ARAŞTIRMA

F.Ü.Sağ.Bil.Vet.Derg.
2026; 40 (2): 177 - 182
http://www.fusabil.org

Lactiplantibacillus plantarum'dan Elde Edilen Konsantre Postbiyotiklerin *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus*'a Karşı İn-Vitro Antimikrobiyal Etkisi

Müzeyyen AKGÖL [1, a]
Ece ÇEVİK [1, b]
Pınar KARATEPE [1, c]
Gökhan Kürşad İNCİLİ [1, d]

[1] Fırat Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Gıda Hijyeni ve Teknolojisi
Ana Bilim Dalı,
Elazığ, TÜRKİYE

[a] ORCID: 0000-0002-8926-4509
[b] ORCID: 0009-0002-5790-1195
[c] ORCID: 0000-0002-4698-9104
[d] ORCID: 0000-0003-1178-3365

Son yıllarda tüketicilerin doğal gıda koruyucularına olan talebinin artmasıyla birlikte laktik asit bakterileri (LAB) ve bunların ikincil metabolitleri, sağlığa faydalı birçok özelliğe sahip olması sebebiyle araştırmacılar tarafından ilgi odağı haline gelmiştir. Postbiyotik terimi çoğunlukla laktik asit bakterilerinin gıdada, konakçıda ya da besi ortamında üremeleri esnasında salgıladıkları veya ürettikleri metabolitler olarak tanımlanmaktadır. Postbiyotikler, organik asitler, bakteriyosinler, ekzopolisakkaritler, karboksilik asitler, serbest yağ asitleri, amino asitler, fenolikler ve uçucu bileşikler gibi birçok biyoaktif bileşiğe sahiptir. *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* çeşitli halk sağlığı problemlerine yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917 suşu kullanılarak elde edilen yoğunlaştırılmamış (1×) ve farklı oranlarda yoğunlaştırılmış (10×, 12.5× ve 15×) postbiyotiklerin *in vitro* antimikrobiyal aktivitesi, pH ve titre edilebilir asitlik parametrelerinin belirlenmesidir. *İn vitro* antimikrobiyal analizler sonucunda 10×, 12.5× ve 15× konsantre postbiyotiklerin, *E. coli* ve *S. aureus* suşlarına karşı 8.05 ile 10.78 mm inhibisyon zon çapı oluşturduğu saptanmıştır. Ayrıca, 10×, 12.5× ve 15× konsantre postbiyotiklerin pH değerlerinin 4.44 ile 4.97 arasında ve titre edilebilir asitlik değerlerinin ise %1.42 ile 14.35 g laktik asit arasında olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yoğunlaştırma oranı arttıkça postbiyotiğin belirtilen bakterilere karşı daha yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir (p<0.05). Ayrıca postbiyotikte yoğunlaştırma oranı arttıkça pH değerinin önemli bir şekilde düştüğü ve titre edilebilir asitlik oranının yükseldiği görülmüştür (p<0.05). Sonuç olarak, *L. plantarum* suşundan elde edilen postbiyotiklerin bakterilere karşı güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiş olup, gıda güvenliğinin iyileştirilmesi için potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Lactiplantibacillus plantarum, yoğunlaştırılmış postbiyotik, antimikrobiyal etki, E. coli, S. aureus.*

In-Vitro Antimicrobial Activity of Concentrated Postbiotics Obtained from *Lactiplantibacillus Plantarum* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*

In recent years, as consumer demand for natural food preservatives has increased, lactic acid bacteria (LAB) and their secondary metabolites have become a focus of research due to their many health benefits. The term ''postbiotic'' is defined as metabolites released by LAB during growth in food or medium. Postbiotics contain bioactive compounds, such as organic acids, bacteriocins, exopolysaccharides, etc. *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* are responsible for numerous public health concerns. The aim of this study was to determine the antimicrobial activity, pH, and titratable acidity parameters of non-concentrated (1×) and concentrated (10×, 12.5×, 15×) postbiotics obtained from *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917. *In vitro* antimicrobial analyses revealed that 10×, 12.5×, and 15× concentrated postbiotics displayed inhibition zones diameters ranging from 8.05 to 10.78 mm against *E. coli* and *S. aureus* strains. Additionally, the pH values of the 10×, 12.5×, and 15× concentrated postbiotics ranged between 4.44 and 4.97, and their titratable acidity values ranged between 1.42 and 14.35 % g lactic acid. It was found that the postbiotic showed larger inhibition zone against the tested strains in a dose-dependent manner (p<0.05). Furthermore, the results revealed that the increase in the condensation ratio of the postbiotic led to considerable decrease in the pH values and an remarkable increase in the titratable acidity (p<0.05). In conclusion, it has been demonstrated that postbiotics derived from the *L. plantarum* strain exhibit robust antimicrobial activity against bacteria and have the potential to enhance food safety.

Key Words: *Lactiplantibacillus plantarum, yoğunlaştırılmış postbiyotik, antimikrobiyal etki, E. coli, S. aureus*

Geliş Tarihi : 14.04.2026
Kabul Tarihi : 08.05.2026

Yazışma Adresi

Müzeyyen AKGÖL
Fırat Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Gıda Hijyeni ve Teknolojisi
Ana Bilim Dalı
Elazığ – TÜRKİYE

makgol@firat.edu.tr

Giriş

Son yıllarda, gıda endüstrisinde sentetik kimyasal koruyucuların potansiyel sağlık risklerine (kanserojenik etkiler, alerjiler) dair artan tüketici farkındalığı, laktik asit bakterileri (LAB) ve bunların metabolitleri gibi doğal koruyucu yöntemlere geçişi hızlandırmıştır (1, 2). LAB, gıdaların raf ömrünü uzatmak, güvenliğini artırmak ve istenmeyen mikroorganizmaları kontrol altına almak için kullanılan, binlerce yıldır fermentasyon süreçlerinde yer alan doğal biyokoruyucu ajanlardır. Bu bakteriler, gıda endüstrisinde hem gıdayı koruma hem de sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle ''Genellikle Güvenli Kabul Edilen'' (GRAS) ve Güvenli Karinesi (QPS) statüsünde olup, postbiyotiklerin üretiminde en yaygın kullanılan mikroorganizmalardır (3, 4). En yaygın olarak kullanılan türler arasında *Lactiplantibacillus plantarum, Lactobacillus acidophilus, Pediococcus acidilactici, Latilactobacillus sakei, Latilactobacillus curvatus,*

Ligilactobacillus salivarius ve *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* bulunmaktadır (5, 6). Laktik asit bakterileri (LAB) ve bunlardan elde edilen postbiyotikler; gıda endüstrisinden tıbba, hayvancılıktan ambalaj teknolojisine kadar oldukça geniş bir yelpazede stratejik öneme sahip biyoaktif bileşenler olarak kullanılmaktadır (7-9).

Postbiyotik, Uluslararası Probiyotikler ve Prebiyotikler Bilimsel Birliği (ISAPP) tarafından 2021 yılında yapılan resmi tanıma göre; "konakçıya sağlık yararı sağlayan cansız mikroorganizmaların ve/veya bileşenleri" olarak tanımlanmaktadır (7, 10, 11). Postbiyotikler, organik asitler, bakteriyosinler, ekzopolisakkaritler, peptidoglikanlar, karboksilik asitler, serbest yağ asitleri, amino asitler, fenolikler ve uçucu bileşikler gibi birçok biyoaktif bileşiğe sahiptir (12-14). Postbiyotikler yapısında bulunan bu metabolitleri sayesinde antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerinin yanı sıra; immünomodülatör, anti-enflamatuvar, anti-tümör, anti-alerjik, antidiyabetik ve antihipertansif etkiler gibi oldukça geniş bir biyolojik aktivite spektrumuna sahiptir (12, 13, 15, 16).

Postbiyotikler; antimikrobiyal etkisini; hücre zarını bozarak (bakteriyosinler, serbest yağ asitleri), ortam pH'ını düşürerek (organik asitler), oksidatif stresi tetiklemesi sonucu patojen DNA ve protein yapılarına zarar vererek (hidrojen peroksit, reuterin vb.), biyofilm oluşumunu engelleyerek (ekzopolisakkaritler), patojenlerin virulans genlerini baskılayarak ve antibiyotik direnç genlerinin yayılmasını önleyerek gerçekleştirmektedir (7, 12, 17). Bu çok yönlü özellikleri sayesinde postbiyotikler, gıdalarda hem mikrobiyolojik hem de kimyasal bozulmaları engelleyerek halk sağlığını koruyan, aynı zamanda doğal bir biyokoruyucu işlevi görerek raf ömrünü uzatan "temiz etiket" (clean-label) uyumlu stratejik bir bileşen olarak kabul edilmektedir (17-19). Postbiyotiklerin yoğunlaştırılması, içerdikleri biyoaktif bileşenlerin miktarını ve buna bağlı olarak antimikrobiyal etkinliklerini doğrudan artıran kritik bir teknolojik süreçtir. Yapılan çalışmalar, postbiyotiklerin sıvı kısmının uzaklaştırılarak konsantre edilmesinin gıda patojenleri üzerindeki inhibisyon gücünü sinerjik olarak katladığını ortaya koymaktadır (4, 20, 21).

Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC) ile Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) raporları, gıdaların özellikle et ve et ürünlerinde halk sağlığını tehdit eden ciddi bir patojen kontaminasyonu riski altında olduğunu vurgulamaktadır (22, 23). Bu patojenler; üretim, işleme, depolama ve dağıtım gibi gıda zincirinin çeşitli aşamalarında kontamine olarak ciddi zoonotik hastalıklara ve gıda kaynaklı salgınlara yol açabilmektedir. *E. coli* gram negatif (-), çubuk şeklinde, fakültatif anaerobik mikroorganizmalardır. Non-patojenik *E. coli* bakterileri normal flora olarak insan sindirim sisteminde bulunurlar ve çalışmalarda referans suş olarak kullanılırlar (24). Ancak patojenik *E. coli* suşları ishal, hemorajik kolitis ve hayati tehlike arz eden hemolitik üremik sendrom, yenidoğan menenjiti gibi ciddi halk sağlığı sorunlarına sebep olmaktadır (13, 25). Diğer yandan, *Staphylococcus aureus* gıda işleme yüzeylerinde oluşturduğu dezenfektan dirençli biyofilm yapılarıyla gıda güvenliği için sürekli bir tehdit teşkil ederken, metisiline dirençli *S. aureus* (MRSA) suşları klinik açıdan en riskli patojenler arasında kabul edilmektedir (12, 20).

EFSA, bu mikrobiyal tehditlerle mücadele kapsamında mikroorganizmaların güvenliğini sağlamak için Nitelikli Güven Karinesi (QPS) yaklaşımıyla suş bazlı risk değerlendirmeleri gerçekleştirmekte ve postbiyotikler gibi doğal biyokoruyucu stratejilerin geliştirilmesini hayati bir öncelik olarak vurgulamaktadır (12). Bu uluslararası kuruluşların raporları, patojenlerin kontrol altına alınması ve postbiyotikler gibi doğal koruma yöntemlerinin geliştirilmesinin küresel gıda güvenliği stratejileri açısından hayati önem taşıdığını ortaya koymaktadır (23).

Bu bilgiler ışığında, bu çalışmanın amacı *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917 suşu kullanılarak elde edilen yoğunlaştırılmamış (1×) ve farklı oranlarda yoğunlaştırılmış (10×, 12.5× ve 15×) postbiyotiklerin *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı *in vitro* antimikrobiyal aktivitesi ile pH ve titre edilebilir asitlik parametrelerinin tespit edilmesidir.

Gereç ve Yöntem

Araştırma ve Yayın Etiği: Bu çalışma Fırat Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulunun etik onayı (evrak tarih ve sayısı: 08.04.2026-46542) alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917 suşu ve anabilim dalı kültür koleksiyonumuzda bulunan *S. aureus* (MRSA) ATCC 33591 ve 43300 ile *E. coli* ATCC 35218 ve 25922 suşları kullanılmıştır.

Postbiyotik Üretimi, Evaporasyon ile Yoğunlaştırılması ve Grupların Oluşturulması: Postbiyotik üretimi için *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917 suşu MRS Broth'da 37°C'de 48 saat boyunca inkube edildikten sonra 4200 ×*g*'de 10 dakika santrifüjlenip bakteri ile süpernatant ayrılmıştır. Daha sonra süpernatant, 0.22 µm şırınga filtresi kullanılarak filtrelenmiş ve postbiyotik elde edilmiştir. Elde edilen postbiyotiklerin yoğunlaştırılması, Sezen ve ark. (4) tarafından kullanılan metotta minör değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; rotary evaporatör (Buchi Interface I-300) (50°C'de, 42 mbar basınç ve 250 rpm'de) kullanılarak 10, 12.5 ve 15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotikler elde edilmiştir (4, 13). Postbiyotiklerin konsantrasyonu, kuru madde üzerinden belirlenmiştir. Konsantrasyon derecesi, başlangıç ağırlığı ile elde edilen son ağırlık arasındaki oran dikkate alınarak hesaplanmıştır. Gruplar; 1× (yoğunlaştırılmamış), 10× (10 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik), 12.5× (12.5 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik) ve 15× (15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik) yoğunlukta elde edilen postbiyotikler olmak üzere 4'e ayrılmıştır (Şekil 1).

pH ve Titre Edilebilir Asitliğin Belirlenmesi: Postbiyotiklerin pH değerleri dijital pH metre (HI 11310, Hanna Instruments, USA) kullanılarak ölçülmüştür. Titre edilebilir asitlik miktarı Serter ve ark. (26)'te açıklanan yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Kısaca, 10 mL

postbiyotik içerisine birkaç damla fenolftalein indikatörü ilave edildikten sonra 0.25 N NaOH (Merck, Emplura, Darmstadt, Germany) ile pembe renk oluşuncaya kadar titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 100 mL postbiyotik için harcanan NaOH miktarının belirlenmesi için harcanan 0.25 N NaOH miktarı 10 ile çarpılmıştır. Elde edilen sonuç %g laktik asit cinsinden belirtilmesi için 0.0225 katsayısı ile çarpılmıştır.

***İn vitro* antimikrobiyal etkinlik:** Postbiyotiklerin, *S. aureus* (MRSA) ATCC 33591 ve 43300 ile *E. coli* ATCC 35218 ve 25922 suşlarına karşı *in vitro* antimikrobiyal aktivitesi agar spot testi kullanılarak tespit edilmiştir. Bakterilerin çoğaltılması için, her kültürden 100 µL (%20 gliserol (h/h) ve Tryptic Soy Broth içinde -18°C'de saklanan stok kültürden) alınarak 9.9 mL TSB'ye eklenmiş ve 37°C'de 24 saat tutulmuş, ardından 4200 ×*g*'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Peletlerin absorbans değerleri 600 nm'de 1.0'a ayarlanmıştır. Buna göre, 8.0 $\log_{10}$ kob/mL stok inokulum değeri elde edilmiştir. *İn vitro* antimikrobiyal aktivite testlerinde kullanılmak üzere 6.0 $\log_{10}$ kob/mL bakteri sayısı elde etmek için 10 kat seyreltiler hazırlanmıştır. Daha sonra, hazırlanan uygun seyreltmeden 100 µL bakteri kültürü alınarak önceden hazırlanmış Mueller-Hinton agar (15 mL) yüzeyine yayılmış ve petriler, bakterilerin yüzeye yapışması için 10 dakika boyunca ortam sıcaklığında tutulmuştur. Ardından, 20 µL postbiyotik petri kaplarına emdirilip 37°C'de 24 saat inkübasyon sonrası, berrak bölgelerin çapları dijital mikrometre kullanılarak ölçülmüştür (27).

İstatistiksel Analiz: İstatistiksel analizler gerçekleştirilirken veriler, SPSS programı (IBM SPSS, sürüm 21.0, IBM Corporation, ABD) kullanılmıştır. Elde edilen veriler logaritmaya dönüştürüldükten sonra, tüm değerler ortalama ve ±standart sapma olarak sunulmuştur. Veriler öncelikle normallik açısından analiz edilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler için varyans analizi (ANOVA) kullanılmış, %5 güven düzeyinde (p<0.05) post hoc Tukey testi uygulanmış, anormal dağılım gösteren verilere ise Kruskal Wallis analizi uygulanmıştır (28).

Bulgular

Lactiplantibacillus plantarum ATCC 14917 kültüründen elde edilen farklı yoğunluklardaki (1×, 10×, 12.5× ve 15×) postbiyotiklerin pH değerleri ve laktik asit cinsinden titre edilebilir asit miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde; yoğunlaştırma oranı (1×, 10×, 12.5× ve 15×) arttıkça postbiyotiklerin pH değerlerinde istatistiksel açıdan önemli bir azalma olduğu gözlenmiştir (p<0.05). pH sonuçlarıyla uyumlu olarak yoğunlaştırma oranı (1×, 10×, 12.5× ve 15×) arttıkça asitliğin arttığı tespit edilmiştir (p<0.05). En düşük pH ve en yüksek asitlik değerinin 15× yoğunlaştırılmış postbiyotik grubunda olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Çalışmada kullanılan patojen bakterilere karşı inhibisyon zon çapları ve görüntüleri Tablo 2 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. *İn vitro* antimikrobiyal analiz sonuçlarına bakıldığında postbiyotiklerin yoğunlaştırma oranı (1×, 10×, 12.5× ve 15×) arttıkça belirtilen patojenler üzerinde daha yüksek inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir (p<0.05). *E. coli* ATCC 25922 ve 35218 üzerinde en yüksek inhibisyon zonunun sırasıyla 9.44 ve 10.18 mm ile 15× grubunda olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde *S. aureus* ATCC 43300 ve 33591 üzerinde de en yüksek inhibisyon zon çaplarını 10.79 ve 10.67 mm ile 15×'in sağladığı gözlenmiştir (p<0.05).

Tablo 1. *L. plantarum*'dan elde edilen yoğunlaştırılmış postbiyotiklerin pH, titre edilebilir asitlik miktarı

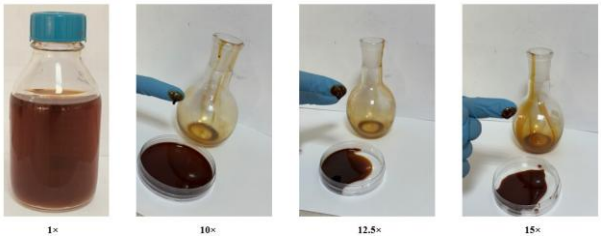
Gruplar	pH	Asitlik (%g l.a.)
1×	4.97 ± 0.05^{a}	1.42 ± 0.04^{c}
10×	4.95 ± 0.02^{a}	7.5 ± 1.01^{b}
12.5×	4.79 ± 0.02^{b}	8.89 ± 0.16^{b}
15×	4.44 ± 0.02^{c}	14.38 ± 0.63^{a}

Aynı sütunda (a–c) farklı üst simgelere sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05). 1×:yoğunlaştırılmamış, 10×: 10 kat yoğunlaştırılmış, 12.5×:12.5 kat yoğunlaştırılmış, 15×: 15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik

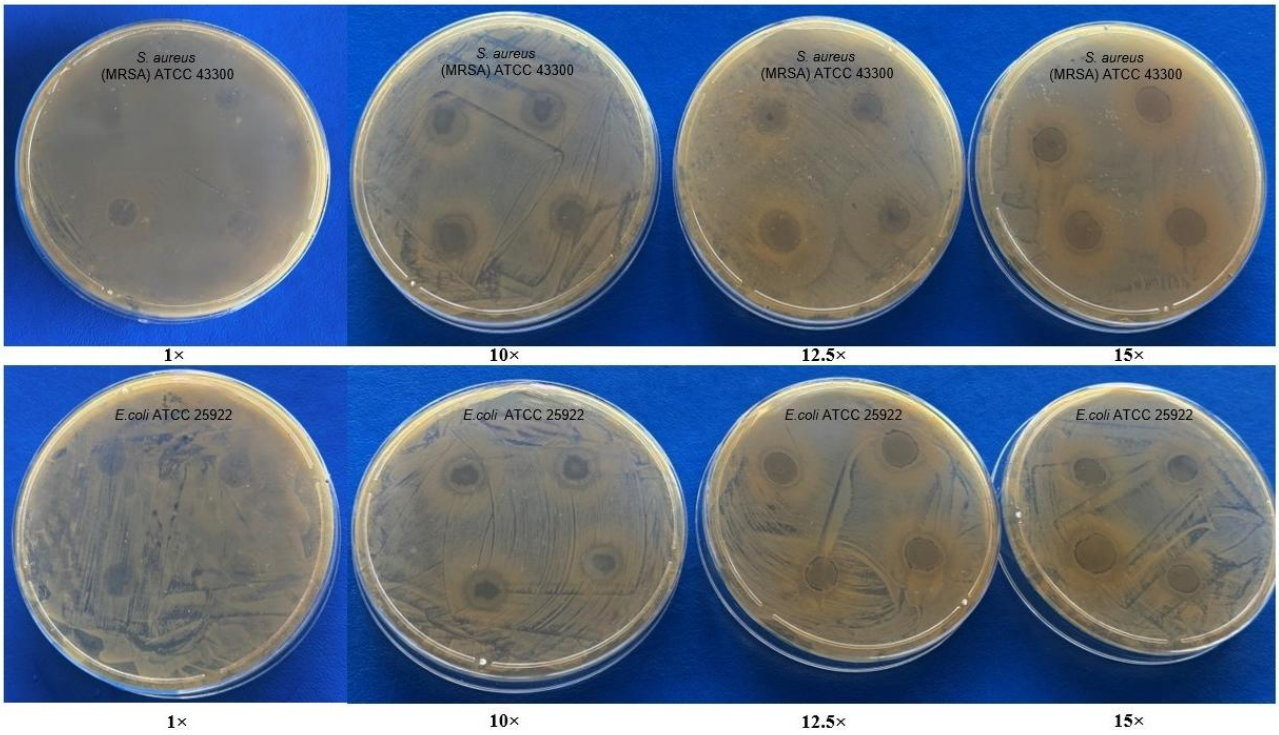
Tablo 2. *L. plantarum*'dan elde edilen yoğunlaştırılmış postbiyotiklerin inhibisyon zon çapları (mm)

	Gruplar			
Bakteri	**1×**	**10×**	**12.5×**	**15×**
E. coli ATCC 25922	7.45±0.07^{c}	8.05±0.07^{b}	8.30±1.35^{b}	9.44±0.24^{a}
S. aureus ATCC 43300	7.07±0.12^{d}	8.87±0.13^{c}	9.46±0.16^{b}	10.79±0.10^{a}
E. coli ATCC 35218	7.14±0.07^{d}	8.67±0.17^{c}	8.99±0.22^{b}	10.18±0.25^{a}
S. aureus ATCC 33591	8.17±0.16^{d}	9.46±0.11^{c}	10.34±0.17^{b}	10.67±0.20^{a}

Aynı satırda (a–d) farklı üst simgelere sahip değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05). 1×:yoğunlaştırılmamış, 10×: 10 kat yoğunlaştırılmış, 12.5×:12.5 kat yoğunlaştırılmış, 15×: 15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik



Şekil 1. *L. plantarumdan* elde edilen postbiyotikler (1×, 10×, 12.5× ve 15×). 1×: yoğunlaştırılmamış, 10×: 10 kat yoğunlaştırılmış, 12.5×:12.5 kat yoğunlaştırılmış, 15×: 15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik



Şekil 2. *L. plantarumdan* elde edilen 1×, 10×, 12.5× ve 15× yoğunlaştırılmış postbiyotiklerinin inhibisyon zon çapı görüntüleri (mm). 1×:yoğunlaştırılmamış, 10×: 10 kat yoğunlaştırılmış, 12.5×:12.5 kat yoğunlaştırılmış, 15×: 15 kat yoğunlaştırılmış postbiyotik

Tartışma

Organik asitler, postbiyotiklerin en temel biyoaktif bileşenleri olup, ortamın pH değerini düşürerek patojenlerin gelişimini engelleyen doğal ve güvenli koruyucudardır. Başlıca LAB tarafından şekerlerin fermantasyonu yoluyla üretilen bu asitler; laktik, asetik, propiyonik, bütirik, malik ve sitrik asit gibi türleri kapsar (17). Mevcut çalışmada kullanılan *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917'e ait postbiyotiklerin yoğunlaştırma oranı arttıkça pH değerinin düştüğü görülmüştür ($p<0.05$) (Tablo 1). Sezen ve ark. (4) tarafından farklı LAB (*L. plantarum*, *L. sakei, L. curvatus, L. paracasei*, *L. rhamnosus, L. fermentum, L. reuteri, P.acidilactici ve L.delbrueckii subsp. bulgaricus)* kültürleri kullanılarak yapılan çalışmada bireysel olarak incelendiğinde pH değerleri arasında fark olmadığı ancak bakteri türleri arasında farklılığın bulunduğu ve genellikle *L. fermentum* postbiyotiğinin pH değerinin diğer postbiyotiklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. pH değerinde görülen bu farklılıkların sebebinin kullanılan bakteri türü ve fermentasyon tipi, bakteri büyüme koşulları ve besiyeri, inkübasyon süresi, yapısında bulunan organik asit miktar ve çeşidinden kaynaklandığı düşünülmektedir (4, 13, 25).

Titre edilebilir asitlik (TA), bir postbiyotik çözeltisindeki toplam asit miktarının bir ölçüsüdür ve postbiyotiklerin karakterizasyonunda genellikle % laktik asit eşdeğeri (LAE) cinsinden belirtilmektedir. Bu parametre, postbiyotiğin pH değeriyle birlikte, patojen mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon gücünü belirleyen temel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (25, 28). Titre edilebilir asitlik miktarı, kullanılan bakteri suşuna ve postbiyotiğin üretim yöntemine göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Mevcut çalışmada yoğunlaştırma oranı arttıkça pH sonuçlarını destekleyici şekilde titre edilebilir asitliğin arttığı görülmüştür ($p<0.05$) (Tablo 1). En yüksek titre edilebilir asitlik değerinin 14.38 %l.a ile 15×'de olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Çalışma bulgularına benzer şekilde Sezen ve ark. (4) tarafından yapılan çalışmada postbiyotiklerin 2× ve 4× yoğunlaştırıldığında titre edilebilir asit miktarlarının önemli oranlarda artış gösterdiği (yoğunlaştırılmamış bir postbiyotikte asitlik %1.97-2.19 arasındayken, 4× yoğunlaştırılmış formda bu oran %6.78-7.08 arasında) tespit edilmiştir. Yine daha önce *Pediococcus acidilactici* kullanarak yapan çalışmada tüm hücre postbiyotiğinin (WCP) asitlik seviyesi (%1.44 LAE), hücre içermeyen süpernatanta (CFS) kıyasla (%1.27 LAE) daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve bunun sebebinin, otoklavlama işlemi sırasında bakteriyel hücrelerin parçalanmasıyla (lizis) hücre içindeki organik asitlerin ortama salınması olduğu düşünülmektedir (29). Yine başka bir çalışmada *Latilactobacillus sakei/Staphylococcus xylosus* (LS) karışımından elde edilen CFS'nin, tek başına *Pediococcus acidilactici* (PA) suşundan elde edilene kıyasla daha yüksek titre edilebilir asitlik ve daha düşük pH sergilediği saptanmıştır (25). Postbiyotikler, *in vitro* koşullarda gıda kaynaklı patojen bakteriler üzerinde geniş spektrumlu ve güçlü bir antimikrobiyal etkinlik sergilemektedir. Bu etki, postbiyotiklerin içeriğinde

bulunan organik asitler, bakteriyosinler, hidrojen peroksit, fonksiyonel peptitler ve uçucu bileşenlerin sinerjik etkileşimi sayesinde gerçekleşmektedir (12, 15).

Mevcut çalışmada kullanılan patojen mikroorganizmalar üzerinde yoğunlaştırılmamış postbiyotiğe kıyasla yoğunlaştırma oranı arttıkça inhibisyon zon çaplarının da doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür (Tablo 2). Benzer şekilde Sezen ve ark. (4) tarafından *L. plantarum, L. curvatus* ve *L. sakei* kültürleri kullanılarak yapılan çalışmada yoğunlaştırma oranı (2×, 4×) arttıkça inhibisyon zon çapının arttığı belirlenmiştir. Yine başka bir çalışmada (15) *L. plantarum* postbiyotiği kullanılmış ve *E. coli O157:H7* üzerinde 20.21 mm, *S. aureus* üzerinde ise 22.56 mm zon çapı elde edilmiştir. Daha önce *Pediococcus acidilactici* postbiyotiği kullanarak bazı patojen mikroorganizmalar (*E. coli* O103, *ve S. aureus*) üzerinde yapılmış olan çalışmada 8.22 ile 10.49 mm arasında değişen inhibisyon zon çapları elde edilmiştir (29). Çalışmalarda elde edilen inhibisyon zon çapları, kullanılan bakteri suşuna, kullanılan postbiyotiğin miktarına ve gıda matrisi içindeki uygulama formuna (sıvı, toz veya film), formülasyona, yoğunlaştırma işlemine bağlı olarak değişmektedir (13).

Sonuç olarak, *Lactiplantibacillus plantarum* kültüründen elde edilen 10×, 12.5× ve 15× yoğunlaştırılmış postbiyotiğin, *E. coli* ve *S. aureus* suşlarına karşı 8.05 ile 10.79 mm arasında inhibisyon zonu oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 10×, 12.5× ve 15× yoğunlaştırılmış postbiyotiklerin pH değerlerinin 4.44 ile 4.97 arasında değiştiği, titre edilebilir asitlik değerlerinin ise %1.42 ile 14.38 g laktik asit arasında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda yoğunlaştırma oranı arttıkça postbiyotiğin belirtilen bakterilere karşı daha yüksek inhibisyon zonu oluşturduğu, pH değerinin önemli bir şekilde düştüğü ve titre edilebilir asitlik oranının yükseldiği saptanmıştır (p<0.05). Kısaca; postbiyotiklerin, içerdikleri organik asitler, bakteriyosinler ve diğer biyoaktif bileşenler sayesinde hem gıda güvenliğinin korunup raf ömrünün uzatılması hem de majör patojenler üzerinde antimikrobiyal etki sergileyerek mikrobiyolojik ve kimyasal kalitenin arttırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Tutuk Z, Karatepe P, Akgöl M, et al. Inhibition of *Aspergillus parasiticus* and detoxification of aflatoxin derivatives in tomato paste by adding freeze-dried postbiotic from *Lactiplantibacillus plantarum*. Food Control 2025;147:111664.
2. Chou Y, Ji S, Zhang T, et al. Recent advances in artificial intelligence-driven discovery and industrial applications of bacteriocins from lactic acid bacteria. J Future Foods 2026.
3. Mariom H, Hossain MS, Rifa RJ, et al. Lactic acid bacteria (LAB) in aquaculture: current insights, research gaps, and future directions for sustainability. Arch Microbiol 2026;208:72.
4. Sezen NE, Güner TE, Tavşanlı H, İlhak Oİ. Laktik asit bakterilerinden elde edilen konsantre postbiyotiklerin bazı gıda patojenleri üzerine etkilerinin değerlendirilmesi. Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi 2024;35:77-86.
5. Rahman MM, Sazili AQ, Ahmad SA, et al. Fatty acid profile and bio-preservative efficacy of lactic acid bacteria postbiotics for improving microbiological safety in broiler meat. Food Control 2026;181:111769.
6. Incili GK, Karatepe P, Akgöl M, et al. Impact of chitosan embedded with postbiotics from Pediococcus acidilactici against emerging foodborne pathogens in vacuum-packaged frankfurters during refrigerated storage. Meat Sci 2022;188:108786.
7. Karabacak Aydın EG, Mohammed S, Con AH. Postbiotics in the food industry: Applications, delivery systems, and future perspectives. Arch Microbiol 2026;208:38.
8. Ge Z, Wang D, Zhao W, Wang P, Zhao X. Advancements in the structure, spatial configuration, functional properties, and dairy applications of lactic acid bacteria exopolysaccharides. Food Rev Int 2026;42:1-30.
9. Meena KK, Joshi M, Gupta L, Meena S. Comprehensive insights into postbiotics: Bridging the gap to real-world application. Food Nutr 2025;1:100024.
10. Mafe AN, Sharifi-Rad J, Calina D, Ogunyemi AJ, Tubi AO. Postbiotics in functional foods: Microbial derivatives shaping health, immunity and next-generation nutrition. Food Front 2026;7:e70205.
11. Moghadam SK, Homayouni-Rad A, Shokouhian SMJ, et al. Postbiotics in food, feed, and culture media: Mechanisms and applications of microbial metabolites in sustainable systems. Food Prod Process Nutr 2026;8:5.
12. Balakrishna K, Naveena G, Kingston JJ. Postbiotics at the interface of microbial biotechnology and therapeutics: Industrial production, functional mechanisms, and clinical potentials. Arch Microbiol 2026;208:123.
13. Akgöl M, Karatepe P, Incili GK, et al. Fabrication of edible chitosan films incorporated with the postbiotic of Pediococcus acidilactici and impact of the edible films on the quality and microbial safety of rainbow trout fillets. Int J Biol Macromol 2025; 329:147677.
14. Baydaş Atasoy Y, Şengül M. Quality improvement of yogurt formulations using postbiotic powders obtained by Lacticaseibacillus casei ATCC 393. J Food Meas Charact 2026.
15. Çobur H, Löker N, Dışhan A, et al. Lactiplantibacillus plantarum postbiotics suppress Salmonella Typhimurium invasion and modulate innate responses in human intestinal epithelial cells. Probiotics Antimicrob Proteins 2025.
16. Lim HS, Serpell CJ, Ogawa S, et al. From ferments to fixers: Postbiotics in wound healing. Medicine Drug Discov 2026.
17. Incili GK, Razavi R, Hayaloğlu AA, et al. Sustainable materials for food packaging and preservation. In: Ghosh T, Priyadarshi R, Roy S (Editors). Sustainable Materials for Food Packaging and Preservation: Food Secur Sustain; 2025.
18. Trymers M, Wiśniewski P, Tkacz K, Zakrzewski A. From production to application: Postbiotics in meat, meat

products, other food matrices, and bioactive packaging. Foods 2026;15:501.

19. Akter S, Rahman MA, Ashrafudoulla M, et al. Targeting biofilm resistance in meat production: Postbiotics as a clean-label alternative, a bibliometric analysis review. Poultry Sci 2025;105:106362.

20. Ozma AM, Moaddab SR, Asgharzadeh M, et al. Proteomic alterations and antimicrobial effects of postbiotics from probiotic lactic acid bacteria and yeast against multidrug-resistant Salmonella Typhimurium. Curr Microbiol 2026;83:98.

21. Sornsenee P, Chatatikun M, Mitsuwan W, et al. Lyophilized cell-free supernatants of Lactobacillus isolates exhibited antibiofilm, antioxidant, and reduced nitric oxide activity in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells. PeerJ 2021;9:e12586.

22. Centers for Disease Control and Prevention (U.S.). COVID-19: U.S. impact on antimicrobial resistance. Special Report 2022. NCEZID, 2022. Search PubMed.

23. EFSA, ECDC. The European Union one health 2022 zoonoses report. J EFSA 2023; 21: e8442.

24. Septya CB, Pinatih KJP, Darwinata AE, Tarini NMA. Inhibitory effectiveness of white turmeric (Curcuma zedoira) extract against Escherichia coli ATCC 25922. J Medika Udayana 2025; 15: 11-16.

25. Incili GK, İlhak Oİ, Çalıcıoğlu M. Inhibitory effect of cell-free supernatants of Pediococcus acidilactici and Latilactobacillus sakei/Staphylococcus xylosus in combination with ethylenediaminetetraacetic acid against Escherichia coli O157:H7 strains. Vet Res Forum 2025; 16: 439-446.

26. Serter B, Önen A, İlhak Oİ. Antimicrobial efficacy of postbiotics of lactic acid bacteria and their effects on food safety and shelf life of chicken meat. Ann Anim Sci 2024; 24: 277-287.

27. Boussif K, Elidrissi A, Elmoslih A, et al. Lactic acid bacteria from traditional fermented milk: Antimicrobial potential against foodborne pathogens. Appl Microbiol 2026;6:14.

28. IBM SPSS. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp, 2012.

29. İncili GK, Akgöl M, Karatepe P, et al. 2023. Whole-cell postbiotics: An Innovative Approach for Extending the Shelf Life and Controlling Major Foodborne Pathogens in Chicken Breast Fillets. Food Bioprocess Technol, 16: 1502-1524.