

Biyokontrol Yaklaşımı ile Küflerin Kontrolü

Ege DURAÇE, Dilara Nur DİKMETAS^{ID}, Funda KARBANCIOĞLU-GULER^{ID}

Istanbul Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Food Engineering Department, 34469 Maslak, İstanbul, Türkiye

Özet: Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte küresel gıda talebini karşılayabilmek amacıyla gıda üretimi de artış göstermektedir. Artan bu gıda talebi; özellikle tarımsal gıda üretimi üzerinde büyük bir baskı oluşturmakta, dolayısıyla tarım alanlarının daha verimli ve etkili biçimde kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Tarım alanlarındaki verim kayıplarını azaltmak amacıyla yakın geçmişte üzerinde en çok çalışma yürütülen konulardan birisi olan biyokontrol yaklaşımı sayesinde tarımsal gıda üretiminde gerçekleştirilen kayıpların azaltılması, böylece hem sürdürülebilir hem de gıda güvenliği açısından uygun kabul edilen üretim proseslerinin entegrasyonunun sağlanması hedeflenmektedir. Biyokontrol yaklaşımı, çeşitli mikroorganizmaların bitki patojenlerini kontrol etmek amacıyla, insan, hayvan ve bitki sağlığı üzerinde toksik etkileri görülen kimyasal pestisitler yerine kullanımını içermektedir. Bu çalışma kapsamında zirai ürünlerde küf gelişimini kontrol etmek amacıyla bakteri, küf ve mayaların kullanımı ve etki mekanizmaları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokontrol, küf, hasat sonrası, meyve, mikroorganizma.

Control of Molds with Biocontrol Approach

Abstract: With the world's population increasing day by day, food production increases in direct proportion to meet the global food demand. This demand for food generates great pressure on agricultural production, thus making it necessary to expand farm land and use it more efficiently and effectively. In order to reduce yield losses in farming areas, the biocontrol approach, one of the most studied topics in the recent past, aims to reduce losses in agricultural food production, thus ensuring the integration of production processes that are considered both sustainable and appropriate regarding food safety. Biocontrol approach refers to using various organisms to control plant pathogens instead of chemical pesticides that have toxic effects on human, animal and plant health. The substances used in this approach are called biocontrol agents. In this study, the prominent mechanisms of biocontrol agents on plant pathogens will be mentioned, and then the biocontrol agents of bacteria, mold and yeast used against molds will be emphasized.

Keywords: Biocontrol, mold, post harvest, fruit, microorganism.

Derleme

Yazışma yazarı: Funda Karbancıoğlu-Güler, **E-mail:** karbanci@itu.edu.tr

Referans: Durace, E., Dikmetas, D. N., & Karbancıoğlu-Guler, F. (2024). Biyokontrol yaklaşımı ile küflerin kontrolü, *ITU Journal of Food Science and Technology*, 2(1), 29-40.

Makale Gönderimi: 8 Ocak 2024

Online Kabul: 12 Mart 2024

Online Basım: 31 Mart 2024

1. Giriş

Geride bıraktığımız yarım yüzyıl boyunca, dünya nüfusu iki katına çıkmış olmasına rağmen gıda üretimi alanındaki ilerlemeler sayesinde aç nüfus oranında dikkate değer miktarda azalma gözlemlenmiştir (Godfray ve diğ., 2010). Bununla birlikte bugün dünyadaki her yedi ulsandan birinin yeterli beslenemediği bilinmektedir (Evans, 2009). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization - FAO) verileri incelendiğinde 2021 yılında dünyada açlıktan etkilenen insan sayısının 2019 yılındaki 250 milyon kişiden 828 milyon kişiye yükselmiş olması da bu bilgiyi destekler niteliktedir (FAO ve diğ., 2023). Ayrıca 21. yüzyılın ortasına gelindiğinde dünya nüfusunun 9 milyar kişiye ulaşacağı öngörüldüğünden küresel gıda üretiminin %70-100, tarımsal gıda üretiminin ise %50 oranında artış göstereceği belirtilmiştir (Godfray ve diğ., 2010; Raymaekers ve diğ., 2020).

Bununla birlikte artan gıda üretimi başta sürdürülebilirlik ile ilgili olmak üzere çeşitli sorunlara da yol açmaktadır. Gıda üretiminin artması; Birleşmiş Milletler'in de belirttiği üzere gezegen, hayvan sağlığı ve biyolojik çeşitlilik kavramlarının olumsuz etkilenmesine yol açmakta ve böylece sürdürülebilirlik konusundaki sorunları tetiklemektedir (Garvey, 2022). Bu alanda Birleşmiş Milletler, sürdürülebilir süreçlerin uygulanması amacıyla belirlediği Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) arasında gıda güvenliği ve iklim koşullarının korunumunu içeren sıfır açlık hedefini (SKA-2) de benimsemiştir. "Sıfır açlık" hedefi sürdürülebilir tarımsal gıda çalışmalarının önemi sebebiyle belirlenen Birleşmiş Milletlerin belirlediği 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı içinde önemli bir konuma sahiptir (Fenibo ve diğ., 2021). Kesintisiz olarak artan üretim faaliyetleri sırasında gıda üretiminin burada belirtilen hususlara göre gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

Bu bağlamda tarımsal gıda üretimi büyük önem taşımaktadır çünkü, bitkisel kaynaklar insanlara ihtiyaç duydukları kalori miktarının %90'ını ve benzer şekilde protein miktarının %80'ini sağlayabilen tek doğrudan kaynaktır (Jaiswal ve diğ., 2022). Özellikle tarımsal gıda üretimi alanında; hızla büyüyen dünya nüfusunun daha yüksek miktarda gıda ihtiyacını ve talebini beraberinde getirmesi tarımsal üretim üzerinde ciddi bir baskı oluşturmakta ve dolayısıyla açık üretim alanları ve seralara ayrılan alanların daha efektif ve verimli kullanılması konusunda yapılan yatırımların artırılması gerekliliğini doğurmaktadır. Ancak günümüz şartlarında bile tarımsal gıda üretimi için dünyadaki kara alanının yaklaşık %34'ü kullanım halindedir (Guzmán-Guzmán ve diğ., 2023; Smetana ve diğ., 2020). Artan gıda talebi ve ek tarım alanlarının sınırlı mevcudiyeti göz önüne alındığında, verimi artırmak ve kayıpları azaltmak önem kazanmaktadır (Raymaekers ve diğ., 2020). Günümüz şartlarında verim kayıplarını azaltmaya odaklanan birçok farklı çalışma yapılmaktadır. Örneğin hastalık ve zararlıların temel ürünlerden beşi (buğday, pirinç, mısır, patates ve soya fasulyesi) üzerinde küresel bağlamda %17-30 oranlarında ürün kaybına neden olması bu çalışmalara ihtiyaç nedeni olarak açıklanabilir (Savary ve diğ., 2019). Daha genel bir kapsamda değerlendirilme yapıldığında ise gerçek ürün kayıplarının tüm üretimin %40'ına kadar ulaşabildiği görülmüştür (Deutsch ve diğ., 2018). Gıda üretimindeki kayıpların tehlikeli düzeylere ulaştığı ve gıda güvenliği alanında da ciddi sorunlara yol açtığı söylenebilir (Hough ve diğ., 2022). Tarımsal ürünlerdeki önemli bozulma nedenlerinden olan fungal kaynaklı bozulmalar etkili bir şekilde kontrol edilmesinin küresel olarak artan gıda talebine önemli ölçüde katkı sağlayacağı açıktır. Bahsedilen gıda kayıplarını önlemek ve bitkilerin sağlığını korumak amacıyla kullanılan uygulamalardan ilk akla gelen kimyasal kaynaklı pestisitlerin kullanımınıdır. Kimyasal pestisitler; tarım alanlarında mahsul koruma ve verim artışını sağlama amacıyla oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Pratik uygulamalara dayalı olarak, pestisitler; insektisitler, herbisitler, fungisitler, bakterisitler, mitisitler, nematositler, mollusisitler, rodentisitler ve

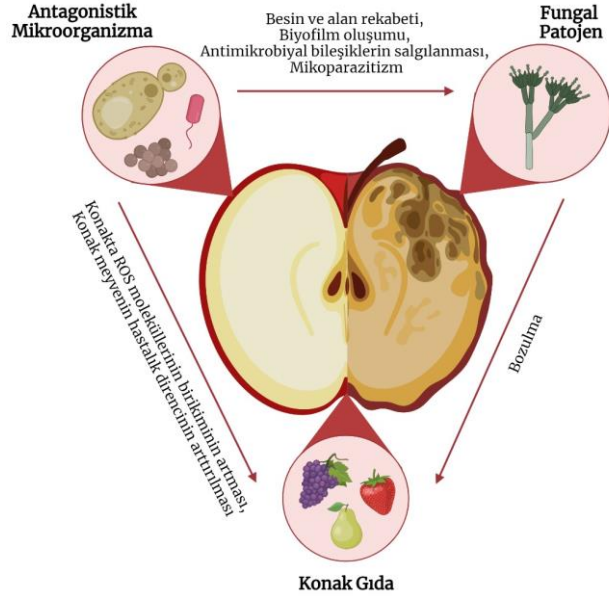
ahşap koruyucular olarak sınıflandırılmaktadırlar (Marican ve Durán-Lara, 2018). Pestisitlerin aşırı kullanımı çevre ve ekosistem üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmasının yanında aynı zamanda insan sağlığı için zararlı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Pestisitler sebebiyle çevre kirliliğinin oluşması da tüm dünyada önemli bir endişe kaynağıdır (Shaik ve diğ., 2023). Ayrıca tarımsal gıda üretimi üzerindeki olumlu etkilerine rağmen bu kimyasalların büyük bir çoğunluğu bozunmaya dirençli, çevrede birikmeye yatkın ve doğal besin zincirini bozucu özellikler taşımaktadır. Bu nedenle olması gerekenden sık, uygunsuz ve yüksek miktarlarda kullanımı; biyoçeşitlilikte azalma ve hedef organizmalarda direnç gelişmesine de sebebiyet vermektedir (Souza ve diğ., 2023). Bu süreçte hedef organizmaların mevcut pestisitlere karşı direnç kazanması sonucu uygulanan pestisit miktarının artırılması ve alternatif etki mekanizmalarına sahip kimyasal pestisitlerin kullanımı ile sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. (Bruce ve diğ., 2017). Ancak 2007 yılından beri yapılan daha sıkı yasal düzenlemeler ve kamuoyu baskısıyla pestisit kullanımı sınırlandırılmıştır (Hough ve diğ., 2022). Yasal düzenlemelere örnek olarak Avrupa Parlamento'sunun 91/414/EEC numaralı yönergesi verilebilir. Bu yönerge kapsamında 1993 ve 2011 yılları arasında piyasaya sunulması planlanan 1000 yeni üründen 750 adedinin geri çekilmesi ve yalnızca 180 tanesinin kabul edilmesi, yasal düzenlemelerin getirdiği sınırlamaların ciddiyetini kanıtlar niteliktedir (Chapman, 2014). Bu yönergeye ek olarak, etkili bir diğer uygulama ise yine Avrupa Parlamentosunun yürürlüğe soktuğu "Entegre Zararlı Yönetimi" (Integrated Pest Management) programıdır. Program, tarımsal ekosistemlerde imkanlar dahilinde mümkün olan en sağlıklı mahsullerin yetiştirilmesini ve doğal yollarla yapılan zararlı kontrolünü teşvik etmektedir (Peshin ve Zhang, 2014). Belirtilen tüm bu hususlar sebebiyle kimyasal pestisitlere alternatif olarak daha sürdürülebilir tarımsal kontrol mekanizmalarının uygulamaya alınması şart haline gelmiştir. Kimyasal pestisit kullanımı, daha yeşil alternatif zirai kontrol yöntemlerinin teşvik edilmesiyle birlikte giderek kısıtlanmaktadır. Sonuç olarak, biyokontrol ajanları gibi alternatif daha güvenli seçeneklerin uygulanmasına acil bir ihtiyaç vardır (Garvey, 2022).

Öne çıkan avantajları nedeniyle pestisitlere alternatif olarak biyokontrolün (biyolojik kontrol) kullanılması umut verici çözümlerden biridir. Biyokontrol kısaca, bitki hastalıklarını önlemek veya zararlıları kontrol etmek için doğal olarak oluşan madde veya var olan mikroorganizmaların kullanılması anlamına gelir (Raymaekers ve diğ., 2020). Biyokontrol uygulamalarında kullanılan madde ve organizmalara biyokontrol ajanları adı verilir. Uluslararası Biyokontrol Üreticileri Derneği (International Biocontrol Manufacturers Association-IBMA) biyokontrol ajanlarını makroorganizmalar, mikroorganizmalar, doğal ürünler ve böceklerin davranışları üzerinde etki sağlayan semiyokimyasallar olarak dört grupta kategorize etmiş, bu gruplardan en önemlisinin mikroorganizmalar olduğu belirtilmiştir (Vedamurthy ve diğ., 2021). Biyokontrol ajanları olarak adlandırılan organizmalar doğada yaygın olarak bulunur ve mikroorganizmalar grubunda; bakteriler, mantarlar, mayalar, virüsler ve protozoalar yer almaktadır. Kimyasal pestisitlere alternatif olarak kullanılan organizmaların kendileri ve buna ek olarak ürettikleri metabolitleri çeşitli canlılar tarafından bitkilerde oluşan hastalıkları önlemede ve bitki sağlığını yönetmede rol sahibidir (Vedamurthy ve diğ., 2021). Ancak çevresel faktörler, uygulama zamanı, mevsim, uygulama tekniği ve sıklığı gibi faktörlere bağlı olarak biyokontrol ajanının etkinliği değişkenlik gösterebilir (Thambugala ve diğ., 2020).

Bu çalışmada öncelikle biyokontrol ajanlarının bitki patojenleri üzerindeki etki mekanizmalarından, ardından günümüzde yaygın olarak biyokontrol ajanı olarak çalışılmış bakteri, küf ve mayalar ve ürün uygulamaları hakkındaki çalışmaların derlenmesi amaçlanmaktadır.

2. Biyokontrol Mekanizmaları

Biyokontrol ajanlarının bitki patojenleri üzerinde kontrol sağlayabilmesi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir. Bu mekanizmalar; doğrudan, dolaylı ve karmaşık yollu olanlar şeklinde gruplandırılmıştır. Doğrudan kontrol mekanizmaları antagonizm, mikoparazitizmi; dolaylı olanlar parazitizm, besin öğeleri ve yer için rekabeti ve konakçı bitkinin bağışıklık sisteminin indüklenmesini; karmaşık yollu olanlar ise uçucu organik bileşiklerin salgılanması, antibiyoz ve litik enzimlerin üretilmesini içerir (Şekil 1) (El-Wakeil ve diğ., 2020).



Şekil 1. Biyokontrol ajanlarının mekanizması.
Figure 1. Mechanisms of biocontrol agents.

2.1 Mikoparazitizm

Mikoparazitizm, biyokontrol ajanlarının fungal patojenin hüflerine bağlanarak hücre duvarını parçalayan enzimler salgılayarak fungal patojenlerle beslenmesi olgusunu ifade eder. Özellikle besin yetersizliği durumunda, biyokontrol ajanları patojenik hücrelerden besini absorblar ve bu hücrelerin ölümüne yol açar (Zhang ve diğ., 2020).

2.2 Antibiyoz

Antibiyoz genellikle bir biyokontrol ajanının değişken bir hedef spektrumuna sahip yayılabilir veya uçucu antibiyotik bileşiklerinin üretimi yoluyla başka bir mikroorganizmanın büyümesini engelleme veya öldürme özelliği olarak kabul edilir. En yaygın antibiyotikler doğal kökenlidir ve yıllar içinde yeni moleküller keşfedilmiştir. İnsanlar için potansiyel olarak zararlı olan mikrobiyal türlerde antibiyotik direncinin olası başlangıcıyla ilgili sorunlar nedeniyle antibiyotik üreten ajanların kullanımı hala tartışılmaktadır. Mevcut stratejiler temel olarak, bitkinin toprak üstü kısımlarında ve özellikle yenilebilir kısımlarında kullanılmak üzere antibiyotik üretmeyen ajanların seçilmesini amaçlamaktadır (Palmieri ve diğ., 2022).

2.3 Uçucu Organik Bileşiklerin Salgılanması

Uçucu organik bileşikler, bakteriler, mayalar ve küfler tarafından birincil ve ikincil metabolizmaları sırasında üretilen düşük moleküler ağırlıklı bileşiklerdir. Uçucu organik bileşiklerin üretimi türe özgüdür ve hücreler arasında kimyasal bir iletişim sinyali, karbon salınım mekanizması ve mikrobiyal gelişimin destekleyicisi veya inhibitörü olarak işlev görürler. Biyokontrol ajanı olarak kullanılan mikroorganizmalar

tarafından üretilenler birçok bitki patojenini inhibe etme kapasitesine sahiptir (Contarino ve diğ., 2019).

2.4 Besin Öğeleri ve Yer için Rekabet

Hem bitki patojenleri hem de biyokontrol ajanları çoğalmak için besin ve alana ihtiyaç duyar. Bu nedenle, besin ve alan için rekabet, antagonistik mayaların patojenleri baskıladığı birincil mekanizma olarak kabul edilmiştir. Çoğu biyokontrol ajanı hasarlı meyvenin yüzeyiyle temas ettiğinde, hasarlı dokuyu işgal ederek besin maddelerini hızla tüketmektedir. Bundan sonra, bitki patojenlerini kontrol etmek için diğer etki mekanizmaları iş birliği içinde devreye girmektedir (Zhang ve diğ., 2020).

2.5 Litik Enzimlerin Üretimi

Biyokontrol ajanlarının fitopatogenlere karşı antagonistik en önemli mekanizmalarından biri, fungus hücre duvarının farklı bölgelerine etki ederek hücre lizisine ve ölümüne neden olan glukanaazlar, kitinaazlar ve proteazlar gibi litik enzimlerin üretilmesidir (Hernandez-Montiel ve diğ., 2021).

2.6 Konakçı Bitkinin Bağışıklık Sisteminin İndüklenmesi

Antagonistik mikroorganizmalar bitkilerde direnci indükleyebilir ve böylece geniş bir bitki patojeni spektrumuna karşı sistemik direnç sağlayabilir. Patojenik olmayan mikroorganizmaların uygulanmasıyla önceden uyarılan bitkilerde biyotik ve abiyotik hastalıklar ve hatta bazı durumlarda böcekler ve nematodların neden olduğu zararlar azaltılabilir. Bitki savunması, patojenik ve patojenik olmayan mikroorganizmalar tarafından mikroorganizmayla ilişkili moleküler yapılar veya bazı doğal veya sentetik kimyasal bileşiklerle indüklenebilir. Patojenik olmayan mikroorganizmalar bitkilerde sistemik direnci indükleyebilir, bu da bitkilerin birden fazla bitki patojenine karşı savunma kapasitelerini artırabilir (El-Wakeil ve diğ., 2020).

3. Antifungal Biyokontrol Ajanları

3.1 Bakteriler

Biyokontrol ajanları içinde en yaygın olarak kullanılanı bakterilerdir. Hedeflerinin çoğu böcekler olmakla birlikte; çeşitli bakteri ve küf türleri gibi birçok patojenin inhibisyonunu da sağlamaktadır. *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Stenotrophomonas*, *Streptomyces* ve *Xanthomonas*, *Azospirillum*, *Flavobacterium*, *Pantoea* bakterilerinin biyokontrol ajanı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu bakteriler; bitki patojenlerinin gelişimini sınırlandırmak amacıyla birden fazla mekanizmayı uygulayarak çoklu etki sağlayabilmektedir. Bu mekanizmalar enfeksiyon bölgelerinin kolonizasyonu, patojenin rekabete dayalı olarak dışlanması, antibiyotikler veya hücre duvarı litik enzimleri gibi oldukça aktif antimikrobialer salgılanmasına dayalı antagonistik aktivite artışı ve bitki direncinin indüklenmesi olarak sıralanabilir (Bonaterra ve diğ., 2022). Tablo 1' de biyokontrol ajanı olarak bakterilerin küf gelişimini kontrolü ve ürün uygulama çalışmaları özetlenmiştir.

3.1.1 *Bacillus* spp.

Bacillus türleri, biyopestisit olarak en çok kullanılan bakteriler arasındadır. Toprak ve bitki yüzeyleri gibi çeşitli habitatlarda yaygın olarak bulunurlar ve olumsuz çevre koşullarına dirençli endospor oluşturma yeteneğine sahiptirler. Çeşitli fungal bitki patojenlerine karşı antagonizma geliştirebilirler. *Bacillus* spp.'nin en dikkat çekici özelliği, antimikrobiyal aktiviteye sahip, yüzey aktif ve bitki savunma yanıtının

indüksiyonunda yer alan metabolitler dahil olmak üzere tarımsal uygulamalar için değerli çeşitli biyoaktif bileşikler üretme yeteneğidir (Bonaterra ve diğ., 2022).

Bacillus türlerinin biyokontrol uygulamalarındaki en öne çıkan özellikleri bitkilerde fitopatogenlerin gelişimini kitinaz ve beta-1,3 glukanaaz salgılayarak inhibe etmeleri, bitki gelişimini teşvik etmeleri, toprakta yer alan besleyici öğelerin bitkiler tarafından kullanımına uygunluğunu arttırmaları, toprağın mikrobiyal

çeşitliliğini olumlu yönde değiştirmeleri, biyotik ve abiyotik strese karşı bitkilere direnç kazandırmaları ve hasat sonrası kaliteyi arttırmalarıdır. Biyokontrol uygulamalarında en yaygın şekilde kullanılan *Bacillus* türlerine örnek olarak *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus velezensis* ve *Bacillus amyloliquefaciens* sayılabilir (Islam ve diğ., 2016; Wang ve diğ., 2022).

Tablo 1. Mikroorganizmaların antifungal ajan olarak kullanımı.
Table 1. The use of microorganism as antifungal agent.

Antagonistik Mikroorganizma	Uygulama Alanı	Hedef Küf	Referans
Bakteri			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> BAF1	Karpuz	<i>Fusarium incarnatum</i>	Liu ve diğ., 2023
<i>Bacillus velezensis</i> YW17	Ginseng	<i>Fusarium oxysporum</i>	Wei ve diğ., 2023
<i>Bacillus mojavensis</i> YLRY0310	Elma	<i>Penicillium expansum</i>	Ding ve diğ., 2023
<i>Bacillus subtilis</i> HS93	Biber	<i>Phytophthora capsici</i>	Chen ve diğ., 2020.08.03.2024 13:44:00
<i>Bacillus subtilis</i> CL2	Fıstık	<i>Aspergillus flavus</i>	Ling ve diğ., 2022
<i>Bacillus velezensis</i> OEE1	Armut	<i>Erwinia amylovora</i>	Medhioub ve diğ., 2022
<i>Bacillus velezensis</i> QSE21	Elma	<i>Botrytis cinerea</i>	Xu ve diğ., 2021
<i>Pseudomonas</i> sp. 4L	Mısır	<i>Fusarium oxysporum</i>	Chavéz-Díaz ve diğ., 2022
<i>Pseudomonas</i> sp. 11L	Mısır	<i>Fusarium sambucinum</i>	Chavéz-Díaz ve diğ., 2022
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> ZL3	Kiraz	<i>Botrytis cinerea</i>	Wang ve diğ., 2021
<i>Pseudomonas poae</i> JSU-Y1	Elma	<i>Penicillium expansum</i>	Ren ve diğ., 2021
<i>Pseudomonas fluorescens</i> VUPF506	Patates	<i>Rhizoctonia solani</i>	Fathi ve diğ., 2021
<i>Pseudomonas fluorescens</i> ZX	Turunçgiller	<i>Penicillium italicum</i>	Wang ve diğ., 2021
<i>Lactobacillus plantarum</i> 17215	Tahıl Çeşitleri	<i>Aspergillus niger</i>	Quattrini ve diğ., 2018
<i>Lactobacillus plantarum</i> 17215	Tahıl Çeşitleri	<i>Aspergillus flavus</i>	Quattrini ve diğ., 2018
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Mısır	<i>Fusarium verticillioides</i>	Kharazian ve diğ., 2017
<i>Lactobacillus paralimentaris</i>	Mısır	<i>Penicillium aphani</i>	Kharazian ve diğ., 2017
<i>Lactobacillus plantarum</i> CKXP13	Turunçgiller	<i>Penicillium digitatum</i>	Chen ve diğ., 2021
<i>Lactobacillus mesenteroides</i> T3Y6b	Tahıl Çeşitleri	<i>Fusarium proliferatum</i>	Mateo ve diğ., 2023
<i>Pediococcus pentosaceus</i> M9MM5b	Tahıl Çeşitleri	<i>Fusarium verticillioides</i>	Mateo ve diğ., 2023
<i>Streptomyces</i> sp. M4	Yaprak Yüzeyleri	<i>Alternaria brassicicola</i>	Sharma ve diğ., 2020
<i>Streptomyces</i> sp. CX3	Yaban Mersini	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	Wang ve diğ., 2022
<i>Streptomyces</i> sp. HSL-9B	Mango	<i>Collectotrichum gloeosporioides</i>	Zhou ve diğ., 2022
<i>Streptomyces</i> sp. H4	Çilek	<i>Colletotrichum fragariae</i>	Li ve diğ., 2021
Küf			
<i>Trichoderma harzianum</i> Tha739	Elma	<i>Collectotrichum gloeosporioides</i>	Zhang ve diğ., 2022
<i>Trichoderma harzianum</i> 3636	Fıstık	<i>Fusarium solani</i> RC386	Erazo ve diğ., 2021
<i>Trichoderma koningii</i> MTCC796	Pamuk	<i>Rhizoctonia solani</i>	Gajera ve diğ., 2016
<i>Trichoderma viride</i> NBAlI	Pamuk	<i>Rhizoctonia solani</i>	Gajera ve diğ., 2016
<i>Trichoderma atrovide</i> T17	Turunçgiller	<i>Guignardia citricarpa</i>	Lima ve diğ., 2016
<i>Trichoderma asperellum</i>	Elma	<i>Alternaria</i> spp.	Matas-Baca ve diğ., 2022
Maya			
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ACB-K1	Turunçgiller	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Lopes ve diğ., 2015
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0159	Kahve Çekirdekleri	<i>Aspergillus carbonarius</i>	Neves ve diğ., 2021
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> GA-8	Üzüm	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Liu ve diğ., 2018
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ACB-K1	Turunçgiller	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Lopes ve diğ., 2015
<i>Candida oleophila</i> I-182	Kivi	<i>Botrytis cinerea</i>	Li ve diğ., 2023
<i>Candida oleophila</i> I-182	Kivi	<i>Penicillium expansum</i>	Li ve diğ., 2023
<i>Candida oleophila</i> P-316	Armut	<i>Alternaria alternata</i>	Nie ve diğ., 2019
<i>Aureobasidium pullulans</i> L-1	Şeftali	<i>Monilinia laxa</i>	Di Francesco ve diğ., 2017
<i>Aureobasidium pullulans</i> ACBL-77	Turunçgiller	<i>Geotrichum citri-aurantii</i>	Klein ve Kupper, 2018
<i>Aureobasidium pullulans</i> S-2	Domates	<i>Alternaria</i> sp.	Shi ve diğ., 2022
<i>Metschnikowia pulcherrima</i> MP-30	Elma	<i>Botrytis cinerea</i>	Fernandez-San Millan ve diğ., 2021
<i>Metschnikowia fructicola</i>	Elma	<i>Alternaria</i> spp.	Biasi ve diğ., 2021
<i>Metschnikowia</i> spp.	Limon	<i>Penicillium</i> spp.	Oztekin ve Karbancıoğlu- Guler, 2021

3.1.2 *Pseudomonas* spp.

Biyokontrol ajanı olarak kullanılan bir başka bakteri cinsi ise *Pseudomonas*'dır. *Pseudomonas* türlerinin bitki hastalıklarını azaltmadaki verimliliğini ve güçlü bir biyokontrol ajanı olarak kabul edilmesini sağlayan çeşitli özellikleri vardır. Bu özellikler; yüksek ekolojik uyumluluk ve adapte olabilmek kapasitesi, bazı

bitki patojenlerine karşı güçlü antagonistik etkiler gösterebilme yeteneği ve bitkilerin bağışıklık sistemini indükleyici gücü ile ilgilidir (Belgium ve Höfte, 2021). *Pseudomonas* türlerini iyi bir biyokontrol ajanı yapan nitelikleri; hızlı çoğalma kapasitesi sayesinde ticari kullanım amacıyla laboratuvarında hızlı ve yüksek miktarlarda üretilmesi, bitkilerin kökleri ve

üzzerlerinde kolayca gelişip çoğalabilmesi, antibiyotikler gibi biyoaktif bileşikler üretme kapasitesine sahip olması, ortamdaki besinler için hedef organizmalar ile rekabet edebilmesi, çevresel baskılara hızlı ve kolay adapte olabilmesi ve son olarak yerleştiği bölgede hızla çoğalarak varlık gösterebilmesi şeklinde sıralanabilir (Panpatte., 2016; Weller ve diğ., 2002). Biyokontrol ajanı olarak genellikle fungusit olarak kullanılırlar (Bonaterra ve diğ., 2022). Bu cinse mensup olan bakterilerden günümüzde biyokontrol uygulamalarında en yaygın olarak tercih edilenleri; *Pseudomonas protegens*, *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas corrugata*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas koreensis*, *Pseudomonas mandelii*, *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas aeruginosa*'dır (Belgium ve Höfte, 2021).

3.1.3 Laktik asit bakterileri

Lactococcus lactis, *Lactobacillus rhamnosus* GG, *Lactobacillus plantarum* ECGC, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus fermentum* gibi laktik asit bakterileri ABD Gıda ve İlaç İdaresine GRAS statüsünde tanımlandığından ve aynı zamanda Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından yayınlanan Nitelikli Güvenlik Karinesi (Qualified Presumption of Safety -QPS) listesinde yer aldıklarından dolayı güçlü biyokontrol ajanı adayı olarak kabul edilmekte ve birçok meyve ve sebze türünde kullanılabilir (Trias ve diğ., 2008). Laktik asit bakterilerinin biyokontrol ajanı olarak kullanılma potansiyeli bir veya daha fazla ikincil metabolit üretimlerinden kaynaklanmaktadır. İçerdiği organik asitlere (laktik, asetik, formik, propiyonik asitler gibi) ek olarak ortamın pH'sını düşürerek de etkileri artar. Diğer etken maddeler arasında yağ asitleri, asetoin, hidrojen peroksit, diasetil, antifungal bileşikler (propionat, fenil-laktat, hidroksifenil-laktat, döngüsel dipeptidler ve 3-hidroksi yağ asitleri), bakterisitler (nisin, reuterin, reuterisiklin, pediosin, laktisin, enterosin ve diğerleri) ve bakterisit benzeri inhibitör maddeler (BLIS) bulunur (Favaro ve diğ., 2015).

3.1.4 *Streptomyces* spp.

Streptomyces spp., bitki patojenlerini inhibe eden biyoaktif bileşikler ürettikleri için en çok araştırılan bakterilerdendir ve çeşitli bakteriyel ve fungal bitki hastalıklarının kontrolünde etkilidir. Bu metabolitlere örnek olarak makrolid benzokuinonlar, aminoglikozidler, polienler ve nükleosidler bulunur. *Streptomyces* suşları ayrıca fungal hücre duvarı parçalanmasında etkili olan ekstraselüler enzimler üretme yetenekleriyle de bilinir (Bonaterra ve diğ., 2022). Günümüzde en çok öne çıkan *Streptomyces* türleri *Streptomyces lydicus*, *Streptomyces griseoviridis*, *Streptomyces avermitilis* ve *Streptomyces chatnoogensis* olarak sayılabilir (Devi ve diğ., 2022).

3.2. Küfler

Bitki hastalıklarını kontrol etme amacıyla derinlemesine araştırılan mikroorganizmalar arasında küfler de bulunmaktadır. Küflerin biyokontrol ajanı olarak yaygın kullanıma sahip olmaları, biyokontrol uygulamalarında kullanılan izolatların ortam koşullarında oluşum miktarını arttırmalarını sağlayan metabolik aktiviteleri, hedef organizmaları baskılamadaki etkinlik seviyeleri ve çevresel açıdan güvenli sayılabilmelerinden kaynaklanmaktadır (Baron ve diğ., 2019).

Bitki patojenlerine karşı yüksek gelişme hızı ve kısa jenerasyon süreleri nedeniyle küflerin uygulama potansiyeli önemli derecede artmıştır (Thambugala ve diğ., 2020). Birçok küf türü, bitkileri patojenik fungusların neden olduğu hastalıklardan etkili bir şekilde korumalarına izin veren mekanizmalara sahiptir. Karşılaşılan çoğu durumda

patojenlerin kontrolü, küfler ve bitkiler arasında var olan doğrudan iletişimi içerir. Bu durumlarda küfler çeşitli antibiyotikler ve amonyak, siyanür, alkol, ester, keton gibi uçucu bileşenler üreterek, çevredeki mineral kaynakları için rekabet oluşturarak, mikoparazitizm uygulayarak ve bitkilerin kendi sistemik direncini indükleyerek patojenlere karşı antagonizm oluştururlar (Gohel ve diğ., 2022). Ayrıca buna ek olarak konakçının yokluğunda, parazitik modlarını saprotrofizme çevirerek çevrede hayatta kalabilirler ve böylece sürdürülebilirliği sağlarlar (Asad, 2022). Thambugala ve diğ. (2020), günümüzde fungusit olarak en yaygın kullanıma sahip fungal biyokontrol ajanlarına örnek olarak *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp., *Ampelomyces quisqualis*, *Coniothyrium minitans*, *Ulocladium oudemansii*yi göstermektedir.

Trichoderma türleri uzun zamandır bitki hastalıklarına sebebiyet veren küflere karşı kullanılan antagonistik bir biyokontrol ajanıdır. Tropikal ve ılıman iklim koşullarına sahip bölgelerdeki toprakların mikrobiyal popülasyonunun önemli bir kısmını oluşturan, kendi içerisinde çok fazla tür barındıran bir cins olma özelliğine de sahiptir (El-Wakeil ve diğ., 2020). *Trichoderma* cinsine mensup olan küfler, bitki patojenlerine karşı faaliyetleri nedeniyle en çok çalışılan küf cinsidir. Bu cinsin üyeleri hızlı büyüme gösterir ve doğadaki başlıca rolleri birincil ayrıştırıcıdır. Ayrıca *Trichoderma* türleri, antibiyotik ve çeşitli enzimler üretme yetenekleri ve biyokontrol ajanları olarak potansiyelleri nedeniyle çalışmaların hedefi olmuş ve ticari olarak kullanılmıştır. Bu küfler, bitki direncini indükleyerek veya antagonist, mikoparazit veya rapik olarak doğrudan patojene karşı hareket ederek fitopatojenik mantarların büyümesini engelleyebilmektedir (Baron ve diğ., 2019). *Trichoderma* spp. bulunduğu ortamda genellikle *Rhizoctonia*, *Penicillium*, *Endothia*, *Helminthosporium*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Pythium* gibi küfleri inhibe eder (Asad, 2022). Yaklaşık olarak 20 farklı *Trichoderma* türü toprak kaynaklı patojenlere karşı biyokontrol ajanı olarak kullanılabilir. *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma pseudokoningii*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma hamatum* ve *Trichoderma polysporum* biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılan en yaygın türlerdir (Gohel ve diğ., 2022).

Trichoderma spp.'ye ek olarak küflere karşı *Gliocladium* spp., *Ampelomyces quisqualis*, *Coniothyrium minitans*, *Ulocladium oudemansii* gibi fungusit biyokontrol ajanları da mevcuttur. Yapılan bir çalışmada *Gliocladium* türlerinden *Gliocladium virens*'in ağaç köklerinde çürümeye neden olan *Chaetomium globosum* ve *Chaetomium cupreum* küflerinin biyokontrolü amacıyla kullanılabilirliği ifade edilmiştir (Vanshree ve diğ., 2022). Bir başka çalışmada ise *Ampelomyces quisqualis* CPA-9 suşunun kabak bitkisi yapraklarının ve çiçek tomurcuklarının alt yüzeylerinde beyaz renkli un benzeri görünüşlü bir tabaka oluşturan *Podosphaera fuliginea*'ya karşı etkili bir koruma sağlayabildiği kanıtlanmıştır (Carbó ve diğ., 2020).

Ayrıca *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. gibi küflerin de biyokontrol amaçlarıyla kullanımları mümkündür (Thambugala ve diğ., 2020). Bunlarla ilgili yakın geçmişte yürütülen farklı çalışmalar vardır ve bu bağlamda yapılan araştırmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır (Bennett ve diğ., 2023). *Fusarium verticillioides*'in atoksijenik bir suşu olan 302-A6, mısırdaki yüksek miktarda fumonisin üreticisi *Fusarium verticillioides* suşlarının gelişmesi ve fumonisin üretimine etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda atoksijenik suşun toksijenik suşların ortamdaki miktarında ve fumonisin birikiminde azalmaya neden olduğu belirlenmiş ve bu suşun biyokontrol potansiyeli kanıtlanmıştır. Benzer olarak aflatoksin üreticisi olmayan *Aspergillus flavus*'un aflatoksin üreticisi diğer suşlara karşı antagonistik etki gösterdiği de rapor edilmiştir (Alaniz Zanon ve diğ., 2016).

3.3. Mayalar

Mayalar, çoğu tek hücreli olan ve tomurcuklanma yoluyla çoğalan bir grup ökaryotik fungustur. Biyokontrol uygulamalarında kullanılan mayalar, diğer isimleriyle antagonistik mayalar, özellikle küfler olmak üzere bitki patojenlerinin, gelişmesini, üremesini veya aktivitesini engelleyebilen veya bunlara müdahale edebilen maya veya maya benzeri yapıya sahip olan fungusları ifade eder (Zhang ve diğ., 2020). Antagonistik bir mayanın sahip olması gereken özellikler; genetik olarak kararlı olma, basit beslenme gereksinimlerine sahip olma ve kolayca çoğaltılabilme, düşük konsantrasyonlarda bile birden fazla farklı bitki patojenine karşı etkili kontrol sağlayabilme, konakçı organizmalara karşı patojenik özellik göstermeme, çevre ve insan sağlığına zararlı olmama olarak sıralanabilir (Hernandez-Montiel ve diğ., 2021). Antagonistik mayalara biyokontrol kapasitesi sağlayan mekanizmalar, genel anlamda biyokontrol ajanlarının sahip olduğu birçok farklı mekanizmayı içermektedir (Freimoser ve diğ., 2019). Bunlar, besin öğeleri ve yer için patojen organizmalarla rekabet etme; bitkilerin bağışıklık sistemlerini çeşitli patojenlere karşı indüklemeye; kitinaz, glukanaaz ve lipaz gibi enzimler salgılayarak hedef patojenleri degradasyona uğratma; çeşitli patojenler üzerinde etkili olan bazı toksinleri üretme; uçucu organik bileşikler üreterek bu sayede patojenlerin aktivitelerini inhibe edebilme ve nadir görülmesine rağmen mikoparazit özellik gösterme olarak sıralanabilir (Freimoser ve diğ., 2019). Antagonistik maya cinslerinden *Candida*, *Metschnikowia*, *Aureobasidium*, *Saccharomyces*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Rhodotorula* ve *Kloeckera*'nın birincil olarak küfler ve çeşitli başka patojenlere karşı etkili olduğu rapor edilmiştir. Bu mikroorganizmalardan *Candida oleophila*, *Candida sake*, *Metschnikowia fructicola*, *Aureobasidium pullulans*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Cryptococcus albidus* günümüzde ticari amaçlarla kullanılmaktadır (Zhang ve diğ., 2020). Antagonistik mayalar genellikle elma, şeftali, çilek, üzüm, mango ve turuncgillerde *Botrytis*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Rhizopus* spp. gibi fungal patojenlere karşı kullanılırlar (Hernandez-Montiel ve diğ., 2021). Biyokontrol ajanı olarak kullanılabilen antagonistik maya çalışmaları Tablo 1 'de özetlenmiştir.

3.3.1. *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae; uzun yıllardır gıda sektöründe bira yapımında, hem içilebilir hem de endüstriyel alkol üretiminde, şarap ve ekmek yapımında ve ayrıca tedavi amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Mayalar içinde tartışmasız en çok üzerinde çalışma gerçekleştirilen tür olma özelliği taşır. Üzerinde bu kadar fazla miktarda çalışma gerçekleştirilmesinin sebebi olarak ökaryotik hücrelere ilişkin temel araştırmalar için önemli bir model sistem olmasından kaynaklanmaktadır (Shi ve diğ., 2022). Gıda sektöründeki kullanım alanlarına ek olarak *Saccharomyces cerevisiae*, çeşitli küf yapısındaki bitki patojenlerine karşı önemli bir biyokontrol ajanı olduğu da yapılan çalışmalarla belirtilmiştir (Di Canito ve diğ., 2021). Lopes ve diğ., (2015)'nin *Saccharomyces cerevisiae*'nin küflere karşı biyokontrol ajanı olarak kullanılmasını sağlayan mekanizmaları antifungal bileşikler salgılama, ortamdaki besin öğeleri için rekabet etme, glukanaaz ve kitinaz gibi litik enzimler salgılayarak ortamdaki küfleri ve toksinlerini inhibe etme kapasitesi olarak sıralanmıştır.

3.3.2. *Candida oleophila*

Antagonistik mayalar arasında *Candida oleophila*'nın elma, kivi, greylift, muz, papaya ve armut gibi birçok meyve bünyesinde küflerin aktiviteleri sonucu gerçekleşen çürümeye

karşı oldukça etkili bir biyokontrol ajanı olduğu bildirilmiştir (Li ve diğ., 2023; Sui ve diğ., 2020). Bu türün biyokontrol yeteneğini test etme amacıyla yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğu *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Penicillium expansum* ve *Diaporthe* türleri üzerinedir (Gao ve diğ., 2021). Biyokontrol ajanı olarak kullanılan bu mayanın mekanizmasında öne çıkanlar yer ve besin öğeleri için rekabet, süper oksit anyon üretimi, mikoparazitizm, inhibe edici antifungal bileşiklerin salgılanması ve glukanaaz gibi litik enzimleri salgılama yeteneği olarak sıralanabilir (Droby ve diğ., 2002; Pu ve diğ., 2014).

3.3.3. *Aureobasidium pullulans*

Aureobasidium pullulans, karasal ve sucül birçok farklı habitatta doğal olarak bulunan ve küf kaynaklı bitki hastalıklarına karşı biyokontrol ajanı olarak kullanılan bir fungustur (Roberti ve diğ., 2019). Diğer biyokontrol ajanlarında da olduğu gibi bu tür de küflerin biyokontrolünde antagonistik mayalarda sıklıkla görülen farklı kontrol mekanizmalarını kullanır. Belirtilen bu tür kapsamında en önemli görülen mekanizmalar, bitkinin bağışıklık sistemini patojenlere karşı indüklemeye gücü; yer ve besin öğeleri için ortamda rekabet oluşturma; termostabil antifungal bileşikler salgılama; proteaz, ekzokitinaz, glukanaaz ve benzeri litik enzimleri salgılama, uçucu hücre dışı bileşikler oluşturup ortama yayma, patojenlere karşı öldürücü etki gösteren toksinler oluşturma ve aureobasidin antibiyotisini üretme kapasitesidir (Klein ve Kupper, 2018). *Aureobasidium pullulans*'ın biyokontrol ajanı olarak genellikle turuncgiller, domates, elma, kiraz ve şeftali gibi pek çok meyvede *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum* ve *Monilinia* cinsine mensup küfleri inhibe etmek için kullanıldığı belirtilmiştir (Di Francesco ve diğ., 2017).

3.3.4. *Metschnikowia* spp.

Metschnikowia cinsi; çoğunlukla küresel olarak dağılmış filozfer ve nektar mayası türlerinden oluşur. Bu türlerin arasında biyokontrol açısından üzerinde en çok çalışma yürütülmüş olanlar *Metschnikowia fructicola* ve *Metschnikowia pulcherrima*'dır. Bu türler patojen küf kaynaklı bitki hastalıklarının hasat sonrası dönemde inhibe etme özelliği gösterir. Günümüzde tanınmış en güçlü antagonistik mayalardan ikisi *Metschnikowia fructicola* ve *Metschnikowia pulcherrima*'dır (Freimoser ve diğ., 2019). Bu cins mensup olan türlerin fungal patojenlerin inhibisyonunu sağlayan biyokontrol mekanizmaları arasında besin öğeleri ve alan için rekabet, savunma sinyalinde yer alan genlerin aşırı ekspresyonu yoluyla konakçı bitkinin bağışıklık sisteminin indüklenmesi, demir sekestrasyonu için pulcherrimin üretimi, kitinaz ve benzeri litik enzimlerin sentezi ve süper oksit anyonların üretimi en öne çıkanlardır (Zhimo ve diğ., 2021). Bu biyokontrol ajanları genellikle turuncgiller ve elmada *Alternaria*, *Aspergillus*, *Comeloclatris*, *Penicillium*, *Nigrospora* ve *Podospaera* gibi küflere karşı kullanılır (Biasi ve diğ., 2021).

4. Biyokontrol ajanlarının birlikte uygulamaları

Farklı biyokontrol ajanlarının bitki patojenlerine karşı birlikte kullanımı ve ayrıca biyokontrol ajanlarının çeşitli maddelerle veya proseslerle birlikte uygulanmaları üzerine yürütülen çalışmalar günümüzde önem kazanmaktadır. Antagonist mikroorganizmaların küf kontrolünde etkinliğini arttırmak amacıyla farklı maddelerle veya proseslerle birlikte uygulama çalışmaları yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Cheng ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, *Meyerozyma guilliermondii* ve UV-C uygulamasının kiviye *B. cinerea*'nin kontrolünde, tek başına uygulanmasından daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Başka bir çalışmada, kiviye *B. cinerea*'nin neden olduğu küflenmenin kontrolünde oligogalakturonidin ve *Candida*

oleophila birlikte uygulanmış, küf gelişimini kontrol etmesinin yanında kivide savunma enzimleri olan peroksidaz ve fenilalanin amonyak-liyazın gen ekspresyonunu ve enzim aktivitesini de indüklemiştir (Gao ve diğ., 2021). Buna ek olarak, *Hanseniaspora uvarum* ve β -aminobutirik asit kombinasyonu, her iki ajanın da tek başına uygulanmasıyla karşılaştırıldığında kivide önemli düzeyde hasat sonrası hastalık kontrolünü sağlamıştır.

Portakalda *Penicillium digitatum*'un neden olduğu yeşil küflenmenin kontrolünde fosfatidilkolin (soya fasulyesi ekstraktı) kullanılmasının *H. uvarum*'un biyokontrol etkinliğini kalite özelliklerinde bir değişime neden olmadan arttırdığı gözlemlenmiş ve portakalda hasat sonrası küflenmenin önlenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir (Li ve diğ., 2016). Üzümde *B. cinerea*'ya karşı *H. uvarum*'un tek başına veya salisilik asit veya sodium bikarbonat ile kombinasyonu çalışılmıştır. Kombine uygulama ile üzüm görünümünü, sertliğini, toplam çözünür katı miktarını ve titre edilebilir asitliğini korurken, bozulma oranını ve ağırlık kaybını önemli ölçüde azaltmıştır (Qin ve diğ., 2015).

Yapılan başka bir çalışmada ise *Pichia cecembensis* ile birlikte UV-C işlemi, kavunda *Fusarium oxysporum* ve *Alternaria alternata* kaynaklı hasat sonrası bozulmanın kontrolü amacıyla uygulanmıştır. Uygun dozajlarda UV-C uygulamasının meyve konakçılarında savunma tepkisini ortaya çıkarabildiği ve biyolojik kontrol ile sinerjistik etkiye katkıda bulunabildiği söylenebilir (Huang ve diğ., 2015). Ou ve diğ., (2016), ananasta hasat sonrası meydana gelen küf kaynaklı bozulmaların kontrolü için ise UV-C uygulamasını *Candida tropicalis* uygulaması ile entegre etmiştir. Biyokontrol etkinliğinin artırılmasına ek olarak, pektin metilesteraz, poligalakturonaz ve selülozun daha düşük aktivitelerine karşılık gelen UV-C/maya uygulamasına tabi tutulan meyvelerde, meyve sertliği daha iyi korunmuş ve meyve perikarpının hücre duvarı parçalanmasını geciktirdiği ve depolama sırasında toplam çözünür katıların ve indirgeyici şekerlerin yüksek içeriğini koruduğu gözlemlenmiştir. UV-C uygulamasının meyvede oluşan yaralarda maya gelişimini etkilemediği ifade edilmiştir. Domates meyvesinde *C. laurentii* ve UV-C kombinasyonun β -1,3-glukanaz, fenilalanin amonyak-liyaz, peroksidaz ve süperoksit dismutazın aktivitesini arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca UV-C'nin biyokontrol etkinliğini arttırmadaki mekanizmasının savunma tepkisinin ortaya çıkmasıyla ilişkili olabileceği de vurgulanmıştır. Zhang ve diğ., (2013), mandalinada *P. digitatum* kaynaklı bozulmaların kontrolü için *Hanseniaspora uvarum*, *Meyerozyma guilliermondii* ve *Metschnikowia aff. pulcherrima* P01A016'nın tek başına ve birlikte uygulanması ile etkisini incelemişlerdir. Bu üç mayanın birlikte uygulanması ile birlikte *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda en yüksek biyokontrol etkinliği gözlemlenmiş, sinerjistik etki saptanmıştır.

Bir başka çalışmada ise Canonico ve diğ. (2023), şarap üretimi sırasında biyokontrol ajanı ve aynı zamanda aroma belirginleştirici olarak *Metschnikowia pulcherrima* ile birlikte *Saccharomyces cerevisiae* suşlarının kullanımı değerlendirilmiştir. Bu araştırma kapsamında; şarap üretimi sırasında ortamda doğal olarak bulunan ve diğer suşlarla kıyaslandığında az miktarda sülfid sentezleyen *Saccharomyces cerevisiae* DİSVA 708 izolatı ile *Metschnikowia pulcherrima* DİSVA 269 analiz edilmiştir. Sonuç olarak bu iki mayanın birlikte kullanımının başarılı bir biyokontrol aktivitesi gösterdiği ve az miktarda sülfid içeren, istenen aromatik ve duyuşal özelliklere sahip ürün üretimine olanak sağladığı belirtilmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada biyokontrol ajanı olarak kullanılan mikroorganizmaların patojenik küfler üzerinde etki

mekanizmaları ve biyokontrol ajanı olarak bakterileri, küf ve maya kullanımına yönelik uygulamalar incelenmiştir. Günümüzde biyolojik kontrol uygulamaları tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan kimyasal pestisitlere karşı doğal, etkili ve sürdürülebilir bir alternatif yöntem olarak önem kazanmaktadır.

6. Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

7. Teşekkür

Şekil 1, lisanslı BIOENDER (biorender.com) programı kullanılarak çizilmiştir.

8. Kaynaklar

- Alaniz Zanon, M. S., Barros, G. G., & Chulze, S. N. (2016). Non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* as potential biocontrol agents to reduce aflatoxin contamination in peanuts harvested in Northern Argentina. *International Journal of Food Microbiology*, 231, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.016>
- Asad, S. A. (2022). Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases—A review. *Ecological Complexity*, 49, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
- Baron, N. C., Rigobelo, E. C., & Zied, D. C. (2019). Filamentous fungi in biological control: Current status and future perspectives. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(2), 307-315. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000200307>
- Bennett, J. S., Isakeit, T., Borrego, E. J., Odvody, G., Murray, S., & Kolomiets, M. V. (2023). Identification of naturally occurring atoxigenic strains of *Fusarium verticillioides* and their potential as biocontrol agents of mycotoxins and ear rot pathogens of maize. *Crop Protection*, 167, 106197. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106197>
- Biasi, A., Zhimo, V. Y., Kumar, A., Abdelfattah, A., Salim, S., Feygenberg, O., Wisniewski, M., & Droby, S. (2021). Changes in the Fungal Community Assembly of Apple Fruit Following Postharvest Application of the Yeast Biocontrol Agent *Metschnikowia fructicola*. *Horticulturae*, 7(10), 360. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100360>
- Bonaterrea, A., Badosa, E., Daranas, N., Francés, J., Roselló, G., & Montesinos, E. (2022). Bacteria as Biological Control Agents of Plant Diseases. *Microorganisms*, 10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091759>
- Bruce, T. J. A., Smart, L. E., Birch, A. N. E., Blok, V. C., MacKenzie, K., Guerrieri, E., Cascone, P., Luna, E., & Ton, J. (2017). Prospects for plant defence activators and biocontrol in IPM – Concepts and lessons learnt so far. *Crop Protection*, 97, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.003>
- Canonico, L., Agarbati, A., Galli, E., Comitini, F., & Ciani, M. (2023). *Metschnikowia pulcherrima* as biocontrol agent and wine aroma enhancer in combination with a native *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT*, 181, 114758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114758>

- Carbó, A., Torres, R., Usall, J., Ballesta, J., & Teixidó, N. (2020). Biocontrol potential of *Ampelomyces quisqualis* strain CPA-9 against powdery mildew: Conidia production in liquid medium and efficacy on zucchini leaves. *Scientia Horticulturae*, 267, 109337. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109337>
- Chapman, P. (2014). Is the regulatory regime for the registration of plant protection products in the EU potentially compromising food security? *Food and Energy Security*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.1002/fes3.45>
- Chavéz-Díaz, I. F., Cruz-Cárdenas, C. I., Sandoval-Cancino, G., Calvillo-Aguilar, F. F., Ruíz-Ramírez, S., Blanco-Camarillo, M., Rojas-Anaya, E., Ramírez-Vega, H., Arteaga-Garibay, R. I., & Zelaya-Molina, L. X. (2022). Seedling growth promotion and potential biocontrol against phytopathogenic *Fusarium* by native rhizospheric *Pseudomonas* spp. Strains from Amarillo Zamorano maize landrace. *Rhizosphere*, 24, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100601>
- Chen, C., Guo, J., Kahramanoğlu, İ., Wan, C., Gan, Z., & Chen, J. (2021). Biocontrol *Bacterium Paenibacillus brasiliensis* YS-1 Fermented Broth Enhances the Quality Attributes and Storability of Harvested "Newhall" Navel Oranges. *ACS Food Science and Technology*, 1(1), 88-95. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00038>
- Chen, K., Tian, Z., He, H., Long, C., & Jiang, F. (2020). *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. *Biological Control*, 151, 104419. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104419>
- Cheng, L., Zhou, L., Li, D., Gao, Z., Teng, J., Nie, X., Guo, F., Wang, C., Wang, X., Li, S., & Li, X. (2023). Combining the biocontrol agent *Meyerozyma guilliermondii* with UV-C treatment to manage postharvest gray mold on kiwifruit. *Biological Control*, 180, 105198. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105198>
- Contarino, R., Brighina, S., Fallico, B., Cirvilleri, G., Parafati, L., & Restuccia, C. (2019). Volatile organic compounds (VOCs) produced by biocontrol yeasts. *Food Microbiology*, 82, 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.008>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916-919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Devi, A. P., Jesumaharaja, G. L., Balasundaram, K., Sahana, N., Battacharya, P. M., Roy, A., Bandyopadhyay, S., & Khalko, S. (2022). *Streptomyces* sp.: A feasible biocontrol agent for sustainable management of crop diseases. *Içinde Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation* (ss. 377-388). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90452-0.00025-6>
- Di Canito, A., Mateo-Vargas, M. A., Mazzieri, M., Cantoral, J., Foschino, R., Cordero-Bueso, G., & Vigentini, I. (2021). The Role of Yeasts as Biocontrol Agents for Pathogenic Fungi on Postharvest Grapes: A Review. *Foods*, 10(7), 1650. <https://doi.org/10.3390/foods10071650>
- Di Francesco, A., Milella, F., Mari, M., & Roberti, R. (2017). A preliminary investigation into *Aureobasidium pullulans* as a potential biocontrol agent against *Phytophthora infestans* of tomato. *Biological Control*, 114, 144-149. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.08.010>
- Ding, Y., Liu, F., Yang, J., Fan, Y., Yu, L., Li, Z., Jiang, N., An, J., Jiao, Z., & Wang, C. (2023). Isolation and identification of *Bacillus mojavensis* YL-RY0310 and its biocontrol potential against *Penicillium expansum* and patulin in apples. *Biological Control*, 182, 105239. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105239>
- Droby, S., Vinokur, V., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goldschmidt, E. E., & Porat, R. (2002). Induction of Resistance to *Penicillium digitatum* in Grapefruit by the Yeast Biocontrol Agent *Candida oleophila*. *Phytopathology*, 92(4), 393-399. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.4.393>
- El-Wakeil, N., Saleh, M., & Abu-hashim, M. (Ed.). (2020). *Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications: Practical Aspects to Deal Biologically with Pests and Stresses Facing Strategic Crops*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0>
- Erazo, J. G., Palacios, S. A., Pastor, N., Giordano, F. D., Rovera, M., Reynoso, M. M., Venisse, J. S., & Torres, A. M. (2021). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* ITEM 3636 against peanut brown root rot caused by *Fusarium solani* RC 386. *Biological Control*, 164, 104774. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104774>
- Evans, A. (2009). *The feeding of the nine billion: Global food security for the 21st century*. Royal Institute of International Affairs.
- Fathi, F., Saberi-Riseh, R., & Khodaygan, P. (2021). Survivability and controlled release of alginate-microencapsulated *Pseudomonas fluorescens* VUPF506 and their effects on biocontrol of *Rhizoctonia solani* on potato. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.159>
- Favaro, L., Barretto Penna, A. L., & Todorov, S. D. (2015). Bacteriocinogenic LAB from cheeses – Application in biopreservation? *Trends in Food Science & Technology*, 41(1), 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.001>
- Fenibo, E. O., Ijoma, G. N., & Matambo, T. (2021). Biopesticides in Sustainable Agriculture: A Critical Sustainable Development Driver Governed by Green Chemistry Principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 619058. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.619058>
- Fernandez-San Millan, A., Larraya, L., Farran, I., Ancin, M., & Veramendi, J. (2021). Successful biocontrol of major postharvest and soil-borne plant pathogenic fungi by antagonistic yeasts. *Biological Control*, 160, 104683. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104683>
- Freimoser, F. M., Rueda-Mejia, M. P., Tilocca, B., & Migheli, Q. (2019). Biocontrol yeasts: Mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(10), 154. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2728-4>
- Gajera, H. P., Hirpara, D. G., Katakpara, Z. A., Patel, S. V., & Golakiya, B. A. (2016). Molecular evolution and phylogenetic analysis of biocontrol genes acquired from SCoT polymorphism of mycoparasitic *Trichoderma koningii* inhibiting phytopathogen *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Infection, Genetics and Evolution*, 45, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.09.026>

- Gao, Z., Zhang, R., & Xiong, B. (2021). Management of postharvest diseases of kiwifruit with a combination of the biocontrol yeast *Candida oleophila* and an oligogalacturonide. *Biological Control*, *156*, 104549. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104549>
- Garvey, M. (2022). Bacteriophages and Food Production: Biocontrol and Bio-Preservation Options for Food Safety. *Antibiotics*, *11*(10), 1324. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101324>
- Ghent University, Belgium, & Höfte, M. (2021). The use of *Pseudomonas* spp. As bacterial biocontrol agents to control plant diseases. İçinde Wageningen University & Research, The Netherlands & J. Köhl (Ed.), *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science* (ss. 301-374). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2021.0093.11>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, *327*(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Gohel, N. M., Raghunandan, B. L., Patel, N. B., Parmar, H. V., & Raval, D. B. (2022). Role of Fungal Biocontrol Agents for Sustainable Agriculture. İçinde V. R. Rajpal, I. Singh, & S. S. Navi (Ed.), *Fungal diversity, ecology and control management* (ss. 577-606). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8877-5_28
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., De Los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Orozco-Mosqueda, Ma. D. C., Fadji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., & Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases—A Review. *Plants*, *12*(3), 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Hernandez-Montiel, L. G., Droby, S., Preciado-Rangel, P., Rivas-García, T., González-Estrada, R. R., Gutiérrez-Martínez, P., & Ávila-Quezada, G. D. (2021). A Sustainable Alternative for Postharvest Disease Management and Phytopathogens Biocontrol in Fruit: Antagonistic Yeasts. *Plants*, *10*(12), 2641. <https://doi.org/10.3390/plants10122641>
- Hough, J., Howard, J. D., Brown, S., Portwood, D. E., Kilby, P. M., & Dickman, M. J. (2022). Strategies for the production of dsRNA biocontrols as alternatives to chemical pesticides. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*, 980592. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.980592>
- Huang, K., Zou, Y., Luo, J., & Liu, Y. (2015). Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melon. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(18), 14307-14313. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4687-0>
- Islam, M. T., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C. K., & Aeron, A. (Ed.). (2016). *Bacilli and Agrobiotechnology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3>
- Jaiswal, D. K., Gawande, S. J., Soumia, P. S., Krishna, R., Vaishnav, A., & Ade, A. B. (2022). Biocontrol strategies: An eco-smart tool for integrated pest and diseases management. *BMC Microbiology*, *22*(1), 324. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02744-2>
- Kharazian, Z. A., Salehi Jouzani, G., Aghdasi, M., Khorvash, M., Zamani, M., & Mohammadzadeh, H. (2017). Biocontrol potential of *Lactobacillus* strains isolated from corn silages against some plant pathogenic fungi. *Biological Control*, *110*, 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.004>
- Klein, M. N., & Kupper, K. C. (2018). Biofilm production by *Aureobasidium pullulans* improves biocontrol against sour rot in citrus. *Food Microbiology*, *69*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.07.008>
- Li, W., Zhang, H., Li, P., Apaliya, M. T., Yang, Q., Peng, Y., & Zhang, X. (2016). Biocontrol of postharvest green mold of oranges by *Hanseniaspora uvarum* Y3 in combination with phosphatidylcholine. *Biological Control*, *103*, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.07.014>
- Li, X., Jing, T., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Zang, X., Zhao, Y., Li, K., Tang, W., Chen, Y., Qi, C., Wang, W., & Xie, J. (2021). Biocontrol efficacy and possible mechanism of *Streptomyces* sp. H4 against postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae* on strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *175*, 111401. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111401>
- Li, X., Yu, L., An, F., Bai, H., Wisniewski, M., & Wang, Z. (2023). Caffeic acid increases the fitness of *Candida oleophila* to the microenvironment of kiwifruit and its biocontrol performance against postharvest decay fungi. *Postharvest Biology and Technology*, *196*, 112177. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112177>
- Lima, F. B. D., Félix, C., Osório, N., Alves, A., Vitorino, R., Domingues, P., Correia, A., Da Silva Ribeiro, R. T., & Esteves, A. C. (2016). Secretome analysis of *Trichoderma atroviride* T17 biocontrol of *Guignardia citricarpa*. *Biological Control*, *99*, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.04.009>
- Ling, L., Jiang, K., Cheng, W., Wang, Y., Pang, M., Luo, H., Lu, L., Gao, K., & Tu, Y. (2022). Biocontrol of volatile organic compounds obtained from *Bacillus subtilis* CL2 against *Aspergillus flavus* in peanuts during storage. *Biological Control*, *176*, 105094. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105094>
- Liu, J., Qin, D., Huang, W., Wang, X., Li, Y., & Zhang, R. (2023). Biocontrol ability and action mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* Baf1 against *Fusarium incarnatum* causing fruit rot in postharvest muskmelon (cv. Yugu) fruit. *LWT*, *181*, 114714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114714>
- Liu, Z., Du, S., Ren, Y., & Liu, Y. (2018). Biocontrol ability of killer yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) isolated from wine against *Colletotrichum gloeosporioides* on grape. *Journal of Basic Microbiology*, *58*(1), 60-67. <https://doi.org/10.1002/jobm.201700264>
- Lopes, M. R., Klein, M. N., Ferraz, L. P., Da Silva, A. C., & Kupper, K. C. (2015). *Saccharomyces cerevisiae*: A novel and efficient biological control agent for *Colletotrichum acutatum* during pre-harvest. *Microbiological Research*, *175*, 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.04.003>
- Marican, A., & Durán-Lara, E. F. (2018). A review on pesticide removal through different processes. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(3), 2051-2064.

- Matas-Baca, M. Á., Urías García, C., Pérez-Álvarez, S., Flores-Córdova, M. A., Escobedo-Bonilla, C. M., Magallanes-Tapia, M. A., & Sánchez Chávez, E. (2022). Morphological and molecular characterization of a new autochthonous *Trichoderma* sp. Isolate and its biocontrol efficacy against *Alternaria* sp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2620-2625. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.052>
- Mateo, E. M., Tarazona, A., Aznar, R., & Mateo, F. (2023). Exploring the impact of lactic acid bacteria on the biocontrol of toxigenic *Fusarium* spp. And their main mycotoxins. *International Journal of Food Microbiology*, 387, 110054. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110054>
- Medhioub, I., Cheffi, M., Tounsi, S., & Triki, M. A. (2022). Study of *Bacillus velezensis* OEE1 potentialities in the biocontrol against *Erwinia amylovora*, causal agent of fire blight disease of rosaceous plants. *Biological Control*, 167, 104842. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104842>
- Neves, T. T. D., Brandão, R. M., Barbosa, R. B., Cardoso, M. D. G., Batista, L. R., & Silva, C. F. (2021). Simulation of coffee beans contamination by *Aspergillus* species under different environmental conditions and the biocontrol effect by *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT*, 148, 111610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111610>
- Nie, X., Zhang, C., Jiang, C., Zhang, R., Guo, F., & Fan, X. (2019). Trehalose increases the oxidative stress tolerance and biocontrol efficacy of *Candida oleophila* in the microenvironment of pear wounds. *Biological Control*, 132, 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.01.015>
- Ou, C., Liu, Y., Wang, W., & Dong, D. (2016). Integration of UV-C with antagonistic yeast treatment for controlling post-harvest disease and maintaining fruit quality of *Ananas comosus*. *BioControl*, 61(5), 591-603. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9740-5>
- Oztekin, S., & Karbancioglu-Guler, F. (2021). Bioprospection of *Metschnikowia* sp. Isolates as biocontrol agents against postharvest fungal decays on lemons with their potential modes of action. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111634. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111634>
- Palmieri, D., Ianiri, G., Del Grosso, C., Barone, G., De Curtis, F., Castoria, R., & Lima, G. (2022). Advances and Perspectives in the Use of Biocontrol Agents against Fungal Plant Diseases. *Horticulturae*, 8(7), 577. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070577>
- Panpatte, D. G., Jhala, Y. K., Shelat, H. N., & Vyas, R. V. (2016). *Pseudomonas fluorescens*: A Promising Biocontrol Agent and PGPR for Sustainable Agriculture. İçinde D. P. Singh, H. B. Singh, & R. Prabha (Ed.), *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (ss. 257-270). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_15
- Peshin, R., & Zhang, W. (2014). Integrated Pest Management and Pesticide Use. İçinde D. Pimentel & R. Peshin (Ed.), *Integrated Pest Management* (ss. 1-46). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_1
- Pu, L., Yuan-yuan, S., Lifeng, C., & Chao-an, L. (2014). Farnesol produced by the biocontrol agent *Candida ernobii* can be used in controlling the postharvest pathogen *Penicillium expansum*. *African Journal of Microbiology Research*, 8(9), 922-928. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.5976>
- Qin, X., Xiao, H., Xue, C., Yu, Z., Yang, R., Cai, Z., & Si, L. (2015). Biocontrol of gray mold in grapes with the yeast *Hanseniaspora uvarum* alone and in combination with salicylic acid or sodium bicarbonate. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.010>
- Quattrini, M., Bernardi, C., Stuknytė, M., Masotti, F., Passera, A., Ricci, G., Vallone, L., De Noni, I., Brasca, M., & Fortina, M. G. (2018). Functional characterization of *Lactobacillus plantarum* ITEM 17215: A potential biocontrol agent of fungi with plant growth promoting traits, able to enhance the nutritional value of cereal products. *Food Research International*, 106, 936-944. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.074>
- Raymaekers, K., Ponet, L., Holtappels, D., Berckmans, B., & Cammue, B. P. A. (2020). Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management – A review. *Biological Control*, 144, 104240. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104240>
- Ren, Y., Yao, M., Chang, P., Sun, Y., Li, R., Meng, D., Xia, X., & Wang, Y. (2021). Isolation and characterization of a *Pseudomonas poae* JSU-Y1 with patulin degradation ability and biocontrol potential against *Penicillium expansum*. *Toxicon*, 195, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.02.014>
- Roberti, R., Di Francesco, A., Innocenti, G., & Mari, M. (2019). Potential for biocontrol of *Pleurotus ostreatus* green mould disease by *Aureobasidium pullulans* De Bary (Arnaud). *Biological Control*, 135, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.016>
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Shaik, F., Mohammed, N., Ahmed, F., & Rao, L. N. (2023). *Advanced technologies for the treatment of pesticides*. 020023. <https://doi.org/10.1063/5.0119507>
- Sharma, V., Sharma, A., Malannavar, A. B., & Salwan, R. (2020). Molecular aspects of biocontrol species of *Streptomyces* in agricultural crops. İçinde *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture* (ss. 89-109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818469-1.00008-0>
- Shi, Y., Yang, Q., Zhao, Q., Dhanasekaran, S., Ahima, J., Zhang, X., Zhou, S., Droby, S., & Zhang, H. (2022). *Aureobasidium pullulans* S-2 reduced the disease incidence of tomato by influencing the postharvest microbiome during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 185, 111809. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111809>
- Smetana, S., Oehen, B., Goyal, S., & Heinz, V. (2020). Environmental sustainability issues for western food production. İçinde *Nutritional and Health Aspects of Food in Western Europe* (ss. 173-200). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813171-8.00010-X>
- Souza, M. C. O., Cruz, J. C., Cesila, C. A., Gonzalez, N., Rocha, B. A., Adeyemi, J. A., Nadal, M., Domingo, J. L., & Barbosa, F. (2023). Recent trends in pesticides in crops: A critical review of the duality of risks-benefits and the Brazilian legislation issue. *Environmental Research*, 228, 115811.

- Stewart, G. G. (2014). SACCHAROMYCES | Saccharomyces cerevisiae. İçinde *Encyclopedia of Food Microbiology* (ss. 309-315). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00292-5>
- Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Piombo, E., Wu, X., & Yue, J. (2020). Genome Sequence, Assembly, and Characterization of the Antagonistic Yeast *Candida oleophila* Used as a Biocontrol Agent Against Post-harvest Diseases. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 295. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00295>
- Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., Phillips, A. J. L., Kannangara, S. D., & Promputtha, I. (2020). Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *10*, 604923. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.604923>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2023) The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Trias, R., Badosa, E., Montesinos, E., & Bañeras, L. (2008). Bioprotective *Leuconostoc* strains against *Listeria monocytogenes* in fresh fruits and vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, *127*(1-2), 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.06.011>
- Vanshree, C. R., Singhal, M., Sexena, M., Sankhla, M. S., Parihar, K., Jadhav, E. B., Awasthi, K. K., & Yadav, C. S. (2022). Microbes as biocontrol agent: From crop protection till food security. İçinde *Relationship Between Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services, Volume 1* (ss. 215-237). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89938-3.00011-6>
- Vedamurthy, A. B., Varsha, S. L., & Shruthi, S. D. (2021). Regulatory requirement for commercialization of biocontrol agents. İçinde *Biocontrol Agents and Secondary Metabolites* (ss. 659-675). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822919-4.00029-6>
- Wang, S. Y., Herrera-Balandrano, D. D., Wang, Y. X., Shi, X. C., Chen, X., Jin, Y., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2022). Biocontrol Ability of the *Bacillus amyloliquefaciens* Group, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. nakamurai*, and *B. siamensis*, for the Management of Fungal Postharvest Diseases: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *70*(22), 6591-6616. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01745>
- Wang, Z., Zhong, T., Chen, K., Du, M., Chen, G., Chen, X., Wang, K., Zalán, Z., Takács, K., & Kan, J. (2021). Antifungal activity of volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* ZX and potential biocontrol of blue mold decay on postharvest citrus. *Food Control*, *120*, 107499. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107499>
- Wei, J., Zhao, J., Suo, M., Wu, H., Zhao, M., & Yang, H. (2023). Biocontrol mechanisms of *Bacillus velezensis* against *Fusarium oxysporum* from *Panax ginseng*. *Biological Control*, *182*, 105222. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105222>
- Weller, D. M., Raaijmakers, J. M., Gardener, B. B. M., & Thomashow, L. S. (2002). Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual review of phytopathology*, *40*(1),
- Xu, Y., Wang, L., Liang, W., & Liu, M. (2021). Biocontrol potential of endophytic *Bacillus velezensis* strain QSE-21 against postharvest grey mould of fruit. *Biological Control*, *161*, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104711>
- Zhang, C., Chen, K., & Wang, G. (2013). Combination of the biocontrol yeast *Cryptococcus laurentii* with UV-C treatment for control of postharvest diseases of tomato fruit. *BioControl*, *58*(2), 269-281.
- Zhang, H., Kong, N., Liu, B., Yang, Y., Li, C., Qi, J., Ma, Y., Ji, S., & Liu, Z. (2022). Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* CGMCC20739 (Tha739) against postharvest bitter rot of apples. *Microbiological Research*, *265*, 127182. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127182>
- Zhang, X., Li, B., Zhang, Z., Chen, Y., & Tian, S. (2020). Antagonistic Yeasts: A Promising Alternative to Chemical Fungicides for Controlling Postharvest Decay of Fruit. *Journal of Fungi*, *6*(3), 158. <https://doi.org/10.3390/jof6030158>
- Zhimo, V. Y., Kumar, A., Biasi, A., Salim, S., Feygenberg, O., Toamy, M. A., Abdelfattaah, A., Medina, S., Freilich, S., Wisniewski, M., & Droby, S. (2021). Compositional shifts in the strawberry fruit microbiome in response to near-harvest application of *Metschnikowia fructicola*, a yeast biocontrol agent. *Postharvest Biology and Technology*, *175*, 111469. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111469>
- Zhou, D., Jing, T., Chen, Y., Yun, T., Qi, D., Zang, X., Zhang, M., Wei, Y., Li, K., Zhao, Y., Wang, W., & Xie, J. (2022). Biocontrol potential of a newly isolated *Streptomyces* sp. HSL-9B from mangrove forest on postharvest anthracnose of mango fruit caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Food Control*, *135*, 108836. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108836>

