

## Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler

Çiğdem KÜÇÜK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 63050, Şanlıurfa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5688-5440>

\*Sorumlu yazar: ckucuk@harran.edu.tr

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.03.2024

Kabul tarihi: 08.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Rizosfer

Rizobakteriler

Bakteriyosin

### ÖZ

Bitki patojeni bakteriler tarımsal ürünler için önemli bir tehdittir. Bu patojenler, çok sayıda bitki hastalığından sorumludur ve birçok üründe önemli kayıplardan sorumludur. Bitkilerde verim kayıplarını azaltmaya yönelik mevcut hastalık yönetim stratejileri, genellikle hem insan sağlığına hem de çevreye zararlı olan kimyasal uygulamalarını içermektedir. Bakteriler, diğer mikrobiyal rakiplerine karşı kendilerini savunmak için çok yönlü bileşikler üretir ve salgırlar. Bunlardan bakteriyosinler, bakteriler tarafından yakın ilişkili bakterileri öldürmek ve böylece bir niş içerisinde hakimiyet kurmak için üretilen küçük proteinli antibiyotikler olup, kimyasal ilaçlara göre potansiyel olarak daha güvenli bir alternatif oluştururlar. Bu derlemede, bitki rizosferindeki bakteriler tarafından üretilen ve tarımda kullanım alanı olabilecek bakteriyosinlerle ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

## Potential Antimicrobials of Rhizobacteria: Bacteriocins

### Reviews

#### Article History:

Received: 21.03.2024

Accepted: 08.07.2024

Published online: 10.12.2024

#### Keywords:

Rhizosphere

Rhizobacteria

Bacteriocin

### ABSTRACT

Plant pathogenic bacteria are a significant threat to agricultural products. These pathogens are responsible for numerous plant diseases and significant losses in many crops. Current disease management strategies to reduce yield losses in plants often involve the application of chemicals that are harmful to both human health and the environment. Bacteria produce and secrete a versatile compounds to defend themselves against other microbial competitors. Of these, bacteriocins are small protein antibiotics produced by bacteria to kill closely related bacteria and thus establish dominance in a niche, representing a potentially safer alternative to chemicals. This review includes studies on bacteriocins produced by bacteria in the plant rhizosphere and which may be used in agriculture.

**To Cite:** Küçük Ç. Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2393-2404.

### 1. Giriş

Mikroorganizmalar, besin kaynakları ve niş için birbirleriyle rekabet etmek amacıyla antimikrobiyal maddeler üretirler. Bu üretilen mikrobiyal maddeler; geniş spektrumlu ribozomal olmayan antibiyotikler, metabolik ürünler (organik asitler), litik ajanlar (lizozimler) ve bakteriyosinlerdir (Riley, 1998). Bakteriyosinler, hedef suşun kimliğine, büyüme koşullarına ve bakteriyosin konsantrasyonuna bağlı olarak bakterisidal ve/veya bakteriyostatik özellik gösterir (Nes ve ark., 2006).

İncelenen hemen hemen her bakteri türünün bakteriyosin ürettiği belirlenmiş ve bir tür içinde onlarca hatta yüzlerce farklı bakteriyosinin üretildiği saptanmıştır (Cesa- Luna ve ark., 2020). Bakteriyosinler, bakteriler tarafından üretilen, çok düşük veya yüksek molekül ağırlıklı bileşikler arasında değişen, ayırt edici morfolojik ve biyokimyasal özelliklere sahip olan ve aktivitenin ağırlıklı olarak bir protein ile ilişkili olduğu hücre dışı maddelerdir. Çoğunlukla plazmitlerden sentezlendiği, birçoğunun da kromozomal kökenli olduğu tespit edilmiş, bakteri büyümesinin çeşitli aşamalarında ve çeşitli çevresel koşullar altında sentezlendiği saptanmıştır (Cesa- Luna ve ark., 2020). Bakteriyosinler, translasyon modifikasyonları, yan zincirler, ısı stabilitesi, N-terminal sekans homolojisi ve moleküler ağırlık gibi peptid özelliklerine dayalı olarak farklı sınıflara ayrılmıştır (Klaenhammer, 1993). Doğal koruyucular olarak ticari bakımdan önemleri olan ve patojenik bakterilere karşı terapötik maddeler olarak bu antimikrobiyal peptidler, bilimsel araştırmaların önemli bir alanını oluşturmaktadır (De la Fuente-Salcido ve ark., 2008).

Rizosfer, aralarında Gram-pozitif bakterilerin baskın olduğu çeşitli mikroorganizma gruplarını içerir. Rizosferde yaşayan bakteriler genellikle rizobakteriler olarak adlandırılır ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerine göre; bitki gelişiminden sorumlu olan ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler, bitki hastalıklarından sorumlu zararlı rizobakteriler ve hiçbir etkisi olmayan bakteriler olmak üzere 3 gruba ayrılırlar (Kumar ve ark., 2018). Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler; hormonlar salgılayarak, antibiyotik veya bakteriyosin gibi antagonist maddeler üreterek yararlı etkiler gösterirler (Kumar ve ark., 2018). *Bacillus* ve *Pseudomonas* spp. bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler olarak bilinir ve aynı zamanda potansiyel bakteriyosin üreticileri olarak tanımlanmıştır (Nazari ve Smith, 2020). Prokaryotların büyük bir kısmı, ilişkili türlerin rekabetini azaltmak için bakteriyosinler (antimikrobiyal aktiviteye sahip proteinler) üretir ve salgılar (Nazari ve Smith, 2020). Bakteriyosinlerin tarımsal potansiyeli üzerine çok az araştırma yapılırken, gıda endüstrisinde bakteriyosinlerin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, çevresel olarak sürdürülebilir tarıma ulaşmak amacıyla kimyasal gübrelerin, herbisitlerin ve pestisitlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik bakteriyosin çalışmalarına ihtiyaç vardır. Antimikrobiyal aktivitesi sayesinde, belirli bitki patojenlerini kontrol ederek bitki büyümesini de artırabilir. İzole edilen bakteriyosinlerin hiçbiri bitki büyümesinin teşviki konusunda thuricin 17 kadar geniş bir şekilde incelenmemiştir. Bitkilerin stresi yönetmesine ve tarım sistemlerini iklim değişikliğine daha dayanıklı hale getirmesine yardımcı olan bir mikroorganizma- bitki sinyali olan bakteriyosinler ile yapılacak birçok çalışmaya gereksinim vardır. Bu nedenle bu derlemede bakteriyosinlerin tarımda bitki gelişimi ve bitki patojenleri üzerine olan etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve yapılacak olan çalışmalara öncülük etmesi amacıyla bu konuda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

## **2.Gram Pozitif Bakterilerin Bakteriyosinleri**

Gram pozitif bakteriler tarafından üretilen bakteriyosinlerin, genellikle katyonik ve amfifilik özellikte; yaklaşık 30 kDa'luk boyutlu proteinler olduğu bildirilmiştir. Bu bakteriyosinler biyokimyasal

özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Kemperman ve ark., 2003). Özellikle *Bacillus* cinsi tarafından lipopeptit tipi farklı bakteriyosinlerin üretildiği bilinmektedir (Abriouel ve ark., 2011). *Bacillus* cinsi tarafından üretilen ve en iyi bilinen bakteriyosinler subtilin ve koagulindir. *Bacillus licheniformis* ZJU12'nin geniş bir antagonistik spektruma sahip bakteriyosin benzeri bir peptit ürettiği bulunmuştur. Bu peptit, *S.aureus*, *M.flavus* gibi bazı patojenik mikroorganizmaların ve *Fusarium oxysporum* gibi bazı fitopatojenlerin gelişimini inhibe edebilmiş olmasına rağmen toksisite testlerinde fareler üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi de saptanmamıştır. Bu da biyokontrol için tercih edilebileceğini göstermiştir (He ve ark., 2006). Antimikrobiyal bileşikler üreten *B.thuringiensis* model organizma olarak kabul edilmiştir. *B.thuringiensis* tarafından sentezlenen bakteriyosinlerin çoğunun, *Aspergillus* ve *P.aeruginosa* gibi fitopatojenleri inhibe eden geniş bir spektruma sahip olduğu rapor edilmiştir (Uğraş ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada, böceklerden izole edilen *Bacillus thuringiensis* subsp *kurstaki* Bnl tarafından üretilen bakteriyosin thurisin Bn1 olarak adlandırılmış ve bitki patojeni olan *P.syringae*'nin büyümesini inhibe etmiştir (Uğraş ve ark., 2013).

### **3.Gram Negatif Bakterilerin Bakteriyosinleri**

Gram-pozitif bakterilerden elde edilen bakteriyosinlerin aksine, Gram negatiflerden sentezlenen bakteriyosinler daha kapsamlıdır ve farklı etki mekanizmalarına sahiptirler. En çok bilineni ve kapsamlı olarak çalışılan bakteriyosin *E.coli*'de tanımlanan kolisinlerdir (Riley ve Wertz, 2002). Kolisin; *E.coli* tarafından salgılanan plazmit kodlu antimikrobiyal peptidlerdir. *Pseudomonas* cinsi tarafından piyosin olarak bilinen bakteriyosin üretilmiştir. Piyosin, üretilen diğer bakteriyosinlere karşı sınırlı bir spektrum göstermiştir (Naz ve ark., 2015). *Pseudomonas* türleri tarafından üretilen piyosinler, özellikle *Burkholderia cepacia* üzerinde etkili bulunmuştur. Bu piyosinler; *Campylobacter* türleri, *Neisseria gonorrhoea*, *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus ducreyi*, *Pseudomonas fluorescens* ve *Pseudomonas putida*'ı inhibe etmiştir (Naz ve ark., 2015). *P.putida* tarafından üretilen putadisin T01, sadece Gram-negatiflere karşı geniş bir spektrum göstermekle kalmamış, aynı zamanda *Bacillus megaterium* gibi Gram-pozitif bakteriler ve *Enterococcus faecalis* gibi patojenik bakterilerin gelişimini de önlemiştir (Ghraiiri ve ark., 2014). Faj kuyruğu benzeri bakteriyosinler de rapor edilmiştir; özellikle bitkilerle ilişkili pseudomonad türlerinde taylosin olarak bilinen bu moleküller, bakterisidal özelliklidir (Ghraiiri ve ark., 2014). *Burkholderia cenocepacia* BC0425, geniş spektrumlu taylosin üretmiş, *Pseudomonas aeruginosa* hücre yüzeyine bağlanarak bakteriyi inhibe etmiştir (Yao ve ark., 2017).

Bazı lektin benzeri bakteriyosinler; *P. syringae* ve *P. fluorescens*'ten putidasin L1, *P. putida*'dan LlpABW; *P. syringae*'den LlpAPss642 ve *P. fluorescens*'ten LlpA1Pf-5 olarak tanımlanmıştır. Bu lektin benzeri bakteriyosinler birkaç *Pseudomonas* türünü inhibe edebilmiş ancak bu cinsin dışında aktif bulunmamıştır (Parret ve ark., 2005). Benzer şekilde, *Xanthomonas citri* pv *malvacearum* LMG 761'den lektin benzeri bakteriyosin LlpAXcm761 de, *Xanthomonas* cinsi içindeki çeşitli türleri inhibe edebilmiştir (McCaughy ve ark., 2014). Bakteriler ayrıca uçucu bileşikler ve geniş spektrumlu

antibiyotik gibi diğer metabolitler de üretmiştir. Uçucu bileşikler, bakteriyel iletişim süreçlerinde hayati öneme sahiptir, ancak yapılan araştırmalarda bu bileşikler; bakteriler tarafından salgılandığında, diğer mikroorganizmalara antagonist özellik göstermiştir (Chaurasia ve ark., 2005; Kai ve ark., 2016). Bakteriler tarafından üretilen uçucu bileşiklerden biri, *Pseudomonas* cinsinin ürettiği hidrosiyanik asittir. Hidrosiyanik asitin farklı antibiyotik aktiviteleri saptanmıştır; *Thielaviopsis basicola*'nın biyokontrolünde etkin olduğu kanıtlanmıştır (Matilla ve Krell, 2018).

**4. Rizosfer Bakterilerince Üretilen Bakteriyosinlerin diğer Mikroorganizmalar Üzerine Etkileri**  
Bitki rizosferi; bitki patojeni, faydalı ve komensal bakteriler içerir. Bu son derece rekabetçi ortamda hayatta kalabilmek için bakteriler, tür içi ve türler arası rekabetin üstesinden gelmek için çeşitli metabolitleri kullanarak diğer bakteri hücreleriyle rekabet eder. Bu antibiyotikler, fitopatogenik mantarlara karşı bakteriyolitik enzimler (Haas ve Defago, 2005) ve bakteriyosinler olarak bilinen proteinli antibiyotiklerdir (Riley ve Wertz, 2002). Çoklu enzim kompleksleri tarafından üretilen geniş spektrumlu metabolitler olan antibiyotiklerin aksine bakteriyosinler; çok çeşitli bakteri türleri tarafından ribozomal olarak sentezlenen dar spektrumlu proteinli maddelerdir (Holtsmark ve ark., 2008; Alvarez-Sieiro ve ark., 2016). Bakteriyosinlerin hedef özgüllüğü nedeniyle, bitki patojenlerini seçici olarak öldüren biyolojik ajanlar olarak kullanılma olasılığı araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Rooney ve ark., 2020). Antibiyotik ve bakteriyosin üretimi karmaşık bir şekilde düzenlenmektedir (Niehus ve ark., 2021). Örneğin, antibiyotik üretimi yalnızca filogenetik olarak uzak türlere karşı rekabet ettiğinde ve rakip hücreler belirli bir antibiyotik sınıfına duyarlı olduğunda arttırılır (Maan ve ark., 2022). Diğer yandan, bakteriyosin üretimi aynı zamanda UV ışınımı, besin sınırlaması ve diğer bakteriler tarafından antimikrobiyal bileşiklerin üretilmesi gibi spesifik koşullar tarafından da desteklenmektedir (Holtsmark ve ark., 2008). Yapılan çalışmalara göre; bakteriyosinlerin, yakın ilişkili rakip bakterileri etkilemeden hedef organizmayı öldürme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Rooney ve ark., 2020). Farklı bakteriyosin türleri: R-, F-, S- ve M-tipi piyosinler, rizosferle ilişkili bakterilerde tanımlanmış olup, morfolojileri ve inhibisyon oranları bakımından farklılık göstermektedirler (Mojgani ve ark., 2017).

Yapılan çalışmalar, bakteriyosinlerin tarımda, bitki büyümesi ve gelişiminin biyostimülanları ve biyokontrol ajanları olarak kullanılabileceğini öngörmektedir. Örneğin Cerein 8A, Bac-GM17, Putidacin, Bac 14B, Amilosiklin gibi bakteriyosinler, antimikrobiyal aktivite mekanizmaları açısından incelenmiştir. Bac IH7, domates ve kavunun gelişimini desteklemiştir. Thuricin 17 (Th17), moleküler düzeyde de dahil olmak üzere bitki gelişmesinin teşviki için kapsamlı olarak incelenen tek bakteriyosin olarak tanımlanmıştır. Th17; baklagillerde ve baklagil olmayan bitkilerde bitki büyümesini teşvik eden bakteriyel bir sinyal bileşik olarak işlev görmüştür. *Bacillus cereus*'tan 3.94 kDa'luk bakteriyosin cerein 7, bu türden ilk izole edilen bakteriyosin olmuştur (Oscariz ve ark., 1999). Ancak *B.thuringiensis*, *B.subtilis*, *B.stearothermophilus*, *B.licheniformis*, *B.megaterium* ve *B.cereus*'un bakteriyosin benzeri ürünler ürettikleri daha önce rapor edilmiştir ve bunlar arasında *B.subtilis*'ten elde

edilen subtilin geniş çapta incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada, baklaların kök nodüllerinden izole edilen *Rhizobium lupini*'nin 16-2 ve 16-3 izolatları tarafından bakteriyosin üretimi incelenmiştir (Lotz ve Mayer, 1972). Afrika'da yetişen bir çalı bitkisinin rizosferinden izole edilen *Bacillus clausii* strain GM17'nin bakteriyosin Bac-GM17 ürettiği belirlenmiş, bu bakteriyosinin *Agrobacterium tumefaciens* C58'e bakterisidal ve *Candida tropicalis* R2 CIP203 üzerine de fungistatik etkiye sahip olduğu açıklanmıştır (Mouloud ve ark., 2013). Muz kökünden izole edilen *Pseudomonas putida* BW11M1 suşu tarafından üretilen bakteriyosin putidasin, bitki lektinlerine çok benzetilmiştir (Parret ve ark., 2003). *B. amyloliquefaciens* RC-2 suşu; *C. dematium* R. *necatix*, *P. oryzae*, *A. tumefaciens* ve *X. campestris* pv. *campestris* gibi fitopatojenleri inhibe edebilen bakteriyosin benzeri bir madde üretmiştir (Abriouel ve ark., 2011). *Bacillus subtilis* 14B; bitkilerde *Agrobacterium tumefaciens*'in neden olduğu enfeksiyon yüzdesini azaltmış, domates bitkilerinde taç gal hastalığının biyokontrolü için önerilmiştir (Hammami ve ark., 2009).

*Bacillus amyloliquefaciens* FZB42'den 6.381 kDa'lık bir peptid olan amilosiklin, Gram-pozitif bakterilere karşı yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip dairesel, ribozomal olarak sentezlenmiş bakteriyosindir (Scholz ve ark., 2014). *B.subtilis* suşu 14B tarafından 21 kDa'luk Bac 14B bakteriyosininin, *A.tumefaciens*'in neden olduğu taç gal hastalığına karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Hammami ve ark., 2009). *B.subtilis* suşu IH7, bitki büyümesini teşvik eden bir bakteriyosin olan Bac IH7 üretmiştir. Bac IH7 uygulanmış domates ve kavunun, çimlenme oranının arttığı, sürgün ağırlığı, boy ve kök uzunluğunun arttığı; ayrıca *Alternaria solani* ve diğer tohum kaynaklı patojenler için bir biyokontrol görevi gördüğü saptanmıştır (Hammami ve ark., 2009). Meyve ve sebze atıklarından izole edilen bakteri *Lysinibacillus* jx416856'dan elde edilen 25–35 kDa'lık bir bakteriyosininin, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* ve *B.cereus* gibi gıda kaynaklı patojenleri inhibe ettiği gözlemlenmiştir (Ahmad ve ark., 2014).

Bazı bitki patojenlerinin de bakteriyosin ürettiği saptanmıştır. Fitopatojenik tür *Erwinia carotovora* NA4, hastalıklı meyve ve sebzelerden izole edilerek bakteriyosin Erwinicin NA4 ürettiği; biber rizosferinden izole edilen *Agrobacterium radiobacter* NA5'in ise bakteriyosin Agrosin NA5 ürettiği tespit edilmiştir (Jabeen ve ark., 2004). Domates patojeni *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*, patateslerde hastalığa neden olan başka bir patojen *C.michiganensis*'in büyümesini engelleyen bakteriyosin michiganin A üretmiştir. Bu bakteriyosin ayrıca aktinomiset *Actinoplanes liguriae* tarafından üretilen antibiyotiğe de benzerlik göstermiştir (Holtsmark ve ark., 2006).

*Bacillus thuringiensis* izolatlarının da Tohicin (Paik ve ark., 1997), Entomocin 9 (Cherif ve ark., 2003), Bacthuricin F4 (Kamoun ve ark., 2005), Thuricin 17 (Gray ve ark., 2006b) gibi çeşitli bakteriyosinleri ürettiği belirlenmiştir. Ayrıca üretilen bakteriyosinlerin *Aspergillus niger*, *A.fumigatus*, *A.flavus*, *Cryphonectria parasitica*, *Fusarium oxysporum*, *Monilia sitophila*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus* sp. gibi patojenik mantarlara karşı etkili olduğu incelenmiştir (Raddadi ve ark., 2009). Lavermicocca ve ark. (2002), zeytin ağaçlarında *P.syringae* pv. *ciccaronei*, *P. syringae* pv. *savastanoi*'nin neden olduğu hastalığı; tanımlayamadıkları bakteriyosin ile %60-80 oranında

azaltmayı başarmışlardır. Sakthivel ve Mew (1991), *Xanthomonas oryzae* 'nin patojenik olmayan bakteriyosin üreten mutantlarını çeltikte bakteriyel yanıklığını kontrol etmek için kullanmışlardır. *B.thuringiensis* strain NEB17 tarafından üretilen bakteriyosin, hem yapraklara sprey şeklinde hem de köke uygulandığında soya fasulyesi ve mısır üzerinde olumlu etkileri görülmüştür (Lee ve ark., 2009). Putidasin bakteriyosini muz köklerinden izole edilen *P.putida* suşu tarafından üretilmiştir (Parret ve ark. 2003). Ayrıca etki spektrumu putidasine benzeyen iki lektin benzeri bakteriyosinin, biyokontrol etmeni olan *P.fluorescens* Pf 5 tarafından üretildiği yapılan çalışmada açıklanmıştır (Parret ve ark. 2005). Mundticin QU2, soya fasulyesi köklerinden izole edilen *E.mundti*'nin suşunda rapor edilirken, Enterocin Xa ve b'nin elmadan izole edilen *E.faecium* tarafından üretildiği belirlenmiştir (Nazari ve Smith 2020). *B.amyloliquefaciens* spp. tarafından üretilen küçük bir peptid bakteriyosin olan Amilosiklin, yüksek antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip dairesel bir bakteriyosindir (Scholz ve ark. 2014). Amilosiklin, kırmızı biber bakteriyel solgunluğuna neden olan *Ralstonia solanacearum*'a ve *Xanthomonas campestris*'e karşı aktif bulunmuştur (Nazari ve Smith 2020).

Buğday rizosferinden izole edilen *Pseudomonas fluorescens* SF39 gibi bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin, bakteriyosin üretme kabiliyetleri rapor edilmiştir. *Pseudomonas fluorescens* SF39a'nin rizosferde salgıladıkları bakteriyosinler ile fitopatojenik *Pseudomonas* ve *Xanthomonas* izolatlarının gelişimini inhibe etmiştir (Godino ve ark., 2016). *Pseudomonas putida* BW11M1 suşunun, *P. putida* GR12-2R3'ü inhibe eden, ısıya ve proteaza duyarlı bir bakteriyosin salgıladığı tespit edilmiştir (Parret ve ark., 2003). Araştırmacılar, *P. putida* ve *P. fluorescens* bakteriyosinlerinin rizosferdeki popülasyon dinamikleri üzerinde önemli olabileceğini bildirmişlerdir (Parret ve ark., 2003). *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, yonca rizosferinden izole edilen ve yavaş gelişen *Rhizobium* bakterilerinden sentezlenen "Rizobiyosinler" bakteriyosin benzeri bileşiklerdir (Schwinghamer ve Brockwell, 1978; Wilson ve ark., 1998; Hafeez ve ark., 2005). Fasulye kök nodüllerinden izole edilen *Rhizobium* bakterileri tarafından da bakteriyosin üretimi belirlenmiştir (Küçük ve Kıvanç, 2009). *Rhizobium* spp. Y39 tarafından üretilen olası bakteriyosin, *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp., *Actinomyces*, *Pseudomonas phaseolicola*, *Xanthomonas phaseolicola*, *Fusarium culmorum*, *F.moniliforme*, *F.solani*, *F.oxysporum*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizoctonia solani*, *Azotobacter* spp.'i inhibe edebilmiştir (Küçük ve Kıvanç, 2009). *R.leguminosarum* suşlarının, temel nodülasyon ve azot fiksasyon genlerinin yanı sıra küçük, orta veya büyük bakteriyosinleri içeren simbiyotik plazmit pRL1J'ye sahip olduğu da bildirilmiştir (Schwinghamer ve Brockwell, 1978; Hirsch ve ark., 1980). Bazı bakteriyosinler, spesifik suşlara karşı nodülasyon rekabetçiliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, *R.leguminosarum* 248 tarafından üretilen rhizobiocin'in moleküler özellikleri ve biyolojik özellikleri yapılan bir çalışmada belirlenmiş, yabancı suşlara göre nodülasyonda rekabet için avantaj sağlamıştır (Oresnik ve ark., 1999). *B.thuringiensis* NEB17 tarafından üretilen Thuricin 17, doğrudan ve dolaylı mekanizmalar yoluyla bitki gelişimini artırmıştır. Bu "sinyal" molekülünün dolaylı etki mekanizmalarının; bitki hastalık direncinin uyarılması, ortak yaşadıkları bitkilerin nodülasyonu veya üretici suşlara daha fazla ekolojik alan sağlamak amacıyla patojenik

suşların hücre duvarına bağlanma ile veya reseptörlere bağlanmasıyla inhibe ettiği bildirilmiştir (Mabood ve ark., 2014). Thuricin 17 soya fasulyesinin köküne uygulandığında nodül sayısı, kök, sürgün ve soya fasulyesinin toplam biyokütlesi artmış; yapraktan uygulama ile yaprak alanını, yaprak yeşilliğini ve sürgündeki azot konsantrasyonunu iyileştirmiştir (Lee ve ark., 2009). Benzer şekilde, mısır ve soya fasulyesi fidelerinin yaprak alanı ve kuru ağırlığı, thuricin 17 uygulamasıyla iyileştirilmiştir (Lee ve ark., 2009). *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas protegens* ve *Burkholderia tropica* ile bazı *Bacillus* suşlarının da bitkileri fitopatojenlerden koruduğu bilinmektedir (Munoz-Rojas ve ark, 2005; Laue ve ark., 2000; Mendez ve ark., 2014; Subramanian ve Smith, 2015; Bolivar-Anillo ve ark., 2016). Örneğin, *Gluconacetobacter diazotrophicus* tarafından üretilen pyoluteorin ile *F. oxysporum*, *F. solani*, *C. fimbriata* ve *C. falcatum* gibi önemli fitopatojenleri inhibe etme yeteneği ile antagonistik özellik göstermiştir (Logeshwaran ve ark., 2011).

### **Sonuç**

Bakteriyosinler, en iyi çalışılan mikrobiyal savunma sistemlerinden birini temsil eder. Evrimsel ilişkilerini ve ekolojik rollerini keşfetmenin henüz ilk aşamalarında olsakta, bolluk ve çeşitliliklerinden dolayı mikrobiyal silahlar oldukları aşikardır. Bakteriyosinlerin neden bu kadar başarılı ve çeşitli toksin ailesi oluşturabildiklerini anlamak, gelecekteki araştırmalara katkı sağlayabilecektir. Ayrıca bakteriyosinlerin üretilme nedenleri, öldürme şekilleri, onları kodlayan gen kümeleri ve gen düzenleme mekanizmalarını tam olarak ortaya çıkaracak çok sayıda araştırmalara gereksinim vardır. Bakteriyosinler, tohum veya yumru kaynaklı patojenler için profilaktik tedavi olarak, enfekte bitkilerden patojenik bakterilerin yayılmasının önlenmesinde ve bitkilerin bakteriyel bitki patojenlerinden korunmasında da büyük bir potansiyele sahiptir. Bakteriyel bitki patojenleri, küresel gıda üretimi üzerinde büyük bir kısıtlama nedenidir. Kimyasal maddelerle bitki hastalık ve zararlılarına yönelik tedaviler, bazı hastalıkların kontrolüne yardımcı olabilirken; hedef dışı organizmaları olumsuz yönde etkileyebilir, çevresel bozulmaya katkıda bulunabilir ve hedef mikroorganizmalar uygulanan kimyasallara karşı direnç geliştirebilir. Rizobakterilerden izole edilecek yeni bakteriyosinler; mikrobiyal kökenli bitki hastalıklarının kontrolü ve bitki gelişiminin teşvik edilmesinde kimyasal girdilerin kullanımının azaltılması için yeni çözümler sunabilir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazar makaleye % 100 oranında katkı sağladığını beyan eder.

## Kaynakça

- Abriouel H., Franz CMAP., Omar N., Galvez A. Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. FEMS Microbiology Reviews 2011; 35(1): 201–232.
- Ahmad E., Holmstrom S. Siderophores in environmental research: Roles and applications. Microbial Biotechnology 2014; 7(3): 196-208.
- Alvarez-Sieiro P., Montalbán-López M., Mu D., Kuipers OP. Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. Applied Microbiology & Biotechnology 2016; 100: 2939-2951
- Bolivar-Anillo HJ., Orzonzo-Sanchez CJ., Da Silva Lima G., dos Santos CJO. Endophytic microorganisms isolated of plants grown in Colombia: A Short Review. Journal of Microbial and Biochemical Technology 2016; 8(8): 509-513.
- Cesa-Luna C., Baez A., Quintero-Hernandez V., De La Cruz-Enriquez J., Castaneda-Antonio MD., Munoz-Rojas J. The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. Acta Biologica Colombiana 2020; 25(1): 140-154.
- Chaurasia B., Pandey A., Palni LMS., Trivedi P., Kumar B., and Colvin N. Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi in vitro. Microbiological Research 2005; 160(1): 75–81.
- Cherif A., Chehimi S., Limem F., Hansen BM., Hendriksen NB., Daffonchio D. Detection and characterization of the novel bacteriocin entomocin 9, and safety evaluation of its producer, *Bacillus thuringiensis* ssp. *entomocidus* HD9. Journal Applied Microbiology 2003; 95: 990–1000.
- De la Fuente-Salcido N., Alanís-Guzmaan MG., Bideshi D., Salcedo-Hernandez R., Bautista-Justo M., Barboza-Corona JE. Enhanced synthesis and antimicrobial activities of bacteriocins produced by Mexican strains of *Bacillus thuringiensis*. Archives of Microbiology 2008; 190: 633–640.
- Ghraiiri T, Braiek OB., and Hani K. Detection and characterization of a bacteriocin, putadicin T01, produced by *Pseudomonas putida* isolated from hot spring water. Journal of Pathology, Microbiology and Immunology 2014; 2: 260-268.
- Godino A., Principe A., Fischer S. A ptsP deficiency in PGPR *Pseudomonas fluorescens* SF39a affects bacteriocin production and bacterial fitness in the wheat rhizosphere. Research of Microbiology 2016; 167: 178–189.
- Gray E., Lee K., Souleimanov A., Di Falco M., Zhou X., Ly A. A novel bacteriocin, thuricin 17, produced by plant growth promoting rhizobacteria strain *Bacillus thuringiensis* NEB17: isolation and classification. Journal of Applied Microbiology 2006; 100: 545–554.
- Hafeez FY., Naeem FI., Naeem R., Zaidi AH., Malik KA. Symbiotic effectiveness and bacteriocin production by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* isolated from agriculture soils in Faisalabad. Environmental and Experimental Botany 2005; 54: 142–147.



- Hammami I., Rhouma A., Jaouadi B., Rebai A., Nesme X. Optimization and biochemical characterization of a bacteriocin from a newly isolated *Bacillus subtilis* strain 14B for biocontrol of *Agrobacterium* spp. strains. *Letters Applied Microbiology* 2009; 48(2): 253–260.
- Haas D., Defago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology* 2005; 3: 307-319.
- He L., Chen W., Liu Y. Production and partial characterization of bacteriocin-like peptides by *Bacillus licheniformis*. *Microbial Research* 2006; 161: 321-326.
- Holtsmark VG., Eijsink MB., Brurberg MB. Bacteriocins from plant pathogenic bacteria. *FEMS Microbiology Letters* 2008; 280: 1-7.
- Holtsmark I., Mantzilas D., Eijsink VGH., Brurberg MB. Purification, characterization, and gene sequence of michiganin A, an actagardine-like lantibiotic produced by the tomato pathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. *Applied Environmental Microbiology* 2006; 72:5814–5821.
- Jabeen N., Rasool SA., Ahmad S., Ajaz M., Saeed S. Isolation, identification and bacteriocin production by indigenous diseased plant and soil associated bacteria. *Pakistan Journal of Biological Science* 2004; 7: 1893–1897.
- Kai M., Effmert U., Piechulla B. Bacterial-plant-interactions: Approaches to unravel the biological function of bacterial volatiles in the rhizosphere. *Frontiers Microbiology* 2016; 7: 108.
- Kamoun F., Mejdoub H., Aouissaoui H., Reinbolt J., Hammami A., Jaoua S. Purification, amino acid sequence and characterization of Bacthuricin F4, a new bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Applied Microbiology* 2005; 98: 881–888.
- Kemperman R., Kuipers A., Karsens H., Nauta A., Kuipers O., Kok J. Identification and characterization of two novel clostridial bacteriocins, circularin A and closticin 574. *Applied Environmental Microbiology* 2003; 69(3): 1589–1597.
- Klaenhammer TR. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews* 1993; 12, 39-85.
- Kumar A., Singh VK., Tripathi V., Singh PP., and Singh AK. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): perspective in agriculture under biotic and abiotic stress. In *crop improvement through microbial biotechnology*. NY: Elsevier; 2018; 333-342.
- Küçük Ç., Kıvanç M. Bacteriocin production by bean root bacteria. III. International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology, Fostering Cross-disciplinary Applied Research in Microbiology and Microbial Biotechnology, BioMicroWorld, 2-4 December 2009, p.779, Lisbon, Portugal.
- Laue BE., Jiang Y., Chhabra SR., Jacob S., Stewart GSAB., Hardman A. The biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* F113 produces the *Rhizobium* small bacteriocin, N-(3-hydroxy-7-cis-tetradecenoyl) homoserine lactone, via HdtS, a putative novel N-acylhomoserine lactone synthase. *Microbiology* 2000; 146(10): 2469–2480.

- Lavermicocca P., Lognigro SL., Valerio F., Evidente A. Reduction of olive knot disease by a bacteriocin from *Pseudomonas syringae* pv. *ciccarone*. *Applied and Environmental Microbiology* 2002; 68: 1403-1407.
- Lee KD., Gray EJ., Mabood F., Jung WJ., Charles T., Clark SRD. The class IId bacteriocin thuricin-17 increases plant growth. *Planta* 2009; 229: 747–755
- Logeshwaran P, Thangaraju M., and Rajasundari K. In vitro suppression of soil borne pathogenic fungi and pyoluteorin production by *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011; 1(3): 150–156.
- Lotz W., Mayer F. Isolation and characterization of a bacteriophage tail-like bacteriocin from a strain of *Rhizobium*. *Journal of Virology* 1972; 9: 160-173.
- Mabood F., Zhou X., Smith DL. Microbial signaling and plant growth promotion. *Canadian Journal of Plant Science* 2014; 94: 1051–1063
- Matilla MA., Krell T. Plant growth promotion and biocontrol mediated by plant-associated bacteria. In: Egamberdieva D., Ahmad P. (eds) *Plant microbiome stress response microorganisms for sustainability*, vol 5, Singapore; Springer 2018, p.45-80.
- Maan H., Itkin M., Malitsky S., Friedman J., Kolodkin-Gal I. Resolving the conflict between antibiotic production and rapid growth by recognition of peptidoglycan of susceptible competitors. *Nature Communications* 2022; 13: 1-15.
- McCaughey LC., Grinter R., Josts I., Roszak AW., Waloen KI., Cogdell RJ. Lectin-Like bacteriocins from *Pseudomonas* spp. utilise D-Rhamnose containing lipopolysaccharide as a cellular receptor. *PLoS Pathology*. 2014; 10(2): 1-15.
- Mendez M., Mercado EC., Pineda EG. *Azospirillum* una rizobacteria con uso potencial en la agricultura. *Biologicas* 2014; 16(1): 11–18.
- Mojgani N. Bacteriocin-producing rhizosphere bacteria and their potential as a biocontrol agent. *Rhizotrophs Plant Growth Promotion Bioremediation* 2017; 2: 165-181.
- Mouloud G., Daoud H., Bassem J., Atef IL., Hani B. New bacteriocin from *Bacillus clausii* strain GM17: purification, characterization, and biological activity. *Applied Biochemistry Biotechnology* 2013; 171: 2186–2200
- Munoz-Rojas J., Fuentes-Ramírez L., Caballero-Mellado J. Antagonism among *Gluconacetobacter diazotrophicus* strains in culture media and in endophytic association. *FEMS Microbiology Ecology* 2005; 54: 57–66.
- Naz SA., Jabeen N., Sohail M., Rasool SA. Biophysicochemical characterization of pyocin SA189 produced by *Pseudomonas aeruginosa* SA189. *Brazilian Journal of Microbiology* 2015; 46(4): 1147–1154.
- Nazari M., Smith DL. A PGPR produced bacteriocin for sustainable agriculture: A review of thuricin 17 characteristics and application. *Frontiers in Plant Science* 2020; 11: 1-7.

- Nes IF., Brede DA., Holo H. The nonantibiotic heat-stable bacteriocins in Gram-positive bacteria. In Handbook of biologically active peptides. NY: Academic Press Elsevier 2006; 107-114.
- Niehus R., Oliveira NM., Li A., Fletcher AG., Foster KR. The evolution of strategy in bacterial warfare via the regulation of bacteriocins and antibiotics. *Elife* 2021; 10: e69756.
- Oresnik IJ., Twelker S., Hynes MF. Cloning and characterization of a *Rhizobium leguminosarum* gene encoding a bacteriocin with similarities to RTX toxins. *Applied Environmental Microbiology* 1999; 65: 2833–2840.
- Oscariz JC., Lasa I., Pisabarro AG. Detection and characterization of cerein 7, a new bacteriocin produced by *Bacillus cereus* with a broad spectrum of activity. *FEMS Microbiology Letters* 1999; 178: 337–341.
- Paik HD., Bae SS., Park SH., Pan JG. Identification and partial characterization of tochicin, a bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *tochigiensis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 1997; 19: 294–298.
- Parret AHA., Schoofs G., Proost P., De Mot R. Plant lectin-like bacteriocin from a rhizosphere-colonizing *Pseudomonas* isolate. *Journal of Bacteriology* 2003; 185: 897-908.
- Parret AHA., Temmerman K., De Mot R. Novel lectin-like bacteriocins of biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *Applied Environmental Microbiology* 2005;71(9): 5197–5207.
- Raddadi N., Belaouis A., Tamagnini I., Hansen BM., Hendriksen NB., Boudabous A. Characterization of polyvalent and safe *Bacillus thuringiensis* strains with potential use for biocontrol. *Journal of Basic Microbiology* 2009; 49: 293–303.
- Riley MA. Molecular mechanisms of bacteriocin evolution. *Annual Review Genetics* 1998; 32: 255–278.
- Riley MA., Wertz JE. Bacteriocins: Evolution, ecology and application. *Annual Review Microbiology* 2002; 56: 117–137.
- Rooney WMR., Chai JJ., Milner D., Walker D. Bacteriocins targeting Gram-negative phytopathogenic bacteria: plantibiotics of the future. *Frontier Microbiology* 2020; 11: 575981.
- Sakthivel N., Mew TW. Efficacy of bacteriocinogenic strains of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* on the incidence of bacterial blight disease of rice (*Oryza sativa* L.). *Canadian Journal of Microbiology* 1991; 37: 764-768.
- Scholz R., Vater J., Budiharjo A., Wang Z., He Y., Dietel K., Schewecke T., Herfort S., Lasch P., Borriss R. Amylocyclicin, a novel circular bacteriocin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Journal of Bacteriology* 2014; 196: 1842-1852.
- Schwinghamer EA., Brockwell J. Competitive advantage of bacteriocin and phage-producing strains of *Rhizobium trifolii* in mixed culture. *Soil Biology Biochemistry* 1978; 10: 383–387.
- Subramanian S., Smith DL. Bacteriocins from the rhizosphere microbiome - from an agriculture perspective. *Frontiers Plant Science* 2015; 6: 909.

- Uğraş S., Sezen K., Kati H., Demirbağ Z. Purification and characterization of the Bacteriocin thuricin Bn1 produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Bn1 isolated from a hazelnut pest. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 2013; 23(2):167-176.
- Yao GW., Duarte I., Le TT., Carmody L., Li Puma JJ., Young R., Gonzalez CF. A Broad-host-range Tailocin from *Burkholderia cenocepacia*. *Applied Environmental Microbiology* 2017; 83(10): e03414-16.
- Wilson R., Handley B., Beringer J. Bacteriocin production and resistance in a field population of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*. *Soil Biology Biochemistry* 1998; 30: 413–417.