

Gıda Mikrobiyolojisi ve Teknolojisi Açısından Fermente Gıdaların Önemi

Importance of Fermented Foods in Food Microbiology and Technology

 Duygu KIŞLA^a

^aEge Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü,
İzmir, Türkiye

Yazışma Adresi/Correspondence:
Duygu KIŞLA
Ege Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü,
İzmir, Türkiye
duygukisla@gmail.com

ÖZET Fermente gıdalar, üründe arzu edilen değişiklikleri elde etmek için çeşitli hammaddeler ve farklı üretim yöntemleri kullanılarak mikroorganizmaların veya enzimlerin etkisiyle üretilen gıdalardır. Fermentasyon işleminde sıklıkla kullanılan mikroorganizmalardan olan laktik asit bakterileri gıdaların korunması, güvenliğinin artırılması, besin değerinin artırılması, görünümünün veya lezzetinin iyileştirilmesi için bazı değişikliklerin ortaya çıkmasına yardımcı olur. Fermente gıdalar, probiyotikler, prebiyotikler, mikroorganizmaların primer ve sekonder metabolitlerinin (B vitaminleri, biyoaktif peptitler, vb.) potansiyel kaynakları olarak gıdaya sağlığı destekleyici özellikler katmaktadır. Doğal olarak fermente edilmiş tahıl içeceğinden (boza) izole edilen yeni bir bakteri suşu olan *Lactobacillus plantarum* BG24, antimikrobiyal aktivitesi, antibiyotiklere direnci, enzimatik aktivitesi, gıda endüstrisinde kullanılan belirli koruyuculara karşı direnci, düşük pH ve sifra tuzlarına direnci ve bağırsak epitel hücrelerine tutunma kapasitesi belirlenerek potansiyel probiyotik suş olarak tanımlanmıştır. Bir dizi biyoteknolojik ve farmasötik işlem uygulayarak *L. plantarum* BG24'ü içeren probiyotik gıda takviyesi prototipi üretme şansı bulunmaktadır. Fermente sebzelerden izole edilen yeni bir bakteri suşu olan *Paenibacillus polymyxa* OSY-DF, bilinen bir antibiyotik olan polimiksin E1 ve yeni bir bakteriyosin olan 'paenibasilin'in ortak üreticileri olarak tanımlanmıştır. 'Paenibasilin'in dizilimi için Edman bozunması, kütle spektrometrisi ve nükleer manyetik rezonans kullanılmıştır. Yeni suş ve ilişkili peptidin, gıda ve tıbbi uygulamalarda kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fermente gıdalar ve içecekler; fermentasyon; probiyotikler; bakteriyosinler

ABSTRACT Fermented foods are foods produced by the action of microorganisms or enzymes using various raw materials and different production methods to bring about desirable changes in the product. Lactic acid bacteria which are commonly used microorganisms in the fermentation process help to provide changes for preservation, enhancement of safety, enhancement of nutritional value, improvement of appearance or flavor of the foods. Since fermented foods are potential sources of probiotics, prebiotics, secondary metabolites (B vitamins, bioactive peptides, etc.) of microorganisms, these provide health-promoting characteristics to the food. A new bacterial strain, *Lactobacillus plantarum* BG24 isolated from naturally fermented cereal beverage (boza) was defined as potentially probiotic by investigating its antimicrobial activities, resistance to antibiotics, enzymatic activities, resistance to certain preservatives used generally in food industries, resistance to low pH and bile salts and adherence capacity to intestinal epithelial cells. There is a chance to produce probiotic food supplement prototype of *L. plantarum* BG24 by applying a series of biotechnological and pharmaceutical processes. A new bacterial strain, *Paenibacillus polymyxa* OSY-DF isolated from fermented vegetables was described as co-producers of a known antibiotic, polymyxin E1 and a novel bacteriocin, paenibacillin. Edman degradation, mass spectrometry, and nuclear magnetic resonance were used to sequence paenibacillin. The new strain and associated peptide have potential to be used in food and medical applications.

Keywords: Fermented foods and beverages; fermentation; probiotics; bacteriocins

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:

Kışla D. Gıda mikrobiyolojisi ve teknolojisini açı-
sından fermente gıdaların önemi. Koçdor H,
Pabuççuoğlu A, Zihnioğlu F, Sağın F, editörler.
Sağlık Biyoteknolojisi. 1. Baskı. Ankara: Tür-
kiye Klinikleri; 2022. p.51-7.

Fermente gıdalar, üründe arzu edilen değişiklikleri elde etmek için çeşitli ham-
maddeler ve farklı üretim yöntemleri kullanılarak mikroorganizmaların veya en-
zimlerin etkisiyle üretilen gıdalardır. Fermentasyon ve fermente gıdalar tesadüfen
keşfedilse de büyük olasılıkla insanlar tarafından tüketilen ilk gıdalar arasındaydı. Fer-

mantasyon işleminde sıklıkla kullanılan mikroorganizmalardan olan laktik asit bakterileri gıdaların korunması (bozulmanın önlenmesi ile), güvenliğinin artırılması (asit, alkol, bakteriyosin üretimi, toksisitenin giderilmesi ile), besin değerinin artırılması (sindirilebilirliğin iyileştirilmesi, mikro besin maddelerinin artışı, probiyotik sentezi ile), görünümünün veya lezzetinin iyileştirilmesi için bazı değişikliklerin ortaya çıkmasına yardımcı olur. Fermente gıdalar, probiyotikler, prebiyotikler, mikroorganizmaların primer ve sekonder metabolitlerinin (B vitaminleri, biyoaktif peptitler, vb.) potansiyel kaynakları olarak gıdaya sağlığı destekleyici özellikler de katmaktadır.

Probiyotiklerin laktöz intoleransı, ishal, gastroenterit, huzursuz bağırsak sendromu, inflamatuvar bağırsak hastalığı, kanser ve ürogenital sistem enfeksiyonlarına karşı birçok faydası bildirilmiştir. Probiyotik ürünlerin artan popülaritesi ile, tüketiciler probiyotiklerin sağlık özelliklerinin satılan ürünlerde korunmasını ve tüketimden sonra da sağlık etkilerinin devamını talep etmektedir.

Gıda güvenliği giderek daha önemli bir uluslararası sorun haline geldiğinden, özellikle laktik asit bakterilerinin üretmiş oldukları bakteriyosinler gibi antimikrobiyal peptitlerin gıda patojenlerine karşı kullanılması büyük ilgi görmüştür. Böylelikle, daha 'doğal' ve 'aşgari düzeyde işlenmiş' gıdalara olan talep doğrultusunda, kimyasal koruyuculara alternatif doğal gıda koruyucuları olarak antimikrobiyal ajanlara ilgi artmaktadır.

Fermente gıdaların üretilmesinde görev alan mikroorganizmaların birçoğu çeşitli hücre bileşenleri ve yan ürünlerinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Ancak, bu mikroorganizmaların ve metabolitlerinin tüketici sağlığını olumsuz etkilememesi için gıdalarda kullanımının onaylanmış olması gereklidir.

FERMANTASYON VE FERMANTASYON ÇEŞİTLERİ

Fermentasyon terimi 'kaynamak' anlamına gelen Latince 'fervere' fiilinden türetilmiştir. Bu kavram halk arasında daha çok 'mayalanma' olarak bilinse de 'köpürme ile gözlenen kimyasal reaksiyonlar', 'organik bileşiklerin dönüşüm ve değişim reaksiyonları' şeklinde farklı anlamları da bulunmaktadır. Ancak biyokimyasal açıdan fermentasyon, 'oksijen yokluğunda organik bileşiklerin hem elektron vericisi hem son elektron alıcısı olarak görev aldığı enerji açığa çıkaran proses' olarak tanımlanmasına karşın, biyoteknolojide daha genel bir anlam taşır.¹ Bu durumda, mikroorganizma kültürü kullanılarak çeşitli ürünlerin üretimini sağlayan her türlü prosese fermentasyon denir.

Ticari açıdan beş önemli fermentasyon grubu bulunmaktadır.² Bunlar; 1) Mikrobiyal biyokütle üretimi: Ticari olarak mikrobiyal biyokütle üretimi, mikrobiyal hücre üretimi kapsamında fırıncılık sektöründe ekme mayası üretimi ile insan gıdası ve hayvan yemi olarak kullanılmak üzere iki önemli sürece ayrılmaktadır; 2) Mikrobiyal enzim üretimi: Enzimler ticari olarak bitki, hayvan ve mikrobiyal orijinli olabilir. Ancak mikrobiyal enzimler fermentasyon tekniklerinin oluşturulmasıyla büyük miktarlarda üretilmektedir. Bitki ve hayvan orijinleri ile kıyaslandığında mikrobiyal sistem verimliliğini artırmak daha kolay olmaktadır; 3) Mikrobiyal metabolit üretimi: Mikrobiyal kültürün üreme dönemlerine bağlı olarak üretilen metabolitler değişkenlik göstermektedir. Primer metabolitler, logaritmik üreme fazında üretilen ürünler olup hücrenin üremesini ve yaşamsal faaliyeti için gerekli olan maddelerdir. Bu ürünlere örnek olarak amino asitler, pürin, pirimidin ve vitaminler verilebilir. Birçok primer metabolit fermentasyon ile üretilen ekonomik değere sahip ürünlerdir. Sekonder metabolitler ise duraklama fazında üretilen ürünler olup hücrenin üremesi ve yaşamsal faaliyeti için gerekli olan maddeler değildir. Birçok sekonder metabolit antimikrobiyal aktiviteye sahip olup, bazıları spesifik enzim inhibitörleri, büyüme promotörleri ya da farmakolojik özelliklere sahip ürünlerdir; 4) Rekombinant ürünlerin üretimi: Rekombinant DNA (R-DNA) teknolojisi günümüzde pek çok fermentasyon ürününün üretiminde kullanılmaktadır. Ökaryotik gruba ait genlerin mikrobiyal hücreye sokularak, bu gen ürününün hücrede üretilmesi sağlanabilmektedir. Böylelikle R-DNA teknolojisi ile interferonlar, insülin, faktör VIII ve IX, epidermal büyüme faktörü gibi ürünler üretilmektedir; 5) Transformasyon (dönüşüm) prosesi: Mikrobiyal hücre, bir bileşiği yapısal olarak ilişkili ekonomik değeri daha yüksek olan başka bir bileşiğe dönüştürebilir. Bu durumda mikroorganizmalar katalizör gibi davranarak belirli grupları ekleme ya da belirli grupları çıkarma şeklinde bileşikte spesifik değişiklikler yapabilir.

Fermentasyon işlemi karmaşık bir süreç olup ilgili mikroorganizmalar ve fermentasyon ürünlerine bağlı olarak da sınıflandırılabilir.^{3,4} 1) baklagil/tahıl karışımlarından et ikamesi olarak tekstüre bitkisel protein üreten fermentasyon (örn; tempe); 2) tuzlu/et aromalı amino asit/peptid fermentasyonları (örn; soya sosu); 3) laktik asit fermentasyonu (örn; turşu); 4) alkol fermentasyonu (örn; şarap); 5) asetik asit fermentasyonu (örn; sirke); 6) alkali fermentasyon (örn; dawadawa) ve 7) hamur fermentasyonu (örn; ekme).

Fermentasyon sürecinde bir veya daha fazla fermentasyon aşaması kullanılabilir ve genellikle starter (başlatıcı) olarak birden fazla mikroorganizmanın kullanılması söz konusudur.

FERMENTE GIDALARIN MİKROBİYOLOJİSİ

Gıda fermentasyonu, gıda maddelerinin stabilizasyonu ve dönüşümü için mikroorganizmaların üremesi ile metabolik aktivitesini kullanan bir gıda işleme teknolojisidir.⁵ Fermentasyon esas olarak bozulabilir tarım ürünlerinin stabilizasyonu için geliştirilse de bu teknoloji, gıda korumanın ötesinde, çeşitli hammaddeler ve farklı üretim yöntemleri kullanılarak gıda ürünlerinde arzu edilen organoleptik, besinsel ve işlevsel özellikler yaratmak için kullanılan bir araca dönüşmüştür. Dolayısıyla, gıda fermentasyonu ‘kontrolü mikrobiyal üreme ve majör ile minör gıda bileşenlerinin enzimatik dönüşümleri’ olarak tanımlanabilir.⁶

İnsanlık tarihinde fermente gıdaların ilk olarak Hindistan alt kıtasında, Büyük İndus Vadisi uygarlığından önceki yerleşim yerlerinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. Peynir yapımının Mezopotamya’da bitki ve hayvanların evcilleştirildiği dönemde (M.Ö. 7000) geliştiğine dair bulgular mevcuttur.⁷ Daha sonraları ise, şarap yapımı ile ilgili olarak alkol fermentasyonunun M.Ö. 2000-4000 yıllarında Mısırlılar ve Sümerler tarafından geliştirildiği düşünülmektedir. Mısırlılar M.Ö. 3500-4000 yıllarında hamur fermentasyonunu da geliştirmişlerdir. Böylelikle eski kent uygarlıkları hammadde olarak süt, meyve, sebze, hububatları kullanarak çeşitli fermente gıdaları üretmişlerdir.⁸ Bu süreç yeni gıdaların üretilmesi ile birlikte bitkisel ve hayvansal kaynaklı hammadde fazlasının korunmasına da yardımcı olmuştur.

Fermente gıdalar ilk ‘işlenmiş’ gıdalar arasında olup, popülerliği hala daha aynı nedenlerden dolayı günümüzde de devam etmektedir. Buna göre gıda işlemede fermentasyonun pozitif etkileri aşağıda belirtildiği üzere;^{3,7}

- i. Gıda kaynaklı patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişmesini engellemek,
 - ii. Gıdada bulunan nörotoksinler, tripsin inhibitörü, aflatoksin, fitatlar gibi istenmeyen bileşenleri parçalamak,
 - iii. Gıdanın besin değerini artırmak,
 - iv. Gıdanın görünüş, doku, lezzet ve tat gibi organoleptik özelliklerini iyileştirmek,
 - v. Gıdanın işlevselliğini artırmak,
 - vi. Gıdanın ekonomik değerini artırmak,
- şeklinde sıralanabilir.

Gıdaların fermentasyonla üretilmesi, yararlı mikroorganizmaların gelişerek metabolik aktiviteleri ile hammaddenin yeni bir ürüne dönüşme sürecini içerir.³ Bu süreç içerisinde gıdanın yapısında değişiklikler meydana gelmesiyle ya da fermentasyon boyunca gelişen yararlı mikroor-

ganizmaların tüketilmesiyle gıdanın besin değeri artar. Fermentasyonda rol olan mikroorganizmaların sahip oldukları enzimler, gıda matrisinde bulunan karbonhidrat veya proteinleri kısmen ya da tamamen parçalayarak gıdanın sindirilebilirliğinin artmasına yardımcı olur. Ayrıca mikroorganizmaların enzimatik aktiviteleri ile bazı bitkisel gıdalarda bulunan fitatlar parçalanarak çinko, demir gibi mineral maddelerin açığa çıkmasıyla fermentasyon sonrasında gıdanın besin kalitesi de artar. Fermentasyon sırasında mikroorganizmalar gelişerek amino asitler, vitaminler gibi besin maddeleri sentezledikleri için gıdanın besin değerinde de artış olur.

Binlerce yıl öncesinde birkaç koruma yöntemi varken bile fermentasyon işleminin gıdalardaki koruma yönü oldukça önemliydi. Et, süt gibi çabuk bozulan çığ gıdaların hemen tüketilmesi gerekli olduğu halde, tuzlama veya dumanlama gibi çeşitli yöntemler ile gıdalar daha uzun süre saklanabiliyordu. Ancak bu koruma yöntemleri her gıdaya uygun olmadığı için, fermentasyon işleminde genellikle su hacminin azalmasıyla (kurutma veya tuz kullanılması ile) birlikte üretilen organik asitler (laktik asit, asetik asit, formik asit, propiyonik asit), etanol, karbon dioksit, reuterin, bakteriyosinler gibi çeşitli metabolitler ile birçok gıda uzun süre bozulmadan saklanabilmiştir. Ayrıca gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların inhibisyonu ve bazı toksik bileşiklerin uzaklaştırılmasıyla gıda güvenliğinin iyileştirilmesi de sağlanmıştır.

Birçok fermente gıda işlevsellik açısından başlangıç hammaddesine kıyasla oldukça farklı olup, fark yaratan duyu özelliklere sahip bu gıdaların çeşitli şekillerde tüketim şansı bulunmaktadır. Aynı zamanda bu özelliği fermente gıdaları benzersiz kılmaktadır. Aynı tür gıda asit, tuz veya enzim ekleyerek fermentasyon işlemi uygulanmadan üretilmeye çalışıldığında ‘fermente’ gıdanın sahip olduğu tüm organoleptik özelliklerinden yoksun olduğu bilinmektedir. Ayrıca fermente gıdalar katma değeri yüksek ürünlerin başında yer almakta olup, ekonomik değerleri pazarda çok yüksektir.

FERMENTE GIDALARDA KULLANILAN MİKROORGANİZMALAR

Gıdaların fermentasyonunda başlıca bakteriler, mayalar ve küfler rol oynamaktadır (Tablo 1). Yararlı mikroorganizmalar ile bunların metabolitleri çeşitli amaçlarla gıdalarda kullanılmaktadır. Gıdalarda kullanılan mikroorganizmalar, metabolitleri ve hücresel bileşenleri GRAS (Generally Recognized As Safe: genel olarak güvenilir kabul edilen) statüsünde olmak zorundadır.⁶ Ayrıca bunların çeşitli düzenleyici kurumlarca da onaylanmış olması gereklidir.

TABLO 1: Çeşitli fermente gıdalarda rol alan (bulunan/starter kültür olarak kullanılan) bazı mikroorganizmalar.

Ürün	Mikroorganizma
Yoğurt ⁹	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>
Peynir ¹⁰⁻¹³	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus coryniformis</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Propionibacterium freudenreichii</i> <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Penicillium roqueforti</i>
Turşu ^{14,15}	<i>Enterococcus thailandicus</i> , <i>Lactobacillus alimentarius</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus pentosus</i> , <i>Lactobacillus sakei</i> , <i>Lactobacillus spicheri</i> , <i>Leuconostoc lactis</i> , <i>Pediococcus ethanolidurans</i> <i>Pediococcus ethanolidurans</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus buchneri</i>
Sirke ¹⁶	<i>Acetobacter pasteurianus</i> , <i>Acetobacter aceti</i> , <i>Gluconobacter oxydans</i> , <i>Gluconobacter europaeus</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Sucuk ¹⁷	<i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Staphylococcus carnosus</i>
Ekşi hamur ¹⁸	<i>Lactobacillus frumenti</i> , <i>Lactobacillus paralimentarius</i> , <i>Lactobacillus spicheri</i> , <i>Lactobacillus rossiae</i> , <i>Lactobacillus acidifarinae</i> , <i>Lactobacillus zymae</i> , <i>Lactobacillus hammesii</i> , <i>Lactobacillus nantensis</i> , <i>Lactobacillus siliginis</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i> , <i>Lactobacillus pontis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Şarap ⁹	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Saccharomyces oviformis</i> , <i>Saccharomyces acidifaciens</i> , <i>Oenococcus oeni</i>
Boza ⁹	<i>Leuconostoc paramesenteroides</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>dextranicum</i> , <i>Leuconostoc oenos</i> , <i>Lactobacillus coryniformis</i> , <i>Lactobacillus confusus</i> , <i>Lactobacillus sanfrancisco</i> (<i>sanfranciscensis</i>), <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Saccharomyces uvarum</i>

En önemli bakteri grubu olarak karbonhidratları kullanarak nispeten yüksek miktarlarda laktik asit üreten laktik asit bakterileri (LAB) ilk sırada yer almaktadır. LAB olarak tanımlanan grup içerisinde günümüzde 12 cins (*Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Aerococcus*, *Vagococcus*, *Tetragenococcus*, *Carnobacterium*, *Weissella*, *Oenococcus*) ait bakteri türü bulunmaktadır.⁶ Ancak bu sınıflandırma içerisinde *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* cinslerine ait çeşitli türler gıda fermentasyonunda kullanılmaktadır. LAB'nin başlıca ürettiği laktik asit ve diğer metabolitlerin (asetik asit, diasetil, CO₂, H₂O₂, bakteriyosin ve çeşitli antimikrobiyaller) gıdada patojen ve bozulmaya sebep olan mikroorganizmaları inhibe etme yanında gıdanın duyuşal özelliklerini geliştirme ve hazmını kolaylaştırma gibi yararları da

mevcuttur. Özellikle meyve ve sebzelerin fermentasyonunda yer alan asetik asit bakterileri ise alkolden asetik asit üreterek koruyucu etkisiyle birlikte gıdaya aroma kazandırıcı etki de sağlarlar. Üçüncü grup olarak daha çok alkali fermentasyonda rol alan çeşitli *Bacillus* türleri (*B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*) gelmektedir. Alkali fermentasyonda bitki tohumlarının substrat olarak kullanılması daha az olmasına rağmen, soya fasulyesi ve diğer baklagiller gibi proteince zengin gıdaların kullanımı oldukça yaygındır. *B. subtilis* dominant tür olarak proteini peptitler ve amino asitlere hidrolize ederek amonyağın açığa çıkmasına neden olur. Böylelikle ortamı alkali yaparak substratı bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişmesine uygun olmayan hale getirirler. Diğer bakteriyel starter kültürler olarak *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*, *Brevibacterium* cinsleri gelmektedir.

Gıdalarda önemli mikroorganizma gruplarından olan mayalar ve küfler çoğunlukla gıdaların bozulmasından ve mikotoksin üretiminden (küfler tarafından) sorumludur. Birçok maya türü arasından sadece birkaç tanesi gıda fermentasyonu ile ilişkilendirilmektedir. En önemli cins ve tür olarak *Saccharomyces cerevisiae*, hamurun kabarması (ekmek üretimi), bira, şarap ve diğer alkollü içkiler ile endüstriyel alkolün üretilmesi, invertaz enziminin üretilmesi ve lezzet artırıcı olarak kullanılmaktadır. *Candida utilis* ise tek hücre proteini üretmek için kullanılmaktadır. Gıdalarda gelişen çeşitli küfler gıda bozulmaları ve mikotoksin üretimi ile ilgili olsa da bazıları çeşitli fermente gıdaların (örn; peynir, soya sosu) üretilmesinde, ticari öneme sahip çeşitli enzimler (örn; pektinaz, amilaz) ve katkı maddelerinin (örn; sitrik asit, glukonik asit) üretilmesinde kullanılmaktadır.

FERMENTE GIDALAR VE PROBİYOTİKLER

Bazı fermente gıdalar sağlığı destekleyici özellikleri nedeniyle, fonksiyonel gıdaların bir alt kümesi olup 'probiyotikler' olarak da anılmaktadır. Genel olarak probiyotikler, yeterli miktarlarda uygulandığında konağın sağlığını faydalı şekilde etkileyen canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmıştır. Tablo 2'de probiyotik olarak tanımlanan bazı mikroorganizmaların listesi verilmiştir. Tablo 2'de listelenen mikroorganizmalar incelendiğinde çoğunluğunun LAB olduğu dikkati çekmektedir.

Probiyotik mikroorganizmaların canlı olarak tüketilmeleri, fermente gıdalar aracılığı ile; yiyecek ve içecekler canlı probiyotik mikroorganizma ilave edilmesiyle; tablet, kapsül, granül gibi farmasötik ürünler halinde tüketilmeleriyle olabilmektedir.²⁰ Bu canlı hücrelerin tüketilmesiyle birlikte insan sağlığına olan etkileri; enterik patojenlere karşı sindirim sistemini koruma, laktöz metabolizmasını artırma, sindirim sisteminin düzenlenmesi, kalın bağırsak kanserinin azaltılması, bağışıklık sisteminin geliştirilmesi, alerjik hastalıkların azaltılması, serum kolesterol seviyesinin azaltılması

olarak sıralanabilir. Ancak başta LAB olmak üzere bifidobakterleri de içeren birçok mikroorganizmanın ideal bir probiyotik olarak tanımlanabilmesi için bazı önemli kriterlere sahip olması gereklidir.¹⁹ Bunlar: 1. Taksonomik olarak doğru tanımlanmış olmalıdır; 2. Safraya, aside ve pankreatik sıvılara dayanıklı olmalıdır; 3. Midenin asidik, bağırsağın bazik koşullarında canlılığını sürdürmelidir; 4. Bağırsaklarda kolonize olmasa da kalıcı olmalıdır; 5. Bağırsak epiteline adezyon yaparak enterik patojenlerin tutunmasını engellemelidir; 6. Bağışıklığı güçlendirici etkisi olmalıdır; 7. Hedef bölgede yüksek canlılık ve metabolik aktiviteyi korumalıdır; 8. İşleme, depolama ve taşıma sırasında özelliklerini korumalıdır; 9. Genetik olarak kararlı olmalıdır.

Probiyotik kaynak olarak fermente gıdaların tüketiminin yanı sıra piyasada mevcut olan probiyotik ürünlerin (gıda ve farmasötik ürünler) tüketimi günümüzde birçok ülkede popülerite kazanmıştır. Probiyotik ürünlerin yararlı etkilerinin oluşması için gerekli yüksek canlı hücre sayısını içermesi gereklidir. Bu kapsamda probiyotik mikroorganizma izolasyon çalışmaları devam etmekte olup probiyotik olarak tanımlanan mikroorganizma listesi giderek uzamaktadır. Ancak bu listede yer alan yeni probiyotiklerin kanıtlanmış bilimsel çalışmalarla desteklenmesi gereklidir. Böylelikle doğal olarak fermente edilmiş tahıl içeceğinden (boza) izole edilen yeni bir bakteri suşu olan *Lactobacillus plantarum* BG24; antimikrobiyal aktivitesi, antibiyotiklere direnci, enzimatik aktivitesi, gıda endüstrisinde kullanılan belirli koruyuculara karşı direnci, düşük pH ve safra tuzlarına direnci ve bağırsak epitel hücrelerine tutunma kapasitesi belirlenerek potansiyel probiyotik suş olarak tanımlanmıştır (*Cholakov R. Obtaining functional foods with microbial cultures [PhD thesis]. Plovdiv, Bulgaria: University of Food Technologies; 2016*).^{21,22} Bu durumda bir dizi biyoteknolojik ve farmasötik işlem uygulayarak *L. plantarum* BG24'ü içeren probiyotik gıda takviyesi prototipi üretme şansı bulunmaktadır.

TABLO 2: Probiyotik olarak tanımlanan bazı mikroorganizmalar.¹⁹

<i>Lactobacillus</i>	<i>Bifidobacterium</i>	Diğer (LAB+LAB olmayan)
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
<i>L. casei</i>	<i>B. breve</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>L. plantarum</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Lactococcus lactis</i>
<i>L. reuteri</i>	<i>B. longum</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>
<i>L. rhamnosus</i>	<i>B. infantis</i>	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>
<i>L. fermentum</i>	<i>B. animalis</i> subsp. <i>animalis</i>	<i>Escherichia coli</i> Nissle
<i>L. johnsonii</i>	<i>B. animalis</i> subsp. <i>lactis</i> .	<i>Bacillus cereus</i> var. <i>toyoi</i>
<i>L. amylovorus</i>		<i>Saccharomyces boulardii</i>

FERMENTE GIDALAR VE BAKTERİYOSİNLER

Gıdaların fermantasyonunda rol alan mikroorganizmaların antimikrobiyal özelliklere sahip çeşitli metabolitler (organik asitler, aldehitler, ketonlar, alkoller, H₂O₂, CO₂, diasetil, reuterin, bakteriyosinler) üretebildikleri bilinmektedir. Bakteriyosin terimi günümüzde Gr (+) veya Gr (-) bakteriler tarafından üretilen ve kendilerine yakın suşların gelişmesini engelleyen ribozomal olarak sentezlenen bir grup biyoaktif peptidi belirtmek için kullanılmaktadır.²³ Bu inhibitörler genellikle hedef hücre zarının depolarizasyonu ile ya da hücre duvarı sentezinin inhibisyonu yoluyla dar etki spektrumundan geniş spektruma kadar etkisini göstermektedir. Birçok LAB suşu ve bazı propiyonik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinler bakterisidal etkileri nedeniyle gıda mikrobiyolojisinde özel ilgi görmektedir.

LAB'nin ürettikleri bakteriyosinler moleküler yapılarına göre; Sınıf 1; lantionin ve türevlerini içeren düşük molekül ağırlığına sahip (<5 kDa) 'lantibiyotikler' olarak da adlandırılan membran aktif peptitler, Sınıf 2; lantionin içermeyen düşük molekül ağırlığına sahip (<10 kDa) ısıya dayanıklı membran aktif peptitler, Sınıf 3; yüksek molekül ağırlığına sahip (>30 kDa) ısıya hassas proteinler ve Sınıf 4; proteine ilaveten esansiyel lipid veya karbonhidrat grupları içeren kompleks bakteriyosinler olacak şekilde alt gruplara ayrılmaktadır.^{24,25}

Birçok LAB suşunun bakteriyosin ürettiği bilinmekte olup, bu suşlar gıda ortamında oldukça yaygındır (Tablo 3). Ancak bakteriyosin üreticisi olan ve olmayan suşların ayrımında uygun izolasyon yönteminin kullanılması ve tecrübe oldukça önemlidir.²⁶

Ancak sadece LAB tarafından üretilen bakteriyosinler değil, son zamanlarda yapılan çalışmalarda, sadece LAB tarafından üretilen bakteriyosinler değil, diğer Gr(+) ve GR(-) bakterilerin ürettiği oldukları bakteriyosinler saflaştırılmış ve tanımlanmıştır. Bu nedenle, bakteriyosinlerin gıda, eczacılık ve klinik tıpta potansiyel uygulama alanları bulunmaktadır.²³ Antik çağlardan beri peynir, yoğurt gibi pek çok fermente gıdada bakteriyosin üreten bakterilerin varlığı nedeniyle bakteriyosinler doğal gıda katkı maddelerinden sayılmaktadır. Gıdaların raf ömrünü uzatmak, mikrobiyal gelişmeyi geciktirmek için gıdalara çeşitli gıda koruyucuları (örn, nitrit ve kükürt dioksit) ilave edilmektedir. Bununla birlikte, çoğu ticari sentetik koruyucuların uzun süreli kullanımının insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceği artık bilinmektedir. Ayrıca, bazı proteazlara olan duyarlılığından dolayı, bakteriyosinler gastrointestinal sistemde de sindirilmektedir. Bu durumda, Gr (+) veya Gr (-) bakteriler tarafından üretilen bakteriyosinler, temelde güvenli gıda katkı maddeleri olarak kabul edilir. Bu kapsamda, doğal olarak fermente edilmiş sebzelerden izole edilen yeni bir bakteri suşu olan *Paenibacillus polymyxa* OSY-DF, bi-

TABLO 3: LAB tarafından üretilen çeşitli bakteriyosinler.^{24,25}

Bakteriyosin	Üretici suş
Sınıf 1	
Nisin A	<i>Lactococcus lactis</i> ATCC11454
Laktisin 481	<i>Lactococcus lactis</i> 481
Laktosin S	<i>Lactobacillus sake</i> L45
Kamosin UI49	<i>Carnobacterium piscicola</i> UI49
Sınıf 2	
Lökosin A	<i>Leuconostoc gelidum</i> UAL 187
Plantarisin S	<i>Lactobacillus plantarum</i> LPCO10
Sakasin P	<i>Lactobacillus sake</i> LTH 673
Laktokosin A	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i> 9B4
Pediyosin Ach	<i>Pediococcus acidilactici</i> H
Sınıf 3	
Asidofilusin A	<i>Lactobacillus acidophilus</i> LAPT 1060
Helvetisin J	<i>Lactobacillus helveticus</i> 481
Kaseisin 80	<i>Lactobacillus casei</i> B80
Sınıf 4	
Lökonosin S	<i>Leuconostoc paramesenteroides</i> OX
Pediyosin SJ-1	<i>Pediococcus acidilactici</i> SJ-1

linen bir antibiyotik olan polimiksin E1 ve yeni bir bakteriyosin olan 'paenibasilin'in ortak üreticileri olarak tanımlanmıştır.²⁷ 'Paenibasilin'in dizilimi için Edman bozunması, kütle spektrometrisi ve nükleer manyetik rezonans kullanılmıştır. Bu durumda yeni suş ve ilişkili peptidin, gıda ve tıbbi uygulamalarda kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

SONUÇ

Birçok fermente gıdanın doğal ve kontrollü fermantasyon yöntemleri kullanılarak üretilmesi tüm dünyada uygulanmaktadır. Gıda fermantasyonunda rol alan mikroorganizmaların ürettiği metabolitler sayesinde gıdaların bozulmasına ve gıda kaynaklı hastalıklara neden olan mik-

roorganizmalara karşı bakteriyostatik, bakterisidal, fungistatik ve fungisidal etkiye sahip olarak gıdaların korunması mümkün olabilmektedir. Ayrıca fermente gıdalar, üretiminde rol alan mikroorganizmaların bazıları probiyotikler sınıfında yer almasıyla insan sağlığını desteklemektedir. Günümüzde yapılan çalışmalarla fermente gıdalarda probiyotik mikroorganizma ve fermantasyonda rol alan mikroorganizmaların ürettiği metabolit çeşitliliğinin arttığı görülmektedir. Bunların büyük bir çoğunluğunun biyoteknolojik işlemler uygulayarak gıda ve tıp alanlarında kullanım potansiyelleri olmalarına rağmen, detaylı çalışmalarla desteklenmesi ve gerekirse resmi kurumlarca onaylanmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ray RC, Didier M. Microorganisms and Fermentation of Traditional Foods. USA: CRC Press; 2015.
2. Parakhia M, Tomar RS, Golakiya BA. Overview of basics and types of fermentation. Germany: Grin Verlag; 2015.
3. Farnworth ER. The beneficial health effects of fermented foods-potential probiotics around the world. J Nutraceutic Func Med Foods. 2005;4(3-4):93-117. doi: 10.1300/J133v04n03_07
4. Steinkraus KH. Fermentations in world food processing. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2002;1:23-32. doi: 10.1111/j.1541-4337.2002.tb00004.x
5. Erkmén O. Gıda Mikrobiyolojisi. 4. Baskı. Ankara: Efil Yayınevi; 2013.
6. Heperkan D. Temel Gıda Mikrobiyolojisi (Fundamental Food Microbiology). 5. Basımdan Çeviri. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.; 2016.
7. Hutkins RW. Microbiology and Technology of Fermented Foods. 1st ed. USA: Blackwell Publishing; 2006.
8. El-Mansi EMT, Bryce CFA. Fermentation microbiology and biotechnology. UK: Taylor & Francis; 1999.
9. Erkmén O, Erten H, Sağlam H. Fermente Ürünler Teknolojisi ve Mikrobiyolojisi. 1. Baskı. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.; 2020.
10. Cantor MD, Tempel T van den, Hansen TK, Ardö Y. Blue cheese. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. London, UK: Elsevier Academic Press; 2004. p.175-98. doi: 10.1016/S1874-558X(04)80044-7.
11. Chamba JF, Perreard E. Contribution of propionic acid bacteria to lipolysis of Emmental cheese. INRA/EDP Sciences. 2002;82:33-44. doi: 10.1051/ait:2001003.
12. Rantsiou K, Urso R, Dolci P, Comi G, Coccolin L. Microflora of Feta cheese from four Greek manufacturers. Int J Food Microbiol. 2008;126(1-2):36-42. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.031.
13. Sert D, Ayar A, Akın N. The effects of starter culture on chemical composition, microbiological and sensory characteristics of Turkish Kaşar Cheese during ripening. Int. J. Dairy Technol. 2007;60(4):245-52. doi: 10.1111/j.1471-0307.2007.00339.x.
14. Bağder Elmacı S, Tokatlı M, Dursun D, Özçelik F, Şanlıbaba P. Phenotypic and genotypic identification of lactic acid bacteria isolated from traditional pickles of the Çubuk region in Turkey. Folia Microbiol (Praha). 2015;60(3):241-51. doi: 10.1007/s12223-014-0363-x.
15. Yu J, Gao W, Qing M, Sun Z, Wang W, Liu W, et al. Identification and characterization of lactic acid bacteria isolated from traditional pickles in Sichuan, China. J Gen Appl Microbiol. 2012; 58(3):163-72. doi: 10.2323/jgam. 58.163.
16. Vegas C, Mateo E, González A, Jara C, Guillamón JM, Poblet M, et al. Population dynamics of acetic acid bacteria during traditional wine vinegar production. Int J Food Microbiol. 2010;138(1-2):130-6. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.006.
17. Kesmen Z, Yetim H, Şahin F. Identification of different meat species used in sucuk production by PCR assay. Gıda. 2010;35(2):81-7.
18. Corsetti A, Settanni L. Lactobacilli in sourdough fermentation. Food Res Int. 2007;40(5): 539-58. doi:10.1016/j.foodres.2006.11.001.
19. Aladeboyeje OT. Türkiye'deki bazı geleneksel probiyotik içeceklerin antimikrobiyal etkisinin araştırılması [Yüksek lisans tezi]. İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2019. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/141830/yokAcikBilim_10304322.pdf?sequence=-1&isAllowed=y (Erişim tarihi: 13.09.2021).
20. Heller KJ. Probiotic bacteria in fermented foods: product characteristics and starter organisms. Am J Clin Nutr. 2001;73(2 Suppl):374-9. doi: 10.1093/ajcn/73.2.374s.
21. Cholakov R, Yanakieva V, Denkova Z, Sotirova E. Probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* BG24, isolated from naturally fermented cereal beverage. International Conference, Scientific Works of the University of Ruse, Bulgaria, October 31-November 1. 2014;53:46-50.
22. Kışla D, Çelen Ç, Cholakov R, Nalbantsoy A. The effect of *Lactobacillus plantarum* on epithelial barrier permeability and adhesion capacity to gut epithelium. The 63rd Scientific Conference with International Participation 'Food Science, Engineering and Technology-2016', UFT, Plovdiv, Bulgaria, October 21-22. 2016. p.23.
23. Yang SC, Lin CH, Sung CT, Fang JY. Antibacterial activities of bacteriocins: application in foods and pharmaceuticals. Front Microbiol. 2014;5:241. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00683>
24. Abee T, Krockel L, Hill C. Bacteriocins: modes of action and potentials in food preservation and control of food poisoning. Int J Food Microbiol. 1995;28(2):169-85. doi: 10.1016/0168-1605(95)00055-0.
25. Klaenhammer TR. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. FEMS Microbiology Reviews. 1993;12(1-3):39-86. doi: 10.1111/j.1574-6976.1993.tb00012.x.
26. Kışla D. Nisin üreten *Lactococcus lactis* izolasyonu ve nisin üretimine etki eden faktörler [Doktora tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi; 2001. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=7VkJg65xt2nwp1k6o1EsA_0_r99ZPP4GF2_RF_SjZNEuApbdAjheFguz7UktV5 (Erişim tarihi: 13.09.2021)
27. He Z, Kışla D, Zhang L, Yuan C, Green-Church KB, Yousef AE. Isolation and identification of a *Paenibacillus polymyxa* strain that coproduces a novel lantibiotic and polymyxin. Appl Environ Microbiol. 2007;73(1):168-78. doi: 10.1128/AEM.02023-06.