



## POSTBİYOTİKLER VE GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARI

Seyhan İçier<sup>1</sup>, Cansu Güzelcan<sup>2</sup>, Şule Hıdır<sup>2</sup>, Burcu Kaplan Türköz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 23.11.2021; Kabul / Accepted: 24.02.2022; Online baskı / Published online: 18.03.2022

İçier, S., Güzelcan, C., Hıdır, Ş., Kaplan Türköz, B. (2021). Postbiyotikler ve gıda endüstrisinde kullanım alanları. *GIDA* (2022) 47 (2) 252-265 doi: 10.15237/gida. GD21145

İçier, S., Güzelcan, C., Hıdır, Ş., Kaplan Türköz, B. (2021). Postbiotics and their use in food industry. *GIDA* (2022) 47 (2) 252-265 doi: 10.15237/gida. GD21145

### ÖZ

Probiyotiklerin gıda sektöründe kullanımı oldukça yaygındır, buna rağmen gıdalara canlı mikroorganizma eklenmesi ile ilgili teknolojik problemler ve sağlık riskleri ile ilgili tartışmalar devam etmektedir. Son yıllarda probiyotikler yerine postbiyotiklerin gıdalarda kullanımı ile ilgili çalışmalar hızla artmaktadır. Postbiyotikler, probiyotikler tarafından üretilen ekzopolisakkaritler, kısa zincirli yağ asitleri, enzimler, peptitler, bakteriyosinler, vitaminler, plazmalojenler, peptidoglikanlar gibi moleküllerdir. Gıdalara postbiyotiklerin eklenmesiyle, depolama sürecinde kalite özelliklerini kaybetmeyen uzun raf ömrüne sahip kaliteli ve hem gıda matrisi hem de tüketici üzerine belirgin olumlu etkilere sahip fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu makalede postbiyotiklerin gıda formülasyonlarında kullanımına yönelik son yıllarda yapılan çalışmalar derlenmiştir. *Lactobacillus* suşlarından elde edilen postbiyotiklerin; farklı gıda ürünlerinde ve ayrıca ambalaj malzemelerinde antimikrobiyal ve antioksidan ajan olarak başarılı şekilde kullanıldığı anlaşılmaktadır. Postbiyotiklerin bu etkilerin yanısıra biyoaktif peptit içerikleri ile fonksiyonel gıda tasarımında ve gıda kontaminantlarının biyodönüşümü için kullanımları da güncel araştırma konularındandır.

**Anahtar Kelimeler:** Postbiyotik, gıda güvenliği, antimikrobiyal

## POSTBIOTICS AND THEIR USE IN FOOD INDUSTRY

### ABSTRACT

The use of probiotics in the food industry is quite common, yet there are discussions on technological problems and health risks. Therefore use of postbiotics instead of probiotics in food products gained attention. Postbiotics are molecules secreted by probiotics; such as exopolysaccharides, short chain fatty acids, enzymes, peptides, bacteriocins, vitamins, plasmalogens, peptidoglycans. Studies on postbiotic added foods are increasing for the development of functional foods with longer shelf life, which do not lose their quality properties during storage, and which have significant positive effects on both the food matrix and the consumer. In this article, recent studies on the use of postbiotics in food formulations are reviewed. Studies show that postbiotics produced by *Lactobacillus* spp. are successfully used as antimicrobial and antioxidant agents in different food products and packaging

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: burcu.kaplan.turkoz@ege.edu.tr

☎: (+90) 232 311 30 11

☎: (+90) 232 311 48 31

Seyhan İçier; ORCID no: 0000-0002-0627-733X

Cansu Güzelcan; ORCID no: 0000-0002-1536-0522

Şule Hıdır; ORCID no: 0000-0002-6056-2764

Burcu Kaplan Türköz; ORCID no: 0000-0003-3040-3321

materials. Furthermore, the use of postbiotics in functional food design and biotransformation of food contaminants are also current research topics.

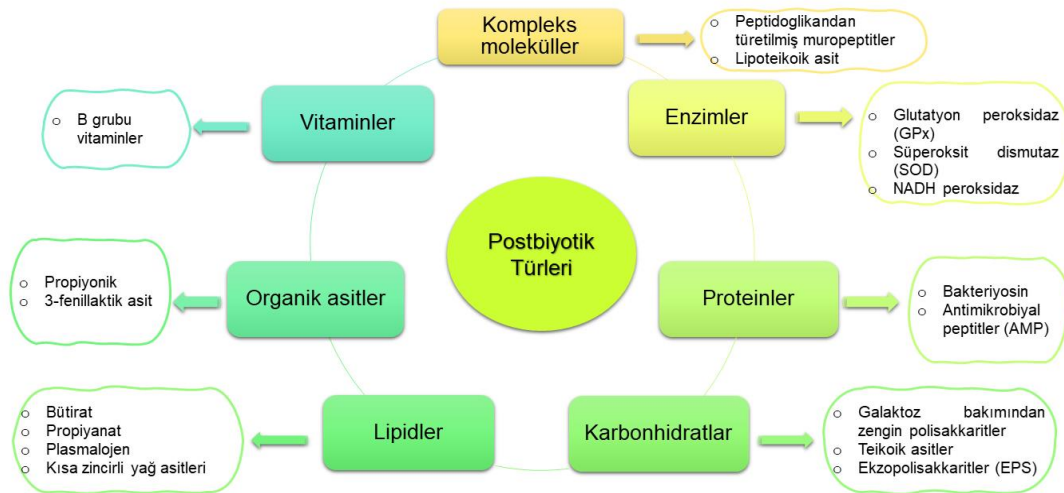
**Keywords:** Postbiotics, food safety, antimicrobial

## GİRİŞ

Probiyotikler yeterli miktarda tüketildiğinde konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır (FAO/WHO, 2002). Prebiyotikler ise kolon bakterilerinin sayı ve aktivitelerini seçici olarak uyarıcı ve probiyotiklerin etkisini arttıran, insan sindirim sistemi tarafından sindirilemeyen moleküllerdir (Taşdemir, 2017; Haarman ve Knol, 2006). Son zamanlarda probiyotiklerin yanısıra parabiyoetik ve postbiyoetik kavramları ortaya atılmıştır. Paraprobioetikler Gıda ve Tarım Örgütü / Dünya Sağlık Örgütü'nün (FAO / WHO) probiyotik tanımına benzer şekilde, 'Yeterli miktarda tüketildiğinde tüketicilere fayda sağlayan inaktif (cansız) mikrobiyal hücreler veya hücre fraksiyonları' olarak tanımlanmıştır (de Almada vd., 2016). Bazı araştırmacılar paraprobioetikleri tanımlamak üzere, "canlı olmayan probiyotikler", "hayalet probiyotikler" gibi terminolojiler de önermişlerdir (Nataraj vd.,

2020). Parabiyoetiklerin eldesinde probiyotikler ısı işlemler, kimyasallar, gama veya ultraviyole ışınlama ve sonikasyon gibi yöntemlerle inaktif hale getirilebilir. Bununla birlikte inaktivasyon yöntemlerinin; hücresel yapısal bileşenler ve biyolojik aktiviteler üzerindeki etkileri birbirinden farklıdır. Tüm bu yöntemlerin içinde en sık kullanılanı ise ısı işlemlerle inaktivasyondur (Nataraj vd., 2020).

Postbiyotikler ise fermantasyon sırasında üretilen bioaktif çözümlü faktörlerdir ve çoğunlukla hücre içermeyen üstfazda bulunan moleküller postbiyotik sınıfına girer (Moradi vd., 2020). Postbiyotikler; hücre yüzeyi proteinleri, bakteriyel enzimler ve peptitler, teikoik asitler gibi bakteriler tarafından üretilen metabolitleri, peptidoglikan türevli nöropeptidleri, polisakkaritleri ve laktik asit gibi organik asitleri içerebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Postbiyotik türleri

## POSTBİYOTİKLERİN ÜRETİLMESİ VE TANIMLANMASI

Postbiyotiklerin elde edilmesinde genel olarak probiyotik suşların fermantasyonu, fermantasyon sonrası hücre içermeyen kültür üstfazının ayrılması ve istenen hedef molekülün

saflaştırılması için ultrafiltrasyon ya da kromatografi gibi yöntemler kullanılır ve elde edilen postbiyotik dondurarak kurutma ya da püskürtmeli kurutucu ile toz hale getirilir (Moradi vd., 2021b; Aguilar-Toalá vd., 2018; Barbieri vd., 2019).

Probiyotik tarafından üretilecek postbiyotik(ler) besiyeri ve fermantasyon koşullarına bağlıdır ve aynı suş farklı koşullarda farklı postbiyotikler üretebilir (Amiri vd., 2021). Ayrıca son yıllarda endüstriyel ölçekte postbiyotik üretimi için alternatif besiyerleri de araştırılmaktadır. Örneğin bir çalışmada; yağsız süt, proteolitik DSM-100H kültürünün postbiyotiklerinin üretimi için endüstriyel ölçekte başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Dunand vd., 2019).

Gıda ve ilaç uygulamaları için postbiyotiklerin detaylı kimyasal bileşiğinin karakterize edilmesi gerekmektedir (Uğur vd., 2021). Postbiyotikler farklı polimerizasyon derecelerine ve bağlara sahip karmaşık moleküllerden oluşmaktadır. Bu nedenle postbiyotiklerin kalitatif ve kantitatif tanımlanması ve karakterizasyonu için karmaşık analizler gerekmektedir. Bununla birlikte, bu amaç için çok sayıda enstrümantal teknik ve yenilikçi yaklaşımlar uygulanmıştır. Uygun olan yöntem genel olarak analitik hedeflere ve izlenen karakterizasyon tipine bağlı olarak seçilmekte ve uygulanmaktadır (Barros vd., 2020). Gaz kromatografisi (GC), sıvı kromatografisi (LC), ince tabaka kromatografisi (TLC), spektrofotometrik tabanlı analiz, nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi, Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi gibi teknikler, postbiyotiklerin kimyasal bileşimini incelemek için sıklıkla kullanılan analitik tekniklerdir (Moradi vd., 2021b).

### POSTBİYOTİKLERİN BİYOAKTİVİTELERİ

Probiyotiklerin bağırsak iç dengesini sürdürmek, mide ve bağırsaktaki sorunları tedavi etmek gibi sağlığa yararlı etkileri uzun zamandır bilinmekle birlikte, alta yatan moleküler mekanizmaların bütünü henüz netleştirilememiştir. Son yıllarda yapılan klinik ve laboratuvar ölçekli araştırmalar postbiyotiklerin, probiyotik etkide önemli faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmalar özellikle, bakteriyosinler, yağ asitleri, biyoaktif peptitler, vitaminler ve proteinlerin bağırsak bariyer işlevi üzerinde canlı probiyotik mikroorganizmalara benzer şekilde koruyucu bir etkiye sahip olduğu fikrini desteklemektedir (Gao vd., 2019, Gökırmaklı vd., 2021). Ayrıca bazı

postbiyotiklerin probiyotikler gibi bağışıklık düzenleyici ve antitümor etkileri olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Uğur vd., 2021).

Postbiyotikler ilaç araştırmaları için antikanser, antiviral, antimikrobiyal ve antioksidan etkileriyle dikkat çekmektedir (Żółkiewicz vd., 2020) ve ticari olarak postbiyotik içeren takviye edici ürünler mevcuttur (Moradi vd., 2021b). Gıda endüstrisine yönelik yapılan araştırmalarda ise postbiyotiklerin antimikrobiyal etkileri üzerine yapılan çalışmaların öne çıktığı görülmektedir. Birçok postbiyotik, *in vitro* koşullarda patojen mikroorganizmalara ve gıdada bozulmalara neden olan mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etki göstermektedir. Laktik asit bakterilerinin antimikrobiyal etkilerinden sorumlu metabolitler; bakteriyosinler, organik asitler, enzimler, alkoller ve düşük molekül ağırlıklı moleküllerdir (Moradi vd., 2020).

Gıda endüstrisinde teknolojik olarak postbiyotik kullanımının probiyotiklere göre önemli avantajları vardır. Bunlar arasında daha uzun raf ömrü, antibiyotik direncine sebebiyet vermeme, tanımlanmış kimyasal bileşim ve güvenliğe sahip olmaları, kolay kullanım ve depolama imkanı, geniş pH ve sıcaklık aralıklarında daha yüksek stabilite göstermeleri ve özellikle antimikrobiyal etkiye sahip olmaları sayılabilir (Moradi vd., 2020; Moradi vd., 2021a).

### POSTBİYOTİKLERİN GIDALARDA KULLANIMLARI

Postbiyotiklerin literatürde bilinen faydaları ve teknolojik avantajları sebebi ile probiyotiklerin yerine gıdalarda kullanımı son yıllarda hız kazanmıştır. Gıda endüstrisinde postbiyotiklerin kullanımı yeni bir yaklaşım olmakla birlikte biyofilmlerin giderilmesi, antimikrobiyal etki, antioksidan etki, gıdalarda kimyasal kontaminantların biyolojik olarak parçalanması, gıda kaynaklı patojenlerin inhibe edilmesi ve yenilebilir kaplamalarda kullanılmaları gibi güncel uygulamalar mevcuttur (Moradi vd., 2021b). Probiyotiklerin fermantasyonu ile elde edilen kültür üst fazları çeşitli formlarda gıda matriksine eklenmekte (Şekil 2) ve postbiyotiklerin gıda üzerine etkileri incelenmektedir.



Şekil 2. Postbiyotiklerin gıda matrisine eklenmesi ve etkileri

Postbiyotiklerin gıdalara eklenmesi doğrudan sıvı kültür üstfazı olarak ya da konsantre kültür üstfazının çözelti olarak eklenmesi şeklinde yapılabilir. Ancak yapılan çalışmalar, liyofilize ya da enkapsüle postbiyotiklerin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir (Malheiros vd., 2016; Kuley vd., 2021).

Postbiyotiklerin kimyasallar, safra tuzu, düşük pH, antimikrobiyal ajanlar ve yüksek sıcaklık gibi olumsuz koşullara karşı korunması için mikroenkapsülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Akışkan yataklı kurutma, püskürtmeli soğutma, birlikte kristalleştirme ve birlikte biriktirme gibi teknikler kullanılarak enkapsülasyon yapılmaktadır. Karbonhidrat, protein ve lipitler postbiyotiklerin enkapsüle edilmesi için kullanılmaktadır (Hosseini vd., 2021, Rad vd., 2021),

Literatürde gıdalara postbiyotik eklenmesi ile gıdaların farklı özelliklerinin incelenmesine yönelik çalışmaların son yıllarda arttığı görülmektedir. Postbiyotiklerin gıda kullanımlarında bakteriyosinler ve diğer biyoaktif peptitler, ekzopolisakkaritler (EPS), ve antioksidan moleküller öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar birçok farklı probiyotik suşun antioksidan etkiye sahip postbiyotikler ürettiğini göstermektedir. Bu antioksidan moleküller arasında, proteinler ve peptitler, olabileceği gibi glutasyon, pirol ve halkalı bileşikler gibi küçük moleküller de vardır (Cuevas-González vd., 2020;

Chang vd., 2021). Biyoaktif peptitler; amino asit dizilerine ve üç boyutlu yapılarına bağlı olarak antioksidan ve antimikrobiyal etkiler ve ayrıca doğrudan insan sağlığı üzerine etki gösteren antihipertansif, antidiyabetik, anti-enflamatuvar gibi etkiler gösterebilen peptitlerdir (Romero-Luna vd., 2022, Ötleş vd., 2022). Biyoaktif peptitler, proteinlerin enzimatik hidrolizi ile elde edilebildiği gibi fermantasyon yoluyla da üretilebilir. Laktik asit bakterilerin fermantasyon sonrası postbiyotik fraksiyonlarında biyoaktif peptitler olduğunu gösteren çok sayıda çalışma vardır (Venegas-Ortega vd., 2019).

EPS, mikroorganizmalar tarafından üretilen ve hücre dışına salgılanan biyopolimerlerdir. Probiyotik organizmaları sert çevre koşullarına karşı korumakla birlikte hücre tanıma ve biyofilm oluşumunda da görev alırlar (Korczyk ve Varda, 2021; Angelin ve Kavitha, 2020). EPS'lere örnek olarak dekstran, gellan, ksantan, pullulan, aljinat verilebilir ve başta gıda olmak üzere birçok endüstride kullanımları mevcuttur. Jelleştirici, stabilizatör, koyulaştırıcı ve emülgatör olarak kullanılabilen bu biyopolimerler aynı zamanda gıda ambalajlanmasında da kullanılabilirler (Moradi vd., 2021a). Süt ürünleri grubunda su tutma kapasitesini, viskoziteyi, reolojiji geliştirmede kullanılırlar. Hububat ürünleri grubunda da benzer reolojik özelliklerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Shukla vd., 2019).

Postbiyotiklerin antimikrobiyal etkileri çeşitli faktörlere bağlıdır. Üretici probiyotik mikroorganizma, hedef patojen mikroorganizmanın türü, konsantrasyonu, uygulama şekli ve gıda matrisi postbiyotiklerin etkisini belirleyen parametrelerdir (Moradi vd., 2020).

Bu makalede postbiyotiklerin gıdalara eklenmesine yönelik son yıllarda yapılan çalışmalar derlenmiştir.

### Postbiyotiklerin et ürünlerinde kullanımları

Et ürünlerinde doğal katkı maddelerin kullanımına yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Bu kapsamda postbiyotik kullanımının özellikle antioksidan ve antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır.

*Lactobacillus salivarius*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 ve *Lactobacillus casei* 431 kültür üst fazlarının liyofilize edilerek dana kıymasına eklendiği bir çalışmada; antimikrobiyal etkileri incelenmiş ve özellikle *L. monocytogenes*'e karşı etki gösterdikleri gözlemlenmiştir. *L. salivarius* postbiyotikleri, *L. monocytogenes* üzerinde en yüksek inhibitör aktiviteyi gösterirken *L. casei* 431 'in postbiyotiklerinin ise en düşük aktiviteyi gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca her üç probiyotik üst fazları ile yapılan gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (GC-MS) analizi sonucunda hücresiz üst fazların çeşitli organik asit, peptit ve yağ asitleri içerdiği görülmüştür. Benzoik asit, pirolo [1,2-a] pirazine-1,4-dion bakımından zengin oldukları belirlenmiştir. Bahsi geçen ajanların antioksidan etki gösterdiği bilinmekte, bu suşlardan elde edilen postbiyotiklerin fonksiyonel gıdalarda potansiyel antioksidan adayı olabileceğini göstermektedir. (Moradi vd., 2019b). Doğal fermente sucuklarda gelişen farklı probiyotiklerin de antioksidan postbiyotikler ürettiği ve aktivitenin suşa bağlı olduğu güncel bir çalışma ile gösterilmiştir (Aydın vd., 2021).

Başka bir çalışmada ise çeşitli probiyotik suşlardan elde edilen kültür üst fazları vakum evaporasyon ile konsantre edilerek biftek dilimlerine eklenmiştir ve *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella sonnei*, *Pseudomonas fluorescens*, *Salmonella*

*typhimurium* ve *L. monocytogenes*'e karşı antimikrobiyal etkileri gösterilmiştir (Arrijoja-Bretón vd., 2020). *Salmonella enterica*, *S. sonnei* ve *E. coli* ile inokule edilen çiğ ete *Lactobacillus plantarum* Cys5-4 suşu kültür üst fazlarından elde edilen antimikrobiyal peptitler doğrudan daldırılma ile eklenmiştir ve soğuk saklama koşullarında Cys5-4 peptitlerinin kontamine etteki patojenleri inhibe ettiği gözlemlenmiştir. Böylece peptitlerin gıdalarda koruyucu olarak kullanılan nitrit ile benzer bir etkiye sahip olduğu, ancak nitrit kullanımının aksine tüketici sağlığı açısından olumsuz etki göstermediği bildirilmiştir (Tenea ve Guaña, 2019). Dana kıyması ile yapılan bir çalışmada çiğ bufalo sütünden izole edilen *L. salivarius* (Ls-BU2) liyofilize kültür üst fazlarının kıymaya belirli konsantrasyonlar ile ilave edildikten sonra +4°C'de 9 gün saklandığında *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal etki gösterdiği görülmüş, bu postbiyotiklerin biyokoruyucu olarak kullanımı durumunda dana kıymasının raf ömrünü arttıracığı öngörülmüştür (Moradi, vd., 2019a). Antimikrobiyal etki üzerine yapılan bir başka çalışmada taze et modelinde *Pediococcus* sp. suşlarından elde edilen kültür üst fazları steril püskürtücü ile homojen olarak uygulandığında *E. coli*, *S. sonnei* patojenlerine karşı antimikrobiyal etki göstererek raf ömrünü uzattığı gösterilmiştir (Skariyachan ve Govindarajan 2019). *Lactobacillus paracasei* N2 ve *L. casei* TM1B suşlarından elde edilen postbiyotiklerin keçi kıymasında *Pseudomonas aeruginosa* ve *E. coli* suşlarına karşı antimikrobiyal etki gösterip raf ömrünü 15 güne kadar arttırdığı gösterilmiştir (Mouafo vd., 2020). Domuz eti ile yapılan bir çalışmada ise, yerel geleneksel Vietnam yoğurdundan izole edilen *L. plantarum* SC01 suşuna ait bakteriyosinlerin farklı saklama koşulları altında domuz etine kültür üst fazlarının eklenmesi sonucunda çeşitli patojenlere karşı antimikrobiyal etki gösterdikleri gözlemlenmiştir (Le vd., 2019).

*L. plantarum* ST16Pa'ya ait bakteriyosin benzeri postbiyotiklerin kültür üst fazı olarak tavuk göğüs etine eklendiği bir çalışmada; antimikrobiyal etkinin 7 gün boyunca 4°C'de depolama sırasında devam ettiği gösterilmiştir (da Silva Sabo vd., 2017). Hamad vd., yaptıkları çalışmada *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus fermentum*,

*Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus delbrueckii* susp. *lactis* liyofilize postbiyotiklerinin antimikrobiyal etkisini incelemişlerdir. *L. rhamnosus* EMCC 1105 postbiyotiklerinin *Clostridium perfringens*'e karşı en fazla antimikrobiyal etki gösterdiği, tavuk etine doğrudan eklenmesi sonucunda antimikrobiyal etkisinin devam ettiği görülmüştür (Hamad vd., 2020).

Postbiyotik varlığının gıda matriksinin duysal ve tekstürel özelliklerini araştıran sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde, sucuğun duysal özelliklerini geliştirmek amacıyla *in situ* (yerinde) EPS üreten *L. plantarum* ve *Leuconostoc mesenteroides* suşları seçilmiş ve uygun fermentasyon koşullarında sucuk örneklerinin dokusal özelliklerinin geliştiği, daha sert ve daha az yapışkan sucuk ürünleri elde edildiği bildirilmiştir (Dertli vd., 2016).

#### **Postbiyotiklerin su ürünlerinde kullanımları**

Farklı balık türleri ile yapılan çalışmalar ile postbiyotiklerin su ürünlerinde doğal antimikrobiyal ve biyojen amin oluşumunu engelleyici olarak kullanım potansiyeli olduğu görülmektedir.

Sardalya filetoları ile yapılan bir çalışmada, *Enterococcus faecalis* A-48-32 bakteriyosinlerinin stafilkok türlerine karşı antimikrobiyal etki gösterdiği ve biyojen amin oluşumunu azalttığı ve dolayısıyla filetoların raf ömrünü uzattığı gösterilmiştir (Ananou vd., 2014).

Bakteriyosinler ile yapılan başka bir çalışmada, *Lactobacillus reuteri*'den izole edilip saflaştırılan reuterin çözeltisinin soğuk füme somonlarda *L. monocytogenes*'e karşı antimikrobiyal etkisi olduğu gösterilmiştir (Montiel vd., 2014). Ayrıca *Lactobacillus curvatus* BCS35 suşundan elde edilen sıvı ve liyofilize formdaki bakteriyosinlerin de farklı balık türlerinde antimikrobiyal etkileri olduğu gösterilmiştir (Gómez-Sala vd., 2016).

Kuley vd., yaptıkları çalışmada *L. plantarum*'dan elde edilen kültür üst fazlarını mikroenkapsülasyon yöntemi ile kapsüledikten sonra propolis ekstraktı ile kombinleyerek balıklarda bozulmaya neden olan bakterilere

(*Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas luteola*, *Proteus mirabilis* ve *Photobacterium damsela*) karşı antimikrobiyal etkisi üzerine çalışmışlar ve potansiyel biyokoruyucu olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir (Kuley vd., 2021). Çiğ şerit balıklarının raf ömrünü uzatmak için yapılan bir çalışmada *L. plantarum* SKD4 ve *Pediococcus stilesii* SKD11 kültür üst fazları kullanılmış ve postbiyotiklerin balıkların fizikokimyasal özelliklerini ve gıda kalitesini etkilemeden mikrobiyal gelişmeyi azaltarak raf ömrünü uzattığını göstermiştir (Jo vd., 2021).

#### **Postbiyotiklerin meyve-sebze ürünlerinde kullanımları**

Taze sebze, meyve ve meyve sularında yapılan çalışmalar postbiyotik uygulamasının tek başına yeterli antimikrobiyal etki sağladığını göstermiştir. Bu açıdan postbiyotikler, meyve-sebze ürünlerinde doğal koruyucu olarak çok önemli bir kullanım potansiyeline sahip olacaktır.

Bakteriyosinler ile yapılan çalışmalarda, doğrudan kültür üstfazının kullanılmasının bakteriyosinin antimikrobiyal etkisini göstermesi için yeterli olduğu ortaya koymuştur. Örneğin, *L. plantarum* suşundan elde edilen bakteriyosin içeren kültür üstfazlarının portakal suyu ve fermente mısır içeceği chicha suyuna eklenmiş; *E. coli* ve *S. enterica*'ya karşı antimikrobiyal etkileri gösterilmiştir (Tenea vd., 2018).

Patateste yapılan başka bir çalışmada *Lactococcus lactis* tarafından üretilen postbiyotikler olan nisin ve formik asit kombinasyonunun *Bacillus subtilis* gelişimini durdurduğu, aynı zamanda patateste renk değişiminin gözlemlenmediği ve raf ömrünü 10 güne çıkardığı gösterilmiştir (Ruengvisesh vd., 2020). Ev yapımı domates salçası ile yapılan bir çalışmada, *S. aureus*, *E. coli*, *Aspergillus niger* ve *Aspergillus flavus* organizmaları inokule edilmiş ev salçasına, *L. plantarum* Cs ve *L. acidophilus* ATCC 314 suşlarından elde edilen kültür üst fazları eklendikten sonra oda sıcaklığı koşullarında 25 günden fazla antimikrobiyal ve antifungal etki gösterdiği belirlenmiştir (George-Okafor vd., 2020). Farklı gıda gruplarında yapılan bir çalışmada meyve sebze modelleri olarak çilek, mantar, mısır ve domates kullanılmıştır. Raf ömrünü uzatma amacı ile yapılan bu çalışmada

*Pediococcus* spp.'den izole edilen kültür üst fazları *E. coli* ile *S. sonnei* patojenlerine karşı antimikrobiyal etki göstererek bu ürünlerin raf ömrünü uzatmıştır (Skariyachan ve Govindarajan., 2019). Baldan izole edilmiş *Lactobacillus kunkeei* suşuna ait postbiyotikler ile yapılan bir çalışmada bal içeren şekeriz limonataya kültür üst fazı eklenmiş ve yapılan mikrobiyolojik çalışmalar sonucunda antimikrobiyal peptit içeren kültür üst fazlarının *Candida albicans*'a karşı antifungal etki gösterdiği belirlenmiştir (Ebrahimi vd., 2021). Benzer şekilde kimchi'den izole edilmiş *L. plantarum* YML007 suşu postbiyotiklerinin antifungal etkisi kurutulmuş soya fasulyesi üzerinde gösterilmiştir (Ahmad Rather vd., 2013).

#### **Postbiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımları**

Süt ürünlerinde özellikle bakteriyosin ve EPS kullanımına yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, bakteriyosinlerin tek başına ya da diğer antimikrobiyal ajanlar ile birlikte kombine kullanımının süt ürünlerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Probiyotik suşlar tarafından yaygın olarak üretilen bir bakteriyosin olan nisin ile sarımsak özütünün birlikte kapsüllenecek kullanıldığı bir çalışmada, UHT sütte *L. monocytogenes*, *S. Enteritidis*, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal aktiviteleri gösterilmiştir (Pinilla ve Brandelli, 2016). *L. sakei* 2a'dan elde edilen bakteriyosinlerin doğrudan ya da nanovesiküller içinde enkapsüle olarak UHT keçi sütüne eklendiği bir çalışmada enkapsüle bakteriyosinin antimikrobiyal etkisinin daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Malheiros vd., 2016). Yeni doğal antimikrobiyal ajanların bulunmasına yönelik de çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Örneğin, yerel Polonya peynirlerinden izole edilmiş 29 farklı *L. plantarum* suşlarının kültür üst fazları doğrudan sıvı olarak yağsız süte eklenmiş ve *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etki gösterdikleri saptanmıştır (Oldak vd. 2020).

Antimikrobiyal postbiyotikler dışında EPS'lerin de süt ürünlerinde kullanımları araştırılmaktadır. Özellikle tekstür, duyuusal ve fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesi açısından EPS'lerin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. *L. delbrueckii*

subsp. *bulgaricus* suşundan izole edilen EPS'ler farklı konsantrasyonlarda manda sütüne eklenmiş, ve yoğurdun su tutma kapasitesi ve jel sertliğini arttırdığı gösterilmiştir (Yang vd., 2014). *L. fermentum* Lf2 tarafından üretilen EPS'lerin yoğurda eklendiği bir çalışmada; EPS eklenmesi ile yoğurtta sertlik, kıvam ve su tutma kapasitesinin arttığı gösterilmiştir (Ale vd., 2016). Az yağlı Cheddar peynirde yapılan bir çalışmada *L. plantarum* JLK0142'a ait saflaştırılmış EPS'ler peynire eklenmiş ve depolama sonunda EPS eklenmiş peynirlerin nem, proteoliz ve duyuusal açıdan olgunlaşma karakteristiklerinin daha iyi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, EPS eklenmiş peynirlerin antioksidan ve ACE inhibitör biyoaktivitelerinin de daha iyi olduğu görülmüştür (Wang vd., 2019). Postbiyotik eklenmesinin probiyotik ürün stabilitesine etkilerinin incelendiği bir çalışmada ise *Lactarius volemus* Fr. suşuna ait postbiyotiklerin probiyotik yoğurtlardaki yaşayan probiyotik canlı sayısını, esansiyel amino asitleri ve su tutma kapasitesini arttırdığı gösterilmiştir (Huang vd., 2020).

#### **Postbiyotiklerin hububat ürünlerinde kullanımları**

Çölyak hastalığı, genetik yatkınlığı olan bireylerde gluten alımı ile birlikte ince bağırsaklarda iltihap ve emilim bozukluğuna sebep olmaktadır. Bu hastalığa sahip bireyler glutensiz diyet ve beslenme tedavisi görmektedir (Lindfors vd., 2019). Ticari olarak üretilen glutensiz ekmeklerde su absorpsiyonunda azalma, kırınıt yapısında değişim, somun hacmi, dokusal ve reolojik özellikler açısından zarar görme gibi durumlar söz konusu olabilir. Bu özellikleri iyileştirme ve gıdalardaki yapay katkı maddelerinin kullanımını azaltma hedefleri doğrultusunda postbiyotik EPS'lerin kullanımı son zamanlarda gündeme gelmeye başlamıştır (Ryan vd., 2015).

Laktik asit bakterileri tarafından sentezlenen EPS'lerin literatürde hamur reolojisi ve ekmek tekstürünün geliştirilmesi için önemli bir bileşen oldukları belirtilmiştir. EPS'lerin ticari hidrokoloid ve sakızlar gibi ağ oluşturma ve suyu bağlama yeteneklerinin olması ile somun hacmi, raf ömrünü arttırma ve bayatlamayı geciktirme açısından kaliteyi arttırabilecekleri düşünülmek-

tedir (Lynch vd., 2018). EPS kullanımının glutensiz ekmek kalitesi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada farklı suşlardan elde edilen EPS'ler liyofilize formda karabuğday ve pirinç unundan yapılmış ekmeğe eklenmiş ve *L. curvatus* TMW 1.624 suşundan elde edilen dekstranın glutensiz ekmeğin nem içeriğini, pişirme kaybı ve kırıntı sertliğini geliştirdiği gösterilmiştir (Rühmkorf vd., 2012).

Düşük kalorili unlu mamüller ve diyet ürünlerinin üretilmesinde EPS'ler önemli rol oynamaktadır. *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* suşlarından elde edilen EPS'ler keklere yağ oranını azaltıcı bileşen olarak eklenmiştir ve standart yağlı kek ile sertlik, hacim, tekstür, çignenebilirlik ve esneklik gibi özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak laktik asit bakterilerinden elde edilen EPS'lerin düşük yağlı keklerde ürün özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Doğan vd., 2012).

Postbiyotiklerin hububat ürünlerinde başka bir kullanım potansiyeli de antifungal etkilere sahip olmalarıdır. *L. reuteri* kültür üst fazlarının çavdar ve tam buğday ekmeklerinde antifungal etkileri olduğu gösterilmiştir (Jonkuviene vd., 2016). Başka bir çalışmada ise *Lactobacillus RM1* suşunun kültür üst fazları liyofilize edildikten sonra 10 kat konsantre edilip buğday tanelerinde kullanılmış ve antifungal etkileri olduğu gösterilmiştir (Shehata vd., 2019).

### Postbiyotiklerin gıda ambalajlarında kullanımları

Son zamanlarda doğal ve sürdürülebilir ürün ve ambalajlara artan talep doğrultusunda postbiyotiklerin ambalaj malzemelerinde koruyucu olarak kullanımı da önemli araştırma konularından olmuştur.

Dekstran, levan, kefiran ve hyaluronik asit gibi EPS'ler yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde suda çözünmeyen polisakkaritlere alternatif olarak kullanılabilirler. EPS'ler yenilebilir film ve kaplamalarda yapısal polimer, katkı maddesi veya probiyotik taşıyıcısı olarak görev alabilir. Böylece gıda güvenliği ve kalitesi iyileştirilebilir (Moradi vd., 2021a). Örneğin levan ile yapılmış bir çalışmada *B. subtilis* natto suşundan

üretilen levan polisakkariti manyok nişastasına dayalı yenilebilir filme farklı nişasta: levan oranında çözelti şeklinde eklenip plastikleştirici olarak gliserol kullanılmıştır. Tüm formülasyonlarda iyi bir görünüme sahip yenilebilir film üretilmiştir. Levanın çözünürlüğü yükselttiği, gerilme direnci ve uzamayı arttırdığı ve su buharı geçirgenliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir (Mantovan vd., 2018).

Postbiyotiklerin doğal antimikrobiyal ajanlar olarak gıda ambalajlarında kullanımına yönelik yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Liyofilize *L. sakei* konsantre kültür üst fazlarının ambalaj filmlerine eklendiği ve *E. coli* ve *L. monocytogenes* inoküle edilmiş taze biftek küplerinin bu film ile kaplandığı bir çalışmada filmin patojenlere karşı inhibisyon etkisi olduğu gösterilmiştir. (del Carmen Beristain-Bauza vd., 2017). Benzer şekilde enterosin AS-48 bakteriyosini eklenen filmler ile kaplanan elma küplerinde de bakteriyosinin *L. monocytogenes*'e karşı antimikrobiyal etkisi gösterilmiştir (Aguayo vd., 2016). Taze domateslerin antimikrobiyal filmler ile kaplanmasını inceleyen bir çalışmada, *L. plantarum* UTNGt2 suşu kültür üst fazı antimikrobiyal peptitleri yenilebilir kaplamalara eklenmiştir. Peptitlerin küf gelişimi açısından domatesin depolama süresini uzattığı ve domatese inoküle edilen Salmonella hücre karışımında da hücre ölümüne sebep olduğu gösterilmiştir (Tenea ve Pozo., 2019). Aynı çalışma grubunun yaptığı bir başka çalışmada *L. plantarum* UTNCys5-4 ve *L. lactis* subsp *lactis* Gt28 suşlarından elde edilen Cys5-4/Gt28 antimikrobiyal peptitlerin *S. enterica*, *S. sonnei* ve *E. coli* ile kontamine edilmiş ananas dilimleri üzerine eklenmesi ile soğuk depolama koşullarında patojenlerin gelişimini inhibe ettiği gösterilmiştir (Tenea vd., 2020). Aktif gıda kaplamalarında liyofilize olarak postbiyotiklerin ilave edilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada *L. monocytogenes* ile kontamine edilmiş dana kıyması *L. plantarum* liyofilize üst fazı içeren bakteriyel nanoselüloz film ile kaplanmıştır. Üretilen bu postbiyotik içeren nanokağdın kıymanın duyuşal özelliklerinde istenmeyen değişikliklere sebep olmadan patojenlerin büyümesini kontrol ettiği ve



genel raf ömrünü iki katına çıkarttığı belirlenmiştir (Yordshahi vd., 2020).

*Pediococcus pentosaceus*'dan elde edilen pediosin içeren filmlerle kaplanmış papaya meyvesinin raf ömrünün uzadığı gösterilmiştir (Narsaiyah vd., 2015). *Bacillus methylotrophicus* BM47 suşu bakteriyosinini içeren yenilebilir filmlerin taze çileklerde küflenmeyi geciktirdiği ve ağırlık kaybını anlamlı ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Tumbariski vd., 2019).

## SONUÇ

Tüm bu yapılan çalışmalar postbiyotiklerin gıda endüstrisinde doğal antioksidan ve antimikrobiyal ajan/yardımcı ajan, kıvam artırıcı ve jelleştirici, ayrıca biyoaktif özellikleriyle fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Endüstriyel ölçek çalışmalar ve postbiyotiklerin gıda kalitesi üzerine etkilerinin daha detaylı incelenmesi yönünde yapılacak analizler sonucunda postbiyotiklerin bu aktiviteleri ile gıda sektöründe önemli bir yere sahip olacağı görülmektedir.

Postbiyotik kullanımının avantajları arasında özellikle üretim ve depolama kolaylığı, spesifik etki mekanizmaları ile hedefe yönelik etki göstermeleri, canlı organizma içermedikleri için enfeksiyon ve translokasyon risklerinin olmaması öne çıkmaktadır. Postbiyotikler, hem insan sağlığı hem de teknolojik açıdan bakıldığında probiyotiklere göre avantajlara sahiptir. İnsan vücudundaki biyolojik sistem insandan insana farklılık gösterdiği için probiyotiklerin üreteceği moleküller ve hücresel etkileri değişkenlik gösterebilir. Postbiyotiklerin saflaştırılması ve moleküler olarak karakterize edilmesi ile bu riskler ortadan kaldırılmış olacaktır. Gıda uygulamaları açısından değerlendirildiğinde ise, canlı probiyotik kullanıldığında hücre canlılığından kaynaklanan soğuk zincir depolama ve özellikle sıvı ürünlerde görülebilen istenmeyen renk ve duyuşal özelliklerin gelişebilmesi gibi durumlar postbiyotik kullanımı ile engellenebilir.

Postbiyotiklerin kullanımının dezavantajları arasında hazırlama ve analiz yöntemlerinin standardize edilememiş olması öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmaların birçoğunda karakterize

edilmemiş postbiyotik karışımlarının kullanılmış olduğu görülmektedir. Gıda güvenliği açısından postbiyotiklerin saflaştırılarak kimyasal yapılarının belirlenmesine yönelik daha detaylı çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca farklı aktivitelere sahip postbiyotik bileşiklerin fermantasyon sırasında üretimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve ayrıca gıdaya uygulanması gereken postbiyotik dozun belirlenmesi için de optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Son olarak fermantasyon ortamlarının maliyetlerini yükselten ve ayrıca et ya da maya özütü ve şeker içeriği dolayısıyla postbiyotik rengini etkileyen laboratuvar besiyerleri yerine alternatiflerin bulunması için çalışmalar yapılması önerilmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar yayının planlanması ve yazımında eşit oranda katkı sağlamışlardır.

## KAYNAKÇA

Aguayo, M. D. C. L., Burgos, M. J. G., Pulido, R. P., Gálvez, A., ve López, R. L. (2016). Effect of different activated coatings containing enterocin AS-48 against *Listeria monocytogenes* on apple cubes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 177-183.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.006>

Aguilar-Toalá, J. E., R. Garcia-Varela, H. S. Garcia, V. Mata-Haro, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba ve A. Hernández-Mendoza. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science and Technology* 75 201:105–114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>

Ahmad Rather, I., Seo, B. J., Rejish Kumar, V. J., Choi, U. H., Choi, K. H., Lim, J. H., Park, Y. H. (2013). Isolation and characterization of a proteinaceous antifungal compound from *Lactobacillus plantarum* YML 007 and its application as a food preservative. *Letters in Applied*

- Microbiology*, 57(1), 69-76. <https://doi.org/10.1111/lam.12077>
- Ale, E. C., Perezlindo, M. J., Pavón, Y., Peralta, G. H., Costa, S., Sabbag, N., Bergamini C., Reinheimer J.A., Rinetti, A. G. (2016). Technological, rheological and sensory characterizations of a yogurt containing an exopolysaccharide extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2, a new food additive. *Food Research International*, 90, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.045>
- Amiri, S., Rezazadeh-Bari, M., Alizadeh-Khaledabad, M., Rezai-Mokarram, R., Sowti-Khiabani M. (2021). Fermentation Optimization for Co-production of Postbiotics by *Bifidobacterium lactis* BB12 in Cheese Whey. *Waste Biomass Valor* 12, 5869–5884 <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01429-7>
- Ananou, S., H. Zentar, M., Martínez-Bueno, A., Gálvez, M., Maqueda, E. Valdivia. (2014). The impact of enterocin AS-48 on the shelf-life and safety of sardines (*Sardina pilchardus*) under different storage conditions. *Food Microbiology* 44:185–95. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.008>
- Angelin, J., & Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 853-865. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190>
- Arrijoja-Bretón, D., E. Mani-López, E., Palou, A., López-Malo. (2020). Antimicrobial activity and storage stability of cell-free supernatants from lactic acid bacteria and their applications with fresh beef. *Food Control* 115(3):107286. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107286>
- Aydın, B., Çiydem, T., Kaya, E., Açıık, L. (2021). Evaluation of the Antioxidant Effects of Postbiotics and Paraprobiotics in Lactic Acid Bacteria Isolated from Traditional Fermented Sausages. *European Journal of Science and Technology*, (28), 849–852. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1011409>
- Barbieri, F., Montanari, C., Gardini, F., Tabanelli, G. (2019). Biogenic amine production by lactic acid bacteria: A review. *Foods*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.3390/foods8010017>
- Barros, C. P, Guimarães, J. T, Esmerino, E. A, Duarte, M. Carmela KH, Silva, M. C, Silva, R., Ferreira, B. M, Sant'Ana, A. S, Freitas, M. Q, Cruz, A. G. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current opinion in food science*, 32, 1-8. doi: 10.1016/j.cofs.2019.12.003
- Chang, H. M., Foo, H. L., Loh, T. C., Lim, E. T. C., and Abdul Mutalib, N. E. (2021). Comparative Studies of Inhibitory and Antioxidant Activities, and Organic Acids Compositions of Postbiotics Produced by Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* Strains Isolated From Malaysian Foods. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1182. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2020.602280/BIBTEX>
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M., Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Research International*, 109502. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502>
- da Silva Sabo, Sabrina, Noelia Pérez-Rodríguez, José Manuel Domínguez, ve Ricardo Pinheiro de Souza Oliveira. (2017). Inhibitory substances production by *Lactobacillus plantarum* ST16Pa cultured in hydrolyzed cheese whey supplemented with soybean flour and their antimicrobial efficiency as biopreservatives on fresh chicken meat. *Food Research International* 99(4):762–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.026>
- de Almada, C. N., Almada, C. N., Martinez, R. C., & Sant'Ana, A. S. (2016). Paraprobiotics: evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. *Trends in food science & technology*, 58, 96-114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.011>
- del Carmen Beristain-Bauza, S., Mani-López, E., Palou, E., López-Malo, A. (2017). Antimicrobial activity of whey protein films supplemented with *Lactobacillus sakei* cell-free supernatant on fresh beef. *Food Microbiology*, 62: 207-211. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.024>

- Dertli, E., Yılmaz, M. T., Tatlısu, N. B., Toker, O. S., Cankurt, H., & Sagdic, O. (2016). Effects of in situ exopolysaccharide production and fermentation conditions on physicochemical, microbiological, textural and microstructural properties of Turkish-type fermented sausage (sucuk). *Meat Science*, 121, 156-165 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.008>
- Doğan, İ. S., Akbaş, Ö., Tunçtürk, Y. (2012). Yağı azaltılmış kek üretiminde ekzopolisakkarit kullanımı. *Gıda*, 37(3), 141-148. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gida/issue/6929/92519>
- Dunand, E., Burns, P., Binetti, A., Bergamini, C., Peralta, G. H., Forzani, L., Reinheimer, J., & Vinderola, G. (2019). Postbiotics produced at laboratory and industrial level as potential functional food ingredients with the capacity to protect mice against *Salmonella* infection. *Journal of Applied Microbiology*, 127(1), 219–229. <https://doi.org/10.1111/jam.14276>
- Ebrahimi, M., Sadeghi, A., Rahimi, D., Purabdollah, H., & Shahryari, S. (2021). Postbiotic and Anti-aflatoxigenic Capabilities of *Lactobacillus kunkkei* as the Potential Probiotic LAB Isolated from the Natural Honey. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(2), 343-355. <https://doi.org/10.1007/s12602-020-09697-w>
- FAO / WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food, report of a joint FAO/WHO working group on drafting guideline for the evaluation of probiotic in food. *World Health Organization, Geneva*.
- Gao, J., Li, Y., Wan, Y., Hu, T., Liu, L., Yang, S., Gong, Z., Zeng, Q., Wei, Y., Yang, W., Zeng, Z., He, X., Huang, S. H., Cao, H. (2019). A Novel Postbiotic From *Lactobacillus rhamnosus* GG With a Beneficial Effect on Intestinal Barrier Function. *Frontiers in microbiology*, 10: 477. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00477>
- George-Okafor, U., Ozoani, U., Tasié, F., & Mba-Omeje, K. (2020). The efficacy of cell-free supernatants from *Lactobacillus plantarum* Cs and *Lactobacillus acidophilus* ATCC 314 for the preservation of home-processed tomato-paste. *Scientific African*, 8, e00395. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00395>
- Gómez-Sala, B., Herranz, C., Díaz-Freitas, B., Hernández, P. E., Sala, A., & Cintas, L. M. (2016). Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International Journal of Food Microbiology*, 223, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.005>
- Gökırmaklı, Ç., Üçgül, B., & Güzel-Seydim, Z. B. (2021). Fonksiyonel gıda kavramına yeni bir bakış: Postbiyotikler. *GIDA/The Journal of FOOD*, 46(4). <https://doi.org/10.15237/gida.GD21035>
- Haarman, M., & Knol, J. (2006). Quantitative real-time PCR analysis of fecal *Lactobacillus* species in infants receiving a prebiotic infant formula. *Applied and environmental microbiology*, 72(4), 2359-2365. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.4.2359-2365.2006>
- Hamad, G. M., Abdelmotilib, N. M., Darwish, A. M., & Zeitoun, A. M. (2020). Commercial probiotic cell-free supernatants for inhibition of *Clostridium perfringens* poultry meat infection in Egypt. *Anaerobe*, 62, 102181. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2020.102181>
- Hosseini, S. A., Abbasi, A., Sabahi, S., & Khani, N. (2021). Application of Postbiotics Produced By Lactic Acid Bacteria in the Development of Active Food Packaging. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 6164-6183. <https://doi.org/10.33263/BRIAC125.61646183>
- Huang, Y., Zhao, S., Yao, K., Liu, D., Peng, X., Huang, J., Huang Y., Li, L. (2020). Physicochemical, microbiological, rheological, and sensory properties of yoghurts with new polysaccharide extracts from *Lactarius volemus* Fr. using three probiotics. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 168-181. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12653>
- Jonkuvienė, D., Vaičiulytė-Funk, L., Šalomskienė, J., Alenčikienė, G., Mieželiene, A. (2016). Potential of *Lactobacillus reuteri* from spontaneous sourdough as a starter additive for improving quality parameters of bread. *Food Technology and*

- Biotechnology*, 54(3), 342. doi: 10.17113/ftb.54.03.16.4143
- Jo, D. M., Park, S. K., Khan, F., Kang, M. G., Lee, J. H., Kim, Y. M. (2021). An approach to extend the shelf life of ribbonfish fillet using lactic acid bacteria cell-free culture supernatant. *Food Control*, 123, 107731. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107731>
- Korcz, E., & Varga, L. (2021). Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Techno-functional application in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.014>
- Kuley, E., Kescu, M. M., Durmus, M., Ucar, Y. (2021). Inhibitory activity of Co-microencapsulation of cell free supernatant from *Lactobacillus plantarum* with propolis extracts towards fish spoilage bacteria. *LWT*, 146, 111433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111433>
- Le, N., Bach, L., Nguyen, D., Le, T., Pham, K., Nguyen, D., Hoang Thi, T. (2019). Evaluation of factors affecting antimicrobial activity of bacteriocin from *Lactobacillus plantarum* microencapsulated in alginate-gelatin capsules and its application on pork meat as a bio-preservative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1017. doi:10.3390/ijerph16061017
- Lindfors, K., Ciacci, C., Kurppa, K., Lundin, K. E., Makharia, G. K., Mearin, M. L., Murray, J.A., Verdu, E.F., Kaukinen, K. (2019). Coeliac disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0054-z>
- Lynch, K. M., Coffey, A., Arendt, E. K. (2018). Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. *Food research international*, 110, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.012>
- Malheiros, Patrícia S., Iolanda M. Cuccovia, ve Bernadette D. G. M. Franco. (2016). Inhibition of *Listeria monocytogenes* in vitro and in goat milk by liposomal nanovesicles containing bacteriocins produced by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a. *Food Control* 63:158–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.0377>
- Mantovan, J., Bersaneti, G. T., Faria-Tischer, P. C., Celligoi, M. A. P. C., & Mali, S. (2018). Use of microbial levan in edible films based on cassava starch. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.08.003>
- Montiel, R., Martín-Cabrejas, I., Langa, S., El Aouad, N., Arqués, J. L., Reyes, F., Medina, M. (2014). Antimicrobial activity of reuterin produced by *Lactobacillus reuteri* on *Listeria monocytogenes* in cold-smoked salmon. *Food microbiology*, 44, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.006>
- Moradi, M., Tajik, H., Mardani, K., & Ezati, P. (2019)a. Efficacy of lyophilized cell-free supernatant of *Lactobacillus salivarius* (Ls-BU2) on *Escherichia coli* and shelf life of ground beef. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 10, No. 3, p. 193). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran. 10.30466/vrf.2019.101419.2417
- Moradi, M., Mardani, K., & Tajik, H. (2019)b. Characterization and application of postbiotics of *Lactobacillus* spp. on *Listeria monocytogenes* in vitro and in food models. *LWT*, 111, 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.072>
- Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., & Lotfi, A. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3390-3415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12613>
- Moradi, M., Guimarães, J. T., Sahin, S. (2021)a. Current applications of exopolysaccharides from lactic acid bacteria in the development of food active edible packaging. *Current Opinion in Food Science*, 40, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.06.001>
- Moradi, M., Molaei, R., & Guimarães, J. T. (2021)b. A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*, 143, 109722.. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109722>

- Mouafo, H. T., Mbawala, A., Tanaji, K., Somashekar, D., & Ndjouenkeu, R. (2020). Improvement of the shelf life of raw ground goat meat by using biosurfactants produced by *Lactobacilli* strains as biopreservatives. *LWT*, *133*, 110071. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110071>
- Narsaiah, K., Wilson, R.A., Gokul, K., Mandge, H.M., Jha, S.N., Bhadwal, S., Anurag, R.K., Malik, R.K., Vij, S. (2015). Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*. *100*, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.10.003>
- Nataraj, B.H., Ali, S.A., Behare, P.V. Yadav H. (2020). Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Fact* *19*, 168 <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Oldak, Aleksandra, Dorota Zielińska, Anna Lepecka, Ewa Dlugosz, ve Danuta Kolożyn-Krajewska. (2020). *Lactobacillus plantarum* strains isolated from polish regional cheeses exhibit anti-staphylococcal activity and selected probiotic properties. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* *12*(3):1025–38. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09587-w>
- Ötleş, S., Bakar, B., and Türköz, B. K. (2022). Bioinformatic Analysis. In *Bioactive Peptides from Food* (pp. 321–346). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003106524-20>
- Pinilla, C. M. B., Brandelli, A. (2016). Antimicrobial activity of nanoliposomes co-encapsulating nisin and garlic extract against Gram-positive and Gram-negative bacteria in milk. *Innovative food science & emerging technologies*, *36*, 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.017>
- Rad, A. H., Aghebati-Maleki, L., Kafil, H. S., Gilani, N., Abbasi, A., Khani, N. (2021). Postbiotics, as dynamic biomolecules, and their promising role in promoting food safety. *Biointerface Res Appl Chem*, *11*, 14529-14544. <https://doi.org/10.33263/BRIAC116.1452914544>
- Ruengvisesh, S., Khunrae, P., Rattanarojpong, T., Jongruja, N. (2020). The combined effect of formic acid and Nisin on potato spoilage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *24*, 101523. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101523>
- Romero-Luna, H. E., Hernández-Mendoza, A., González-Córdova, A. F., and Peredo-Lovillo, A. (2022). Bioactive peptides produced by engineered probiotics and other food-grade bacteria: A review. *Food Chemistry: X*, *13*, 100196. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2021.100196>
- Rühmkorf, C., Rübsam, H., Becker, T., Bork, C., Voiges, K., Mischnick, P., Brandt M.J., Vogel, R. F. (2012). Effect of structurally different microbial homoexopolysaccharides on the quality of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*, *235*(1), 139-146. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1746-3>
- Ryan, P. M., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., Caplice, N. M., & Stanton, C. (2015). Sugar-coated: exopolysaccharide producing lactic acid bacteria for food and human health applications. *Food & function*, *6*(3), 679-693. <https://doi.org/10.1039/C4FO00529E>
- Shehata, M. G., Badr, A. N., El Sohaimy, S. A., Asker, D., Awad, T. S. (2019). Characterization of antifungal metabolites produced by novel lactic acid bacterium and their potential application as food biopreservatives. *Annals of Agricultural Sciences*, *64*(1), 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.05.002>
- Shukla, A., Mehta, K., Parmar, J., Pandya, J., Saraf, M. (2019). Depicting the exemplary knowledge of microbial exopolysaccharides in a nutshell. *European Polymer Journal*, *119*, 298-310. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.07.044>
- Skariyachan, S., Govindarajan, S. (2019). Biopreservation potential of antimicrobial protein producing *Pediococcus* spp. towards selected food samples in comparison with chemical preservatives. *International journal of food microbiology*, *291*, 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.002>

- Taşdemir, A. (2017). Probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 2(1), 71-88. <https://doi.org/10.25279/sak.300045>
- Tenea, G. N., & Barrigas, A. (2018). The efficacy of bacteriocin-containing cell-free supernatant from *Lactobacillus plantarum* Cys5-4 to control pathogenic bacteria growth in artisanal beverages. *International Food Research Journal*, 25(5).
- Tenea, G. N., Guaña, J. M. (2019). Inhibitory substances produced by native *Lactobacillus plantarum* UTNCys5-4 control microbial population growth in meat. *Journal of Food Quality*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9516981>
- Tenea G. N., Pozo T.D. (2019). Antimicrobial Peptides from *Lactobacillus plantarum* UTNGt2 Prevent Harmful Bacteria Growth on Fresh Tomatoes. *J. Microbiol. Biotechnol.* 29:1553-1560. <https://doi.org/10.4014/jmb.1904.04063>
- Tenea, G. N., Olmedo, D., Ortega, C. (2020). Peptide-based formulation from lactic acid bacteria Impairs the pathogen growth in *Ananas comosus* (Pineapple). *Coatings*, 10(5), 457. <https://doi.org/10.3390/coatings10050457>
- Tumbariski, Y., Nikolova, R., Petkova, N., Ivanov, I., & Lante, A. (2019). Biopreservation of Fresh Strawberries by Carboxymethyl Cellulose Edible Coatings Enriched with a Bacteriocin from *Bacillus methylotrophicus* BM47. *Food technology and biotechnology*, 57(2), 230–237. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.02.19.6128>
- Uğur, E., Bektaş, A., Ulusoy, M., Öner, Z. (2021). Paraprobiyotikler, postbiyotikler ve sağlık üzerine etkileri. *Gıda/The Journal of Food*, 46(2), 428–442. <https://doi.org/10.15237/gida>
- Venegas-Ortega, M. G., Flores-Gallegos, A. C., Martínez-Hernández, J. L., Aguilar, C. N., and Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production of Bioactive Peptides from Lactic Acid Bacteria: A Sustainable Approach for Healthier Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>
- Wang, J., Wu, T., Fang, X., Yang, Z. (2019). Manufacture of low-fat Cheddar cheese by exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* JLK0142 and its functional properties. *Journal of dairy science*, 102(5), 3825-3838. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15154>
- Yang, Tongxiang, Kongyang Wu, Fang Wang, Xiaolin Liang, Qingsu Liu, Guanlin Li, ve Quanyang Li. (2014). Effect of exopolysaccharides from lactic acid bacteria on the texture and microstructure of buffalo yoghurt. *International Dairy Journal* 34(2):252–56. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.007>
- Yordshahi, A. S., Moradi, M., Tajik, H., Molaei, R. (2020). Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopaper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria. *International journal of food microbiology*, 321, 108561. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108561>
- Żólkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., Feleszko, W. (2020). Postbiotics—a step beyond pre-and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189. <https://doi.org/10.3390/nu12082189>