörleri aracılığıyla incelenmiştir. *Xap*'ye karşı Belinay Sırık, Boncuk, Sırık barbunya, Bulduk ve Zülbiye çeşitlerinin dayanıklılıkta rolü olan B10 lokusuna sahip olduğu görülmüştür (Palacioğlu ve ark., 2021).

Ülkemizde yapılan bir çalışmada, 6'sı ticari olarak yetiştiriciliği yapılan çeşitlerin de arasında bulunduğu toplam 15 çeşit cevizden, 'Franquette'nin *Xaj*'e karşı yüksek derecede, 'Yalova 2', 'Serr', 'Kaman 1' ve 'Yalova 3' çeşitlerinin orta derecede tolerant olduğu, 'Yalova 1' ve 'Pedro' çeşitlerinin ise hastalığa karşı tolerant olduğu saptanmıştır. 'Yalova 4', 'Chandler', 'Hartley', 'Şen 1', 'Bilecik' çeşitlerin duyarlı, 'Payne', 'Bursa 95' ve 'Şebin' çeşitlerinin ise yüksek oranda duyarlı olduğu saptanmıştır (Özaktan ve ark., 2007b).

Türk fındık çeşitlerinin bakteriyel yanıklığa sebep olan *Xac* patojenine karşı toleranslarının saptanması amacıyla yapılan bir çalışmada; materyal olarak Acı, Çakıldak, Foşa, İncekara, Kalınkara, Kan, Kargalak, Kuş, Mincane, Palaz, Sivri, Tombul, Uzunmusa, Yassı Badem ve Yuvarlak Badem Türk fındık çeşitleri kullanılmıştır. Patojenin AT8/Z ırkı kullanılarak kontrollü koşullarda yürütülen çalışmada, bakteriyel yanıklık hastalığına karşı en hassas çeşidin Yassı Badem, en dayanıklı çeşidin ise Uzunmusa olduğu tespit edilmiştir (Akın ve Aygün, 2021).

Taze ve kuru fasulye ıslah hatlarının *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* ve *Xap*'ye dayanıklılık durumlarını ve dayanıklı bireylerde dayanıklılık ile ilgili genleri belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada; toplam 50 fasulye ıslah hattı *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* ve *Xap* virulent izolatları ile inokule edilerek ıskalaya göre okumaları yapılmıştır. Sonuçta; *Xap*'ye karşı hem taze hem de kuru fasulye ıslah hatlarında dayanıklılığın olmadığı, bitkilerin oluşan nekrozların çoğalması sonucu tamamen kurduğu görülmüştür. Meyvelerde ise inokulasyon noktalarında ıslaklıklar başlamış ve zamanla bu alanlar büyüyerek genişlemiştir. Kullanılan SCAR markörleri ile yapılan PCR çalışmaları sonucunda *Xap*'ye dayanıklılığın olmadığı tespit edilmiştir (Ertekin ve ark., 2021).

Erdal ve ark., (2011), yaptıkları bir çalışmada, Türkiye'de yerli ceviz çeşit ve hatlarının reaksiyonlarının ve entegre mücadele olanaklarının belirlenmesini hedeflemişlerdir. 19 farklı ticari ve yerel ceviz (*Juglans regia*) çeşit/hatlarının *Xaj*'ye karşı duyarlılıkları araştırılmıştır. Testlenen ticari ceviz çeşitlerinden Chandler, Hartley ve yerel çeşitlerden Şebin, meyve ve fidan testlerinde *Xaj*'ye yüksek düzeyde duyarlılık göstermiştir. Testlenen ticari çeşitlerden Franquette ve Pedro ise ceviz bakteriyel yanıklığı etmeni *Xaj*'ye karşı yüksek oranda tolerans göstermiştir.

Türkiye'de, önceki bazı araştırma sonuçlarına göre, fasulye çeşitleri *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (*Xap*)'ın neden olduğu adi bakteriyel yaprak yanıklığı (CBB) hastalığına karşı dayanıklı bulunmamıştır (Benlioğlu vd., 1994). Ancak, daha sonradan yapılan bir çalışmada, Dursun vd. (2002), Türkiye'nin farklı bölgelerinden 22 fasulye genotipini toplayarak bunları bir yıl boyunca sera koşullarında *Xap* suşuna karşı direnç açısından taramış ve bir genotipi (AG-7117) CBB'ye karşı dirençli bulmuştur. Bu çalışma, Türkiye'de *Xap*'a karşı ortak fasulye hatlarındaki ilk direnç kaynağı raporudur. Daha sonra, Dönmez vd. (2013), 38 fasulye

genotipini sera ve tarla denemelerinde *Xap*'a karşı dayanıklılık bakımından taramışlardır. Test edilen genotipler arasında sadece bir genotip (36K) patojene karşı dirençli bulunmuştur.

Akbaş (2005), Doğu Anadolu bölgesinde üretilen fasulye çeşit ve genotiplerini *Xap*'a karşı test etmiştir. Sonuç olarak 36K genotipinin patojene karşı dayanıklı olduğu, Yakutiye-98 ve Kantar-05 çeşitlerinin ise bu patojene hassas olduğu bulunmuştur.

Biyolojik Mücadele

Bitki hastalıkları ile mücadelede kültürel önlemlerin her zaman istenilen sonucu vermemesi, kimyasal mücadelede ise kullanılan pestisitlerin çevreye verdiği zararlar farklı mücadele yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur. Bu çerçevede biyolojik mücadele, bitki hastalıkları ile mücadelede iyi bir seçenek olarak düşünülmektedir (Akköprü, 2012). Biyokontrol yaklaşımları, bağımsız olarak tek kullanılabilecek önlemler olabileceği gibi pestisit veya dayanıklı çeşitlerin kullanımı ile birlikte gerçekleştirilebilecek entegre yaklaşımlarda önemli bir rol oynayabilmektedir (Jensen ve ark., 2016). Biyokontrol elemanlarının sürdürülebilir, güvenli ve etkili bir tarım sistemi geliştirilmesinde biyopestisit olarak kullanılmasının yanında biyogübre olarak değerlendirilme potansiyeli de büyüktür (Afzal ve ark., 2019). Bitki hastalıklarının biyolojik kontrolü, genellikle bir bakteri, fungus, virüs veya bunların bir karışımını içeren biyokontrol elemanlarının bitkiye veya toprağa uygulanmasıyla hastalığın önlenmesidir (O'Brien ve ark., 2017). Biyolojik kontrol elemanları, antibiyosiz, yer ve besinler için rekabet, parazitizm, ekstrasellüler proteinlerin üretimi (hücre duvarını parçalayan enzimler gibi) ve patojenite faktörlerinin degradasyonu gibi doğrudan veya bitki savunma cevaplarının indüklenmesi gibi dolaylı etki mekanizmalarını kullanarak patojen popülasyonlarının çoğalmasını sınırlandırabilir ve bitkileri hastalıklardan kaynaklanan zararlardan korur (Jensen ve ark., 2016).

Al-Dahmani ve ark., (2003) tarafından hastalıklara karşı kompost, uçucu yağ gibi alternatif yaklaşımlara ek olarak bakteriofajlar, doğada doğal olarak bulunan nonpatojenik bakteriler ve PGPR'lar gibi biyokontrol elemanları üzerine yoğunlaşmıştır.

Bazı bitkilerinin sulu ekstraktlarının antibakteriyel etkileri *X. axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı *in vitro* ve *in vivo* denemelerle araştırılmıştır. Sulu okaliptüs ve sarımsak ekstraktlarının *in vivo* koşullarda hastalığın tohum kökenli inokulumunu azaltmada çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Okaliptüs ekstraktının en iyi tohum uygulaması olduğu, tohum uygulaması olarak sulu okaliptüs ekstraktının, domates ve biber fidelerindeki hastalık gelişimini tamamen engellediği tespit edilmiştir. Hastalık oluşumu domates ve biber fidelerinde sırasıyla % 95 ve %86 oranında filtrasyon ile sterilize edilen sarımsak ekstraktıyla azaltılmıştır. Benzer şekilde, domates ve biber fidelerindeki hastalık şiddeti sarımsak ve okaliptüs ekstraktlarıyla % 77 ve %96 arasındaki oranlarda azaltılmıştır (Mirik ve Aysan, 2005).

Mirik (2005), biberde bakteriyel leke hastalığı ile çalışmış ve hastalık etmeni olan *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı bitki büyüme düzenleyici rizobakterlerin biyolojik kontrol olanaklarını araştırmıştır.

Uygulamalar sonunda hastalık şiddetinin % 65 oranında azaldığı ve değişen oranlarda bitki büyümesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada; *X. axonopodis* pv. *vesicatoria*'a karşı *Bacillus* izolatları ile biyolojik mücadele olanakları araştırılmıştır. Sera ve tarlada yetiştirilen biber rizosferinden alınan toprak örneklerinden izole edilen üç *Bacillus* izolatı test çalışmasında kullanılmıştır. Üç *Bacillus* izolatının tek başına ve onların kombinasyonlarıyla inokule edilen biber bitkilerinde sırasıyla sera koşulları ve tarla denemelerinde hastalık gelişimini %11-%62 ve %38-%67 oranlarında azalttığı belirlenmiştir (Mirik ve ark., 2008b).

Altundağ ve Aslım (2011) tarafından yapılan çalışmada *Origanum minutiflorum*, *Sideritis erytrantha* subsp. *erytrantha*, *Satureja wiedemanniana*, *Salvia tchihatcheffii* ve *Thymus sipyleus* subsp. *sipyleus* bitkilerinden elde edilen uçucu yağların *Xanthomonas vesicatoria*'ya karşı antibakteriyel özelliği belirlenmiştir. Uçucu yağlar 4-43 mm arasında değişkenlik gösteren engelleme zonları oluşturmuşlardır. *O. minutiflorum* yağının en düşük engelleme konsantrasyonu (MIC) değeri 200 µg/ml olup, hastalık şiddeti engelleme oranı %81.25 olarak belirlenmiştir.

Dadaşoğlu ve ark., (2016) tarafından yürütülen *Saturaje* ve *Origanum* türlerinin hem uçucu yağlarının hem de ekstraktlarının *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı antibakteriyel aktivitelerinin belirlenmesi çalışmasında bu bitkilerden elde edilen uçucu yağların oluşturduğu inhibisyon zonu 29-42 mm olarak tespit edilmiş olup aynı bitkilerden hazırlanan ekstraktların ise 0-20 mm inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir.

Dönmez ve ark., (2022) tarafından *X. phaseoli* pv. *phaseoli* ve *X. citri* subsp. *fuscans*'a karşı farklı *Satureja* türlerinden elde edilen uçucu yağların antibakteriyel etkileri test edilmiştir. Uçucu yağların, her iki hastalık etmeninin bakteri suşlarının *in vitro* şartlarda büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiği ve *S. cuneifolia* ve *S. spicigera* uçucu yağlarının ise patojen gelişimlerini %100 engellediği tespit edilmiştir.

Ünlü ve Aysan (2016) PGPR bakterileri ile Sardunya bitkisinde *X. axonopodis* pv. *pelargonii*'nin biyolojik mücadele olanaklarını araştırmışlardır. PGPR izolatları kök uygulaması olarak bitkilere verildiğinde iki izolatın yaprak enfeksiyonlarını %88-100 oranında engellediği tespit edilmiştir. Bir izolat ise gövde enfeksiyonlarında hastalık şiddetini % 63 oranında engellemiştir.

Yörük ve Mirik (2021) 109 adet aday antagonist bakteri izolatının *in vitro* şartlarda ikili kültür testlerinde, *X. arboricola* pv. *juglandis*'i baskılama yeteneklerini araştırmışlardır. Seksen izolat farklı boyutlarda engelleme alanı oluşturmuş olup 37 izolat gelişimi tamamen baskılamıştır.

Fındık bakteriyel yanıklık hastalığı etmeni *X. arboricola* pv. *corylina*'ya karşı antibakteriyel aktivite için 314 potansiyel biyoajan bakteri izolatı test edilmiştir. Bu izolatlardan 47'si Petri denemelerinde etkili olarak bulunmuştur. En etkili 5 biyoajan bakteri izolatı (*Bacillus* spp.) %73.3 ile %80 arasında patojenden kaynaklı zararı engellemiştir (Gutierrez ve Kotan, 2023).

Bakteriyofajlar

Bakteriyofajlar, genellikle yüksek konukçu özgülüğüne sahip bakteriyel virüslerdir. 20. yüzyılın başlarında keşfedilmelerinden kısa bir süre sonra, bu virüslerin antimikrobiyal ajanlar olarak potansiyel kullanımları önerilmiştir. Ümit verici olsa da, farklı ortamlardaki kararlılık durumları ve UV radyasyonuna duyarlılıkları dahil olmak üzere sahada bakteriyofaj uygulaması için sınırlayıcı faktörler vardır (Timilsina ve ark., 2020).

Yeni Zelanda'da Romero ve ark., (2012) tarafından *Xaj* bakterilerinin viral bakteriyofajlarla enfekte olabilme potansiyeli üzerine yapılan çalışmada fillosfer ve rizosfer ekosistemlerini temsil eden 326 bitki materyali örneğinden 26 *Xaj* faj izole edilmiştir. Sonuçlar, Podoviridae ve Siphoviridae familyalarına ait bakteriyofajların *Xaj* patojenini kontrol ettiğini göstermiştir.

Macaristan'da Dömötör et al. (2016), topraktan, hava dokularından ve *Xaj* ile enfekte olmuş cevizlerden 24 faj izole etmiş, laboratuvar testlerinde *Xaj* üzerinde iki tane polivalent bakteriyofajın litik etki gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Civerolo (1973) yaptığı bir çalışmada, litik faj kokteylinin ham lizatlarını (Xp3-A ve Xp3-I) şeftali fidelerinin yapraklarına sera koşullarında *Xanthomonas pruni* enfeksiyonundan 1-2 saat önce uygulamıştır. Yalnızca %6-%8'lik bir kısım yaprak enfekte olmuştur. Hastalık, kontrol bitkilerinde kaydedilen %96'lık enfeksiyona kıyasla önemli ölçüde %17-31 oranında azalmıştır.

Üç fajdan (ϕ 16, ϕ 17A, ϕ 31) oluşan saflaştırılmış bir faj kokteylinin sprey uygulaması, Welsh soğanlarının bakteriyel yaprak yanıklığının etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*'nin büyümesini engellemede başarısız olmuştur. Kokteyl uygulaması, soğan yapraklarındaki enfeksiyonu %43,3'e düşürürken, ϕ 31 içeren monofaj faj tedavisi, aşılama 9 gün sonra tedavi edilmemiş, enfekte kontrol yapraklarıyla karşılaştırıldığında enfeksiyonu %67,5 oranından %26,6'ya düşürmüştür. Phage ϕ 31 en geniş spektruma sahip olarak bulunmuş ve 12 *Xanthomonas axonopodis* pv *allii* suşundan 12'sini lize etmiştir (Nga ve ark., 2021).

Nagai ve ark., (2017) yaptıkları bir çalışmada, patojenik olmayan *Xanthomonas* suşu (npX, AXCB1201) ve fajın (pXS, XcpSFC211) kombinasyonunu *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*'in aşılmasından önce brokoli bitkileri üzerine püskürtmüşlerdir. NpX-pXS karışımı, hastalık şiddetini %18,9'a düşürmüştür. Bu oran tek başına pXS ile %86,2 ve sera ortamlarındaki kontrol bitkilerinde %93,7 olarak belirlenmiştir. Saha denemeleri, sera deneylerinden elde edilen sonuçlara göre daha düşük olsa da, hastalık şiddetinde bir azalma olduğunu göstermiştir. NpX-pXS karışımı belirtileri kontrol bitkilerindeki %98'e veya bakırla muamele edilmiş bitkilerdeki %86'ya kıyasla %74 oranında azaltmıştır.

Biyofilm bozulması bakteriyel patojenisitenin kontrolü için gereklidir. Faj X3, çeltikte bakteriyel yanıklığa neden olan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*'nin neden olduğu ekzopolisakkarit üretiminin %53 oranında bozulmasına ve %43 oranında biyofilm bozulmasına neden olmuştur. Faj X3, patojen inokülasyonundan önce çeltik bitkisi yapraklarına ve tohumlarına uygulandığında, bitkiler %83,1 ve %95,4 oranında iyileşme göstermiştir. Faj X3, patojen inokülasyonundan sonra uygulandığında iyi performans göstermemiştir ve sonuçlar %28,9 ile %73,9 etki arasında kaydedilmiştir (Ogunyemi ve ark., 2019).

Xanthomonas axonopodis pv. *citri*'ye patojen olan XacF1 faj enfeksiyonu, hastalığı şiddetlendiren hücre dışı polisakkaritin bir bileşeni olan xantan üretimini engellemiştir. XacF1 fajı ile uygulama yapılan yapraklardaki lezyonların genişliği, uygulama yapılmayan yapraklardaki lezyonlara kıyasla 6,5 mm'den 1 mm'ye düşmüştür. Bu nedenle XacF1 fajının neden olduğu xantan üretimindeki azalma hastalık şiddetini azaltmıştır (Ahmad ve ark., 2014).

Kimyasal Mücadele

Yüzyılı aşkın bir süredir bakır ve bakır bazlı antimikrobiyal bileşikler *Xanthomonas* türlerinin neden olduğu hastalıklara karşı ana kimyasal kontrol ajanları olarak kullanılmaktadır. Bakır uygulamaları sahada yaygın olarak kullanılmaktadır ve bakteriyel hastalıkları kontrol etmek için hala en etkili araç olarak kabul edilmektedir (Timilsina ve ark., 2020).

Ülkemizde Adana ve Osmaniye illerinde biber ve domatesten izole edilen 67 *X. axonopodis* pv. *vesicatoria* izolatlarının tümünün 100 µg/ml bakır sülfata dayanıklı olduğu belirlenmiştir (Mirik ve ark., 2007).

Yapılan bir çalışmada sanayi domatesinde ekonomik kayıplara neden olan bakteriyel leke hastalığına karşı çevre dostu bazı preparatlardan oluşan farklı ilaçlama programlarının pratikte etkinliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Tarla denemelerinde ilaçlama programları ve çiftçi koşulları hastalığı önlemede yeterli olamamıştır. *In vivo* testlerinde ise programların koruyucu ve tedavi edici etkileri araştırılmıştır. En başarılı koruyucu etki uygulaması ortalama %64 etki ile (23% monoglukonat, galakturonat ve bakır), SiO₂ 200 ml etkili maddelerinin uygulandığı bitkilerde tespit edilmiştir. Tedavi uygulamalarında ise, SiO₂ 100 ml'lik dozu ve 62.82 g L bakır sülfat pentahidrat etkili maddelerin uygulanması %82 etki oluşturmuştur (Yüce ve ark., 2020).

Alberto çeşidi kuru fasulye üzerinde CBB (*Xap*) hastalığına karşı farklı bakırlı preparatların etkinliği araştırılmıştır. Elde edilen istatistiki verilere göre, en etkili bakırlı preparat %42,59–%47,25 etkililik oranlarıyla bakıroksiklorür uygulaması olarak tespit edilmiş, bakır sülfat pentahidrat ise %7,69–%12,96 oranları ile en düşük etkiye sahip olmuştur (Balçık ve Baştaş, 2021).

Kimyasal mücadele yönteminde bakırlı preparatların kullanımı ceviz yanıklığı hastalığı (*Xaj*) dahil birçok bakteriyel hastalığı kontrol etmeyi başarmıştır (Akat ve Özaktan 2013).

Silisyum dioksit (SiO₂) ve bazı endofit bakterilerin tekli ve ikili inokulasyonlarının fasulyede *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*'nin (*Xap*) neden olduğu adi yaprak yanıklığına ve bitki gelişimine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, uygulanan 30 mM SiO₂'in %41 düzeyinde hastalığı kontrol ettiği belirlenmiştir. Ayrıca SiO₂ ve *Pseudomonas caspiana* V30G2 izolatının birlikte kullanımının hastalık gelişimini %52 oranında baskıladığı ve bitki gelişimine pozitif etkileri olduğu tespit edilmiştir (Çelik, 2021).

Dikmen (2018), Ege Üniversitesi bakteriyoloji laboratuvarında *in vitro* koşullarda stoklarında bulunan *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* izolatlarının virülenslik seviyelerini ve bakıra dayanıklılık durumlarını araştırmış, bakıra en tolerant bulunan *Xaj* izolatlarının 0,8 mM ve 1 mM MIC (Minimum İnhibitör Konsantrasyonu) değerlerini, en duyarlı bulunanların ise 0,1 mM MIC değerlerini aldıklarını belirlemiştir. Ayrıca bakıra tolerans gösteren *Xaj* izolatlarının aynı zamanda virülensliklerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç

Tarımsal üretimi ve verimliliği etkileyen en önemli biyotik faktörler arasında fungal, bakteriyel ve viral etmenlerden kaynaklı hastalıklar yer almaktadır. Bitki bakteri hastalıkları, dünya genelinde tarımsal ürünlerde ciddi kayıplara neden olan önemli bir hastalık grubunu oluşturmaktadır. Tarımsal üretimde hastalık oluşturan en önemli bakteriyel etmenlerden birisi de *Xanthomonas* cinsidir. *Xanthomonas* cinsi ekonomik açıdan önemli birçok ürün de dahil olmak üzere, yüzlerce bitkide hastalığa neden olan büyük bir Gram-negatif bakteri cinsidir. Bazı türler xantan zamkı ismi verilen ve yenilebilen bir polisakkarit üretir. Patojenisite ile ilgili özelliklerinin yanı sıra xantan, ticari olarak üretilen ve koyulaştırıcı madde olarak kullanılabilen önemli bir bileşendir. Xantan ticari olarak büyük ölçekte fermantasyon yoluyla üretilir ve endüstride, özellikle gıda, temizlik malzemeleri, eczacılık ve petrol ve doğal gaz sondajlarında bir bileşen olarak kullanılmaktadır.

İlk *Xanthomonas* raporundan bu yana, konukçu bitkilerde *Xanthomonas* türlerinin neden olduğu hastalıklara katkıda bulunan faktörleri açıklayan kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür. *Xanthomonas*'ın ekolojisini, epidemiyolojisini ve hastalık yapma mekanizmalarını anlamaya yönelik çalışmalar, nihayetinde bitki hastalıkları ile mücadele amacı taşımaktadır.

Xanthomonas cinsi ile ilgili son zamanlarda Dünyada yapılan çalışmalara bakıldığında, virülenslik faktörlerinin aydınlatılması, teşhis ve mücadele olanaklarının artırılmasına yönelik çalışmaların ön plana çıktığı görülmektedir. Ülkemizdeki durum Dünyada yapılan çalışmalara nispeten paralellik göstermektedir. *Xanthomonas* virülenslik faktörlerinin aktivitesinin altında yatan moleküler mekanizmalara ilişkin ayrıntılı çalışmalara rağmen; bu mekanizmaların aydınlatılmasına yönelik henüz cevaplanmamış pek çok soru bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, *Xanthomonas* doku özgüllüğünün anlaşılmasını ve bitki kaynaklı sinyallerin algılanmasını, konukçu dokuya giriş tercihlerini, RNA bağlayıcı proteinler ve küçük RNA'ları içeren virülenslikle ilişkili düzenleyici sistemlerin aydınlatılmasını içermektedir.

Xanthomonas türlerinin neden olduğu hastalıkların mücadelesinde, özellikle biyolojik mücadele çalışmalarının son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) ve endofitik bakterilerin *Xanthomonas* ile mücadelede etkili oldukları görülmektedir. Özellikle *Bacillus* ve *Pseudomonas* cinsine ait bakteriler, bu cinsin farklı türlerine karşı potansiyel biyolojik mücadele ajanları olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, mikroorganizmaların *Xanthomonas*'ın kontrolünde büyük potansiyele sahip olduğu ve ticari uygulamalar için büyük ilgi gördüğü söylenebilir.

Bir *Xanthomonas* türü patojeninin tespiti ve tanımlanması, genellikle diğer fitopatojen bakterilerde olduğu gibi, bakterinin izole edilmesi ve kültüre alınması, biyokimyasal testlere tabi tutulması gibi uzun ve maliyetli çalışmaları gerektirmektedir. Moleküler yöntemlerin analitik özgüllüğü ve analitik duyarlılığı, bu nedenle zaman alıcı ve karmaşık izolasyon/kültür sürecini atlamayı sağlayabilir. Moleküler yöntemlerdeki gelişmelere paralel olarak teşhis çalışmalarında da yenilikçi yöntemlerin uygulandığı görülebilmektedir. Moleküler yöntemlerdeki yenilikçi yaklaşımlar *Xanthomonas*'ların tespiti, tanımlanması ve çeşitlilik çalışmalarına önemli bir değişiklik getirmiş ve genel olarak daha güvenilir hastalık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yol açmıştır.

Son yıllarda geliştirilen genom tabanlı tanı protokolleri daha da iyileştirilebilir durumdadır. Tüm genom dizileri ve tüm ilgili *Xanthomonas* türlerine ait suşların pan-genomik analizleri, farklı patojenlerin tanımlanması için yeni belirteçlerin tespitini kolaylaştırabilir. Bu belirteçler tür düzeyinde olduğu kadar, alt türler ve patovarlar ve ırklar için de işaretleyiciler olabilir. Patojen bakterilerin yüksek verimli tespiti ve miktarlarının ölçülmesi için gelişmekte olan sistemler, hız, duyarlılık ve kullanım kolaylığı ile karakterize edilmektedir. Artan sayıda Yüksek Verimli Dizileme (High-Throughput Sequencing (HTS)) çalışmaları, beklenmedik örneklerde *Xanthomonas* 'ların varlığının altını çizerek cinsin daha geniş ekolojik önemine işaret etmektedir.

Bu derleme çalışmasında, *Xanthomonas* cinsinin önemi, *Xanthomonas* türlerinin genel olarak tanımı, biyolojisi, taksonomisi, epidemiyolojisi, hastalık yapma mekanizmaları, konukçu patojen ilişkileri, tanı yöntemleri, mücadele olanakları ve *Xanthomonas* cinsine dahil olan önemli tür ve patovarlar tanımlanmıştır.

Teşekkür

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar çalışmaya ortak katkı sağlamış ve yazarlar arasında her hangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abdulai, M., Basım, H., Basım, E., Baki, D. ve Öztürk, N. 2018. Detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, the causal agent of cassava bacterial blight diseases in cassava (*Manihot esculenta*) in Ghana by polymerase chain reaction. *European Journal of Plant Pathology*, 150: 471-484.
- Afzal, I., Shinwari, Z. K., Sikandar, S. and Shahzad, S. 2019. Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbial Research Journal*, 221: 36-49.
- Agrios, N.G. 2005. *Plant Pathology 5th edition*. Elsevier Academic Press, USA, 952p.
- Ahmad, A. A., Askora, A., Kawasaki, T., Fujie, M. and Yamada, T. 2014. The filamentous phage XacF1 causes loss of virulence in *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, the causative agent of citrus canker disease. *Frontiers in Microbiology*, 5: 321.
- Akat, S. 2013. Ceviz Meyvelerinde Uç Yanıklığı Hastalığının Etiyolojisi ve Kimyasal Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akbaş, D. 2005. Bazı Fasulye (*Phaseolus* L.) Çeşitlerinde *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* ve *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*'ye Dayanıklılığının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akın, M. ve Aygün, A. 2021. Determining the tolerance of various Turkish hazelnut cultivars (*Coryllus avellane* L.) against *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(2): 211-216.

- Akköprü, A. 2012. Hıyar Bakteriyel Köşeli Yaprak Leke Hastalığının (*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*) Bazı Kök Bakterileriyle Biyolojik Savaşımı Üzerine Araştırmalar. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aksoy, H. 2007. Samsun ili bafra ilçesi'nde beyaz baş lahanada siyah damar çürüklük etmeni *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* [(Pammel 1895) Dowson 1939]'nin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(3): 297-300.
- Aksoy, H.M. ve Kara, C. 2012. Secretion systems in plant pathogenic bacteria. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 27(1): 48-54.
- Aksoy, H. M., Öztürk, M. ve Tufan, S. 2018. First report on *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* causing bacterial black rot disease of cauliflower in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 100(1): 141-141.
- Al-Dahmani, J. H., Abbasi, P. A., Miller, S. A. and Hoitink, H. A. J. 2003. Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions. *Plant Disease*, 87(8): 913-919.
- Altundağ, Ş. ve Aslim, B. 2011. Effect of some endemic plants essential oils on bacterial spot of tomato. *Journal of Plant Pathology*, 93: 37-41.
- Alvarez, A. 2001. Serological techniques. Ed.: Schaad, N.W., Jones, J.B., Chun, W., eds. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria St. Paul, Minnesota, USA, 338-339.
- An, S. Q., Potnis, N., Dow, M., Vorhölter, F. J., He, Y. Q., Becker, A., Teper, D., Li, Y., Wang, N., Bleris, L. and Tang, J. L. 2020. Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*. *FEMS Microbiology Reviews*, 44(1): 1-32.
- Anonim, 2023a. Forestry images: Bacterial spot (Genus *Xanthomonas*), <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5508965>, (Erişim Tarihi: 11.08.2023).
- Anonim, 2023b. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature. Search. <https://lpsn.dsmz.de/search?word=xanthomonas>, (Erişim Tarihi: 28. 05. 2023).
- Anonim, 2023c. Michigan State University. Bacterial leaf spot on hydrangea https://www.canr.msu.edu/news/bacterial_leaf_spot_on_hydrangea, (Erişim Tarihi: 13. 07. 2023).
- Anonim, 2023d. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Plant Quarantine, https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2_list, (Erişim Tarihi: 08. 08. 2023).
- Anonim, 2023e. Wikipedia. *Xanthomonas*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Xanthomonas>, (Erişim tarihi: 29.08.2023).
- Anonim, 2024a. European and Mediterranean Plant Protection Organization. *Xanthomonas oryzae*, <https://download.ceris.purdue.edu/file/1506>, (Erişim tarihi: 05.03.2024).
- Bafandeh, N., Rahimian, H., Jouzani, G. S. and Alidadi, A. 2019. Characterization of the bacteria associated with alder angular leaf spot in Iran. *Australasian Plant Pathology*, 48: 573-581.
- Balçık, M. ve Baştaş, K. K. 2021. Fasulye bakteriyel adi yanıklık hastalığına karşı farklı bakırlı bileşiklerin etkililiği. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(9): 1735-1743.

- Bansal, K., Kaur, A., Midha, S., Kumar, S., Korpole, S. and Patil, P. B. 2021. *Xanthomonas sontii* sp. nov., a non-pathogenic bacterium isolated from healthy basmati rice (*Oryza sativa*) seeds from India. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 114(11): 1935-1947.
- Barak, J.D., Koike, S.T. and Gilbertson, R.L. 2002. Movement of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in the stems of lettuce and seed contamination. *Plant Pathology*, 51: 506-12.
- Basım, E. 1998. Pulsed-Field Jel Elektroforez yöntemi ile domates ve biberde yaprak lekeli etmeni (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*)'nın genom büyüklüğünün saptanması ve fiziksel haritasının oluşturulması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baştaş, K. K., Altınparmak, S. ve Boyraz, N. 2011. Researches on determination of *Xanthomonas translucens*, the causal agent of bacterial leaf streak of wheat on widely sown seeds. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 25(1): 105-114.
- Baştaş, K. K. ve Şahin, F. 2017. Evaluation of seedborne bacterial pathogens on common bean cultivars grown in central Anatolia region, Turkey, *European Journal of Plant Pathology*, 147 (2): 239-253.
- Belete, T. ve Baştaş, K. K. 2017. Common bacterial blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) of beans with special focus on Ethiopian condition. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 8(3): 403-413.
- Bellanger, N., Dereeper, A. and Koebnik, R. 2022. Clustered regularly interspaced short palindromic repeats in *Xanthomonas citri*—witnesses to a global expansion of a bacterial pathogen over time. *Microorganisms*, 10(9): 1715.
- Benlioğlu, K., Özakman, M. ve Önceler, Z. 1994. Bacterial blight of beans in Turkey and resistance to halo blight and common blight. 9th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, Kuşadası, Aydın, 547-550.
- Bergey, D. H. and Holt, J.G. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Baltimore, 437p.
- Bouzar, H., Jones, J. B., Stall, R. E., Hodge, N. C., Minsavage, G. V., Benedict, A. A. and Alvarez, A. M. 1994. Physiological, chemical, serological, and pathogenic analyses of a worldwide collection of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* strains. *Phytopathology*, 84(7): 663-671.
- Bragard, G. and Verhoyen, M. 1993. Monoclonal antibodies specific for *Xanthomonas campestris* bacteria pathogenic on wheat and other small grains, in comparison with polyclonal antisera. *Journal of Phytopathology*, 139(3): 217-228.
- Bragard, C., Singer, E., Alizadeh, A., Vauterin, L., Maraite, H. and Swings, J. 1997. *Xanthomonas translucens* from small grains: Diversity and Phytopathological Relavance. *The American Phytopathological Society*, 87(11): 1111-1117.
- Bulgarelli, D., Garrido-Oter, R., Münch, P. C., Weiman, A., Dröge, J., Pan, Y. and Schulze-Lefert, P. 2015. Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley. *Cell Host & Microbe*, 17(3): 392-403.

- Bull, C.T., de Boer, S.H., Denny, P., Firrao, G., Fischer-Le Saux, M., Saddler, G.S., Scortichini, M., Stead, D.E. and Takikawa, Y. 2008. Demystifying the nomenclature of bacterial plant pathogens. *Journal of Plant Pathology*, 90: 403-417.
- Büttner, D. and Yang, S.H. 2009. Type III protein secretion in plant pathogenic bacteria. *Plant Physiology*, 150(4): 1656-1664.
- Catara, V., Cubero, J., Pothier, J. F., Bosis, E., Bragard, C., Đermić, E. and Costa, J. 2021. Trends in molecular diagnosis and diversity studies for phytosanitary regulated *Xanthomonas*. *Microorganisms*, 9(4): 862.
- Cerutti, A., Jauneau, A., Auriac, M. C., Lauber, E., Martinez, Y., Chiarenza, S. and Noël, L. D. 2017. Immunity at cauliflower hydathodes controls systemic infection by *Xanthomonas campestris* pv *campestris*. *Plant Physiology*, 174(2): 700-716.
- Chase, A. R., Stall, R. E., Hodge, N. C. and Jones, J. B. 1992. Characterization of *Xanthomonas campestris* strains from aroids using physiological, pathological, and fatty acid analyses. *Phytopathology*, 82(7): 754-759.
- Christiano, R. S. C., Dalla Pria, M., Jesus Junior, W. C., Amorim, L. and Bergamin Filho, A. 2009. Modelling the progress of Asiatic citrus canker on Tahiti lime in relation to temperature and leaf wetness. *European Journal of Plant Pathology*, 124: 1-7.
- Civerolo, E. L. 1973. Relationship of *Xanthomonas pruni* bacteriophages to bacterial spot disease in Prunus. *Phytopathology*, 63(10): 1279.
- Cook, A.A., Walker, J.C. and Larson, R.H. 1952. Studies on the disease cycle of black rot of crucifers. *Phytopathology*, 42:162-167.
- Çelik, R. 2021. Silisyum Dioksit ve Bazı Endofit Bakterilerin Fasulyede Adi Yaprak Yanıklığı Hastalığına (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Bitki Koruma Ana Bilim Dalı.
- Dadaşoğlu, F., Kotan, R., Çakır, A., Karagöz, K., Dikbaş, N., Özer, H. ve Çakmakçı, R. 2016. Use of essential oils and extracts from *Satureja* and *Origanum* species as seed disinfectants against *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* (Doidge) Dye. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 5989-5998.
- Demir, G. ve Üstün, N. 1992. Studies on bacterial streak disease (*Xanthomonas campestris* pv. *translucens* (Jones et al.) Dye.) of wheat and other *Gramineae*. *Journal of Turkish Phytopathology*, 21(1): 33-40.
- Dikmen, E. 2018. Ceviz bakteriyel yanıklığı etmeni *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* izolatlarının virulenslik ve bakıra dayanıklılık açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı.
- Doidge, E.M. 1921. A tomato canker. *Annals of Applied Biology*, 7: 407-430.
- Dow, J. M., Crossman, L., Findlay, K., He, Y.Q., Feng, J.X. and Tang, J.L. 2003. Biofilm dispersal in *Xanthomonas campestris* is controlled by cell-cell signaling and is required for full virulence to plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(19): 10995-11000.

- Dömötör, D., Frank, T., Rákhely, G., Doffkay, Z., Schneider, G. and Kovács, T. 2016. Comparative analysis of two bacteriophages of *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*. *Infection, Genetics and Evolution*, 43: 371-377.
- Dönmez, M. F., Şahin, F. ve Elkoca, E. 2013. Identification of bean genotypes from Turkey resistance to common bacterial blight and halo blight diseases. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 12 (4): 139-151.
- Dönmez, Y. F., Uysal, Ş. B. ve Usanmaz, B. A. 2022. Antibacterial activity of plant essential oils obtained from *Satureja* species against *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas citri* subsp. *fuscans*. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1): 91-103.
- Dubrow, Z. E. and Bogdanove, A. J. 2021. Genomic insights advance the fight against black rot of crucifers. *Journal of General Plant Pathology*, 87: 127-136.
- Dursun, A., Dönmez, M. F. ve Şahin, F. 2002. Identification of resistance to common bacterial blight disease on bean genotypes grown in Turkey, *European Journal of Plant Pathology*, 108 (8): 811-813.
- Duveiller, E., and Bragard, C. 1992. Comparison of immunofluorescence and two assays for detection of *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa* in seeds of small grains. *Plant Disease*, 76(10): 999-1003.
- Dye, D. W. and Lelliott, R. A. 1974. Genus II. *Xanthomonas*. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 1: 243-249.
- Dye, D., Bradbury, J., Goto, M., Hayward, A.C., Lelliott, R.A. and Schroth, M.N. 1980. International standards for naming pathovars of phytopathogenic bacteria and a list of pathovar names and pathotype strains. *Annual Review of Phytopathology*, 59(4): 153-168.
- Ecevit, O., Özman, S.K., Hatat, G., Okay, A.N., Kaya, A. ve Mennan, S. 1996. Karadeniz bölgesinde önemli fındık çeşitlerinin zararlı hastalıklara karşı duyarlılıklarının belirlenmesi. Fındık ve Diğer Sert Kabuklu Meyveler Sempozyumu, OMÜ. Ziraat Fakültesi, Samsun, p:77-93.
- Egel, D.S., Graham, J.H. and Stall, R.E. 1991. Genomic relatedness of *Xanthomonas campestris* strains causing diseases of Citrus. *Applied and Environmental Microbiology*, 57: 2724-2730.
- Egli, T. and Schmidt, D. 1982. Pathogenic variation among the causal agent of bacterial wilt of forage grasses. *Phytopathologische Zeitschrift*, 104(2): 138-50.
- Erdal, M. ve Özaktan, H. 2011. Batı Anadolu'da Ceviz Bakteriyel Yanıklığı Etmeni *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*'in Tanısı ve Entegre Mücadele Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı.
- Ertekin, D. Ç., Çalış, Ö. ve Yanar, Y. 2021. Orta Karadeniz Bölgesi'nde *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* ve *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*'nin izolasyonu ve tanılanması. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(1): 25-32.
- Fahy, P. C. and Persley, G. J. 1983. *Plant Bacterial Diseases. A Diagnostic Guide*, Sydney, 393p.

- Fargier, E., Fischer-Le, S. M. and Manceau, C. 2011. A multilocus sequence analysis of *Xanthomonas campestris* reveals a complex structure within crucifer-attacking pathovars of this species. *Systematic and Applied Microbiology*, 34(2): 156-165.
- Flávia, M. D.S.C., Lázara, P.C.C. and Rui, P. L. J. 2005. Genetic diversity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* based on plasmid profile and pulsed-field gel electrophoresis. *Genetics and Molecular Biology*, 28(3): 446-451.
- García-Ochoa, F., Castro, E. G. and Santos, V. E. 2000. Oxygen transfer and uptake rates during xanthan gum production. *Enzyme and Microbial Technology*, 27(9): 680-690.
- Garita-Cambroner, J., Palacio-Bielsa, A. and Cubero, J. 2018. *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, causal agent of bacterial spot of stone fruits and almond: its genomic and phenotypic characteristics in the *X. arboricola* species context. *Molecular Plant Pathology*, 19(9): 2053-2065.
- Gedük, A., Bastas, K. K. ve Yılmaz, F. 2020. Fasulye bakteriyel adi yaprak yanıklığı hastalığına karşı farklı bor bileşiklerinin etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8: 226-233.
- Gitaitis, R.D., Chang, C.J., Sijam, K. and Dowler, C.C. 1991. A differential medium for semiselective isolation of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* and other cellulolytic *Xanthomonas* from various natural sources. *Plant Disease*, 75: 1274-1278.
- Goto, M. 1992. *Fundamentals of Bacterial Plant Pathology*. Academic Press, USA, 342p.
- Gurunathan, S., Umashankar, V., Murugesan, S. and Dharmotharan, R. 2014. 16s rDNA based molecular identification of Bacteriocin-like inhibitory substance (BLIS/BIS) producing indigenous phytopathogenic bacteria isolated from various diseased plant materials. *International Journal Current Science*, 11: 105-119.
- Gutierrez, J. L. R. ve Kotan, R. 2023. Fındık bakteriyel yanıklık hastalığının [*Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* (Miller et al.) Vauterin et al.] bakteriyel biyoajanlar kullanılarak mücadele imkânlarının araştırılması. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 14(1): 1-19.
- Hampton, R., Ball, E. M. and Boer, S. D. 1990. *Serological methods for detection and identification of viral and bacterial plant pathogens*. A laboratory manual, London, 389p.
- Hayward, A.C. 1993. The hosts of *Xanthomonas*. Ed.: Swings, J.G., Civerolo, E.L., Chapman & Hall, London, United Kingdom, pp:1-119.
- Icoz, S.M., Polat, I., Sulu, G., Yılmaz, M., Ünlü, A., Soylu, S., Bozkurt, I.A. ve Baysal, O. 2014. First report of bacterial blight of pomegranate caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* in Turkey. *Plant Disease*, 98: 427.
- Jacques, M. A., Arlat, M., Boulanger, A., Boureau, T., Carrère, S., Cesbron, S. and Vernière, C. 2016. Using ecology, physiology, and genomics to understand host specificity in *Xanthomonas*. *Annual Review of Phytopathology*, 54: 163-187.

- Janse, J. D., Derks, J. H. J., Spit, B. E. and Van Der Tuin, W. R. 1992. Classification of fluorescent soft rot *Pseudomonas* bacteria, including *P. marginalis* strains, using whole cell fatty acid analysis. *Systematic and Applied Microbiology*, 15(4): 538-553.
- Janse, J.D., Rossi, M.P., Gorkink, R.F.J., Derks, J.H.J., Swings, J., Janssens, D. and Scortichini, M. 2001. Bacterial leaf blight of strawberry (*Fragaria* (x) *ananassa*) caused by a pathovar of *Xanthomonas arboricola*, not similar to *Xanthomonas fragariae* Kennedy & King. Description of the causal organism as *Xanthomonas arboricola* pv. *fragariae* (pv. nov., comb. nov.). *Plant Pathology*, 50: 653-665.
- Jensen, D. F., Karlsson, M., Sarrocco, S. and Vannacci, G. 2016. Biological control using microorganisms as an alternative to disease resistance. *Plant Pathogen Resistance Biotechnology*, 341-363.
- Jibrin, M.O., Potnis, N. and Timilsina, S. 2018. Genomic inference of recombination-mediated evolution in *Xanthomonas euvesicatoria* and *X. perforans*. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(13): e00136-18.
- Jones, L. R., Johnson, A. G. and Reddy, C. S. 1917. Bacterial-blight of barley. *Journal of Agricultural Research*, 11: 625-643.
- Jones, J. B., Lacy, G. H., Bouzar, H., Stall, R. E. and Schaad, N. W. 2004. Reclassification of the *Xanthomonads* associated with bacterial spot disease of tomato and pepper. *Systematic and Applied Microbiology*, 27(6): 755-762.
- Kalındamar, Ş. 2021. Comparative genomics insight into phytopathogenic *Xanthomonas arboricola* pathovar *corylina* strains. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1): 66-71.
- Karahan, A., Altundağ, Ş., Duran, H. ve Kılınç, A. O. 2013. Karadeniz Bölgesinde Fındık Bakteriyel Yanıklığı [*Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* (Miller et al.) Vauterin et al.] hastalığının yaygınlığı üzerine araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 53(3): 159-174.
- Kıran, F. ve Osmanoğlu, Ö. 2011. Laktik asit bakterilerinin (lab) identifikasyonunda ve tiplendirmesinde kullanılan moleküler yöntemler, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1): 62-74.
- Kizheva, Y., Vancheva, P., Hristova, M. and Stoyanova, T. 2013. Identification of *Xanthomonas* strains from tomato and pepper and their sensitivity to antibiotics and copper. *Journal Agriculture Scientist*, 19(2): 80-82.
- Klement, Z., Rudolph, K. and Sands, D. C. 1990. *Methods in Phytobacteriology*. Budapest, 568p.
- Konstantinidis, K.T. and Tiedje, J.M. 2005. Genomic insights that advance the species definition for prokaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 2567-72.
- Kotan, R. 2008. Bakteriyel yaprak çizgi hastalığı (*Xanthomonas translucens* pv. *translucens*): Bitki Bakteri Hastalıkları, ed.: Saygılı, H., Şahin., F, Aysan, Y., Meta Basım, İzmir, p: 179-182.
- Lamichhane, J.R. 2014. *Xanthomonas arboricola* diseases of stone fruit, almond, and walnut trees: progress toward understanding and management. *French National Institute for Agricultural Research*, 98(12): 1600-1610.

- Leyns, F., De-Cleene, M., Swings, J.G. and De Ley, J. 1984. The host range of the genus *Xanthomonas*. *The Botanical Review*, 50: 308-356.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S.V., Machado, M.A., Toth, I., Salmond, G. and Foster, G.D. 2012. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6): 614–629.
- Martins, L., Fernandes, C., Blom, J., Dia, N. C., Pothier, J. F. and Tavares, F. 2020. *Xanthomonas euroxanthea* sp. nov., a new *xanthomonad* species including pathogenic and non-pathogenic strains of walnut. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(12): 6024.
- Meral, S.E., Bibi, S., Díaz Rodríguez, C. A., Menković, J., Bernal, A. J. and Koebnik, R. 2022. Complete Genome Sequence of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* SB80, a Race 4 Strain Isolated from White Head Cabbage in Turkey. *Microbiology Resource Announcements*, 11(3): e00022-22.
- Mirik, M. ve Aysan, Y. 2005. Effect of some plant extracts as seed treatments on bacterial spot disease of tomato and pepper. *The Journal of Turkish Phytopathology*, 34 (1-3): 9-16.
- Mirik, M., 2005. Biberde Bakteriyel Leke Etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'nın Tanılanması ve Bitki Büyüme Düzenleyici Rizobakteriler ile Biyolojik Mücadele Olanakları, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı.
- Mirik, M., Aysan, Y. ve Çınar, O. 2007. Copper-resistant strains of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* (Doidge) dye in the eastern mediterranean region of Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 89(1): 153- 154.
- Mirik, M., Aysan, Y. ve Çınar, O. 2008a. Biological control of bacterial spot disease of pepper with *Bacillus* strains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(5): 381-390.
- Mirik, M., Selcuk, F., Aysan, Y. ve Şahin, F. 2008b. First outbreak of bacterial black rot on cabbage, broccoli, and brussels sprouts caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in the Mediterranean Region of Turkey. *Plant Disease*, 92(1): 176-176.
- McDonald, J. G., and Wong, E. 2001. Use of a monoclonal antibody and genomic fingerprinting by repetitive-sequence-based polymerase chain reaction to identify *Xanthomonas populi* pathovars. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 23(1): 47-51.
- McGuire, R.G., Jones, J.B. and Sasser, M. 1986. Tween media for semiselective isolation of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* from soil and plant material. *Plant Disease*, 70: 887-891.
- Moore, L. W., Lagerstedt, H. B. and Hartmann, N. 1974. Stress predisposes young filbert trees to bacterial blight. *Phytopathology*, 64: 1537-1540.
- Morales, G., Moragrega, C., Montesinos, E. and Llorente, I. 2018. Environmental and inoculum effects on epidemiology of bacterial spot disease of stone fruits and development of a disease forecasting system. *European Journal of Plant Pathology*, 152: 635-651.

- Moreira, L.M., Almeida, N.F. and Potnis, N. 2010. Novel insights into the genomic basis of citrus canker based on the genome sequences of two strains of *Xanthomonas fuscans* subsp. *aurantifolii*. *BMC Genomics*, 11: 238.
- Moreira, L. M., Facincani, A. P., Ferreira, C. B., Ferreira, R. M., Ferro, M. I. T., Gozzo, F. C. and Soares, M. R. 2015. Chemotactic signal transduction and phosphate metabolism as adaptive strategies during citrus canker induction by *Xanthomonas citri*. *Functional & Integrative Genomics*, 15: 197-210.
- Mudgett, M.B. 2005. New insights to the function of phytopathogenic bacterial Type III effectors in plants. *Annual Review Plant Biology*, 56: 509-531.
- Nagai, H., Miyake, N., Kato, S., Maekawa, D., Inoue, Y. and Takikawa, Y. 2017. Improved control of black rot of broccoli caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* using a bacteriophage and a nonpathogenic *Xanthomonas* sp. strain. *Journal of General Plant Pathology*, 83: 373-381.
- Neidhardt, F. C., Ingraham, J. L. and Schaechter, M. 1990. Physiology of the bacterial cell: a molecular approach. *Trends in Genetics*, 7(10): 341.
- Nga, N. T. T., Tran, T. N., Holtappels, D., Kim Ngan, N. L., Hao, N. P., Vallino, M. and Jones, J. B. 2021. Phage biocontrol of bacterial leaf blight disease on welsh onion caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*. *Antibiotics*, 10(5): 517.
- Nohutçu, L., Şelem, E., Tunçtürk, R. ve Tunçtürk, M. 2021. Uçucu yağların tarımsal hastalık ve zararlılara karşı kullanımı. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 35(2): 499-523.
- O'Brien, P. A. 2017. Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 46: 293–304.
- Ogunyemi, S. O., Chen, J., Zhang, M., Wang, L. I., Masum, M. M. I., Yan, C. and Chen, J. 2019. Identification and characterization of five new OP2-related Myoviridae bacteriophages infecting different strains of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Journal of Plant Pathology*, 101: 263-273.
- Ou, S. H. 1985. *Fungus diseases-diseases of stem, leaf sheath and root. Rice diseases, 2nd edition*. The Cambrian News, Aberystwyth, 247-299.
- Özaktan, H., Uslu, A., Erdal, M. ve Akköprü, A. 2007a. Determination of Bacterial Diseases on peach in Aegean and on Walnut Western Anatolian Regions of Turkey. Diagnostic and Monitoring of Bacterial Disease of Stone Fruits and Nuts. Joint meeting of WG 1 and 2 of COAST Action 873, Angers, France.
- Özaktan, H., Erdal, M., Akkopru, A. ve Aslan, E. 2007b. Evaluation of susceptibility of some walnut cultivars to *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* by immature nut test. WG3/WG4 Joint Meeting, 2007, Murcia.
- Öztürk, M. ve Aksoy, H. M. 2018. Fasulye üretim alanlarında hastalığa neden olan *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* ve *Pseudomonas savastoni* pv. *phaseolicola*'nın izolasyonu ve tanılanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2): 105-115.
- Öztürk, M. 2023. Population characteristics of *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* strains from hazelnut orchards in Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130(2): 337-349.
- Palacioğlu, G., Tombul, S., Bayraktar, H. ve Göksel, Ö. 2021. Ülkemizde yetiştirilen önemli fasulye çeşitlerinin pas (*Uromyces appendiculatus*) ve Adi Yaprak Yanıklığı (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*)

- hastalıklarına karşı dayanıklılık kaynakları açısından değerlendirilmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(2): 222-230.
- Parkinson, N., Cowie, C., Heeney, J. and Stead, D. 2009. Phylogenetic structure of *Xanthomonas* determined by comparison of gyrB sequences. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(2): 264-274.
- Queiroz, V. L., Awan, A. T. and Tasic, L. 2016. Low-cost enzymes and their applications in bioenergy sector. *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production*, 111-131.
- Ragasová, L., Peňázová, E., Gazdík, F., Pečenka, J., Čechová, J., Pokluda, R. and Eichmeier, A. 2020. The change of bacterial spectrum after storage of *X. campestris* pv. *campestris* inoculated cabbage heads (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Agronomy*, 10(3): 443.
- Ravikumar, M.R. and Khan, A.N. 2002. Detection of *Xanthomonas vesicatoria* in tomato seeds by enzyme linked immuno sorbent assay. *Indian Journal Agricultural Research*, 36(1): 39-43.
- Reddy, C. S., Godkin, J. and Johnson, A. G. 1924. Bacterial blight of rye. *Journal of Agricultural Research*, 28: 639-640.
- Rodriguez, L., Grajalas, A. and Ortiz, M. 2012. Genome based phylogeny of the Genus *Xanthomonas*. *Biomedical Central Microbiology*, 12(1): 1-14.
- Romero, S., Jordan, B. and Heinemann, J. 2012. Isolation and characterization of bacteriophages infecting *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*, the causal agent of walnut blight disease. *World Journal Microbiol Biotechnology*, 28: 1917-1927.
- Rudolph, K. 1993. Infection of the plant by *Xanthomonas*: *Xanthomonas*, Ed.: Swings J.G., Civerolo E.L., Springer, Dordrech, pp: 193-264.
- Ryan, R., Vorhölter, F., Potnis, N., Jones, J., Van Sluys, M., Bogdanove, A. and Dow, J.M. 2011. Pathogenomics of *Xanthomonas*: understanding bacterium-plant interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 9(5): 344-355.
- Sands, D. C. and Fourrest, E. 1989. *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* in North and South America and in the Middle East 1. *EPPO Bulletin*, 19(1): 127-130.
- Sasser, M. 1990. Identification of bacteria through fatty acid analysis. Ed.: Klement, Z., Rudolph, K., Sands, D., Methods in Phytobacteriology, Budapest, Hungary, pp:199-204.
- Sawada, H., Kunugi, Y., Watauchi, K., Kudo, A. and Sato, T. 2011. Bacterial spot, a new disease of grapevine (*Vitis vinifera*) caused by *Xanthomonas arboricola*. *Japanese Journal of Phytopathology*, 77: 7-22.
- Schaad, N. W., Jones, J. B. and Chun, W. 2001. *Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria*. Minnesota, 373p.
- Schaad, N.W., Postnikova, E. and Lacy, G.H. 2006. Emended classification of *xanthomonad* pathogens on citrus. *Systematic and Applied Microbiology*, 29: 690-695.
- Sharma, A. 1999. *Xanthomonas*. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 2323–2329.

- Sharma, A., Gautam, S. and Wadhawan, S. 2014. *Xanthomonas*: *Encyclopedia of Food Microbiology*, Ed.: Batt, C.A., Tortorello, M., Academic, Amsterdam, pp: 811–817.
- Smith, E. F., Jones, L. R. and Reddy, C. S. 1919. The black chaff of wheat. *Science*, 50(1280): 48-48.
- Soylu, S., Sertkaya, E., Üremiş, İ., Bozkurt, İ. A. ve Şener, K. 2017. Hatay ili marul (*Lactuca sativa* L.) ekim alanlarında görülen önemli hastalık etmenleri, zararlı ve yabancı ot türleri ve yaygınlık durumları. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 23-33.
- Stead, D.E. 1992. Techniques for detecting and identifying plant pathogenic bacteria: Techniques for the Rapid Detection of Plant Pathogens, Ed.: Duncan, J.M., Torrance, L., Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, p: 76-111.
- Stall, R.E., Beaulieu, C. and Egel, D.S. 1994. Two genetically diverse groups of strains are included in *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 44: 47-53.
- Starr, M.P. 1983. *Phytopathogenic Bacteria*. New York, 168p.
- Stead, D. 1989. Grouping of *Xanthomonas campestris* pathovars of cereals and grasses by fatty acid profiling. *EPPO Bulletin*, 19(1): 57-68.
- Sunyar, B., Dönmez, M. F. ve Çoruh, İ. 2021. Iğdır’da domates (*Solanum lycopersicon* L.)’te hastalığa neden olan bakterilerin izolasyonu ve tanısı. *Journal of Agriculture*, 4(2): 108-129.
- Swings, J., Van Den Mooter, M., Vauterin, L., Hoste, B., Gillis, M. and Mew, T.W. 1990. Reclassification of the causal agents of bacterial blight (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) and bacterial leaf streak (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzicola*) of rice as pathovars of *Xanthomonas oryzae* (ex Isiyama 1922) sp. nov., nom. rev. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 40(3): 301-311.
- Tian, Q., Zhao, W., Lu, S., Zhu, S. and Li, S. 2016. DNA barcoding for efficient species-and pathovar-level identification of the quarantine plant pathogen *Xanthomonas*. *PLoS One*, 11(11): e0165995.
- Timilsina, S., Kara, S., Jacques, M. A., Potnis, N., Minsavage, G. V., Vallad, G. E. and Fischer-Le Saux, M. 2019. Reclassification of *Xanthomonas gardneri* (ex Šutič 1957) Jones et al. 2006 as a later heterotypic synonym of *Xanthomonas cynarae* Trébaol et al. 2000 and description of *X. cynarae* pv. *cynarae* and *X. cynarae* pv. *gardneri* based on whole genome analyses. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(2): 343-349.
- Timilsina, S., Potnis, N., Newberry, E. A., Liyanapathirana, P., Iruegas-Bocardo, F., White, F. F. and Jones, J. B. 2020. *Xanthomonas* diversity, virulence and plant–pathogen interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 18(8): 415-427.
- Ünlü, S. ve Aysan, Y. 2016. Sardunya (*Pelargonium* spp.) bakteriyel yanıklık etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *pelargonii*’nin biyolojik mücadelesi üzerine araştırmalar. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 2(1): 25-38.
- Valverde, A., Hubert, T. and Stolov, A. 2007. Assessment of genetic diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* isolates from Israel by various DNA fingerprinting techniques. *Plant Pathology*, 56: 17-25.

- Van den Mooter, M. and Swings, J. 1990. Numerical analysis of 295 phenotypic features of 266 *Xanthomonas* strains and related strains and an improved taxonomy of the genus. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 40(4): 348-369.
- Vauterin, L., Swings, J., Kersters, K., Gillis, M., Mew, T. W., Schroth, M.N., Palleroni, N.J., Hildebrand, D.C. and Stead, D.E. 1990. Towards an improved taxonomy of *Xanthomonas*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 40(3): 312-316.
- Vauterin, L., Hoste, B., Yang, P., Alvarez, A., Kersters, K. and Swings, J. 1993. Taxonomy of the genus *Xanthomonas*: *Xanthomonas*, Ed.: Swings, J. G., CiveroIo, E. L., Springer, London, pp: 157-192.
- Vauterin, L., Hoste, B., Kersters, K. and Swings, J. 1995. Reclassification of *Xanthomonas*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 45(3): 472-489.
- Vicente, J. G., Conway, J., Roberts, S. J. and Taylor, J. D. 2001. Identification and origin of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and related pathovars. *Phytopathology*, 91(5): 492-499.
- Young, J.M., Wilkie, J.P., Park, D.S. and Watson, D.R.W. 2010. New Zealand strains of plant pathogenic bacteria classified by multi-locus sequence analysis; proposal of *Xanthomonas dyei* sp. nov.. *Plant Pathology*, 59: 270-281.
- Yörük, B. ve Mirik, M. 2021. Ceviz bakteriyel yanıklık etmeni *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*'e karşı antagonist bakteriyel izolatların in vitro koşullarda biyokontrol etkinliklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 569-577.
- Yüce, H. G., Tosun, N. and Türküsay, H. 2020. Studies on efficacies of different application programmes on bacterial leaf spot (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*) and late blight (*Phytophthora infestans*) of processing tomato. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı: 61-69.
- Wakker, J.H. 1883. Vorläufige mitteilungen tiber hyacinthenkrankheiten. *Botanisches Centralblatt*, 14: 315-17.
- Wallin, J. R. 1946. Parasitism of *Xanthomonas translucens*.(JJ and R.) Dowson on grasses and cereals. *Iowa State College Journal of Science*, 20: 171-93.
- Wang, Z.K., Comstock, J.C., Hatziloukas, E. and Schaad, N.W. 1999. Comparison of PCR, BIO-PCR, DIA, ELISA and isolation on semiselective medium for detection of *Xanthomonas albilineans*, the causal agent of leaf scald of sugarcane. *Plant Pathology*, 48(2): 245-252.
- Xu, J., Zhang, Y., Zhang, P., Trivedi, P., Riera, N., Wang, Y. and Wang, N. 2018. The structure and function of the global citrus rhizosphere microbiome. *Nature Communications*, 9(1): 4894.
- Zhao, Y., Damicone, J. P. and Bender, C. L. 2002. Detection, survival, and sources of inoculum for bacterial diseases of leafy crucifers in Oklahoma. *Plant Disease*, 86(8): 883-888.
- Zillinsky, F. J. and Borlaug, N. E. 1971. Progress in developing triticale as an economic crop. *International Maize and Wheat Improvement Center*, 17: 18-21.