



Biyolojik Detoksifikasyon ve Probiyotikler

Gizem OMAK¹, Tülay ÖZCAN¹, Lütfiye YILMAZ-ERSAN^{1*}

¹Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa.

*e-posta: lutfiyey@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.09.2015; Kabul Tarihi: 22.12.2015

Öz: Sağlık üzerine olumlu etkileri ve koruyucu özellikleri nedeni ile probiyotik bakterilerin gıda güvenliğinin sağlanması için ve besin takviyesi olarak kullanımına olan ilgi artmaktadır. Probiyotik bakteriler kullanılarak kimyasal ve mikrobiyal toksinlerin uzaklaştırılması, konvansiyonel dekontaminasyon yöntemlerine alternatif olabilecek yeni, umut vaat eden biyolojik yöntem olarak tanıtılmaktadır. Yapılan araştırmalar probiyotik bakterilerin zararlı mikroorganizmaların gelişmesini engelleyebildiğini, bu zararlı mikroorganizmaların oluşturduğu zararlı metabolitleri azaltabildiğini ve gıda güvenliği için koruyucu ajan olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu derlemenin amacı probiyotik bakterilerin mikrobiyal ve kimyasal toksinleri dekontamine etme mekanizmaları hakkında bilgi vermek ve konu ile ilgili yapılan çalışmalarını özetlemektir.

Anahtar Kelimeler: Probiyotik bakteri, biyolojik detoksifikasyon.

Biological Detoxification and Probiotics

Abstract: Utilization of probiotic bacteria in food safety and in the diet as supplements have gained interest because of the beneficial health effects and preservative properties. Removal of chemical and microbial toxins by probiotic bacteria has been introduced as a new promising biological method as an alternative to conventional decontamination methods. The results of research have actually shown that probiotic bacteria can inhibit the growth of harmful microorganism, remove metabolites produced these microorganism and be used as preventive agents for maintaining food safety. The aim of this review is to present information about the mechanisms involved in the decontamination of microbial and to chemical toxins by probiotic bacteria and summarize the available literature on the subject.

Key Words: Probiotic bacteria, biological detoxification.

Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışına paralel olarak insanların yaşamak, fiziksel ve zihinsel gelişimlerini sağlamak için yeterli ve dengeli beslenmeleri, tüketilen gıdaların da “sağlık yönünden güvenilir olması” insan haklarının esasını oluşturmaktadır. Gıda Güvenliği; *gıdaların, gıda kaynaklı hastalıklara neden olan biyolojik, fiziksel ve kimyasal etkenleri önleyecek şekilde işlenmesi, hazırlanması, depolanması ve son tüketiciye sunulmasını* tanımlayan bilimsel bir sistem döngüsü olarak ifade edilmektedir. Gıda güvenliğini tehdit eden başlıca unsurlar; gıdaların üretimi, taşınma, depolanma, dağıtım ve tüketim aşamalarında fiziksel, kimyasal ve biyolojik riskler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu riskler, insan sağlığını tehdit etmenin yanısıra ciddi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır (Erkmen, 2010). Bu nedenle, risklerin olası olumsuz etkilerinin önlenmesinde ve/veya azaltılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik detoksifikasyon işlemleri uygulanmaktadır. Detoksifikasyon; insan vücudundan ve gıdalardan ilaç, mutajen, kanserojen gibi zararlı bileşenlerin uzaklaştırılması ya da etkisiz hale getirilmesi işlemidir (Phelps ve Hasset, 2012). Isıl işlem, alkali ile muamele gibi fiziksel ve kimyasal detoksifikasyon yöntemlerinin, gıdanın duyuşal özellikleri ve besinsel değerinde kayıplara neden olmaları ve yüksek maliyet gibi dezavantajlarının bulunması *biyolojik yöntemleri daha avantajlı kılmaktadır*. Son yıllarda mikotoksin, ağır metaller, heterosiklik aromatik aminler gibi karsinojenlerin parçalanması ya da azaltılmasını içeren biyolojik detoksifikasyon işleminde, probiyotik bakterilerin etkisini inceleyen çalışmalarda artış olduğu görülmektedir (Karlovsky 1999; Özkaya ve Temiz, 2003; Zsivkovits ve ark., 2003; Fuchs ve ark., 2008; Halttunen ve ark. 2008; Keser ve Kutay, 2008; Sabuncuoğlu ve ark., 2008; Franco ve ark., 2011; Zoghi ve ark., 2014).

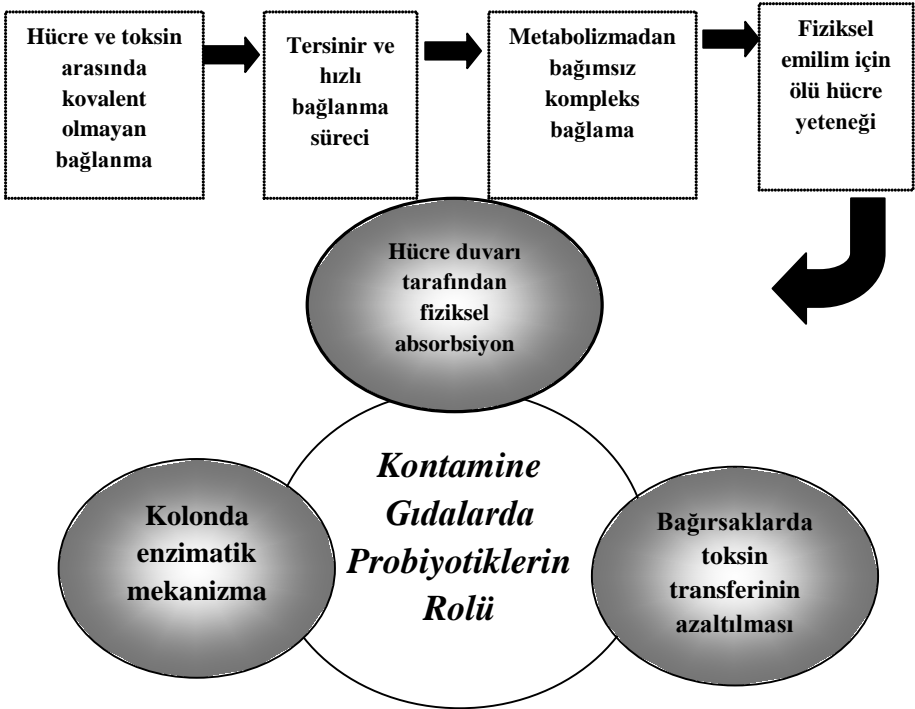
Probiyotikler, “vücuda belirli sayıda alındığında konakçının gastrointestinal mikroflorasına olumlu etkileri olan canlı mikroorganizmalar”dır. Bu mikroorganizmalar arasında en çok kullanılan bakteriler *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türlerinin seçilmiş suşlarıdır. Probiyotik bakterilerin sağlık açısından fonksiyonel etkileri; laktoz intoleransı, serum kolesterol seviyesinin azaltılması, gastro-intestinal enfeksiyonları kontrol etmesi, bağışıklık sistemini güçlendirmesi, antimikrobiyal, antimutajenik, antialerjik ve antikanserojenik aktivite göstermesi, besin öğelerinin biyolojik değerini arttırması, vitamin üretimi, mineral ve iz elementlerin yararlanımını arttırması şeklinde sıralanabilmektedir (Delikanlı ve Özcan, 2014; Soccol ve ark., 2014). Bu bakterilerin sağlık üzerine olumlu etkilerinin yanısıra, gıda maddelerinin bileşiminde bulunan, insanlar tarafından kullanılmayan ve toksik etkisi bulunan bileşenleri, daha küçük molekülü, toksik etkisi olmayan ya da insanlar tarafından sindirilebilen moleküllere parçalama özelliği de diğer bir ifade ile biyolojik detoksifikasyon etkiside dikkat çekmektedir (Şekil 1).

1. Mikotoksinlerin Detoksifikasyonu

Mikotoksinler; *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* türleri de dahil olmak üzere birçok önemli patojenik ve gıda bozulmalarına sebep olan küfler tarafından üretilen sekondermetabolitlerdir. Küf türleri 300’den fazla mikotoksin oluşturmalarına rağmen, gıda ve yemlerde bulunan, insan ve hayvanların sağlığı için risk oluşturan başlıca mikotoksinler; aflatoksinler (AFB₁, B₂, G₁, G₂), okratoksinler, zearalenon, fumonisinler, trikotesenler (T-2 toksin, deoksinivalenol) ve ergot alkaloidleridir (Svveaney ve Dobson, 1999; Girgin ve ark., 2001; Hussein, 2001; Biernaslak ve ark., 2006; Fuchs ve ark., 2008;

Keser ve Kutay, 2008; Stadnik ve Borzecki, 2009; Cicoňová ve ark., 2010; Milicevic ve ark., 2010; Puel ve ark., 2010; Bakırcı, 2014).

Gıdalarda ve metabolizmada mikotoksin miktarını kontrol etme yöntemleri başlıca 3 grupta toplanabilmektedir. Bunlar; i) küf kontaminasyonunun veya kontaminasyonun büyümesinin önlenmesi, ii) kontamine olmuş ürünlerin detoksifikasyonu (iii) toksin içeren gıda tüketildiğinde sindirim sisteminde mikotoksinin absorpsiyonunun engellenmesi'dir. Gıdalarda bulunan mikotoksinlerin sağlığa zararlı etkilerinden dolayı bu metabolitlerin uzaklaştırılması için etkili dekontaminasyona da detoksifikasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Detoksifikasyon yöntemleri; toksini inaktif etmeli, parçalamalı veya uzaklaştırmalı, ortama yeni toksik maddeler bırakmamalı, ürünün besin değerini korumalı, uygulanan ürünle ilgili teknolojik prosesleri değiştirmemeli ve mümkünse fungal sporları ortadan kaldırmalıdır. İdeal mikotoksin detoksifikasyon yöntemleri, ana bileşiklerin karbondioksit ve suya kadar tamamen parçalanmasını başarmalıdır (Özay, 1988; Mishra ve Das, 2003; Kabak ve Var, 2004; Moake ve ark., 2005; Sabuncuoğlu ve ark., 2008; Dalié ve ark., 2010).



Şekil 1. Toksinlerin azaltılmasında probiyotiklerin rolü (Zoghi ve ark. 2014)

Canlı mikroorganizmalar mikotoksini ya hücre duvarı bileşenlerine bağlamakta ya da aktif özümseme ve akümülyasyon ile absorbe etmektedirler. Probiyotik bakterilerin mikotoksinlerin detoksifikasyonundaki etkileri i) hücre duvarındaki peptidoglukan ve polisakkarit gibi hidrofobik kısımlara, aflatoksin benzeri mutajenik ve kanserojenik

maddelerin kovalent olmayan bağlarla bağlanarak, bu maddelerin ince bağırsakta birikmesinin engellenmesi ve bakteri-mikotoksin şeklinde vücut dışına atılması, ii) hücrelerden sulu ortama özgül enzimlerin salınmasıyla toksinlerin metabolik dönüşümler sonucu parçalanması şeklinde olmaktadır (Kabak, 2002; Kabak ve Var, 2004; Moake ve ark., 2005; Zorlugenç, 2009; Dalié ve ark., 2010; Oskay, 2012; Bovo ve ark., 2013; Zoghi ve ark., 2014). Probiyotik mikroorganizmalar kullanılarak çeşitli mikotoksinlerin detoksifikasyonu ile ilgili örnek çalışmalar Çizelge 1’de özetlenmektedir.

Çizelge 1. Mikotoksinlerin detoksifikasyonunda kullanılan probiyotik mikroorganizmalar ile ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmalar

Mikotoksin	Probiyotik Mikroorganizma	Kaynak
Aflatoksin	<i>Lb. rhamnosus</i> LC705, <i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>Lb. bulgaricus</i> , <i>Lb. helveticus</i> , <i>Lb. acidophilus</i>	Motawee ve Abd El-Ghany (2011)
	<i>Lb. acidophilus</i> ATCC 20552, <i>Lb. rhamnosus</i> TISTR 541, <i>B. angulatum</i> DSMZ 20098, <i>Lb. plantarum</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>Lb. bulgaricus</i>	Elsanhoty ve ark. (2014)
	<i>Lb. rhamnosus</i> GG ATCC 53103, <i>Lb. rhamnosus</i> LC-705 DSM 7061	Haskard ve ark. (2001)
	<i>Lb. paracasei</i> F19, <i>B. lactis</i> Bb-12, <i>Lb. crispatus</i> M247, <i>Lb. crispatus</i> MU5, <i>Lb. salivarius</i> LM2-118, <i>Lb. johnsonii</i> LJ-1	Peltonen ve ark. (2000)
	<i>Lb. acidophilus</i> NCC 12, <i>Lb. acidophilus</i> NCC 36, <i>Lb. acidophilus</i> NCC 68, <i>B. bifidum</i> Bb 13, <i>B. bifidum</i> NCC 381	Kabak ve Var (2008)
	<i>Lb. reuteri</i> NRRL 14171, <i>B. bifidum</i> NCFB 2715, <i>Lb. casei</i> Shirota, <i>Lb. johnsonii</i> NCC 533, <i>Lb. casei</i> DN-114-001	Hernandez-Mendez ve ark. (2009)
	<i>Lb. plantarum</i> , <i>E. avium</i> , <i>S. pentosaceus</i> , <i>B. lactis</i> , <i>Lb. gasseri</i>	Bovo ve ark. (2013)
Zearalenone	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. rhamnosus</i> LC-705	El-Nezami ve ark. (2002a)
	<i>Lb. plantarum</i>	Zhao ve ark. (2015)
Trikoten	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. rhamnosus</i> LC-705, <i>P. freudenreichii</i> ssp. <i>shermanii</i>	El-Nezami ve ark. (2002b)
Okratoksin	<i>Lb. acidophilus</i> CH-5, <i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. plantarum</i> BS, <i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. sanfranciscensis</i>	Piotrowska ve Zakowska (2005)
	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. rhamnosus</i> LC-705	Biernaslak ve ark. (2006)
	<i>Lb. acidophilus</i> VM20	Fuchs ve ark. (2008)
Patulin	<i>E. faecium</i>	Oskay (2012)
	<i>L. brevis</i> 20023	Wang ve ark. (2015)
	<i>B. bifidum</i> 6071, <i>Lb. rhamnosus</i> 6149	Hatab ve ark. (2012)
Okratoksin ve Patulin	<i>Lb. acidophilus</i> VM20, <i>B. animalis</i>	Fuchs ve ark. (2008)

2. Ağır Metallerin Detoksifikasyonu

Ağır metaller; 5 g/cm³'ün üzerinde yoğunluğa sahip olan ve parçalanamayan metalik bileşenlerdir. Demir (Fe), bakır (Cu) ve civa (Hg) gibi bazı ağır metaller temel iz elementler iken; kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi ağır metaller yararlı biyolojik etkileri olmayan ve çok düşük miktarlarda bile toksik etki gösteren elementlerdir. Cd, Pb, Hg ve arsenik (As) en zehirli ağır metaller olarak kabul edilmektedir. Ağır metal kirliliği, insan sağlığını tehdit etmesinin yanısıra doğada doğal olarak parçalanmayarak, tehlikeli ve toksik olmaları nedeniyle çevresel açıdan da ciddi sorunlara yol açmaktadır (Gerbino ve ark., 2011; Bhakta ve ark., 2012).

Mikroorganizmaların çeşitli türleri, farklı yüzeylerde bulunabilen ağır metalleri uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle probiyotik laktik asit bakterileri kullanılarak Cd, Pb, As ve Hg gibi tehlikeli ağır metallerin biyolojik detoksifikasyonu üzerine çalışmalar artış göstermektedir. Laktik asit bakterileri kadmiyum ve kurşun gibi ağır metalleri bağlayabilme kapasitesine sahiptir. Bu bağlama kapasitesi, mikrobiyal suşa ve pH'a bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. pH 2-3'den daha düşük seviyelerde bağlama kapasitesi gözlenmekte iken; 3'den yüksek pH'larda ani bir artış görülmektedir. Maksimum bağlama ise pH 4-6 arasında gerçekleşmektedir. pH'ın etkisi katyonik metal ve protonlar arasında, negatif yüklü bölgeler olan rekabet sonucu ortaya çıkmaktadır (İbrahim ve ark., 2006; Halttunen, 2007; Gerbino ve ark., 2011; Bhakta ve ark., 2012; Kinoshita ve ark., 2013; Zoghi ve ark., 2014). Yapılan bir çalışmada, *Lb. casei* tarafından As'in hızlı bir şekilde bağlanmasının, bakteriyel yüzeyle ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Uzun süreli inkübasyon sırasında bakteriyel yüzeyde meydana gelen bozulma, As'in uzaklaştırılmasında azalmaya sebep olmuştur. En yüksek uzaklaştırma kapasitesine pH 7'de ulaşılmıştır. Bu durum, yüksek pH değerlerinde dihidrojen arsenat (H₂AsO₄) ve hidrojen arsenat (HAsO₄) gibi anyonik türlerin oluşması sonucu arsenik oksianyonları ve yüzey dördü-amino grupları arasındaki elektrostatik etkileşimlerin artmasıyla açıklanabilmektedir (Hansen ve ark., 2006).

Probiyotiklerin koruma mekanizmalarından biri de toksinlerin fiziksel olarak bağlanmasıdır. Çoğu probiyotik hücre duvarı; peptidoglikan, teikoik asit, proteinler, polisakkaritler ve salgılanan bazı ekzopolisakkaritlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin içerdiği karboksil, hidroksil ve fosfat grupları, toksinler için bağlama yerleri olarak görev yaparak toksinleri inaktive edebilmektedir. İbrahim ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, *Lb. rhamnosus* LC-705 ve *P. freudenreichii* subsp. *Shermanii* JS'nin bu ağır metalleri bağlama yeteneği olduğu saptanmıştır. Teemu ve ark. (2008), *Lb. fermentum* ME3 ve *B. longum* 46 suşlarının Cd ve Pb da azalma sağladığını yaptıkları çalışma ile belirlemişlerdir. *Lb. kefir* CIDCA 8348 ve *Lb. kefir* JCM 5818 suşları ile yapılan bir çalışmada bu bakterilerin Pb, Cd ve Ni metalleri etkin bir şekilde bağladığı saptanmıştır (Gerbino ve ark., 2011). *Lb. plantarum*, *Lb. rhamnosus*, *B. breve* ve *B. lactis* suşlarının Pb, Cd gibi ağır metalleri bağlayarak etkilerini azattıkları belirlenmiştir (Zhai ve ark., 2015).

Son yıllarda otizmin en önemli nedenlerinden biri olarak görülen civanın probiyotik bakteriler ile detoksifiye edilebildiği üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle vücuda belli dozda probiyotik alımı, çocuklarda otizm spektrum bozukluklarına karşı bütünlleştirici bir tedavi olarak faydalı olduğu saptanmıştır (Critchfield ve ark., 2011). Civanın detoksifikasyonu; bakterilerin, organik civayı bir redoks reaksiyonu vasıtasıyla son derece zehirli Hg⁺²'yi Hg(0)'ya dönüştürme yetenekleri sayesinde olmaktadır. Hg(0); hidrofobik

ve kırılındır, bakteri hücrelerinin uzaklaşmasına izin vermektedir. Sonrasında bakteri ile birlikte mide-bağırsak yolu içine salınmakta ve böylece civa bağırsaklara doğru ilerlemekte ve vücuttan atılmaktadır (Brudnak, 2002).

3. Heterosiklik Aromatik Aminlerin Detoksifikasyonu

Heterosiklik aromatik aminler, etlerin pişirilmesi sırasında, içerdikleri aminoasitlerin prolizi ile oluşan ve insanlarda kolon kanserine neden olduğuna dair bulgulara rastlanan bileşiklerdir. Bu aminlerin konsantrasyonları; ısıtım işlem gören et tipi, pişirme süresince kullanılan sıcaklık, pişirme süresi, pişirme şartları, pH, su aktivitesi, karbonhidratlar, serbest aminoasitler, kreatin, ısı ve kütle transferi, yağlar, yağ oksidasyonu ve antioksidanlar gibi faktörlere bağlıdır (Zsivkovits ve ark., 2003; Öz ve Kaya, 2007).

Probiyotik laktik asit bakterilerinin, heterosiklik amin ve N-nitroso bileşikleri de dahil olmak üzere pek çok kanserojeni bağlayabildiği ya da metabolize edebildiği belirlenmiştir. Literatüre göre; heterosiklik aminlerin probiyotikler tarafından bağlanması veya degradasyona uğratılması, insan vücudu dışında kanserojenlerin azaltılmasının ana mekanizması olarak açıklanabilmektedir (Sreekumar ve Hosono 1998a,b; Uccello ve ark., 2012). Orrhage ve ark. (1994)'nin *in vitro* ortamda yürütükları bir çalışmada, proteince zengin gıdaların pişirilmesi ile oluşan heterosiklik aminlerin laktik asit bakterileri tarafından bağlanma kapasitesi araştırılmış; kullanılan bakteri suşlarının 3-amino-1-metil-5Hpirido-[4,3-b]indol(Trp-P-2), 2-amino-1-metil-6-fenilimidazo[4,5-b]piridin(PhIP), 2-amino-3, 8-dimetilimidazo[4,5-f]kinoksalin(MeIQx), 2-amino-3-metilimidazol[4,5-f]kinolin (IQ) mutajenlerini bağladığı HPLC analizleri ile gösterilmiştir. Trp-P-2 tamamen ve geri dönüşümsüz olarak bağlanırken; PhIP'nin yaklaşık %50'si bağlanmıştır. IQ ve MeIQx'nin ise daha az bağlandığı saptanmıştır. Sreekumar ve Hosono (1998b) tarafından ise *Lb. gasseri* ve *B. longum* suşlarının Trp-P-1 ve Trp-P-2 mutajenlerini güçlü bağlama kapasitesi gösterdiği belirlenmiştir. Son zamanlarda, *Lb. casei* DN 114001 suşunun IQ, MeIQx ve PhIP varlığında büyüme ve direnç gösterdiği gözlemlenmiştir (Nowak ve Libudzisz, 2009). *Lb. acidophilus* ve *Bifidobacterium* spp. farklı suşları arasında heterosiklik aminleri bağlama kapasiteleri üzerine yapılan çalışmada, *Lb. acidophilus* %10–65 arasında bağlama kapasitesi gösterirken; *Bifidobacterium* spp.'nin yaklaşık %5–80 oranında bağlama kapasitesi gösterdiği saptanmıştır (Lankaputhra ve Shah, 1998).

Tavan ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada; *S. thermophilus* ve *B. animalis* suşlarından birini içeren fermente sütlerin tüketiminin, DNA migrasyonuna sebep olan heterosiklik amin karışımını inhibe ettiği belirlenmiştir. Stidl ve ark. (2008), bir heterosiklikamin olan piridin (PhIP) inaktivasyonunda; *Lb. helveticus* %78, *S. thermophilus* %50, *Lb. bulgaricus* %44 ve *Lb. kefir*'in %7 oranında azalma sağladığını saptamışlardır.

4. Akrilamid Detoksifikasyonu

Akrilamid; çoğunlukla karbonhidratça zengin gıdaların yüksek sıcaklıklarda işlenmesiyle ve patates ve tahıllarda yüksek oranda bulunan bir aminoasit olan asparajin'in, şekerlerle reaksiyona girmesiyle oluşan bir bileşiktir. İşlenmiş patates ürünlerinde, ekmek-bisküvi-kraker gibi fırında pişen ürünlerde, kavrulmuş kahve-kakao-çerez gibi ısıtım işlem görmüş gıdalarda bulunmaktadır (Baardseth ve ark., 2006; Tamer ve Karaman, 2006). Maillard reaksiyonu, akrilamid oluşumunda önemli bir reaksiyon olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda bu bileşenin çeşitli kanser türleri için risk oluşturduğu ve insanlarda sinir sistemine zararlı etkiler gösterebileceği belirlenmiştir (Gökmen ve Palazoğlu, 2008; Timilsena ve ark., 2010; Serrano-Niño ve ark., 2014).

Probiyotik laktik asit bakterileri; sebze fermentasyonu ve fermente süt ürünlerinde oluşturdukları laktik asit ile pH'ı düşürmektedir. Yapılan çalışmalar patates ve havuç dilimlerinde meydana gelen laktik asit fermentasyonunun; maillard ürünlerinin miktarını, şeker miktarını ve buna bağlı olarak akrilamid oluşumunu azalttığını göstermektedir (Baardseth ve ark., 2006).

Akrilamid bağlanma yeteneğinin konsantrasyona ve bakteri suşuna bağlı olarak %11.89 ile %29.12 arasında değiştiği Serrano-Niño ve ark. (2014) tarafından belirlenmiştir. *Lb. reuteri* NRRL 14171 ve *Lb. casei* Shirota suşu ile 5 mL'lik akrilamid konsantrasyonu kullanılarak 12 saat inkübasyon sonunda sırasıyla %24.01 ve %24.95 oranında etkin bir şekilde bağlanma olduğu saptanmıştır.

Kaaber ve ark. (1995)'nin *Lb. sake* NCIMB 40450 suşu ile çeşitli patates dilimleri üzerinde yaptığı bir araştırmada, 23°C' de 24 saat yapılan fermentasyondan sonra toplam şeker içeriğinde azalmanın %72-%96 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında yapılan bir deneyde, *Lb. plantarum* NC8 suşu ile fermente edilen patates ve havuç dilimlerinin kızgın yağda kızartılması sırasında akrilamid oluşumunun daha düşük olduğu görülmüştür.

5. Diğer Toksik Bileşiklerin Detoksifikasyonu

Paralitik kabuklu su ürünleri toksinleri (PSTs) mavi-yeşil agler ve ateşrengi algler tarafından üretilmektedir. Bu toksinler kimyasal olarak, karbamat toksinleri (saksitoksin, neosaksitoksin ve gonyatoksin), sulfokarbamil toksinleri ve dekarbamil toksinleri (C-toksin) olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar (Bartram ve ark., 2002; Kodama, 2010). *Lb. rhamnosus* GG ve LC-705 suşlarının canlı ve cansız formları kullanılarak; saksitoksinin, neosaksitoksinin, gonyatoksinin ve C-toksinin bağlanma kapasitesi HPLC cihazında ölçülmüştür. Neosaksitoksin ve saksitoksin %77-97.2 oranında bağlanırken; gonyatoksin ve C-toksin %33.3-49.7 oranlarında bağlandığı belirlenmiştir. Canlı ve cansız formların toksinleri bağlama kapasiteleri arasında önemli bir fark bulunmazken bu durum, metabolizma yerine bağlama kapasitesi ile toksinlerin uzaklaştırıldığını göstermektedir (Vasama ve ark., 2014).

Diğer bir toksik madde olan Bisfenol A (BPA), endüstriyel olarak önemli bir bileşiktir ve yaygın olarak polikarbon plastiklerde, konserve kutuları ve meyve suyu kutuları gibi gıda ambalajlarının iç kısmında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bisfenol A'nın östrojen aktivitesine sahip olması, bu bileşiğin endokrin bozucular denilen bileşiklerin kategorisinde yer almasına neden olmuştur. Bisfenol A ile kontamine olmuş gıdaların, içeceklerin ve suyun tüketimi üreme organları, tiroid bezi ve gelişim aşamalarında beyin dokularına zarar verebilmektedir. Bu nedenle, Bisfenol A'nın uzaklaştırılması ve yıkımı tüketici sağlığı açısından önem kazanmaktadır (Endo ve ark., 2007; Chouhan ve ark., 2014). *Lb. casei* Shirota (LcS) ve *B. breve* Yakult (BbY) suşlarının Bisfenol A'ya karşı etkisinin incelendiği bir çalışmada, bir grup sıçan %5 oranında *Lb. casei* Shirota (LcS) suşu veya %5 oranında *B. breve* Yakult (BbY) suşu içeren diyetle beslenmişlerdir. Elde edilen sonuçlar kontrol grubu ile karşılaştırıldığında; dışkıdan atılan

bisfenol A miktarının arttığı belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde *Lb. casei* Shirota ve *B. breve* Yakult suşlarının bisfenol A atılımını kolaylaştırarak bağırsaklardan emiliminin azaldığını saptamışlardır (Oishi ve ark., 2008).

Sonuç

Fonksiyonel bileşenler arasında önemli yeri olan probiyotik bakterilerin, gıdalarda ve metabolizmada toksik bileşenlerin uzaklaştırılmasında kullanılması son yıllarda birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir. Yapılan çalışmalar, toksik bileşenleri parçalama ya da azaltma potansiyellerinden dolayı probiyotik bakterilerin besinlerle düzenli tüketilmesinin yalnız bireyin toksik bileşenlerden korunmasına değil, aynı zamanda genel sağlık durumunun iyileşmesine de katkı sağlayacağını göstermektedir. Şu ana kadar yapılan çalışmalar laboratuvar koşullarında olup endüstriyel ölçekte yapılan uygulamalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle, hem gıdaların bu bileşenlerden korunması hem de insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla farklı probiyotik tür ve suşların kullanıldığı daha fazla *in vitro* ve *in vivo* çalışma ile birlikte endüstriye ölçekte yapılan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Baardseth, P., H. Blom, G. Skrede, L. Mydland, A. Skrede and E. Slinde. 2006. Lactic acid fermentation reduces acrylamide formation and other maillard reactions in french fries. *J. Food Sci.*, 71: 28-33.
- Bakırcı, G.T. 2014. Tahıl ve tahıl ürünlerinin aflatoksin, okratoksin A, zearalenon, fumonisin ve deoksinivalenol mikotoksinleri yönünden incelenmesi. *Akademik Gıda*. 12: 46-56.
- Bartram, J. and I. Chorus. 2002. Toxic *Cyanobacteria* in water: A Guide To Their Public Health Consequences, Monitoring And Management. Taylor & Francis: Oxford, UK.
- Bhakta, J.N., Ohnishi, K., Munekage, Y., Iwasaki, K. and Wei, M.Q. 2012. Characterization of lactic acid bacteria-based probiotics as potential heavy metal sorbents. *J. Appl. Microbiol.*, 112: 1193-1206.
- Biernaslak, J., Piotrowska, M. and Libudzisz, Z. 2006. Detoxification of mycotoxins by probiotic prepatation for broiler chickens. *Mycotoxin Res.*, 22: 230-235.
- Bovo, F., Corassin, C.H., Rosim, R.E. and Oliveira, C.A.F. 2013. Efficiency of lactic acid bacteria strains for decontamination of aflatoxin M₁ in phosphate buffer saline solution and in skimmed milk. *Food Biop. Technol.*, 6: 2230-2234.
- Brudnak, M.A. 2002. Probiotics as an adjuvant to detoxification protocols. *Med. Hypotheses*, 58: 382-385.
- Chouhan, S., Yadav, S.K., Prakash, J. and Singh, S.S.P. 2014. Effect of bisphenol A on human health and its degradation by microorganisms: A review. *Ann Microbiol.*, 64: 13-21.
- Cicoňová, P., Laciaková, and Ve Máté, D. 2010. Prevention of ochratoxin A contamination of food and ochratoxin A detoxification by microorganisms. A Review. *J. Food Sci.*, 28: 465-474.
- Critchfield, J.W., Van Hemert, S., Ash, M., Mulder, L. and Ashwood, P. 2011. The potential role of probiotics in the management of childhood autism spectrum disorders. *Gastroenterology Res. Pract.* 8 pp.
- Dalié, D.K.D., Deschamps, A.M. and Richard-Forget, F. 2010. Lactic acid bacteria-Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review. *Food Control*. 21: 370-380.

- Delikanlı, B. ve Özcan, T. 2014. Probiyotik içeren yenilebilir filmler ve kaplamalar. U.Ü. Ziraat Fak. Derg., 28: 59-70.
- El-Nezami, H. S., Polychronaki, N., Salminen, S. and Mykkänen, H. 2002a. Binding rather than metabolism may explain the interaction of two food-grade *Lactobacillus* strains with zearalenone and its derivative α -zearalenol. Appl. and Environ. Microbiol, 68: 3545-3549.
- El-Nezami, H. S., Chrevatidis, A., Auriola, S., Salminen, S. and Mykkänen, H. 2002b. Removal of common Fusarium toxins *in vitro* by strains of *Lactobacillus* and *Propionibacterium*. Food Add. Contam, 19: 680-686.
- Elsanhoty, R.M., Salam, S.A., Ramadan, M.F. and Badr, F.H. 2014. Detoxification of aflatoxin M₁ in yoghurt using probiotics and lactic acid bacteria. Food Control, 43: 129-134.
- Endo, Y., Kimura, N., Ikeda, I., Fujimoto, K. and Kimoto, H. 2007. Adsorption of bisphenol A by lactic acid bacteria: *Lactococcus* strains. Appl. Microbiol. Biotechnol, 74: 202-207.
- Erkmen, O. 2010. Gıda kaynaklı tehlikeler ve güvenli gıda üretimi. Çocuk Sağ. ve Hast. Derg., 53: 220-235.
- Franco, T.S., Garcia, S., Hirooka, E.Y., Ono, Y.S. and Santos, J.S. 2011. Lactic acid bacteria in the inhibition of *Fusarium graminearum* and deoxynivalenol detoxification. J. Appl. Microbiol, 111: 1364-5072.
- Fuchs, S., Sontag, G., Stidl, R., Ehrlich, V., Kundi, M. and Knasmüller, M. 2008. Detoxification of patulin and ochratoxin A, two abundant mycotoxins by lactic acid bacteria. Food Chem. Toxicol, 46: 1398-1407.
- Gerbino, E., Mobili, P., Tymczynszyn, E.E., Frausto-Reyes, C., Araujo-Andrade, C. and Gomez-Zavaglia, A. 2011. Use of Raman spectroscopy and chemometrics for the quantification of metal ions attached to *Lactobacillus kefir*. J. Appl. Microbiol, 112: 363-371.
- Girgin, G., Başaran, N. ve Şahin, G. 2001. Dünyada ve Türkiye’de insan sağlığını tehdit eden mikotoksinler. Türk Hij. Den. Biyol. Derg., 58: 97-118.
- Gökmen, V. ve Palazoğlu, T. K. 2008. Acrylamide formation in foods during thermal processing with focus on frying. Food Biop. Tech., 1: 35-42.
- Halttunen, T. 2007. Removal Of Cadmium, Lead And Arsenic From Water By Lactic Acid Bacteria, Department of Biochemistry and Food Chemistry, University of Turku.
- Halttunen, T., Collado, M.C., El-Nizami, H., Meriluoto, J. and Salminen, S. 2008. Combining strains of lactic acid bacteria may reduce their toxin and heavy metal removal efficiency from aqueous solution. Lett. Appl. Microbiol., 46: 160-165.
- Hansen, H.K., Ribeiro, A. and Mateus, E. 2006. Biosorption of arsenic (V) with *Lessonia nigrescens*. Minerals Eng., 19: 486-490.
- Haskard, C.A., El-Nezami, H.S., Kankaanpää, S.S. and Ahokas, J.T. 2001. Surface binding of aflatoxin B₁ by lactic acid bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 67: 3086-3091.
- Hatab, S., Yue, T. and Mohamad, O. 2012. Reduction of patulin in aqueous solution by lactic acid bacteria. J. Appl. Microbiol., 112: 892-899.
- Hernandez-Mendoza, A., Guzman-de-Pen, D. and Garcia, H.S. 2009. Key role of teichoic acids on aflatoxin B₁ binding by probiotic bacteria. J. Appl. Microbiol., 107: 395-403.
- Hussein, H.S. and Brasel, J.M. 2001. Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on humans and animals. Toxicology, 167: 101-134.
- İbrahim, F., Halttunen, T., Tahvonen, R. and Salminen, S. 2006. Probiotic bacteria as potential detoxification tools: Assessing their heavy metal binding isotherms. Can. J. Microbiol., 52: 877-885.

- Kaaber, L., Sundt, T.W. and Slinde, E. 1995. Production of chips from potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) with high sugar content using lactic acid fermentation. *Potato Res.*, 38: 39-45.
- Kabak, B. 2002. *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium bifidum*'ün *Aspergillus flavus* gelişimi ve aflatoksin B₁ ve aflatoksin M₁ üzerine etkisinin *in vitro* şartlarda araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kabak, B. ve Var, I., 2004. Mikotoksin biosentezinin engellenmesinde ve mikotoksinlerin detoksifikasyonunda biyolojik ajanların kullanımı. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi*, 5: 39-45.
- Kabak, B. ve Var, I. 2008. Aflatoksin M₁'in detoksifikasyonunda *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* suşlarının kullanımı. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karlovsky, P. 1999. Biological detoxication of fungal toxins and its use in plant breeding. *Nat. Toxins.*, 7: 1-23.
- Keser, O. ve Kutay, H.C. 2008. Mikotoksinlerin önlenmesinde kullanılan bazı yöntemler II. Kimyasal ve biyolojik yöntemler. *İstanbul Üniv.Vet. Fak. Derg.*, 35: 19-30.
- Kinoshita, H.,Sohma, Y., Ohtake, F., Ishida, M., Kawai, Y., Kitazawa, H., Saito, T. and Kimura, K. 2013. Biosorption of heavy metals by lactic acid bacteria and identification of mercury binding protein. *Res. Microbiol.*, 164: 701-709.
- Kodama, M. 2010. Paralytic shellfish poisoning toxins: biochemistry and origin. *Aqua-Biosci. Monographs.*, 3: 1-38.
- Lankaputhra, W.E.V. and Shah, N.P. 1998. Antimutagenic properties of probiotic bacteria and of organic acids. *Mutat Res.*, 397: 169-182.
- Milicevic, D.R., Skrinjar, M. and Baltic, T. 2010. Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds: Challenges for food safety control. *Toxins*. 2: 572-592.
- Mishra, H.N. and Das, C. 2003. A review on biological control and metabolism of aflatoxin. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 43: 245-264.
- Moake, M., Padilla-Zakour, O.I., and Worobo, R.W. 2005. Comprehensive review of patulin control methods in foods. *Compr. Rev.Food Sci.*1: 8-21.
- Motawee, M.M. and Abd El-Ghany, M.A. 2011. Effect of some lactic acid bacteria strains on aflatoxins reduction in some dairy foods. Faculty of Specific Education Mansoura University, Giza-Egypt.
- Nowak, A. and Libudzisz, Z. 2009. Ability of probiotic *Lactobacillus casei* DN 114001 to bind or/and metabolise heterocyclic aromatic amines *in vitro*. *Eur. J. Nutr.* 48: 419-427.
- Oishi, K., Ito, M., Sato, T., Yokoi, W. and Sawada, H. 2008. Effect of probiotics, *Bifidobacterium breve* and *Lactobacillus casei*, on bisphenol a exposure in rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 72: 1409-1415.
- Orrhage, K., Sillerström, E., Gustafsson, J.A., Nord, C.E. and Rafter, J. 1994. Binding of mutagenic heterocyclic amines by intestinal and lactic acid bacteria. *Mutat Res.* 311: 239-248.
- Oskay, N. 2012. Meyve Sularında Patulin Oluşumunun Araştırılması ve Patulinin Laktik Asit Bakterileri ile Detoksifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öz, F. ve Kaya, M. 2007. Et ve et ürünlerinde heterosiklik aromatik amin oluşumunun engellenmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 38: 121-126.
- Özay, G. 1988. Gıdalarda mikotoksinlerin detoksifikasyonu. *Gıda*. 13: 137-141.
- Özkaya, Ş. ve Temiz, A. 2003. Aflatoksinler: kimyasal yapıları, toksisiteleri ve detoksifikasyonları. *Orlab On-Line Mikrobiyol. Derg.* 1: 1-21.

- Phelps, K. and Hassed, C. 2012. Detoxification: General Practice: The Integrative Approach Series. Elsevier Health Sciences, 54 s.
- Peltonen, K.D., El-Nezami, H.S., Salminen, S.J. and Ahokas, J.T. 2000. Binding of aflatoxin B by probiotic bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1942-1945.
- Piotrowska, M. and Zakowska, Z. 2005. The limitation of ochratoxin A by lactic acid bacteria strains. *Pol. J. Microbiol.* 54: 279-286.
- Puel, O., Galtier, P. and Oswald, I.P. 2010. Biosynthesis and toxicological effects of patulin. *Toxins.* 2: 613-631.
- Sabuncuoğlu, S.A., Baydar, T., Giray, B. ve Şahin, G. 2008. Mikotoksinler: toksik etkileri, degradasyonları, oluşumlarının önlenmesi ve zararlı etkilerinin azaltılması. *Hacettepe Üniv. Eczacılık Fak. Derg.* 28: 63-92.
- Serrano-Niño, J.C., Cavazos-Garduño, A., González-Córdova, A.F., Vallejo-Cordoba, B., Hernández-Mendoza, A. and García, H.S. 2014. *In vitro* study of the potential protective role of *Lactobacillus* strains by acrylamide binding. *J. Food Safety.* 34: 62-68.
- Socol, C.R., Prado, M.R.K., Garcia, L.M.B., Rodrigues, C., Medeiros, A.B.P. and Socol, V.T. 2014. Current developments in probiotics. *J. Microb. Biochem. Technol.* 7:11-20.
- Sreekumar, O. and Hosono, A. 1998a. The antimutagenic properties of apolysaccharide produced by *Bifidobacterium longum* and its cultured milk against some heterocyclic amines. *Can J. Microbiol.* 44: 1029-1036.
- Sreekumar, O. and Hosono, A. 1998b. The heterocyclic amine binding receptors of *Lactobacillus gasseri* cells. *Mutat Res.* 421: 65-72.
- Stadnik, A. and Borzęcki, A. 2009. Influence of the zearalenone on the activity of chosen liver enzymes in a rat. *Ann. Agric. Environ. Med.* 16: 31-35.
- Stidl, R., Sontag, G., Koller, V. and Knasmüller, S. 2008. Binding of heterocyclic aromatic amines by lactic acid bacteria. *Mol. Nutr. Food Res.* 52: 322-329.
- Svveaney, M.C. and Dobson, A.D.W. 1999. Molecular biology of mycotoxin biosynthesis. *FEMS Microbiol. Lett.* 175: 149-163.
- Tamer, C.E. ve Karaman, B. 2006. Gıdalarda akrilamid oluşumu ve insan sağlığı üzerine etkisi. *Gıda.* 31: 195-199.
- Tavan, E., Cayuela, C., Antoine, J.M., Trugnan, G., Chaugier, C. And Cassand, P. 2002. Effects of dairy products on heterocyclic aromatic amine-induced rat colon carcinogenesis. *Carcinogenesis.* 23: 477-483.
- Teemu, H., Sepp, S., Jussi, M., Raija, T. and Kalle, L. 2008. Reversible surface binding of cadmium and lead by lactic acid and bifidobacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 125: 170-175.
- Timilsena, Y. P., Khanal, J. S. and Anal, A.K. 2010. Acrylamide: Thermally induced toxicant in foods and its control measures. *J. Food Sci. Technol.* 6: 19-30.
- Uccello, M., Malaguarnera, G., Basile, F., D'agata, V., Malaguarnera, M., Bertino, G., Vacante, M., Drago, F. and Biond, A. 2012. Potential role of probiotics on colorectal cancer prevention. *BMC Surgery.* 12: 35.
- Vasama, M., Kumar, H. and Salminen, S. 2014. Removal of paralytic shellfish toxins by probiotic lactic acid bacteria. *Toxins.* 6: 2127-2136.
- Wang, L., Yue, T., Yuan, Y., Wang, Z., Ye, M. and Cai, R. 2015. A new insight into the adsorption mechanism of patulin by the heat-inactive lactic acid bacteria cells. *Food Control.* 50: 104-110.

- Zhai, Q., Yin, R., Yu, L., Wang, G., Tian, F., Yu, R., Zhao, J., Liu, X., Chen, Y.Q., Zhang, H. and Chen, W. 2015. Screening of lactic acid bacteria with potential protective effects against cadmium toxicity. *Food Control*. 54: 23-30.
- Zhao, L., Jin, H., Lan, J., Zhang, R., Ren, H., Zhang, X. and Yu, G. 2015. Detoxification of zearalenone by three strains of *Lactobacillus plantarum* from fermented food *in vitro*. *Food Control*. 54 :158-164.
- Zoghi, A., Khosravi-Darani, K. and Sohrabvandi, S. 2014. surface binding of toxins and heavy metals by probiotics. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. 14: 84-98.
- Zorlugenç, B. 2009. Çeşitli Gıda Maddelerinden *Flavobacterium aurantiacum* ile Aflatoksin B₁ Miktarının Azaltılması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zsivkovits, M., Fekadu, K., Sontag, G., Nabinger U., W.Huber, W., Kundi, M., Chakraborty, A., Foissy, H. and Knasmüller, S. 2003. Prevention of heterocyclic amine-induced DNA damage in colon and liver of rats by different lactobacillus strains. *Carcinogenesis*. 24: 1913-1918.