

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisinde Yeni Gelişmeler



Editör
HİKMET YETER ÇOĞUN

BİDGE Yayınları

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisinde Yeni Gelişmeler

Editör: HİKMET YETER ÇOĞUN

ISBN: 978-625-8567-69-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisi; hayvansal kökenli gıdaların “çiftlikten sofraya” uzanan süreçte hijyenik üretimini ve güvenilirliğini sağlamayı amaçlayan, halk sağlığı odaklı disiplinler arası bir alandır. Bu kitap; Tek Sağlık yaklaşımı çerçevesinde, gıda zincirinde risk yönetimi ve denetim uygulamalarını, mezbaha/işleme tesislerinde hijyen esaslarını ve güncel mikrobiyal tehlikeleri akademik bir bütünlük içinde ele almaktadır.

Eserde ayrıca antimikrobiyal direnç boyutu, işlenmiş et ürünlerinde nitrit/nitratin güvenlik–teknoloji dengesi ve mevzuatın (Codex–JECFA/ADI, Türk Gıda Kodeksi) uygulamalara yansımaları özetlenerek, öğrenciler ve uygulayıcılar için temel bir başvuru çerçevesi sunulmaktadır.

Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

İŞLENMİŞ ET ÜRÜNLERİ FORMÜLASYONLARINDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR	1
<i>TÜLAY ELAL MUŞ, FİGEN ÇETİNKAYA</i>	
GIDA KATKI MADDELERİ VE ANTİOKSİDANLAR	15
<i>İLKNUR ÖZER ORTAÇ, PELİN BEYAZGÜL, GÜLSÜM ÖKSÜZTEPE</i>	
TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE MEZBAHALARDA ATIK YÖNETİMİ VE VETERİNER HEKİMİN ROLÜ	38
<i>DOĞAN KÖSEDAĞ, RABİA MEHTAP TUNCAY, YAPUK CAN SANCAK</i>	
FOOD SAFETY AND PUBLIC HEALTH ASPECTS OF COAGULASE-NEGATIVE STAPHYLOCOCCI	47
<i>BAŞAK GÖKÇE ÇÖL</i>	
YAĞ PALMİYESİNİN SU TÜKETİMİ VE PALM YAĞININ GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ	75
<i>TÜLAY ELAL MUŞ, EZGİ KURTULMUŞ</i>	
THE ROLE OF PROBIOTICS IN FOOD HYGIENE	89
<i>BURCU ÇAKMAK SANCAR, MERYEM AKHAN</i>	
CAMPYLOBACTER SPP. ALONG THE FOOD CHAIN: TRANSMISSION DYNAMICS, HEALTH CONSEQUENCES, AND CONTROL STRATEGIES	121
<i>BAŞAK GÖKÇE ÇÖL</i>	

BÖLÜM 1

İŞLENMİŞ ET ÜRÜNLERİ FORMÜLASYONLARINDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

TÜLAY ELAL MUŞ¹
FİGEN ÇETİNKAYA²

Giriş

Toplumların beslenmesinde et ve işlenmiş et ürünleri yüksek kaliteli protein kaynakları arasındadır. Ayrıca bu gıdalar insan sindirim sistemi tarafından etkin şekilde emilen A vitamini, B kompleks vitaminleri, demir, çinko, selenyum, fosfor gibi insan sağlığı için gerekli vitamin ve mineralleri içermekte ve dolayısıyla dengeli beslenmenin önemli bir bileşeni olarak görülmektedir (Ahmad ve ark., 2018).

Et ve et ürünlerine yönelik tüketici algısı, yıllar boyunca test edilmiş dinamik psikososyal yapılara dayanmakta ve bu dinamikle ilişkili çeşitli boyutlar bulunmaktadır. Bunlar; tüketicideki kalite algısı, ürünlerin besinsel yeterliliği ve sağlıklılığı,

¹ Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Orcid: 0000-0002-3943-0097

² Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Orcid: 0000-0002-3742-8831

formülasyonlardaki yağ ve tuz içeriğiyle ilişkili potansiyel sağlık riskleri, potansiyel biyolojik tehlikeler, nitratlar, nitritler ile diğer gıda katkı maddelerinin eklenmesi gibi kimyasal tehlikeler, hayvan refahı ve kesimle ilişkili etik sorunlar, sosyal statü, din ve ideolojiler gibi psikososyal inançlar ve son olarak gıda sahtekarlığına yönelik kaygıdır. Bu unsurlar, tüketicilerde et ve et ürünlerinin kalitesiyle ilgili yeni endişeler doğurmuş ve yoğun medya ilgisiyle de desteklenmiştir. Özellikle et ürünlerinin yağ içeriği ve kimyasal katkı maddelerinin varlığı tüketiciler için önemli bir endişe kaynağıdır. Ayrıca son yıllarda hayvan refahı ve çevresel etki, bu ürünlere karşı gelişen tüketici algısının önemli belirleyicileri arasına girmiştir (Araujo ve ark., 2022).

Bu bölümün amacı, işlenmiş et ürünlerini daha sağlıklı forma dönüştürmek için formülasyonlarda kullanılan, azaltılan ve arttırılan bileşenleri çok yönlü olarak ortaya koymak, bu bileşenlerin ürün kalitesine etkisini değerlendirmek ve bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen temel bilgileri özetlemektir. Ayrıca nitrat/nitrit içeriğinin azaltılması, yağ ikame bileşenleri ve bu ürünlere fonksiyonel özellik sağlayan diğer bileşenler üzerinde ayrıntılı şekilde durulacak ve son olarak işlenmiş et ürünlerine olan tüketici algısının geliştirilmesi için öneriler sunulacaktır.

Nitrit/Nitrat İçeriğinin Azaltılması

Nitrit ve nitrat, et ürünlerinde renk ve aroma gelişimine katkı sağlamakla birlikte antioksidan özelliği sayesinde lipid oksidasyonunu azaltma amaçlarıyla kullanılmaktadır (Dissanayake ve ark., 2024). Ayrıca nitrit ve nitratin, *Clostridium botulinum*, *Salmonella* ve mezofilik bakteriler gibi çeşitli patojenlere karşı antibakteriyel etkisi nedeniyle et ürünlerinde koruyucu olarak kullanımı da bulunmaktadır. Diğer taraftan bu bileşenler, ısıl işlem sırasında et ürünlerindeki ikincil aminlerle reaksiyona girerek nitrosamin adı verilen zararlı bileşikler üretebilmektedirler. N-

nitrosaminler, uçucu ve uçucu olmayan N-nitrosaminler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Uçucu N-nitrosaminler, karsinojenik ve teratojenik etkileriyle yaygın endişeye yol açan son derece tehlikeli kimyasal kanserojenler grubudur (Xie ve ark., 2023). Gıda ve su tüketimiyle vücuda alınan nitrat, nitrit ve N-nitroso bileşiklerinin gastrointestinal kanserlerle ilişkili olabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Özellikle, diyetle alınan nitritin mide kanseri ve yemek borusu kanseri riskleriyle ve yine diyet yoluyla alınan N-nitrosodimetilaminin kolorektal kanserle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Seyyedsalehi ve ark., 2023). Bu bileşiklerin günlük beslenmede bulunmaları nedeniyle, gıdaların lezzetinde olumsuz etkilere yol açmadan oluşumlarını ve insan sağlığı üzerindeki toksisitelerini bastırmak büyük önem taşımaktadır (Xie ve ark., 2023).

İşlenmiş et ürünlerinde nitrit ya da nitrata ikame olarak benzer etkileri sunan doğal bileşenlerin kullanımı ile ilgili birçok çalışma yürütülmüştür. Sojic ve ark. (2020) domates posası ve organik nane esansiyel yağının düşük doz sodyum nitrit (50 mg/kg) ile birlikte kullanımının etkisini araştırmıştır. Domates posası ve nane esansiyel yağının, sosislerin kırmızılığını artırdığı, lipid oksidasyonunu azalttığı ve toplam bakteri sayısında herhangi bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, Mortadella tipi sosis bileşimine maydanoz ekstraktı ilavesi ile kalıntı nitrit seviyeleri azaltılmış, ürün rengi etkili bir şekilde korunmuş ve tüketici beğenisi sağlanmış ve maydanoz ekstraktının sosis teknolojisinde kürlenme tuzu olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur (Riel ve ark., 2017). Fermente sosiste üzüm çekirdeği ve kestane ekstraktları zeytin posası hidroksitirazol'ü ile birlikte test edilmiş ve fermente sosiste bu içeriklerin nitrit ikamesi olabileceği sonucuna varılmıştır (Pini ve ark., 2020).

Fermente sucukta pancar tozunun nitrit ikamesi olarak değerlendirilme potansiyeli araştırılmış ve sonuç olarak rengin

benzerlik gösterdiği, depolama süresince kalıntı nitrit seviyelerinin yakın olduğu, laktik asit bakterilerinin gelişiminin pancar tozu ilaveli sucukta daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Pancar tozunun nitrit yerine fermente sucukta kullanılabileceği rapor edilmiştir (Sucu ve Turp, 2018). İsviçre pazı tozu da doğal nitrit kaynağı olarak sucuk formülasyonuna eklenmiş ve üründe sodyum nitritin oluşturduğu etkiye benzer karakteristikler gösterdiği saptanmıştır (Katmer ve Kaya, 2025). Diğer taraftan, Palamutoğlu ve ark. (2018) ıspanak tozunun sucukta kullanım olanaklarını araştırmış ve ıspanak tozunun nitrit benzeri etkiye sahip olduğunu fakat sucuğun duyuusal özelliklerinde önemli farklılıklar görüldüğünü bildirmiştir.

Grispoldi ve ark. (2022) konserve etlerde nitrite alternatifi olarak sıvı kapsikum ekstraktı, sıvı kırmızıbiber oleorezini, monaskus tozu (*Monascus purpureus*), kırmızı maya pirinç tozu (*Monascus purpureus*), likopen tozu, kırmızı pancar suyu tozu (*Beta vulgaris*), biberiye özü (*Rosmarinus officinalis*), kapsikum ekstraktı tozu, karmin pigment tozu ve sorgum kırmızı pigment tozunun etkisini araştırmıştır. Bu bitkisel içerikler arasında sorgum kırmızı pigment tozunun stabil pigment oluşturduğunu ve sodyum nitritin sağladığına benzer kırmızı/pembe bir rengi meydana getirdiğini ve böylece konserve et üretiminde doğal katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Diğer bir çalışmada ise jambonda sodyum nitrit yerine farklı konsantrasyonda S-nitrosotiyollerin (S-nitroso-N-asetilsistein ve S-nitroso-N-asetilsistein) etil esterinin kullanımı değerlendirilmiştir. Sonuçlar 50 mg NEq/kg'ın üzerindeki S-nitrosotiyollerin, nitrit ile aynı antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ve nitritten daha düşük kütleme renk stabilitesi olduğunu göstermiştir (Andrade ve ark., 2024).

Son yıllarda bitki bazlı alternatiflerin, et ürünlerindeki kalıntı nitrit miktarını azaltmaya ve tüketicilerin temiz etiketli et ürünlerine yönelik ihtiyaçlarını karşılamaya katkıda bulunabileceği yukarıda

özetlendiği üzere tespit edilmiştir. Ayrıca bazı yeni teknolojiler kullanılarak işlenmiş et ürünlerindeki nitrit düzeyini azaltma çalışmaları da bulunmaktadır. Plazma teknolojisi et ürünlerinde sodyum nitrit yerine geçebilme potansiyeli göstermektedir, ancak et endüstrisinde uygulanmadan önce yetkilileri ve tüketicileri tatmin etmek için plazma ile işlenmiş gıdaların güvenliği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Darbeli elektrik alan da nitritin difüzyonunu artırma ve kürleme süresini kısaltma potansiyeli taşıyan bir diğer teknolojik yöntemdir ve temiz etiketli et ürünlerinin işlenmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Darbeli elektrik alanının sodyum nitrit azaltıcı olarak potansiyeli henüz tam olarak açıklığa kavuşturulmamış olduğundan, bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Stoica ve ark., 2022).

Yağ İkamesi Bileşenler

Günümüzde tüketiciler gıda ve gıda ürünlerinin sağlığa faydası konusunda ciddi beklentiler içerisinde. Bu tüketicileri çekmek ve yüksek kaliteli et ürünlerine yönelik artan talebi karşılamayı kolaylaştırmak amacıyla, işlenmiş et sektörü yeniden formüle edilmiş, düşük yağlı ve sağlıklı et ürünlerinin geliştirilmesi üzerinde durmaktadır. Diyetlerde doymuş yağ asitlerinin birincil kaynağının et ve et ürünleri olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu formülasyon değiştirme stratejileri, yağ asidi profilini iyileştirmeyi ve toplam yağ ve kolesterolü azaltmayı amaçlamaktadır. Bu da hayvansal yağın bitkisel yağlarla değiştirilmesiyle sağlanabilmekte ve bitkisel yağların doğrudan sıvı formda eklenmesi veya önceden emülsifiye edilmiş yağların kullanılması mümkün olmaktadır. Bu şekilde emülsiyonlar, bu yağların et ürünlerine doğrudan eklenmesinin neden olabileceği olumsuzlukları önlerken, bitkisel yağları işlenmiş et formülasyonlarına ilave edebilmek için uygulanabilir bir seçenek sunmaktadır (Badar ve ark., 2021). Et ürünlerinde yağ ikamesi

olarak kullanılmış çeşitli bitkisel yağ türleri ve etkileri aşağıda özetlenmiştir.

Zeytinyağı, az yağlı et emülsiyonları geliştirmek için iyi bir bileşendir ve kullanımı fonksiyonel et ürünleri üretmek için iyi bir strateji olarak kabul edilmektedir (Nieto ve Lorenzo, 2021). Shin ve ark. (2022) tavuk sosis üretiminde sırt yağını zeytinyağı ile ikame etmiş ve zeytinyağı içeren sosislerin, sırt yağından üretilen sosislere göre daha iyi emülsiyon ve oksidatif stabiliteye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Karaciğer sosisinde farklı bitkisel yağlarla hayvansal yağ ikame edilmiş ve %20 ikamenin daha yüksek duyuşal karakteristik ve oksidatif stabilite oluşturduğı belirlenmiştir. Test edilen bitkisel yağlar arasında, kolza yağı içeren sosiste en yüksek oksidatif stabilite ve beslenme önerilerine en yakın omega-6 ve omega-3 yağ asidi oranı tespit edilmiştir. Buna karşılık keten tohumu, mısır, ayçiçeğı ve soya yağları içeren sosislerde daha düşük sonuçlar saptanmıştır (Bilska ve Krzywdzinska-Bartkowiak, 2025). Sosiste yağ ikamesi olarak kuersetin (antioksidan) yüklü kandelilla mumu ve ayçiçeğı yağı bazlı oleojeller de denenmiştir. Kuersetin yüklü oleojelleri içeren sosisler, yapısal bütünlüğü ve duyuşal kaliteyi korurken, belirgin şekilde daha düşük lipid oksidasyonu ve protein bozulması sergilemiştir. Kuersetin yüklü oleojeller, et ürünlerinde sağlıksız hayvansal yağların yerine geçerek doymuş yağ oranını azaltma potansiyeli göstermiştir (Lee ve ark., 2025).

Haşhaş tohumu yağının sucuğa ilavesiyle sucukların kolesterol ve doymuş yağ asidi içeriğinde azalma, çoklu doymamış yağ asitlerinde ise artış saptanmıştır (Gök, 2015). Keten tohumu yağı-ayçiçek mumu ve balmumu oleojelleri de sucuk formülasyonunda don yağı ile değiştirilerek kullanılmıştır. Bitkisel yağ içeren iki oleojelin de çoklu doymamış yağ asitlerini önemli düzeyde arttırdığı, fakat sucuğun duyuşal kalitesini düşürdüğü belirlenmiştir. Oleojel ilaveli sucukların kalite özellikleri için

iyileştirmeler gerektiği sonucuna varılmıştır (Yılmaz ve Toksöz, 2022).

Jambon üretiminde selülozdan elde edilen yenilebilir bitkisel oleojellerin domuz yağı ikamesi olarak kullanımı araştırılmıştır. İkame edilen oleojel oranı, jambon sosisinin dokusuyla yakın ilişkili bulunmuş ve %50 domuz yağı ikamesi yapılan jambonun tekstürel özellikleri kontrol grubuna en yakın düzeyde belirlenmiştir (Wu ve ark., 2024).

Diğer taraftan Liu ve ark. (2025) emülsiyon tipi sosislerde sırt yağının bitkisel yağ ve oleojelleri ile ikamesinin et proteininin sindirim süreci üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sırt yağının bitkisel yağlar veya oleojellerle değiştirilmesinin proteinlerin mide sindirilebilirliğini azalttığını, bağırsak sindirimini geciktirdiğini, mide ve barsak sindirim ürünlerinin stabilitesini düşürdüğünü ve sonuç olarak protein sindirimi üzerinde olumsuz etki meydana getirdiğini bildirilmiştir.

Bitkisel yağların yüksek doymamış yağ içeren hayvansal yağ ile ikamesi çalışmalarında kullanılan yağ türüne bağlı olarak sonuçlarda farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Özetlenen çalışmalarda bitkisel yağ kullanımının işlenmiş et ürününün lipit profilini olumlu yönde değiştirdiği ortaya konmuştur. Bu alanda ideal bitkisel yağları ve formülasyonları belirlemek ve ticari üretim noktasına gelebilmek amacıyla daha fazla çalışmanın yürütölmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Fonksiyonel Özellik Sağlayan Bileşenler

İşlenmiş et ürünlerine, et dışındaki bileşenlerin ilavesi ile lezzet ve renk yanı sıra diğer fonksiyonel ve dokusal özelliklerde de iyileşme sağlanabilmektedir. Ayrıca, bu bileşenlerin eklenmesinin sadece et ürünlerinin kalitesini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda maliyeti düşürdüğü ve tüketiciler üzerinde faydalı sağlık etkileri yarattığı belirlenmiştir (Owusu-Ansah ve ark., 2022).

Fonksiyonel et ürünü bileşenleri olarak biyoaktif maddeler açısından zengin meyve ve sebze işleme yan ürünleri kullanılabilmektedir. Üzüm, elma, çilek ve domates yan ürünlerinin işlenmiş et ürünleri üretiminde kullanılması, antioksidan özellikleri sayesinde oksidasyon süreçlerini etkili bir şekilde engellemekte ve antimikrobiyal etkileri ile patojenlerin gelişimini sınırlamaktadır (Skwarek ve Karwowska, 2023). Yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışmada antioksidan ve antimikrobiyal etkisi bulunan zerdeçal bez sucuğa ilave edilmiş, sonuç olarak zerdeçalın bez sucuğun kimyasal, duyuşal ve mikrobiyolojik kalitesi üzerinde olumlu etki gösterdiği bildirilmiştir (Altun ve ark., 2024).

Proteaz aktivitesine sahip *Lactobacillus plantarum* CD101 ve *Staphylococcus simulans* NJ201 starter kültürleri kuru fermente sosis formülasyonunda kullanılmıştır. Kullanılan starter kültürler ile peptitlerin antioksidan aktivitesi artırılmış ve fermente sosislerde gözlenen oksidatif değışiklikleri geciktirmeye yardımcı olabileceğı ortaya konmuştur (Yu ve ark., 2021). Kaya ve Kaban (2024) *Lactiplantibacillus plantarum* ve *Staphylococcus xylosus* starterlerinin sucuk teknolojisinde birlikte kullanımında etanol, asetik asit, etil asetat, asetoin ve diasetil miktarlarında önemli artışlar sağlandığını bildirmişlerdir. Bu kültürlerin katılması ile, sucuğun uçucu bileşik profili ve dolayısıyla lezzet ve koku özellikleri olumlu yönde değıştirilmiştir.

Et iyi bir protein, vitamin ve mineral kaynağı olmasına karşın, selüloz, sindirilemeyen temel karbonhidrat bileşeni olan diyet lifinden yoksundur. Diyet lifleri çok sayıda besleyici, fonksiyonel ve sağlık yararları sağlayan özelliklere sahiptir. Liflerin et ürünlerine ilave edilmesiyle ürünün fiziko kimyasal özellikleri, kimyasal bileşimi, dokusal özellikleri ve duyuşal kalitesi artmaktadır. Ayrıca obezite, bazı kanserler, tip II diyabet, kalp damar hastalıkları ve bağırsak bozuklukları gibi çeşitli rahatsızlıkların kontrolünde de lifler etkili olmaktadır (Mishra ve ark., 2023). Tavuk

etli salam formülasyonunda psyllium kabuğu tozunun nişasta ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, duyusal ve tekstürel özellikleri etkilenmeden salama düşük karbonhidrat ve liflilik gibi işlevsel özellikler kazandırılmıştır. Ayrıca psyllium kabuğu tozu içeren salamın, belirli beslenme amaçlarına ihtiyaç duyan bireyler için alternatif bir et ürünü olabileceği ortaya konmuştur (Elal Mus ve ark., 2025). Diao ve ark. (2024) turunçgil liflerinin, sosislerde lipid oksidasyonunu önleyebildiği, daha yoğun bir mikro yapı oluşumuna katkı sağladığı, proteinin α -heliks yapısının β -yönüne dönüşmesine katkıda bulunduğu ve katma değerli fonksiyonel et ürünlerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Diğer taraftan Nie ve ark. (2026) düşük sodyumlu ve soya diyet lifi ile zenginleştirilmiş sosisler geliştirmiştir. $MgCl_2$ ilavesinin sosisin duyusal puanını ve hidroliz derecesini artırdığını, $CaCl_2$ 'nin ürünü olumsuz etkilediğini ve soya diyet lifinin sosislerde daha yoğun bir yapı oluşturduğunu saptamışlardır.

Günümüzde işlenmiş et ürünlerinin mevcut protein içeriğini yükseltmek, aminoasit bileşimini farklılaştırmak ve böylece ürüne fonksiyonellik katmayı amaçlayan araştırmalar da yapılmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen ve soya izolatu ile nohut unu ilave edilerek üretilen sosislerde, protein içeriğinin iki kat arttığı, aspartik asit ve arginin amino asitlerinin düzeyinde artış ve antioksidan kapasitede yükselme olduğu belirlenmiştir. Soya izolatu ve nohut ununun koruyucu amaçlı fonksiyonel et ürünlerinin üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Zheleuova ve ark., 2025). Mikroalg olan *Arthrospira maxima*'dan protein izolatu elde edilmiş ve sosis üretiminde kullanım olanağı değerlendirilmiştir. Bu mikroalg protein izolatının ilavesi ile sosislerin besin kalitesi önemli ölçüde artırılmış ve *Arthrospira maxima* gıda endüstrisinde gelecek vadeden bir protein kaynağı olarak tanımlanmıştır (Acateca-Hernandez ve ark., 2024). Başka bir çalışmada Merguez tipi deve etli sosislere spirulina tozu eklenmiş ve spirulinanın zengin bileşimi,

antioksidan, antibakteriyel ve prebiyotik etkilerini sosiste de ortaya koyduğu ve alternatif katkı olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır (Djenane ve ark., 2024).

Fonksiyonel ürünler insanların fizyolojik fonksiyonlarından en az bir tanesini olumlu etkilemekte, son yıllarda tüketicilerin ilgisini çekmekte ve satın alma davranışlarını etkilemektedir (Sgroi ve ark., 2024). İşlenmiş et ürünlerine fonksiyonel özellik kazandırılması, et endüstrisinin pazar payının ve ürün çeşitliliğinin arttırılması bakımından önem taşımaktadır.

Sonuç

Et ve et ürünleri insan beslenmesinde her zaman popüler olan gıdalar arasında olmasına karşın, et endüstrisindeki ürün çeşitliliği diğer endüstrilere göre azdır. Çünkü araştırmacı ve girişimciler, alternatif bileşenler içeren fonksiyonel et ürünlerini geliştirirken birçok zorlukla karşılaşmaktadır. Geliştirilen yenilikçi ürünlerin yüksek kaliteli, sağlıklı, güvenli ve tüketicilerin beklediği duysal özelliklerde olması ve tipik et ürünlerine göre üstün fonksiyonel ve besleyici özellikler taşıması beklenmektedir. Diğer taraftan yenilikçi ürünlerin temiz etiketli (nitratsız, nitritsiz, katkı maddesiz vb.), fonksiyonel özellikte (yüksek doymamış yağ asidi, yüksek protein vb.) olması ve bu geliştirmelerin insan sağlığı üzerine doğrudan veya dolaylı etki göstermesi önem taşımaktadır. Bu ürünlerle işlenmiş et ürünleri çeşitlendirilecek, aynı zamanda etiket bilgilerine dikkat ederek satın alma davranışı gösteren ve belirli beslenme ihtiyaçları olan tüketiciler kazanılacaktır. Bu bölümde özetlenen literatür çalışmaları göstermektedir ki, yakın zamanda yenilikçi fonksiyonel işlenmiş et ürünlerinin market raflarında yer alması kaçınılmazdır.

Kaynakça

Acateca-Hernandez, M. I., Hernández-Cazares, A. S., Hidalgo-Contreras, J. V., Jiménez-Munguía, M. T., & Ríos-Corripio, M. A. (2024). Evaluation of

the functional properties of a protein isolate from *Arthrospira maxima* and its application in a meat sausage. *Heliyon*, 10(13), e33500.

Ahmad, R. S., Imran, A., & Hussain, M. B. (2018). Nutritional composition of meat. *Meat Science and Nutrition*, 61(10.5772), 61-75.

Altun, S. K., Aydemir, M. E., & Harem, I. S. (2024). Determination of the effect of Turmeric (*Curcuma longa* L.) on selected quality parameters of Bez Sucuk, a traditional fermented sausage. *Journal of Food Safety and Food Quality-Archiv für Lebensmittelhygiene*, 75(4), 112-119.

Andrade, B. F., Guimarães, A. S., do Carmo, L. R., Tanaka, M. S., Fontes, P. R., Ramos, A. D. L. S., & Ramos, E. M. (2024). S-nitrosothiols as nitrite alternatives: Effects on residual nitrite, lipid oxidation, volatile profile, and cured color of restructured cooked ham. *Meat Science*, 209, 109397.

Araujo, P. D., Araujo, W. M. C., Patarata, L., & Fraqueza, M. J. (2022). Understanding the main factors that influence consumer quality perception and attitude towards meat and processed meat products. *Meat Science*, 193, 108952.

Badar, I. H., Liu, H., Chen, Q., Xia, X., & Kong, B. (2021). Future trends of processed meat products concerning perceived healthiness: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4739-4778.

Bilska, A., & Krzywdzinska-Bartkowiak, M. (2025). The influence of vegetable oil addition levels on the fatty acid profile and oxidative transformation dynamics in liver sausage-type processed meats. *Foods*, 14(3), 380.

Diao, X., Zhu, J., Huang, L., Li, S., Mao, X., Li, C., & Ke, W. (2024). Effect of citrus fiber on physicochemical quality of Frankfurter sausages: A study on lipid oxidation and protein gel characteristics. *Lwt*, 209, 116778.

Dissanayake, K., Rifky, M., Zokirov, K., Jesfar, M., Farmonov, J., Ermat, S., ... & Samadiy, M. (2024). Impact of curing salt (nitrites) on the processed meat products and its alternatives: A review. *New Materials, Compounds and Applications*, 8(2), 254-264.

Djenane, D., Khaled, B. M., Ben Miri, Y., Metahri, M. S., Montanes, L., Aider, M., & Arino, A. (2024). Improved functionality, quality, and shelf life

of merguez-type camel sausage fortified with spirulina as a natural ingredient. *Foods*, 14(1), 59.

Elal Mus, T., Ozcan, T., Ustuner, H., Cetinkaya, F., Selvi, T. N., Keser, G., & Senturk, N. (2025). The influence of psyllium husk utilized as a carbohydrate substitute on textural characteristics of chicken sausage and consumer preference. *Journal of Food Quality*, 2025(1), 3061063.

Grispoldi, L., Karama, M., El-Ashram, S., Saraiva, C., García-Díez, J., Chalias, A., ... & Cenci-Goga, B. T. (2022). A study on the application of natural extracts as alternatives to sodium nitrite in processed meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16351.

Gök, V. (2015). Effect of replacing beef fat with poppy seed oil on quality of Turkish sucuk. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(2), 240.

Kaya, M., & Kaban, G. (2024). Volatile Compounds of Sucuk, a Dry Fermented Sausage: The Effects of Ripening Rate, Autochthonous Starter Cultures and Fat Type. *Foods*, 13(23), 3839.

Katmer, B., & Kaya, M. (2025). The effect of swiss chard powder as a curing agent on volatile compound profile and other qualitative properties of heat-treated sucuk. *Foods*, 14(21), 3785.

Lee, H. J., Han, J. H., Keum, D. H., Kothuri, V., Shin, D. M., & Han, S. G. (2025). Quercetin-loaded candelilla wax/sunflower oil oleogels: Structural, sensory, and storage properties, and application as fat replacer in emulsion-type sausage. *Food Chemistry*, 479, 143847.

Liu, D., Xu, Y., Zeng, X., Lv, B., Zhang, M., Zhao, D., & Li, C. (2025). Replacement of backfat with vegetable oils or their oleogels in emulsion-type sausage significantly change the digestibility of meat protein. *Food Chemistry*, 463, 141149.

Mishra, B. P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P. K., Jena, M. K., Reddy, B. V., ... & Sahoo, D. K. (2023). Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1275341.

Nie, C., Zhong, H., Shi, H., Yao, X., Wang, W., Tomasevic, I., ... & Sun, W. (2026). Sodium substitutes synergizing with dietary fiber: Effect on the textural, sensory, digestive, and storage properties of emulsified sausages. *Food Chemistry*, 147414.

Nieto, G., & Lorenzo, J. M. (2021). Use of olive oil as fat replacer in meat emulsions. *Current Opinion in Food Science*, 40, 179-186.

Owusu-Ansah, P., Besiwah, E. K., Bonah, E., & Amagloh, F. K. (2022). Non-meat ingredients in meat products: A scoping review. *Applied Food Research*, 2(1), 100044.

Palamutoglu, R., Fidan, A., & Kasnak, C. (2018). Spinach powder addition to sucuk for alternative to nitrite addition. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 155-162.

Pini, F., Aquilani, C., Giovannetti, L., Viti, C., & Pugliese, C. (2020). Characterization of the microbial community composition in Italian Cinta Senese sausages dry-fermented with natural extracts as alternatives to sodium nitrite. *Food Microbiology*, 89, 103417.

Riel, G., Boulaaba, A., Popp, J., & Klein, G. (2017). Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadella-type sausages—Impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects. *Meat Science*, 131, 166-175.

Seyyedsalehi, M. S., Mohebbi, E., Tourang, F., Sasanfar, B., Boffetta, P., & Zendehelel, K. (2023). Association of dietary nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds intake and gastrointestinal cancers: A systematic review and meta-analysis. *Toxics*, 11(2), 190.

Sgroi, F., Sciortino, C., Baviera-Puig, A., & Modica, F. (2024). Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101041.

Shin, D. J., Yim, D. G., Kwon, J. A., Kim, S. S., Lee, H. J., & Jo, C. (2022). Effect of cutting time and cooking temperature on physicochemical properties of chicken breast meat emulsion sausage with olive oil. *Poultry Science*, 101(1), 101554.

Skwarek, P., & Karwowska, M. (2023). Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients—a chance to improve the nutritional value. *LWT*, 189, 115442.

Sojic, B., Pavlič, B., Tomovic, V., Kocic-Tanackov, S., Durovic, S., Zekovic, Z., ... & Skaljic, S. (2020). Tomato pomace extract and organic peppermint

essential oil as effective sodium nitrite replacement in cooked pork sausages. *Food Chemistry*, 330, 127202.

Stoica, M., Antohi, V. M., Alexe, P., Ivan, A. S., Stanciu, S., Stoica, D., ... & Stuparu-Cretu, M. (2022). New strategies for the total/partial replacement of conventional sodium nitrite in meat products: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15(3), 514-538.

Sucu, C., & Turp, G. Y. (2018). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat science*, 140, 158-166.

Wu, Y., Sun, S., Li, X., Li, X., Huang, Y., An, F., ... & Song, H. (2024). Effect of gel composition interaction on rheological, physicochemical and textural properties of methyl cellulose oleogels and lard replacement in ham sausage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135902.

Xie, Y., Geng, Y., Yao, J., Ji, J., Chen, F., Xiao, J., ... & Ma, L. (2023). N-nitrosamines in processed meats: Exposure, formation and mitigation strategies. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100645.

Yılmaz, E., & Toksöz, B. (2022). Flaxseed oil-wax oleogels replacement for tallowfat in sucuk samples provided higher concentrations of polyunsaturated fatty acids and aromatic volatiles. *Meat Science*, 192, 108875.

Yu, D., Feng, M. Q., & Sun, J. (2021). Influence of mixed starters on the degradation of proteins and the formation of peptides with antioxidant activities in dry fermented sausages. *Food Control*, 123, 107743.

Zheleuova, Z., Shingisov, A., Berdenbetova, A., Balabekova, A., & Imanbayev, A. (2025). Developing a sausage product which have increased nutritional value and improved amino acid properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(134), 96-103.

GIDA KATKILARINDA BİLEŞENLERİ VE ANTİOKSİDANLAR

İlknur ÖZER ORTAÇ¹
Pelin BEYAZGÜL²
Gülsüm ÖKSÜZTEPE^{2,*}

1. Giriş

Türk Gıda Kodeksi (TGK)’ne göre gıda katkı maddesi; “besleyici değeri olsun veya olmasın, tek başına gıda olarak tüketilmeyen ve gıdanın karakteristik bileşeni olarak kullanılmayan, teknolojik bir amaç doğrultusunda üretim, muamele, işleme, hazırlama, ambalajlama, taşıma veya depolama aşamalarında gıdaya ilave edilmesi sonucu kendisinin ya da yan ürünlerinin, doğrudan ya da dolaylı olarak o gıdanın bileşeni olması beklenen maddeler” olarak tanımlanmaktadır (TGK, 2023).

¹Gıda Mühendisi İlknur ÖZER ORTAÇ, Tarım ve Orman Bakanlığı, Elazığ Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Orcid: 0009-0003-9732-3841, gmilknur@gmail.com

²Arş. Gör. Dr. Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Elazığ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-0824-1672, p.demir@firat.edu.tr

^{2,*}Prof. Dr. Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Elazığ/Türkiye, Orcid: 0000-0003-3267-6841, goksuztepe@firat.edu.tr

Gıdalarda katkı maddelerinin tarihsel süreci oldukça eskidir. Gıda katkı maddesi olarak kullanılan ilk olarak kullanılanların başında baharat, duman, tuz ve sirke gelmektedir. M.Ö.3000 yıl öncelerinde et ürünlerinin kürlenmesinde tuz kullanıldığı, M.Ö.900’li yıllarda ise odun ve tuz tütsüsünün gıdalarda koruyucu amaçlı olarak kullanıldıkları bildirilmektedir. Ortaçağlarda etlere katkı maddesi olarak tuz ve tütsüye ilave olarak nitratın katıldığı ve nitratların etin rengini olumlu yönde değiştirdiği ve *Clostridium botulismus*’un neden olduğu Botulismu’ a karşı antibotuninal olarak kullanıldığı bilinmektedir. M.Ö.50. yıllarda tuz, odun tütsüsü ve baharatlar lezzet verici olarak kullanılmıştır. Marco POLO’nun seyahatleri esnasında tacirlere çay ve baharat verdikleri belirtilmektedir. 19.yüzyılın başlarında “Teksaslı” satıcıların Meksika’dan getirmiş oldukları tane biberi öğütterek sattıkları ifade edilmektedir. 1856 yılında aniline purple isimli renk maddesinin sentez edilmesiyle yapay maddelerin kullanılması başlamıştır. İlk defa gıda katkı maddesi olarak ABD patenti ile 1886 yılında kalsiyum fosfat ve tuzdan oluşan bir karışım ile preparat yapılmış ve çeşni maddesi adı altında ticarileştirilmiştir. 19.yüzyılda endüstrileşmenin başlamasıyla gıda katkı maddelerinin kullanımı da artmaya başlamıştır. O yüzyıllarda ilave edilmeye başlayan benzoik asit, sodyum karbonat, sakkarin gibi maddeler halen daha günümüzde gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. 20. yüzyılda gıda sektörünün ilerlemesiyle gıda katkı maddelerinin kullanımında artışlar olmuştur. Ancak gıda katkı maddelerinin toksikolojik bakımdan incelenmesiyle bu konu daha da önem kazanmış ve özellikle gıda boyalarının kullanımı ile kısıtlamalara gidilmiştir (Vaclavik & Christian, 2008; Altuğ, 2009; Tayyar & Çıbık, 2016).

Gıda katkı maddelerinin sahip olması gereken özellikler ve gıdalarda kullanımı ile ilgili yasal sınırlar uluslararası düzeyde incelenmesi gereken bir konudur. Bunun için Dünya Sağlık Örgütü

(WHO) ve Birleşmiş Milletler Gıda Tarım Örgütü (FAO)'nın birlikte kurdukları Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu (Codex Alimentarius Commussion-CAC)'nın bünyesinde kurulan Gıda Katkıları Kodeks Komitesi (Codex Committee on Food Additives-CCFA), katkı maddeleri ile ilgili tüm konularda önerilerde bulunan bir kuruluştur. CAC tarafından önerilen ilkeler Avrupa Topluluğu (EC) tarafından da kabul görmektedir. Avrupa Topluluğu Bilimsel Komitesi tarafından incelenip gıda katkı maddesi olarak kullanımlarında sakınca görülmeyen maddelere topluluğun onayı anlamına gelen E numaraları verilmiştir (Belitz & Grosch, 2009; Saldamlı & Uygun, 2014). Gıda katkı maddelerinin gıdalarda kullanımına yönelik güvenilirlik değerlendirmeleri, uluslararası bir otorite olan CAC çatısı altında görev yapan ve alanında uzman bilim insanlarından oluşan Birleşik Gıda Katkıları Uzman Komitesi (JECFA) tarafından yürütülmektedir. JECFA, gıda katkı maddelerinin toksikolojik riskler açısından güvenilirliğini test ederek, bu maddelerle ilgili spesifikasyonları ve vücut ağırlığı başına düşen günlük alım miktarları (mg/kg) (Acceptable Daily Intake-ADI) belirlemektedir. Bu alım miktarları CCFAC tarafından değerlendirilmekte ve daha sonra FAO ve WHO gibi kuruluşların raporlarında yayınlanmaktadır. Ayrıca CCFAC, katkı maddelerinin spesifik adlarının veya karmaşık kimyasal yapıların içerik listelerinde kullanılmasına gerek kalmadan tanımlanabilmesi için, onaylanmış sayısal bir sistem olan Uluslararası Numaralandırma Sistemi'ni (International Numbering System-INS) geliştirmiştir. Bu sistem hala Avrupa Birliği-AB (European Union-EU) ülkelerindeki E numarası uygulaması esas alınarak geliştirilmiştir (Altuğ, 2009; Carochio ve ark., 2013).

Ülkemizde gıda katkı maddeleri ile ilgili ilk kez bir yönetmelik Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı tarafından 1983 yılında çıkarılmıştır ve buna ek olarakta 1984'de bir yönetmelik

yürürlüğe girmiştir. Sağlık Bakanlığı, 1990 yılında yeniden yeni bir yönetmelik çıkarmış ve akabindeki yıllarda bu yönetmeliğe ekler getirmiştir. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı (Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı) tarafından 3 Haziran 2013 tarihinde Resmi Gazete’ de ilan edilerek yürürlüğe giren Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği (TGKY) ile katkı maddelerinin kullanımlarıyla ilgili yeni düzenlemeler getirerek gıda katkı maddeleri yeniden tanımlamış ve bu maddelerin adları, EC kodları, kullanılabilecekleri gıda grupları ve kullanımına izin verilen maksimum miktarları belirtilmiştir. Bu yönetmeliğin 27 Şubat 2019 tarihinde bazı maddeleri değiştirilerek ek maddeler eklenmiş ve son olarak 13 Ekim 2023’te güncellenmiştir.

1.1. Gıda Katkı Maddeleri İle İlgili Toksikolojik Değerlendirmeler

İncelenen katkı maddelerinin organizmadaki Emilimi (kana geçişi), dağılımı (kan dolaşımıyla taşınması), biyotransformasyonu (vücutta farklı kimyasal formlara dönüşmesi) ve atılım süreçleri değerlendirilmektedir. Kimyasal bir maddenin vücuda alımından atılımına kadar geçen olaylar toplamına emilim (Absorbtion), dağılma (distribution), biyotransformasyon (metabolism) ve atılım (excretion) ‘ın İngilizce karşılıklarının baş harfleri alınarak ADME ismi verilmiştir (Lachance, Nakat & Jeong, 2001:835-838). Toksikolojik değerlendirmeler çerçevesinde, bir maddenin olası alerjik etkilerini veya tolerans eksikliğine bağlı tepkilerini belirlemek amacıyla insanlarda yürütülen çalışmalar da gerçekleştirilebilmektedir. Kanserojen etki ile ilgili olarak ABD’deki Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration-FDA) tarafından çıkarılan Gıda, İlaç ve Kozmetik Yasası kapsamında 1958 yılında Delaney adı altında bir hüküm getirilmiştir. Söz konusu hükme göre insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilmesi sırasında veya toksikolojik

değerlendirilmeleri sonucunda tümör oluşturduğu gözlenen bir maddenin gıda katkısı olarak kullanılamayacağı belirtilmektedir. Avrupa Birliği içerisinde katkı maddelerinin toksikolojik değerlendirilmeleri sonucunda kullanımlarının onaylanması Gıda Bilimsel Komitesi (Scientific Committee for Food-SCF) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu komitenin aldığı kararlar düzenli olarak birlik tarafından yayınlanan raporlarda açıklanmaktadır. Söz konusu komitenin yaptığı toksikolojik çalışmalarda JECFA tarafından uygulanan denemeler gerçekleştirilmekte ve her bir kimyasal maddenin bir bilimsel problem olarak ele alınmaktadır (Neltner & ark., 2011:342-368).

1.2. Gıda Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması

Gıda katkı maddelerini aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür (Tayar & Çıbık, 2016). Kaliteyi korumayarak ürünlerin raf ömrünü uzatanlar (koruyucular), antimikrobiyaller (nitrit, nitrat, benzoik asit, propiyonik asit, sorbik asit), antioksidanlar (Bütillenmiş Hidroksianisol, Bütillenmiş Hidroksitoluen, Galatlar), yapıyı düzelterler, pH ayarlayıcıları, topaklanmayı önleyenler (silikat, magnezyum oksit, magnezyum karbonat), emülgatörler (lesitin, mono ve digliseridler), stabilizatörler, kıvam arttırıcılar, tatlandırıcılar, mayalanmayı sağlayıcı ajanlar, nemi düzenleyenler, olgunlaştırıcılar, ağartıcılar, dolgu maddeleri, köpük ayarlayıcılar, parlaticılar, aromayı artırıp rengi düzenleyenler, çeşni arttırıcılar (MSG), renklendiriciler (tartazin, indigotin), besin değerini koruyanlar, ürünün işlenmesi esnasında kaybolan besin elementlerini yerine bırakma (B1, B2, niasin), diyetle eksiz olan besin elementlerini ekleme (A, D vitaminleri) amacıyla kullanılanlar (Altuğ, 2009; Tayar & Çıbık, 2016).

2. Antioksidanlar

Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu (CAC)'nin tanımına göre; “antioksidanlar gıdalarda yağların acılaşması ve renk

değişikliği gibi oksidasyonun neden olduğu bozulmalara karşı gıdaları koruyarak gıdaların raf ömürlerinin uzatılmasını sağlayan maddeler” olarak tanımlanmışlardır (CAC, 1997). Antioksidanları vücudumuzda serbest radikallerin zararlı etkilerini azaltan veya ortadan kaldıran bileşikler olarak da tanımlamak mümkündür (Öğüt, 2014:25-30).

2.2. Antioksidanların Etki Mekanizmaları ve Fonksiyonları

Sıvı yağlarda ve margarinlerde kullanılan fenolik karakterdeki antioksidanlar oksidasyonu başlatan ve ilerleten serbest radikallerin oluşumunda etkili olurlar. Antioksidanlar lipid peroksidasyonunu engellemeleri esnasında kendileri de radikaller oluştururlar. Söz konusu fenoksil radikalleri aşağıda belirtilen reaksiyonlara girerler.

- (i) Radikal daha fazla okside olarak stabilkinon oluşturabilir,
- (ii) Ana radikal indirgeme ajanları ile rejenere olabilir,
- (iii) Dimerizasyon oluşarak oligomerler meydana gelebilir,
- (iv) Radikal lipid peroksit radikalleri ile birleşip çeşitli radikal olmayan maddeler oluşabilir (Buck, 1984:301-303).

2.3. Antioksidanların Sınıflandırılması

Antioksidanlar aynı zamanda gıda endüstrisinde bitkisel ve hayvansal yağlar ve yağlı olan gıda maddelerinin üretilmesi, muhafaza edilmesi, taşınması ve pazara sunulması esnasında normal sıcaklık şartlarında atmosferdeki oksijenin etkinliğini azaltarak gıdanın raf ömrü üzerinde etkili olan maddelerdir. Kaynaklarına göre ise doğal ve yapay (sentetik) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar.

2.3.1. Doğal Antioksidanlar

a) Fenolik Maddeler

Doğal antioksidanların önemli bir kısmını oluşturur. Bunlar bitkilerin tüm kısımlarında yer alan polifenolik bileşiklerdir. En yaygın kullanılan bitkisel fenolik antioksidanlar flavonoidler başta

gelmek üzere fenolik asitler, kumarinler, sinnamik asit türevleri ve tokoferollerdir. Flavonoidler ise antosiyanidinler, flavonoller, flavononlar, kateşinler ve proantosiyanidinler olmak üzere beş ana gruba ayrılmaktadırlar (Cemeroğlu & Cemeroğlu, 1998:52-55).

b) Tokoferoller

Tokoferoller, ilk olarak 1930'lu yıllarda kullanılmaya başlanmış olup, bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte, hayvansal kökenli gıda ürünleri tokoferol ve askorbik asit gibi doğal antioksidanları ya hiç bulundurmaz ya da yalnızca çok düşük miktarlarda içerir. Örnek olarak domuz yağı ve kümes hayvanlarını vermek mümkündür. Alfa, beta, gama ve delta homologlarının bir karışımı olarak bitki dokularında daha çok bulunurlar. Detadan alfaya doğru gidildikçe antioksidan etkinlik azalırken, E vitaminin aktivitesi artış göstermektedir. Doymamış bitkisel yağlara ve yapılarında fazla miktarda tokoferol bulunan ürünlere tokoferol ilave etmenin bir faydası yoktur. Kullanım oranı %0.01-0.02 arasında değişebilir. Isıya karşı oldukça hassastırlar ve etkilerini çok hızlı kaybetmektedirler. Bu olumsuz özellikleri sebebiyle ancak ısıl işlem uygulandıktan sonra gıdalara ilave edilmeleri gerekmektedir. Buğday ve mısır bitkilerine air embriyo yağları yüksek oranda tokoferol içerdiğinden dolayı bunların antioksidatif etkilerinden yararlanılmaktadır. Ancak duyusal bakımdan süt ürünlerini olumsuz etkiledikleri için pek tercih edilmezler (Lachance, Nakat & Jeong, 2011:835-838).

c) Askorbik Asit ve Tuzları

Tek başlarına gerçek bir antioksidan değildirler. Diğer antioksidanlarla birlikte kullanıldıklarında onların etkinliklerini artırırılar. Daha çok meyve suyu ve konsantreleri, fırıncılık ürünleri, tereyağı, biracılık ve kesilerek soğukta saklanan şeftalilerin esmerleşmelerini önlemek için kullanılmaktadırlar. Nitrat ve nitrit et ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu maddeler ette bulunan serbet amin

bileşikleriyle birleşerek kanserojenik etkiye sahip olan nitrozaminlerin oluşmasını engellemektedirler. Buna ek olarak, et ürünlerinin işlenmesinde kullanılan nitrat ve nitritler, ette doğal olarak bulunan serbest amin bileşikleriyle reaksiyona girerek oluşabilecek kanserojen nitrozaminlerin oluşumunu engelleme amacı taşımaktadır. Askorbil palmitat %0.01 oranında kullanıldığında bitkisel sıvı yağların dayanma süresini artırır. GRAS listesinde olan bir maddedir (Kırca & Cemeroğlu, 2001:233-242).

d) Glukoz Oksidaz

Maliyetlerinin fazla olması sebebiyle glukoz oksidazlar pek fazla kullanım alanına sahip değildirler. Ticari olarak *Aspergillus niger*'den üretilmektedir. Bu bileşik, gıdalarda çözünmüş formda bulunarak veya ambalajın baş kısmındaki oksijeni bağlayarak lipid oksidasyonunu engeller ve acılaşmayı önler. Özellikle kolalı ve meyveli meşrubatlarında, meyve sularında ve yumurta ürünlerinde oluşan renk bozulmalarını önlemek için kullanılmaktadırlar (Tayar & Çıbık, 2016).

e) Sülfidler

Kükürt dioksit (SO_2), metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$), sodyumve potasyum bisülfid (NaHSO_3 , KHSO_3), sodyum sülfid (Na_2SO_3) gibi maddeler farklı gıdalarda zayıf antioksidan olarak tercih edilmektedirler. Örneğin; SO_2 biranın depolaması esnasında tat bozulmalarını önlemek için ilave edilirler. Sülfidler, hem enzimatik hem de enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını düzenler; bu nedenle, kesilmiş meyve ve sebzelerin tazeliğini korumak için sülfid ajanları tercih edilmektedir (Altuğ, 2009).

2.3.2. Yapay Antioksidanlar

Gıda sektöründe gıdaları oksidatif bozulmalardan korumak ve raf ömürlerini uzatmak için yapay antioksidanlardan faydalanılmaktadır. Bunlar bütillenmiş hidroksi anizol (BHA), bütillenmiş hidroksi tolüen (BHT), tersiyer bütıl hidrokinon (TBHQ)

ve gallik asit esterleridir. Bunlar daha çok atıştırma malzemeleri, ceviz gibi sert kabuklular, et ve et ürünleri, fındık, fırında pişmiş gıdalar, tahıl gevreği, sakız, kurutulmuş patates ve tereyağı olmak üzere katı ve sıvı yağlar, birada sık kullanılmaktadırlar. İnsanlarda kanserojenik etkileri tam olarak kesinleşmemiş olmasına rağmen bebek mamalarına ilave edilmelerine izin verilmemektedir (Willson & Clifford, 1995) Bu yapay yada sentetik olan antioksidanlar oldukça etkili, stabil ve ucuz olmalarına rağmen potansiyel yan etkileri oldukça fazladır. Sentetik ve yapay antioksidanların canlı organizmalarda karsinojenik ve teratojenik potansiyel göstermesi, toksikolojik açıdan önem arz etmektedir. Besinlerdeki oksidatif reaksiyonlar, lipidlerin, renk bileşiklerinin, temel amino asitlerin ve vitaminlerin degradasyonu sonucunda ortaya çıkar (Boğa & Binokay, 2010:141; Erkan, 2010).

a) Bütillenmiş Hidroksi Anizol (BHA): Bütillenmiş Hidroksi Anizol (BHA) ve Bütillenmiş Hidroksi Tolüen (BHT) antioksidanları yağda çözünmez ama suda çözünürler. Bunlar direkt olarak ya da emülsiyon şeklinde paket materyaline uygulanırlar. Gıdaların içerisine yayılabilme özelliğine sahiptirler. BHA ve BHT ikisi birlikte kullanıldıklarında sinerjik etki göstermektedirler. BHA hayvansal yağlardaki oksidasyonu bitkisel yağlardaki oksidasyona göre daha iyi önleyebilmektedir (Cemeli & Baumgartner, 2009:51-67).

b) Tersiyer Bütıl Hidrokinon (TBHQ): Daha çok kızartma yağlarında oksidasyona karşı kullanılmaktadırlar. Tersiyer Bütıl Hidrokinon (TBHQ) tek başına kullanıldığı gibi aynı zamansa Bütillenmiş Hidroksi Anizol (BHA)/Bütillenmiş Hidroksi Tolüen (BHT) ile kombine olarak da kullanılmaktadırlar. TBHQ sıvı ve katı yağlarda yeterli çözünürlüğe sahiptirler. Fe ve Cu iyonlarıyla kompleks oluşturmazlar. HACGS (Hiperactive Children's Support Group) tarafından bu maddenin kusma, mide bulantısı, sayıklama

gibi yan etkilerinin olduğu ve 5g dozunda kullanıldığı zaman öldürücü etkisinin olabileceği bildirilmektedir (Fernandez-Lopez & ark., 2003:371-380).

c) Gallik Asit Esterleri: En çok kullanılan gallik asit esterleri dodesil gallat, oktil gallat ve propil gallattır. Antioksidan olarak oldukça etkili olmalarına rağmen metal iyonları ile özellikle Fe ile koyu renkli kompleks oluştururlar, yağlarda ve substratta arzu edilmeyen renk değişimlerine neden olurlar. Propil gallat 148°C’de ergime özelliğine sahip olduğu için antioksidan etkisi ortadan kalkmakta ve kızartma yağları için tavsiye edilmemektedir (Nautaa, 1991).

d) Erithorbik Asit ve Sodyum Eritorbat: “İzoaskorbik asit” ismi de verilen eritorbik asit ($C_6H_8O_6$) ve tuzu olan sodyum eritorbatın antioksidatif etkileri oksijen bağlama yolu aracılığıyla gerçekleşmektedir. Normal durumda asit ortamda etkili olmaktadır. Özellikle donmuş deniz ürünleri, sebzeler, salatalar ve elmalarda görülen renk kaybını ve acılaşmayı önlemek için kullanılmaktadırlar. GRAS listesinde yer alırlar. Eritorbik asit ve sodyum eritorbat donmuş meyvelerde 150-200 ppm konsantrasyon düzeyinde kullanıldığında oksidatif bozulmayı engelleyebilmektedir (Tayar & Çıbık, 2016).

e) Nordihidroguairatik Asit (NDGA): *Larrea divaricata* bitkisinden üretilen doğal bir antioksidandır. Ayrıca NDGA 1942 yılında kuvvetli antioksidan özelliğine sahip bir madde olarak ilk kez laboratuvar da sentezlenmiştir. Balık yağı, domuz yağı, fırın/fırıncılık ürünleri ve uçucu yağlara ilave edilmektedirler. NDGA’ nın gıda uygulamalarında kullanımı, Türkiye dâhil olmak üzere çeşitli ülkelerde izin verilmemektedir (Keskin, 1981; Saldamlı & Uygun, 2014).

2.3.3. İkincil (Sekonder) Antioksidanlar [Dilauriltiodipropiyonat (DLTDP) ve Tiodipropiyonik asit (TDPA)]

Lipit oksidasyonu sırasında oluşan hidrojen peroksidin parçalanmasını sağlayarak antioksidan maddelerin etkisini desteklerler. Bunun yanı sıra, toksikolojik sakıncalar veya çeşitli teknik sınırlamalar nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmayan, ancak antioksidatif özellik gösteren pek çok bileşik de bulunmaktadır. Bu maddelere dyoürik asit, difenil-p-fenilendiamin (DPPD) ve 2,4,5-trihidroksi bütirofenon (THBP) örnek olarak verilebilir. Paketleme materyalleri için kullanılan başlıca antioksidanlar BHA, BHT, DLTDP, Distearil tiyodipropiyonat (DSTDP), Guayak zamkı, NDGA, PG, Tiodipropiyonik asit (TDPA) ve THBP'dır (Dziezak, 1986:94-102; Saldamlı & Uygun, 2014; Tayar & Çıbık, 2016).

2.4. Antioksidan Özelliği Araştırılan Maddeler

a) Sesamol

Susam bitkisinden elde edilen ve yapılarında mevcut olan tokoferol miktarına göre önemli düzeyde antioksidan etki gösteren maddelerdir. Fenolik yapıda olan sesamolun ilk defa 1983 yılında antioksidan etkisi belirlenmiştir. Domuz yağının stabilizasyonunda propil gallat ve nordihidroguairatik asit (NDGA) gibi ticari olan antioksidanlarla birlikte kullanıldığı ifade edilmektedir (Altuğ, 2009).

b) Biberiye

Biberiyeden üretilen karnosik asit ve rozmarinik asit gibi iki farklı fenolik yapıda olan antioksidan madde içermektedir. Biberiyeden elde edilen rozmeridifenol, difenolik yapıda bir bileşen olup, domuz yağlarında kullanıldığında BHA'ya göre daha etkili olduğu belirtilmektedir (Altuğ, 2009).

2.5. Antioksidan Özelliği Bilinen Bazı Bitkiler

a) Yeşil Çay (*Camellia sinensis* L.)

Theaceae familyasından olan siyah çayın fermente olmayan halidir. Mayalanma işleminden geçmediği için yapısında bulunan ve antioksidan özelliğe sahip olan polifenoller bozulmamıştır. Yeşil çay özellikle kateşinler ve onların türevlerini içerir (% 30). Yeşil çayın antioksidan etkisi vitamin C ve vitamin E'den birkaç kat daha fazladır (Yılmaz, 2010:142-153).

b) Isırgan Otu (*Urtica* L.)

Urticaceae familyasına ait olan bir bitki türüdür. Yakıcı tüyleri deriye temas ettiği zaman deride yanma ve kızarıklık yapmaktadır. Yakıcı tüylerinde histamin, asetilkolin ve serotonin bileşikler bulunmektedir. Bileşiminde flavanoidler, formik asit, yüksek miktarda klorofil, bitki steroller, bitkisel enzimler, fenilpropanlar, kalsiyum, kumarinler, potasyum tuzları, terpenoidler ve vitamin C bulunmaktadır (Deveci & ark., 2017:26-32).

c) Sarı Sabır (*Aloe vera*)

Liliaceae familyasına aittir. Etken maddesi antrasen'dir. Yapısında bulunan A, C, E, B12 vitaminleri, kolin ve folik asitten dolayı antioksidan özellikleri mevcuttur. Seksene yakın aktif bileşik içermektedir. Bunlar aminoasit, enzim, lignin, mineral, salisilik asit, saponin, şeker ve vitaminlerdir. Antioksidan özelliği yapısında bulunan A vitamini (β -karoten), vitamin C, vitamin E, vitamin B12, folik asit ve kolinden dolayıdır (Ajose, 2007:48-55; Surjushe, Vasani & Sable, 2008:163-166).

d) Kekik (*Thymus* L. ve *Origanum* L.)

Ballıbabgiller (*Labiatae: Laminaceae*) familyasındandır. Catır kakuk, keklik otu ve sater ismiyle de bilinir. Yapısında %20'den fazla fenolik bileşikler (timol+karvakrol), flavonoit bileşikler, ursolik, oleanolik asit ve triterpenik maddeler bulunmaktadır. Antioksidan özellik gösteren kısmı fenolik bileşiklerdir (Saraç, 2005).

e) Nane (*Mentha L.*)

Labiatae familyasındandır. Yaprakları %0.8-4 oranında flavonlar, kafeik ve klorojenik asit, rosmarinik asit, triterpenik maddeler ve uçucu yağlar ihtiva etmektedir. Uçucu yağlarında %45-50 oranında mentol, %5-20 mentol esterleri, menton, ökaliptol, (-) limonen ve (-) B-karyofillen içermektedir (Başer & ark., 1993:619-623; Baytop, 1999).

f) Dağ Çayı (*Sideritis L.*)

Labiatae familyasının üyesidir. *Sideritis* cinsine aittir. Dağ çayı veya Yayla çayı olarak da bilinir. Yapısında uçucu yağlar, diterpenoid, yağ asitleri, kumarin, flavonoidler, fenolik glikozitler ve fenolik asit türevleri bulunmaktadır. Bu maddelerden dolayı antioksidan özellik gösterirler (Tunalıer & ark., 2002; Şahin, Ezer & Alis, 2006:495-504).

g) Domates (*Lycopersium esculantum*)

Domatesin içerisinde bulunan ve bir karotenoit olan likopenin kanseri önleyici etkisi bulunmaktadır (Giovannucci & ark., 2002:391-398). -

h) Kayısı (*Prunus armeniaca*):

Kayısının içeriğinde bulunan K, Na, Mg, P gibi mineraller ile A vitamini, β -karoten, E vitamini ve likopen gibi antioksidanlar yönünden beslenme açısından önemli bir gıda maddesidir (Karataş & Kamışlı, 2007:662-668).

ı) Elma (*Malus domestica*)

Elma, polifenoller bakımından zengin olan gıdalardır ve polifenoller güçlü antioksidan özelliğindedirler. Elmalar aynı zamanda fenolik asitler ve flavonoidler yönünden zengin olan bir gıdadır. En çok bulunanları antosiyanin, kateşin, klorojenik asit ve kuersetindir. Elma astım, bağışıklık sistemi hasarı, diyabet, kanser, kalp-damar hastalıkları ve lipidlerin oksidasyonu gibi hastalıkların sebebiyet verdiği ölüm riskini azaltan fotokimyasallar bakımından

zengindir (Hertog & ark., 1993:1007-100-11; Yinrog & Foo, 2000:81-85; Awad & ark., 2001:69-83).

i) Üzüm (*Vitis vinifera*)

Üzümde bulunan resveratrol, güçlü bir antioksidan özelliğe sahip olup, kanser hücrelerinin oluşumunu engelleyebilir ve koroner kalp hastalıkları riskini azaltmada rol oynar (Dong, 2003).

j) Sarımsak (*Allium sativum*)

Sarımsağın içerisinde ihtiva ettiği ve bol miktarda bulunan sülfihidril, güçlü bir antioksidandır. Sarımsak serbest radikallerin zararının azaltılmasına yardımcı olur ve radyasyona karşı da bir koruma sağlar (Ayaz & Alpsoy, 2007:145-149).

k) Kiraz (*Prunus avium*)

Kirazda bulunan melatonin, antioksidan potansiyele (antosiyanidin) sahiptir (Pszczola, 2001:5159).

l) Soğan (*Allium cepa*)

Soğan bitkisinde bulunan alkil/alkalen sistein sülfoksitler ve flavanoidler (antosiyaninler ve kuarsetin) bakımından zengin olan bir antioksidandır (Rahman, 2003:39-56).

m) İncir (*Ficus carica* L.)

İncir taze ve kuru olarak tüketilen en eski meyve türlerinden biridir. İncirin içerdiği polifenollerin ve özellikle de antosiyaninlerin antioksidan özellik göstermektedir (Çalışkan & Polat, 2008:360-367).

2.6. Antioksidanların Gıdalarda Kullanımları (Altuğ, 2009; Tayar & Çıbık, 2016)

Uygun antioksidan seçiminde dikkat edilmesi gereken kurallar :

- Antioksidan, gıdanın su ve yağ fazında tamamen eriyebilmelidir
- Ürünün içine nüfuz edebilmelidir.
- Uçuculuğu düşük olmalıdır.
- Ürüne arzu edilmeyen renk ve görünüm vermemelidir.

- Kokusuz ve tatsız olmalıdır.
- Toksik ve alerjik etkisi olmamalıdır.
- Gıda ile birlikte tüketilmesinde bir sakınca olmamalıdır
- Düşük düzeylerde etkili olmalı, kolay elde edilebilmeli ve maliyeti düşük olmalıdır.

Antioksidanları kullanım yerlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.

a) Eritilmiş Hayvansal Yağlar: Yenilebilen veya yenilemeyen katı yağlar ile yüksek miktarda hayvansal yağ içeren şorteningler (lif kısaltıcılar) olarak bilinirler. Düşük oranda doymamışlık özellikleri ve minumun oranda da stabiliteleri bulunmaktadır. Daha çok fırınlanmış ürünlere antioksidan olarak katılırlar. Ürünlerde maksimum koruma istenildiği zaman BHA içeren karışımlar tercih edilirler. Ticari olarak ise %20 Bütillenmiş Hidroksi Anizol (BHA) + %6 Propil gallat (PG) ve %4 Sitrik Asit (CA) içeren karışım en çok tercih edilen karışımdır.

b) Bitkisel Yağlar: Hem yenilebilen hem de yenilemeyen sıvı yağlar ve yüksek miktarda katı yağ içeren şorteningler bu gruba girmektedir. Bir miktar doğal antioksidan içerirler. Hidrojen rafine edilen yağ kullanılan hamurlarda ve diğer fırınlanmış ürünlerde ve şorteninglerde belirtilen maksimum raf ömrünü korumak için BHA, BHT, PG ve CA'nın kombine kullanımları daha etkili olmaktadır. Kızartmalık yağların oksidatif stabilitesinin artırılmasında, %20 propil gallat ve %10 sitrik asit içeren antioksidan karışımları etkili olmaktadır.

c) Yüksek Miktarda Katı Yağ İçeren Yağlar: Fındık ezmesi ve patates cipsleri bu gruba girmektedir. Bu ürünlerde %50'ye yakın miktarda katı ve sıvı yağ bulunmaktadır. Hamur işleri, pastalar ve tatlılar ise %8-10 oranında yağ içermektedirler. Bunlarda bu gruba dahil edilirler. Bitkisel veya hayvansal yağların oksidatif stabilitesini

artırmak amacıyla, antioksidan karışımların kızartma işleminden önce yağlara eklenmesi gerekmektedir

d) Düşük Miktarda Katı Yağ İçeren Gıda Ürünleri: Dehidre patatesler, bazı kek karışımları ve kahvaltılık hububatlar bu gruba örnek verilebilir. Bu yağlar, %1-2 oranında bulunmakta, bitkisel kaynaklı olup, BHA ve BHT gibi antioksidanlarla stabilizasyon sağlanabilmektedir.

e) Şekerlemeler: Şekerlemelerde kullanılan birçok ingrediyeñter çabucak bozulabilirler. Örneđi fındık, fıstık, katı yağlar, sıvı yağlar, süt tozu ve süt gibi ürünler ve esansiyel yağlarda tat ve kokunun kaybolması, istenmeyen kötü kokuların oluşumu gibi olaylar görülebilir. Bu gibi olumsuzları önlemek için antioksidanlar kullanılmaktadır.

f) Et Ürünleri: Bu gibi ürünlerde en fazla görülen bozulma şekli lipitlerin ve yağ içeren kısımların oksidasyonudur. Ete uygulanan öğütme, ezilme gibi işlemler oksidasyonu hızlandırmaktadır. Ayrıca etlerde bulunan hem pigmenti de oksidasyonu etkilemektedir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre et ürünlerine ilave edilen antioksidanlar özellikle sığır eti, domuz eti, kümes hayvanları ve balıklardaki oksidatif bozulmalar üzerine etkili olduğunu göstermektedir. ABD’de taze ve kuru domuz sosislerinde, kurutulmuş etlerde, eritilmiş hayvansal katı yağlarda ve bunların bitkisel katı yağlarla olan bileşimlerinde antioksidan kullanımına izin verilmektedir. Daha çok %20 BHA ve %10 CA içeren karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

g) Balık ve Balık Ürünleri: Deniz ürünlerinde antioksidanların kullanımları pek yaygın değildir. Bunun nedenleri olarak birçok balık yağının trigliserid ve fosfolipdlerin yüksek oranda doymamış yağ asitlerini içermiş olması, hem pigmenti gibi doğal katalizörlerin bulunması ve işlem esnasında uygun olmayan yöntemlerin kullanılması söylene bilinir. Sadece kurutulmuş yağlı balıklarda

antioksidanlar kullanılmaktadır. Antioksidanlar kurutma işleminden hemen sonra ürüne ilave edilmekte ve böylece depolama ve nakliye sırasında oksidasyon engellenebilmektedir. Antioksidan ilavesi kurutma işlemini takiben vidalı konveyörlerde püskürtülerek yapılır ve bu esnada balık ile antioksidan tamamen karışmış olur. İşlenmiş ürünlerde ise hem yağda eriyen (BHA, BHT) hem de suda eriyen (askorbik asit ve sitrik asit) antioksidanlar sadece oksidatif acılaşmayı önlemek için ilave edilmektedirler. Raf ömrü üzerine etkili olan bakterilerin üremesi üzerine herhangi bir etkileri olmamaktadır.

h) Esansiyel Yağlar: Limon yağı, portakal yağı ve terpen gibi lezzet amacıyla gıdalara ilave edilen yağlar fosfolipid ve trigliseridler gibi radikal oksidasyona uğrarlar. Bunun için bu tür yağlara BHA ilave edilmektedir. Özellikle %0.3 oranında, esansiyel yağlar işlemiden hemen sonra ve düşük sıcaklıklarda ilave edilmektedir.

ı) Çiklet Hamuru: Bunların içerisinde doymamış bileşenlere sahip olan polimerler ve petrol mumları vardır. Çiklet hamuru sürekli oksidasyona maruz kalınca polimerlerin çapraz bağlanmaları neticesinde kırılgan bir yapı oluşur. Bu esnada istenmeyen lezzet ve aroma veren maddeler açığa çıkar. Bu tip bozulmaları engellenmek için daha ziyade BHA ve BHT kullanılmaktadır.

i) Kızartma İşleminin Yapıldığı Gıdalar: Patates ve mısır cipsleri gibi gıdalarda %50 oranında yağ bulunmaktadır. Bu ürünlerde acılaşmaya bağlı olarak sorunlar oluşabilmektedir. Daha çok TBHQ kullanılmaktadır. Bunun dışında BHA, BHT, PG ve tokoferoller de kullanılmaktadır. Hayvansal katı ve sıvı yağların kullanıldığı kızartma işlemlerinde en çok tokoferoller tercih edilmektedir.

j) Fırında Pişirilen Gıdalar: Fırında pişirilecek olan gıdalarda kullanılan yağlara BHA, BHT, PG, TBHQ ve tokoferoller ilave edilmektedir.

k) Fındık, Fıstık Gibi Ürünler: Bu tür ürünlere daha ziyade TBHQ ilave edilmektedir.

l) Hububatlar: Bu tür gıdalarda lipidlerin oranı oldukça düşüktür. Ancak lipitlerdeki doymamışlık oranı ve dolayısıyla dayanıklılığı az olmaktadır. Hububatların ambalaj materyallerine genellikle BHA ve BHT gibi antioksidanlar ilave edilmektedir. Bu maddeler, uygun buhar basıncına sahip olduklarından buharlaşarak paketleme malzemesine nüfuz eder ve böylece koruyucu etki gösterir.

m) Ham Bitkisel Yağlar: Doğal olarak yapılarında tokoferoller, fosfolipidler ve karoten gibi antioksidanlar bulunmasına rağmen bu ürünler depolama, taşınma ve rafinasyon esnasında bozulabilirler. Bozulmaları engellemek için TBHQ ilave edilmektedir. Rafinasyon işleminden sonra antioksidanların ilave edilmesi gerekmektedir.

n) Gıda Ambalajları: Bu amaç için kullanılan antioksidanlar mum, parafin ve polimerler içinde ve emülsiyon halinde gıda ambalajlarına, buharlaşma yolu ile de gıdalara geçiş olmaktadır. En çok tercih edilenleri ise BHA ve BHT'dir. Antioksidanın uygulanacak miktarı, paketleme malzemesinin büyüklüğü, tipi ve istenen stabiliteye bağlı olarak belirlenir.

2.7. Antioksidanlar İle İlgili Yasal Düzenlemeler

27 Şubat 2019 tarihinde Türk Gıda Kodeksi Gıda katkı Maddeleri Yönetmeliği'nde kullanılan antioksidanların E kodları, adları, katılabilecekleri gıda maddeleri, izin verilen miktarları ve kullanım şekilleri bildirilmektedir. Ancak 13 Ekim 2023 tarihinde yönetmelikte bazı değişiklikler yapılarak bazı antioksidanlarda (Propil Gallat, TBHQ, BHA) E kodlar, kullanım şekilleri ve

uygulandıkları gıda maddeleri değiştirilmiştir. Bu yönetmelik hala yürürlüktedir.

3. SONUÇ

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve açlığın insanlık için ciddi bir sorun olması göz önüne alındığında, üretilen gıdaların mümkün olduğunca uzun süre tazeliklerini koruması ve insan sağlığını tehdit eden kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel bozulmalara karşı dayanıklı hâle getirilmesi, araştırmacıların başlıca çalışma alanlarından biridir. Ayrıca nüfusun artması ve insanların yaşam standartlarının yükselmesi, özellikle gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde çabuk tüketilebilen ve kalitesini uzun süre koruyan gıdaların gerekliliğinin artmış olması, gıda sektöründe uzun raf ömürlü gıdaların bulunması zorunluluğu ve tüketicilerin mevsimlik gıdaları her zaman tüketebilme arzusunda oluşları sanayileşmeyi etkilemekte ve gıda katkı maddelerinin üretiminin gelişmesine ve işlenmiş ürünlerde gıda katkı maddelerinin ve antioksidanların kullanımının kaçınılmaz olmasına sebebiyet vermektedir.

Gıda katkı maddelerinin kullanılmasındaki temel amaç, tüketicilerin güvenli, kaliteli ve ekonomik ürünlere erişimini kolaylaştırmak ve ürünlerin duyuşal özelliklerinde meydana gelen değişimleri tüketici tercihlerini olumlu etkileyecek şekilde düzenlemektir. Ancak katkı maddelerinin, ürünlerin pazarlanabilirliğini artırmak için daha yoğun biçimde kullanılması çeşitli riskleri de beraberinde getirmektedir. Denetim mekanizmalarının yetersiz olduğu ülkelerde bu maddelerin alerjik, kanserojen, mutajen veya teratojen etkilere yol açabileceği çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Bu nedenle bilinçli tüketicilerin, hem üreticileri hem de devletin kontrol birimlerini daha dikkatli ve sorumlu davranmaları yönünde uyarımları büyük önem taşımaktadır.

Canlı organizmada meydana gelen herhangi bir patolojik veya fizyolojik olayda oluşan serbest radikaller ile bunların etkisini ortadan kaldıran antioksidanlar arasında bir savunma mekanizması bulunmaktadır. Doğal antioksidanları gıdalarla vücudumuza almak direnç mekanizmamızı olumlu yönde etkilemektedir. Ancak gıdalara katılan sentetik antioksidanları kullanırken çok dikkat edilmeli, yapılan birçok bilimsel çalışma sonucuna göre hem dozajları hem de türleri belirlenmelidir. Bir antioksidanın gıda maddelerinde kullanılmadan önce, sağlık açısından zararsız olduğu kesin olarak belirlenmiş olmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ajose, F. O. (2007). Some Nigerian plants of dermatologic importance. *Int J Dermatol*, 46 (1), 48-55.
- Altuğ, T. (2009). Gıda Katkı Maddeleri. (3. Baskı). İzmir: Sidas Medya Ltd Şti.
- Awad, M., de Jager, A., Vander Plas, L., & Vander Krol, A. (2001). Flavonoid and chlorogenic acid changes in skin of Elstar and Jonagold apples during development and ripening. *Sci Horticulture* 90, 69-83.
- Ayaz, E., & Alpsoy, H. C. (2007). Sarımsak (*Allium sativum*) ve geleneksel tedavide kullanımı. *Türkiye Par Derg*, 31 (2), 145-149.
- Başer, K. H. C, Özek, T., Tümen, G., & Sezik, E. (1993). Composition of the essential oils of Turkish organum species with commercial importance. *J Essent Oil Rest*, 5 (6), 619-623.
- Baytop, T. (1999). Türkiye’de bitkiler ile tedavi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Belitz, HD, & Grosch, W. Food additives. Food Chemistry. 2nd ed, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.

- Boğa, A., & Binokay, S. (2010). Gıda katkı maddeleri ve sağlığınıza etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 19, 141.
- Buck, D. F. (1984). Food antioxidants-application and uses in snack foods. *Cereal Foods World*, 29 (5), 301-303.
- CAC (Codex Alimentarius Commussion). (1997). Report of the twenty-ninth session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards programme. Alinorm 97/12A. FAO/WHO. Rome, Italy.
- Carocho, M., Morales, P., Ferreira, I. C., & Saltmarsh, M. (2013). Natural food additives: Quo vadis? Essential Guide to Food Additives. (4th ed.). UK: Cambridge.
- Cemeli, E., & Baumgartner, A. (2009). Anderson, D. Antioxidants and the Comet assay. *Mutat Res*, 681: 51-67.
- Cemeroğlu, A. P., & Cemeroğlu, B. S. (1998). Sağlık açısından gıda fenolikleri. *Gıda Teknolojisi*, 3 (9), 52-55.
- Çalışkan, O., & Polat, A. A. (2008). Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Sci Horti*, 115, 360-367.
- Deveci, H. A., Nur, G., Kırpık, M. A., Harmankaya, A., & Yıldız, Y. (2017). Fenolik bileşik içeren bitkisel antioksidanlar. *Kafkas Üniv Fen Bil Enst Derg*, 9 (1), 26-32.
- Dong, Z. (2003). Molecular mechanism of the chemopreventive effect of resveratrol. *Mutation Res*, 523-524, 145-150.
- Dziezak, J. D. (1986). Antioxidants. *Food Technol*, 40 (9), 94-102.
- Erkan, T. (2010). Gıdalardaki katkı maddeleri. *Türk Ped Arşivi*, 45, 315-318.
- Fernandez-Lopez, J., Zhi, N., Aleson-Carbonell, I., Perez-Alvarez, A., & Kuri, V. (2003). Antioxidant and antibacterial activities of natural extract application in beef meatballs. *Meat Sci*, 69 (3), 371-380.

- Giovannucci, E., Rimm, E. B., Liu, Y., J. Walter, S., & Willett, C. (2002). A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Journal of the National Cancer Institute*, 94(5), 391-398.
- Hertog, M. G. L., Feskens, E. J. M., Hollman, P. C. H., Katan, M. B., & Kromhout, D. (1993). Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen elderly study. *Lancet*, 342, 1007-1011.
- Karataş, F., & Kamlı, F. (2007). Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *J of Food Pro Enginee*, 78, 662-668.
- Keskin, H. (1981). Besin Kimyası. (Cilt 1). İstanbul: Fatih Yayınevi Matbaası.
- Kırca, A., & Cemeroğlu, B. (2001). Askorbik asidin degradasyon mekanizması. *Gıda*, 26 (4), 233-242.
- Lachance, P. A., Nakat, Z., & Jeong, W. S. (2001). Antioxidants. *An Integrative Approach Nutrition*, 17, 835-838.
- Nautaa, T. (1991). Food Additive Users Handbook. Newyork: AVI Publishers.
- Neltner, T. G., Kulkarni, N. R., Alger, H. M., Maffini, M. V., Bongard, E. D., Fortin, N. D., & Olson, E. D. (2011). Navigating the U.S. food additive regulatory program. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10, 342-368.
- Öğüt, S. (2014). Doğal antioksidanların önemi. *Adnan Menderes Üniv Zir Fak Derg*, 11 (1), 25-30.
- Pszczola, D. E. (2001). Antioxidants: from preserving food quality to quality of life. *Food Techn*, 55, 5159.
- Rahman, K. (2003). Garlic and aging: new insights into an old remedy. *Ageing Recitation Review*, 2, 39-56.
- Saldamlı, İ., & Uygun, Ü. (2014). Gıda Katkı Maddeleri. (4. Baskı). Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları,

- Saraç, E. (2005). Doğanın şifalı eli. İstanbul: Doğan Kitap.
- Surjushe, A., Vasani, R., & Saple, D. G. (2008). Aloe vera: a shorte review. *Indian J Dermatol*, 53, 163-166.
- Şahin, F. P., Ezer, N., & Alis, I. C. (2006). Terpenic and phenolic compounds from *Sideritis stricta*. *Turk J Chem*, 30 (4), 495-504.
- Tayar, M., & Çıbık, R. (2016). Gıda Kimyası. (4. Baskı). Bursa: DORA Basım-Yayın Dağıtım Ltd Şti.
- Tunalı, Z., Öztürk, N., Koşar, M., Başer, K. H. C., Duman, H., & Kırimer, N. (2002). Bazı *Sideritis* türlerinin antioksidan etki ve fenolik bileşikler yönünden incelenmesi. Ankara: 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı Bildiriler Kitabı.
- Türk Gıda Kodeksi (TGK). (2023). Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği, 13.10.2023 tarih ve 32338 sayılı Resmi Gazete, Ankara, Türkiye.
- Vaclavik, V. A., & Christian E. W. (2008). Food additives. Essentials of Food Science. (3rd ed.). New York: Springer Science+Business Media, LLC,
- Willson, K. C., & Clifford, M. N. 1995. Tea cultivation to consumption. London: Chapman&Hall.
- Yılmaz İ. (2010). Antioksidan içeren bazı gıdalar ve oksidatif stres. *İnönü Üniv Tıp Fak Derg*, 17 (2), 143-153.
- Yinrog, L., & Foo, L. Y. (2000). Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace, *Food Chem*, 68, 81-85.

BÖLÜM 3

TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI ÇERÇEVESİNDE MEZBAHALARDA ATIK YÖNETİMİ VE VETERİNER HEKİMİN ROLÜ

1. DOĞAN KÖSEDAĞ¹

2. RABİA MEHTAP TUNCAY²

3. YAKUP CAN SANCAK³

Giriş

Hayvansal gıda üretiminin devamlılığı, sadece verimlilik ve kalite düzeyleriyle değil, aynı zamanda çevresel ve halk sağlığı etkileriyle de ele alınmalıdır. Bu doğrultuda mezbahalar, hayvansal ürünlerin üretim aşamalarında sağlık, hijyen ve çevre etkilerinin en fazla gözlendiği önemli tesislerdir. Mezbaha faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan organik atıklar, uygun biçimde bertaraf edilmediğinde hem ekosistem dengesini bozmakta hem de zoonotik patojenlerin yayılımı açısından önemli bir tehdit kaynağı oluşturmaktadır (Al-Gheethi & ark., 2021; Aşkar & Aşkar, 2025).

¹ Veteriner Hekim, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Orcid: 0009-0000-0116-9738

² Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0002-3510-5369

³ Prof. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0003-4490-9606

“Tek Sağlık” (One Health) yaklaşımı, insan, hayvan ve çevre sağlığının birbirinden ayrı ele alınamayacağını savunan disiplinler arası bir yaklaşım olarak bu sürecin temel yapısını oluşturmaktadır. Mezbahalarda uygulanan veteriner hizmetleri, bu üçlü dengenin sağlanmasında önemli bir konuma sahiptir. Veteriner hekimler, hayvan kesimi öncesinde ante mortem, kesim sonrasında ise post mortem muayene yapmakla görevli olup aynı zamanda kesim sonrası oluşan atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesiyle de sorumludur. Dolayısıyla mezbahalarda atık yönetimi sadece teknik bir çevre mühendisliği konusu değil, doğrudan veteriner halk sağlığı uygulamasıdır (Serpen, 2023).

Mezbahalarda Oluşan Atıkların Türleri ve Özellikleri

Katı Atıklar

Mezbaha katı atıkları; kan pıhtısı, tüy, deri, kemik, sindirim sistemi içeriği, kullanılmayan sakatat ve hastalıklı organlar gibi yüksek organik yüklü materyallerden oluşmaktadır. Bu materyallerin biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) oldukça fazla olup çevreye kontrolsüz bir şekilde atılmaları su ve toprak kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca katı atıkların açık alanlarda depolanması sinek ve kemirgen sayılarını artırarak zoonotik vektörlerin yayılmasına zemin oluşturmakla beraber sokak hayvanları tarafından tüketilmesi zoonotik ajanların taşınmasına da sebep olabilmektedir (Bozkurt, 2013; Türkten & ark., 2016; Şahin, 2019).

Sıvı Atıklar

Kesim sırasında ortaya çıkan kan ve yıkama suları, mezbaha atık sularının ana bileşenleridir. Bu atıklar, yüksek miktarda protein, yağ ve deterjan kalıntısı içermekte olup, biyolojik arıtma tesislerine varmadan alıcı ortamlara verildiklerinde sucul ekosistemlerde

oksijen tüketimini artırarak habitat kayıplarına sebep olmaktadır (Moustafa, 2019).

Enfekte ve Tehlikeli Atıklar

Yapılan bazı çalışmalar göstermektedir ki hastalıklı hayvanlardan elde edilen bazı doku ve organlar, bakteriyel veya paraziter patojen hastalık etkenleri ile kontamine olabilmektedir. Bu tür materyaller enfekte atık sınıfında değerlendirilerek özel işleme tabi tutulmalıdır. Bu doğrultuda, Ülkemizde İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği'ne göre, mezbaha atıkları ve hastalıklı hayvanlardan elde edilen yan ürünler/hayvansal materyaller; uygun biçimde toplanmalı, taşınmalı, depolanmalı veya yönetmelikte tanımlanan şekilde imhası zorunlu kılınmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığı, 2011; Campolat & ark, 2025).

Tek Sağlık Perspektifinden Mezbahalarda Atık Yönetiminin Önemi

İnsan, hayvan ve çevre sağlığının birbirinden ayrı ele alınamayacağını savunan tek sağlık yaklaşımına göre, mezbaha faaliyetleri yalnızca et üretim süreciyle sınırlı değildir; aynı zamanda zoonotik patojenlerin kontrolü, sürdürülebilir doğa ve gıda güvenliği açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Mezbahalarda oluşan atıkların yönetimi, bu üçlü sağlık bileşeninin kesişim noktasında yer almakta olup; yanlış veya yetersiz uygulamalar insan, hayvan ve ekosistem sağlığını eşzamanlı biçimde tehdit etmektedir (Şahin, 2019; Serpen, 2023; Erol, 2024).

Hayvan Sağlığı Açısından: Epidemiyolojik Gözetim, Erken Uyarı ve Sürü Sağlığı Yönetimi

Kasaplık hayvan mezbahaneye getirildiğinde kesim öncesi ve sonrasında çeşitli muayeneler yapılmaktadır. Bu muayenelerden; Ante-mortem ve post-mortem muayeneler sırasında elde edilen

veriler hem sürü sağlığı hem de bölgesel hastalık dağılımları hakkında bilgi vermektedir (Hayvan Sağlığı ve Zabıtası Yönetmeliği, 2020; Etlerin Teftiş Talimatı, 2023). Örneğin, kesim sırasında yüksek oranlarda akciğer lezyonu tespit edilmesi, solunum sistemi enfeksiyonları veya paraziter invazyonların sürülerde yaygın olduğunu göstermektedir. Bu veriler, özellikle zoonotik potansiyele sahip hastalıkların erken tespitinde kritik öneme sahiptir. Tüberküloz, brusella, sığır şap hastalığı, kistik ekinokok gibi hastalıkların varlığı, yalnızca hayvan refahını değil, aynı zamanda halk sağlığını da ilgilendirmektedir. Bu doğrultuda, mezbahalar veteriner epidemiyolojisinde “erken uyarı merkezleri” olarak görev almaktadır (Magrin & ark., 2021; García-Díez & ark., 2023).

Bunların yanı sıra veteriner hekimler, mezbaha kayıtlarını analiz ederek saha düzeyinde sürü yönetimi önerileri geliştirebilmektedir. Bu durum hem hastalık yükünü azaltmakta hem de hayvansal üretimin ekonomik devamlılığını desteklemektedir. Tek Sağlık yaklaşımı çerçevesinde, bu tür bulguların ulusal hastalık bildirim sistemlerine işlenmesi tavsiye edilmektedir. Böylece, mezbaha temelli bulgular saha epidemiyolojisinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmektedir (García-Díez & ark., 2023).

Halk Sağlığı Açısından: Zoonotik Riskler, Antimikrobiyal Direnç ve Gıda Güvenliği

Mezbaha ortamı, patojen mikroorganizmaların hayvandan insana geçişinde önemli bir geçiş noktasıdır. Özellikle kesim sürecinde hayvan dokularının, atık suların ve yüzeylerin kontaminasyonu, çapraz bulaş riskini arttırmakta olup bu doğrultuda taşınan *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Listeria monocytogenes* ve enterohemorajik *Escherichia coli* (EHEC) gibi patojen etkenler, insanlarda ciddi gastrointestinal enfeksiyonlara ve ölüme sebep olabilmektedir (Şireli & Cengiz, 2023; Turan, 2025).

Bununla birlikte, son yıllarda mezbaha kaynaklı atık suların antimikrobiyal direnç genleri (ARGs) açısından zengin bir rezervuar kaynağı olduğu bilinmektedir. Hayvanlarda kullanılan antibiyotiklerin metabolitleri ve dirençli bakteriler, atık su kanalları yoluyla çevreye taşınmakta ve direnç genlerinin horizontal transferine ortam oluşturmaktadır. Bu durum, insanlarda tedavi başarısızlıklarına neden olabilecek dirençli patojenlerin çevresel seleksiyonuna katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, mezbaha atık yönetimi aynı zamanda antimikrobiyal dirençle mücadelede de stratejik bir müdahale noktası olarak ele alınmaktadır (Güngör & ark., 2024).

Veteriner Hekimliğin Mezbahalarda Atık Yönetimindeki Rolü

Veteriner hekimler, mezbaha faaliyetlerinin her adımında Tek Sağlık yaklaşımının sahadaki uygulayıcısıdır (Şireli & Filazi, 2019).

Birincil görev, canlı hayvanların ante-mortem ve karkasların post-mortem muayenelerini yürütmesi sonucunda elde edilen bulguları kayıt altına almakta olup bu kayıtlar hem hayvan sağlığı hem de gıda güvenliği açısından önemli bir epidemiyolojik veri kaynağı oluşturmaktadır. Ayrıca, hastalık tespit edilen organ ve karkasların uygun şekilde imhası, zoonotik patojenlerin bulaşma riskini azaltmaktadır (World Organisation for Animal Health [WOAH], 2019; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

Veteriner hekimler aynı zamanda atıkların çevreye zarar vermeden yok edilmesi için gerekli hijyen ve biyogüvenlik uygulamalarını planlamaktadırlar. Atık toplama, depolama, taşıma ve imha süreçlerinde patojen yayılımını önlemek amacıyla dezenfeksiyon ve izolasyon önlemleri alınmaktadır. Bunun yanı sıra, veteriner hekimler sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesinde de önemli rol oynamaktadır. Rendering, kompostlama ve biyogaz üretimi gibi biyoteknolojik yöntemlerle mezbaha atıklarının yeniden değerlendirilmesi hem ekonomik katma değer yaratmakta hem de

halk sağlığına önemli bir katkı sunmaktadır. (Jimenez-Urpi & ark., 2025).

Sonuç

Mezbaha atıkları, Tek Sağlık yaklaşımının tam anlamıyla sahada karşılık bulduğu önemli alanlardan biridir. Atıkların yönetimi sadece çevresel bir mesele değil, aynı zamanda veteriner halk sağlığının doğrudan bir uzantısıdır. Veteriner hekimler, mezbahalarda yürütülen muayene, hijyen, atık yönetimi ve risk değerlendirme süreçleriyle insan, hayvan ve evre sağlığı arasındaki dengeyi koruyan temel aktörlerdir. Etkin bir atık yönetimi sistemi, zoonozların kontrolü, antimikrobiyal dirençle mücadele ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu sebeple, mezbaha atık yönetimi uygulamalarının ulusal Tek Sağlık politikalarıyla bütünleştirilmesi, veteriner hekimlik mesleğinin hem bilimsel hem de toplumsal sorumluluğu açısından öncelikli bir gerekliliktir.

Kaynakça/ References

Al-Gheethi, A., Ma, N. L., Rupani, P. F., Sultana, N., Yaakob, M. A., Radin M. S. R. Mohamed, & Soon, C. F. (2021). *Biowastes of slaughterhouses and wet markets: an overview of waste management for disease prevention. Environmental Science and Pollution Research*, 28, 71780–71793.

AŞKAR, T. K., & AŞKAR, Ş. (2025). *Hayvan Sağlığı ve Sürdürülebilirlik*. Livre de Lyon.

BOZKURT, H. (2013). *Mezbaha ve sızıntı sularının anaerobik yukarı akışlı reaktörde arıtılabilirliği/Treatability of slaughterhouse and landfill leachate in anaerobic sludge bed reactor* (Doctoral dissertation).

Campolat, O., Koçak, G., & Keleş, İ. NEVŞEHİR KIZILIRMAK HAVZASI MEZBAHANELERİNDE KESİLEN SIĞIRLARIN KARACİĞER VE İÇ ORGANLARINDA PARAZİTLERİN YAYGINLIĞININ ARAŞTIRILMASI. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 34(1), 69-77.

Erol, İ. (2024). Sokak hayvanları toplumsal sorunlar ve halk sağlığı. In K. Şahin (Ed.), *Zoonotik hastalıklarla mücadelede tek sağlık yaklaşımı*. Türkiye Bilimler Akademisi. Ankara.

Etlerin Teftiş Talimatı, (2023). Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı.

García-Díez, J., Saraiva, S., Moura, D., Grispoldi, L., Cenci-Goga, B. T., & Saraiva, C. (2023). *The importance of the slaughterhouse in surveilling animal and public health: A systematic review. Veterinary Sciences*, 10(2), 167.

Güngör, N., Gündoğ, D. A., Güngör, C., & Onmaz, N. E. (2024). Mezbaha Atık Sularından İzole Edilen Enterococcus Türlerinin Moleküler Karakterizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21(1), 55-64.

Hayvan Sağlığı ve Zabıtası Yönetmeliği, (2020). Resmî Gazete, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı.

Jiménez-Urpi, M., Carbonell-Chacón, S., Jubany, I., Suárez-Ojeda, M. E., & Baquerizo, G. (2025). Sustainable valorization of slaughterhouse solid waste: A review of characterization, conditioning, hydrolysis and biotransformation strategies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), 118879.

Magrin, L., Brscic, M., Lora, I., Prevedello, P., Contiero, B., Cozzi, G., & Gottardo, F. (2021). Assessment of rumen mucosa, lung, and liver lesions at slaughter as benchmarking tool for the improvement of finishing beef cattle health and welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 622837.

Moustafa, K. M. (2019). Mezbahalardan kaynaklanan atıksuların arıtılabilirliğinin araştırılması. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Serpen, A. (2023). Tek Sağlık yaklaşımının kökeni: Dünyada ve Türkiye'deki mevcut durumu: Tek Sağlık yaklaşımının kökeni. *Journal of One Health Research*, 1(3), 1-33.

Şahin S. Veteriner halk sağlığında atık yönetimi. Ceylan ZG, editör. Veteriner Halk Sağlığı. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2019. p.89-98

ŞİRELİ, U. T., & CENGİZ, G. (2023). Gıda Kaynaklı Mikrobiyal Hastalıkların 2019 Verilerine Genel Bakış: Geleneksel Derleme. *Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences*, 14(1).

Şireli, U. T., & Filazi, A. (2019). Tek sağlık kavramında veteriner hekimin rolü. In Z. G. Ceylan (Ed.), *Veteriner Halk Sağlığı* (ss. 81–88). Ankara: Türkiye Klinikleri.

Turan, G. (2025). *Özel sektöre ait bir et işleme tesisinde hijyen durumunun belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).

Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. (2011, 24 Aralık). *İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği*. Resmî Gazete, 28152.

Türkten, H., Yıldırım, Ç., Gündüz, O., & Ceyhan, V. (2016). Samsun ilinde sığır besiciliği faaliyetlerinden ortaya çıkan atık ve yan ürünlerin değerlendirilmesi ve yönetimi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3), 353-359.

World Organisation for Animal Health. (2019). *Terrestrial animal health code: Meat hygiene and veterinary public health*. Paris: WOA.H.

BÖLÜM 4

FOOD SAFETY AND PUBLIC HEALTH ASPECTS OF COAGULASE-NEGATIVE STAPHYLOCOCCI

BAŞAK GÖKÇE ÇÖL¹

Introduction

Historically, investigations in food safety and public health have centered on coagulase-positive *Staphylococcus aureus*, owing to its well-established role in foodborne intoxications and a wide range of clinical infections. By contrast, coagulase-negative staphylococci (CoNS) were traditionally placed in a secondary position, with their pathogenic relevance largely underestimated (Gao et al., 2012; Lee & Lee, 2022; Rosenstein & Götz, 2012). More recently, progress in species- and subspecies-level characterization has challenged this simplified perspective, revealing its limited explanatory value. Current findings instead portray CoNS as a highly heterogeneous assemblage, ranging from strains with limited clinical significance to facultative pathogens capable of host interaction, persistence, and opportunistic infection. Of particular concern, multiple CoNS species function as reservoirs of antimicrobial resistance genes, positioning them at the interface between food

¹ Assistant Professor, Dokuz Eylül University, Faculty of Tourism, Department of Gastronomy and Culinary Arts, 0000-0002-7627-9867

safety and public health (Becker, Both, Weißelberg, Heilmann, & Rohde, 2020; Podkowik, Bystróż, & Bania, 2012; Ribeiro et al., 2025; Rosenstein & Götz, 2012; Shoaib et al., 2023).

Coagulase-negative staphylococci are ubiquitous colonizers of humans and animals, predominantly inhabiting the skin and mucosal surfaces. In addition to cutaneous and mucosal sites, they may also be detected in the digestive and respiratory tracts. This extensive colonization facilitates the transfer of CoNS to foods during handling and processing, enabling their entry into the food chain (Shoaib et al., 2023; Stewart, 2022; Valero et al., 2016).

This chapter provides an integrated overview of coagulase-negative staphylococci, focusing on their taxonomic diversity, occurrence along the food chain, and the implications of their virulence traits and antimicrobial resistance for food safety and public health.

Taxonomy, Classification, and General Characteristics of Coagulase-Negative Staphylococci

Taxonomically, staphylococci are classified within the family *Staphylococcaceae*, which comprises several genera of Gram-positive cocci, including *Staphylococcus*, *Stomatococcus*, *Micrococcus*, and *Planococcus*. CoNS constitute a large and continuously expanding group of bacteria within this family. According to recent taxonomic updates, the genus *Staphylococcus* currently comprises more than 50 recognized species, organized into approximately 40 main species groups and over 20 subspecies, reflecting substantial taxonomic diversity within the genus (Becker et al., 2020). Within this taxonomic framework, classification within the genus *Staphylococcus* has traditionally relied on coagulase enzyme production. Species capable of coagulase production are referred to as coagulase-positive staphylococci (CPS), whereas those

lacking this enzymatic activity are classified as CoNS (Wang et al., 2003).

Historically, this distinction has also been linked to pathogenic potential. *Staphylococcus aureus*, a coagulase-producing species, has long been regarded as a “primary pathogen” due to its higher virulence, whereas coagulase-negative species were generally considered to possess lower pathogenic potential. Coagulase secretion has therefore been viewed as an important virulence strategy contributing to host persistence and disease development, and for many years it served as a fundamental criterion for distinguishing *S. aureus* from other staphylococci (De Buck et al., 2021; Vandenesch et al., 1994).

However, increasing evidence has demonstrated that this coagulase-based binary classification is insufficient to accurately reflect the diversity within the genus *Staphylococcus*. For example, *Staphylococcus schleiferi* includes both coagulase-negative (*S. schleiferi* subsp. *schleiferi*) and coagulase-positive (*S. schleiferi* subsp. *coagulans*) subspecies, and phenotypic differentiation between these subspecies is often unclear (Vandenesch et al., 1994). Similarly, species such as *Staphylococcus hyicus* and *Staphylococcus agnetis* have been reported to exhibit variable coagulase activity (Becker, Heilmann, & Peters, 2014). These findings indicate that coagulase activity alone is not a reliable criterion for differentiation within the genus *Staphylococcus*.

Consequently, more recent approaches to staphylococcal taxonomy and classification have increasingly emphasized molecular-based analyses. In particular, classification schemes based on multi-locus sequence analysis (MLSA) have provided deeper insights into interspecies relationships and have underscored the need to move beyond traditional phenotypic criteria such as coagulase production (Becker et al., 2014; Heilmann, Ziebuhr, & Becker, 2019). In parallel, CoNS have also been grouped according

to colonization patterns, including categories such as the *Staphylococcus epidermidis* group, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus saprophyticus* subsp. *saprophyticus*, and other coagulase-negative species. Within these groups, some species commonly occur as commensal microorganisms inhabiting the cutaneous and mucosal surfaces of humans and animals, whereas others are more frequently associated with fermented foods, where they may contribute to technological properties and, in some cases, function as starter or adjunct cultures (Becker et al., 2014; Shoaib et al., 2023).

An alternative terminology that has gained increasing acceptance in recent years is “non-aureus staphylococci” (NAS), referring to all staphylococcal species other than *Staphylococcus aureus*. This terminology emphasizes that CoNS should not be regarded as a single, uniformly low-pathogenic group. Instead, non-aureus staphylococci represent a broad and heterogeneous spectrum of microorganisms exhibiting commensal, environmental, and facultative pathogenic characteristics (De Buck et al., 2021).

Regardless of their taxonomic diversity and classification schemes, staphylococci share several fundamental morphological and physiological characteristics. They are Gram-positive, non-motile, non-spore-forming cocci with a facultative anaerobic metabolism and typically appear as grape-like clusters under microscopic examination. Staphylococci are catalase-positive and display remarkable environmental tolerance, including the ability to survive elevated temperatures of up to approximately 50 °C and high salt concentrations of up to 10% NaCl. These properties contribute to their persistence in both clinical and food-related environments (Bowden et al., 2002; Götz, Bannerman, & Schleifer, 2006; Prajapati, 2025).

Virulence Factors and Pathogenic Potential of Coagulase-Negative Staphylococci

While coagulase-negative staphylococci were historically regarded as microorganisms of limited pathogenic relevance, accumulating evidence points to a wide and heterogeneous spectrum of virulence traits within this group. With the increased exposure of susceptible hosts, coagulase-negative staphylococci have emerged as major pathogens, particularly in settings where host defenses are compromised (França, Gaio, Lopes, Melo, et al., 2021). This heterogeneity is evident in the contrasting functional roles of CoNS species, with organisms such as *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus xylosus* primarily associated with technological functions in fermented foods, whereas species including *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus haemolyticus* are more frequently linked to opportunistic pathogenic behavior (Akindolire, Babalola, & Ateba, 2015). At the upper end of the virulence spectrum, *Staphylococcus lugdunensis* occupies a distinctive position among CoNS, owing to its close resemblance to *Staphylococcus aureus* with respect to several biological and virulence-associated features (Heilmann et al., 2019).

A key mechanism underlying the pathogenic potential of coagulase-negative staphylococci is their capacity to form biofilms (Otto, 2009). This feature enables microorganisms to adhere to biotic and abiotic surfaces, evade host defense mechanisms, and withstand environmental stress conditions (Yang et al., 2023).

In CoNS, biofilm formation and structural stability are mediated by specific components, including polysaccharide intercellular adhesion (PIA), which facilitates cell-to-cell adhesion, as well as biofilm-associated protein (Bap) (Vautor, Abadie, Pont, & Thiery, 2008). The heterogeneous organization of bacterial populations within the biofilm matrix particularly the presence of persistent cells, viable but non-culturable (VBNC) cells, and small

colony variants (SCVs), enhances the persistence of CoNS under adverse conditions and contributes to reduced susceptibility to external stressors (França et al., 2021).

Beyond biofilm formation, the pathogenic potential of CoNS is influenced by a range of additional biological factors. These microorganisms harbor genetic elements encoding various exoenzymes that may modulate host–microbe interactions. Genes associated with proteases, lipases, and toxin-related proteins have been identified in certain CoNS strains and are considered to contribute to their virulence potential (Pinheiro et al., 2015; Von Eiff, Peters, & Heilmann, 2002). In addition, the production of DNase, gelatinase, and other hydrolytic enzymes further supports the virulence-associated traits of CoNS (Becker et al., 2014).

Although toxigenic activity in staphylococci has been predominantly associated with *Staphylococcus aureus*, several studies have demonstrated that CoNS may also harbor genetic determinants encoding staphylococcal enterotoxins and toxic shock syndrome toxin-1 (TSST-1) (Cunha, Peresi, Calsolari, & Araújo Júnior, 2006; Udo, Al-Bustan, Jacob, & Chugh, 1999). The presence of such toxin-associated genes highlights the genetic and functional diversity of virulence traits within the CoNS group (Getahun, Abey, Beyene, Belete, & Tessema, 2024; Pyzik et al., 2019).

Another factor contributing to the pathogenic capacity of CoNS is their ability to acquire virulence- and resistance-associated genes via mobile genetic elements. Structures such as transposons, pathogenicity islands, plasmids, and bacteriophages may carry genes related to adhesion, exotoxin and enterotoxin production, and antimicrobial resistance (Arciola, Baldassarri, & Montanaro, 2001; Bhargava & Zhang, 2014; Cunha et al., 2006; Fijałkowski, Peitler, & Karakulska, 2016). Among CoNS, *Staphylococcus epidermidis* has been the most extensively studied species at the molecular and genomic levels, largely due to its capacity to synthesize surface

structures and extracellular components that facilitate immune evasion (Otto, 2009). The identification of pathogenicity islands encoding enterotoxins such as SEC3 and SE1L in certain *S. epidermidis* strains further illustrates the complexity of virulence-associated genetic elements within this species (Madhusoodanan et al., 2011; Otto, 2013).

The pathogenic behavior of CoNS results from the combined contribution of multiple virulence-associated traits, including biofilm formation, exoenzyme production, toxin-related genetic elements, and mobile genetic structures. The uneven distribution and expression of these factors across species and strains underscore the intrinsic diversity of virulence within this group and explain their variable behavior in host-associated and environmental settings (Becker et al., 2014; Heilmann et al., 2019).

Antimicrobial Resistance in Coagulase-Negative Staphylococci

Antimicrobial resistance currently represents a central challenge for global public health systems (Ho et al., 2025; Iyer, Baghallab, Albaik, & Kumosani, 2014). Antimicrobial resistance in CoNS is tightly associated with their pathogenic potential and plays an important role in their persistence under host-associated conditions (Beceiro, Tomás, & Bou, 2013). In parallel, antimicrobial resistance among coagulase-negative staphylococci has been increasingly documented in both clinical and foodborne isolates, highlighting their relevance across medical and food-related contexts (Becker et al., 2014; França et al., 2021). Although *Staphylococcus aureus* has been extensively studied as a major cause of mastitis and foodborne intoxications, comparatively less attention has been directed toward antimicrobial resistance-related characteristics of CoNS associated with intramammary infections and foodborne disease (Mahato et al., 2017).

Methicillin resistance represents one of the most prominent antimicrobial resistance phenotypes observed among CoNS. Several studies have shown that methicillin-resistant CoNS (MR-CoNS) may display higher rates of multidrug resistance than *Staphylococcus aureus*, highlighting their relevance in the context of antimicrobial resistance (Becker et al., 2014). Methicillin resistance is frequently associated with cross-resistance to other β -lactam antibiotics, thereby narrowing the range of effective antimicrobial agents (Katayama, Ito, & Hiramatsu, 2000).

Methicillin resistance in CoNS is primarily associated with the presence of the *mecA* gene, which encodes an alternative penicillin-binding protein with reduced affinity for β -lactam antibiotics (Lade & Kim, 2023). Methicillin resistance in CoNS is primarily associated with the presence of the *mecA* gene, which encodes an alternative penicillin-binding protein with reduced affinity for β -lactam antibiotics. In addition to *mecA*, the identification of the homologous gene *mecC* in certain CoNS species highlights the genetic diversity underlying methicillin resistance within this group (MacFadyen et al., 2019).

The dissemination of antimicrobial resistance genes among staphylococci is strongly supported by mobile genetic elements, positioning CoNS as effective reservoirs for resistance determinants. Transferable genetic elements, including plasmids, transposons, and SCCmec, facilitate the exchange of resistance genes between CoNS species and other staphylococci. Accordingly, CoNS are increasingly recognized as both resistant opportunistic pathogens and significant reservoirs for antimicrobial resistance genes (Becker et al., 2014; Fluit, Visser, & Schmitz, 2001).

Accumulating data indicate that CoNS harbor a wide diversity of SCCmec elements, including novel types and variants, supporting their role as reservoirs of β -lactam resistance within the genus *Staphylococcus*. In this context, methicillin-resistant CoNS

(MR-CoNS) are regarded as major reservoirs of highly diverse SCCmec structures that frequently co-occur with multiple resistance-associated genetic elements (Ruppé et al., 2009; Wolska-Gębarzewska, Międzobrodzki, & Kosecka-Strojek, 2024).

Beyond methicillin resistance, CoNS commonly display resistance to multiple additional antimicrobial classes, including aminoglycosides, quinolones, macrolides, and tetracyclines (Henwood et al., 2000).

From a food safety perspective, the detection of antibiotic-resistant CoNS, particularly in ready-to-eat (RTE) foods of animal origin, highlights a relevant interface between antimicrobial resistance and the food chain (Chajęcka-Wierzchowska, Gajewska, Zadernowska, Randazzo, & Caggia, 2023; Chajęcka-Wierzchowska, Zadernowska, Nalepa, Sierpińska, & Łaniewska-Trokenheim, 2015). Under conditions that allow cross-contamination during food processing and handling, RTE foods may function as transmission pathways for resistant CoNS strains to humans.

The Presence of Coagulase-Negative Staphylococci in the Food Chain

CoNS are frequently detected across a wide range of food matrices, reflecting their natural association with the cutaneous and mucosal microbiota of humans and animals. For many years, the presence of CoNS in foods was primarily interpreted as a consequence of environmental contamination and commensal carriage, rather than as an indication of direct involvement in disease processes (Becker et al., 2014; Piette & Verschraegen, 2009). Beyond this background presence, certain CoNS species have acquired technological relevance, particularly in fermented meat products, where they contribute to fermentation processes, color development, and the sensory characteristics of products such as sausages (Blaiotta et al., 2004; Sánchez Mainar, Stavropoulou, &

Leroy, 2017). The frequent detection of *Staphylococcus epidermidis* at different stages of food production and processing reflects its strong adaptive capacity to both human-associated and food-related environments (Fijałkowski et al., 2016; Ruiz, Barragán, Seseña, & Palop, 2016).

Milk and dairy products constitute a critical entry point for CoNS into the food chain. A large-scale study conducted in Turkey identified a CoNS prevalence of 5.3% in raw milk and dairy products, exceeding that reported for *Staphylococcus aureus* (Muş, Çetinkaya, Soyutemiz, & Erten, 2023). Comparable findings from other countries indicate that CoNS contamination is widespread in dairy commodities, particularly milk and cheese, and is largely associated with the use of raw, unpasteurized milk and insufficient hygiene during production (Do Carmo et al., 2004). This frequent occurrence is closely associated with subclinical mastitis in dairy animals, as staphylococci remain among the predominant causative agents of these infections and may consequently influence the microbiological quality of raw milk (Ceciliani et al., 2021; Francisco et al., 2021).

Meat and meat products likewise constitute an important reservoir for CoNS. Studies focusing on RTE meat products have identified CoNS contamination in approximately 9-10% of samples, with a substantial proportion of isolates carrying multidrug resistance and toxin-associated genes (Okoli et al., 2018). Similarly, studies on traditional fermented foods have demonstrated high detection rates of CoNS, with *Staphylococcus epidermidis* frequently identified as the dominant species, indicating the relevance of hygiene conditions during artisanal and small-scale production (Fowoyo & Ogunbanwo, 2016).

CoNS have been detected in marine fish and shellfish at multiple stages of the supply chain, ranging from harvesting areas to retail outlets (Batista et al., 2013; Regecová et al., 2014). In

particular, the detection of novobiocin-resistant species such as *Staphylococcus cohnii* subsp. *urealyticus*, *Staphylococcus lentus*, *Staphylococcus sciuri* subsp. *sciuri*, and *Staphylococcus xylosus* indicates that seafood may serve as a reservoir for resistant CoNS strains (Becker et al., 2014). Furthermore, recent findings from ready-to-consume salted seafood products have identified CoNS species, including *Staphylococcus haemolyticus* and *Staphylococcus equorum*, carrying multiple antimicrobial resistance genes (Kahraman Yılmaz & Berik, 2025).

Plant-based foods constitute another relevant matrix for the occurrence of CoNS. Surveys of fresh vegetables and fruits have reported frequent detection of staphylococcal species, with CoNS accounting for the majority of isolates. The predominance of *Staphylococcus xylosus* and the observation of reduced susceptibility to oxacillin and cephalosporins in some strains indicate that vegetables and fruits may also contribute to the distribution of resistant CoNS within the food chain (Cho, Li, Brinks, & Franz, 2022; Habib et al., 2024).

Rather than merely reflecting environmental or commensal contamination, the recurrent detection of CoNS across diverse food matrices highlights their continuity along the food chain. Their broad adaptive capacity and frequent carriage of antimicrobial resistance determinants suggest that CoNS may contribute to the circulation of resistance genes at the food-human interface, underscoring their relevance within the context of food safety and public health.

Coagulase-Negative Staphylococci in Food Safety and Public Health

Cross-contamination mediated by human handling and food-contact surfaces constitutes a key pathway for CoNS transmission within the food chain. Studies conducted in bars, restaurants, and hospital kitchens have shown that CoNS are frequently detected on

both foods and food-contact surfaces. For example, an investigation conducted in a hospital kitchen in Morocco identified a CoNS prevalence exceeding 23%, with a substantial proportion of isolates displaying antimicrobial resistance (Benjelloun Touimi, Bennani, Berrada, Moussa, & Bennani, 2020). Similarly, the detection of multidrug-resistant CoNS on reusable plastic carrier bags highlights food transport and storage materials as often overlooked contributors to contamination (Barbosa, Albano, Silva, & Teixeira, 2019).

RTE foods constitute one of the most critical interfaces through which the relevance of CoNS within the food chain is revealed. A large-scale assessment of RTE foods offered in bars and restaurants identified CoNS in nearly 40% of samples, with 78.8% of the recovered isolates showing resistance to one or more antimicrobial agents and 43.5% fulfilling the criteria for multidrug resistance (Chajęcka-Wierzchowska et al., 2023). These findings suggest that CoNS should not be regarded solely as common contaminants, but also as relevant reservoirs of antimicrobial resistance determinants in foods intended for direct consumption. Although CoNS were long regarded as harmless commensals or secondary indicators of hygiene (Becker et al., 2014; Piette & Verschraegen, 2009), accumulating evidence from food, environmental, and clinical settings indicates that this assumption warrants re-evaluation.

The public health relevance of CoNS is closely linked to their role as reservoirs and disseminators of antimicrobial resistance genes. The frequent occurrence of methicillin resistance, multidrug resistance, and diverse resistance determinants in foodborne CoNS isolates suggests that these microorganisms contribute to the circulation of resistance genes at the food-human-environment interface (Becker et al., 2014; Benjelloun Touimi et al., 2020; Chajęcka-Wierzchowska et al., 2023). This risk is particularly relevant in RTE foods, as resistant CoNS may be consumed without

further heat processing and subsequently interact with the human gastrointestinal microbiota, potentially enabling the horizontal transfer of resistance determinants to commensal or pathogenic bacteria. Even in the absence of clinical infection, such transmission pathways constitute a silent and persistent public health risk with the potential to contribute to the long-term expansion of antimicrobial resistance (Becker et al., 2014; Walther & Perreten, 2007).

In food processing environments, biofilm formation on food-contact and equipment surfaces can act as a persistent source of cross-contamination by reducing the effectiveness of cleaning and sanitation practices, facilitating the reattachment of microorganisms after surface cleaning, and contributing to surface deterioration and metal corrosion that may interfere with thermal processes, thereby indirectly compromising process hygiene, product quality, and shelf stability (Chmielewski & Frank, 2003).

Moreover, in addition to genetic determinants, biofilm-associated growth further complicates antimicrobial susceptibility in CoNS, thereby contributing to limited treatment responsiveness, particularly in chronic, long-term, and recurrent infections (Ryder, Chopra, & O'Neill, 2012).

Importantly, the risks associated with foodborne CoNS extend beyond the food matrix itself and are supported by environmental and clinical observations. The detection of multidrug-resistant and virulence-associated CoNS strains in public drinking water fountains suggests that non-food exposure routes may also contribute to human colonization and infection (Santos et al., 2023).

Alongside advances in modern medical care, increased reliance on implantable medical devices and the expanding population of vulnerable patients have contributed to the growing clinical relevance of CoNS as opportunistic pathogens. This shift has been associated with increased morbidity and mortality attributable

to CoNS infections, particularly among chronically ill and immunocompromised individuals (Azih & Enabulele, 2013; Cantey, Anderson, Kalagiri, & Mallett, 2018; Molina et al., 2013).

From a clinical perspective, CoNS are increasingly implicated in hospital-acquired infections, with species such as *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus capitis* involved in bloodstream infections, urinary tract infections, endocarditis, and device-related sepsis. Their clinical relevance is largely attributed to biofilm formation on indwelling medical devices in combination with multidrug resistance (Del Pozo & Patel, 2009; Schilcher & Horswill, 2020; Wisplinghoff et al., 2004). Premature neonates, low-birth-weight infants, and patients undergoing prolonged hospitalization or invasive procedures are among the populations most affected by CoNS-related infections (Ehlersson, Hellmark, Svartström, Stenmark, & Söderquist, 2017; Rasigade et al., 2012; Vergnano et al., 2011).

Beyond antimicrobial resistance, the detection of toxin-encoding genes in certain foodborne CoNS strains further reinforces their relevance to food safety. In particular, genes associated with staphylococcal enterotoxins have been identified in CoNS isolates recovered from foods. These toxins are characterized by high thermal stability and may retain biological activity even after boiling of milk or conventional cooking of dairy and meat products, thereby posing a potential risk of foodborne intoxication even in the absence of viable bacterial cells (Veras et al., 2008).

Conclusion

Rather than representing sporadic or secondary contaminants, CoNS emerge from this chapter as microorganisms that accompany food production and distribution processes in a consistent and structured manner. Their repeated detection across raw materials, processed foods, and food-contact environments

reflects a capacity to adapt to diverse ecological niches shaped by human activity and food handling practices.

A critical aspect of their relevance lies in persistence rather than acute pathogenicity. The ability of CoNS to remain viable on food-contact surfaces, particularly through biofilm-associated growth, creates conditions that favor repeated contamination events and undermine routine sanitation measures. When coupled with their frequent carriage of antimicrobial resistance determinants, these characteristics position CoNS as contributors to the continuity of resistance within food systems, especially in RTE foods where post-processing contamination cannot be corrected by further heat treatment.

From a public health standpoint, the significance of CoNS does not rest solely on their capacity to cause infection, but on their role at the intersection of food exposure, environmental persistence, and antimicrobial resistance circulation. This role becomes increasingly relevant for populations with heightened susceptibility, including hospitalized patients, neonates, and individuals with compromised immune function.

Taken as a whole, the evidence presented supports a shift in perspective: CoNS should be addressed within food safety frameworks not only as background microflora, but as microorganisms capable of sustaining antimicrobial resistance pathways across the food chain. Strengthening hygiene practices, improving control of biofilm-prone surfaces, and integrating CoNS into surveillance strategies represent pragmatic steps toward reducing their long-term impact on food safety and public health.

References

- Akindolire, M. A., Babalola, O. O., & Ateba, C. N. (2015). Detection of Antibiotic Resistant *Staphylococcus aureus* from Milk: A Public Health Implication. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 10254–10275. <https://doi.org/10.3390/ijerph120910254>
- Arciola, C. R., Baldassarri, L., & Montanaro, L. (2001). Presence of *icaA* and *icaD* genes and slime production in a collection of staphylococcal strains from catheter-associated infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(6), 2151–2156. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.6.2151-2156.2001>
- Azih, A., & Enabulele, I. (2013). Species Distribution and Virulence Factors of Coagulase Negative Staphylococci Isolated From Clinical Samples From the University of Benin Teaching Hospital, Edo State, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(9), 38.
- Barbosa, J., Albano, H., Silva, C. P., & Teixeira, P. (2019). Microbiological contamination of reusable plastic bags for food transportation. *Food Control*, 99, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.041>
- Batista, J. E. C., Ferreira, E. L., Nascimento, D. C. de O., Ventura, R. F., de Oliveira, W. L. M., Leal, N. C., & Lima-Filho, J. V. (2013). Antimicrobial resistance and detection of the *mecA* gene besides enterotoxin-encoding genes among coagulase-negative Staphylococci isolated from clam meat of *Anomalocardia brasiliensis*. *Foodborne Pathogens and Disease*, 10(12), 1044–1049. <https://doi.org/10.1089/fpd.2013.1576>
- Beceiro, A., Tomás, M., & Bou, G. (2013). Antimicrobial Resistance and Virulence: A Successful or Deleterious Association in the Bacterial World? *Clinical Microbiology Reviews*, 26(2), 185–230. <https://doi.org/10.1128/CMR.00059-12>

Becker, K., Both, A., Weißelberg, S., Heilmann, C., & Rohde, H. (2020). Emergence of coagulase-negative staphylococci. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 18(4), 349–366. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1730813>

Becker, K., Heilmann, C., & Peters, G. (2014). Coagulase-Negative Staphylococci. *Clinical Microbiology Reviews*, 27(4), 870–926. <https://doi.org/10.1128/CMR.00109-13>

Benjelloun Touimi, G., Bennani, L., Berrada, S., Moussa, B., & Bennani, B. (2020). Prevalence and antibiotic resistance profiles of Staphylococcus sp. Isolated from food, food contact surfaces and food handlers in a Moroccan hospital kitchen. *Letters in Applied Microbiology*, 70(4), 241–251. <https://doi.org/10.1111/lam.13278>

Bhargava, K., & Zhang, Y. (2014). Characterization of methicillin-resistant coagulase-negative staphylococci (MRCoNS) in retail meat. *Food Microbiology*, 42, 56–60. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.019>

Blaiotta, G., Ercolini, D., Pennacchia, C., Fusco, V., Casaburi, A., Pepe, O., & Villani, F. (2004). PCR detection of staphylococcal enterotoxin genes in Staphylococcus spp. Strains isolated from meat and dairy products. Evidence for new variants of seG and seI in S. aureus AB-8802. *Journal of Applied Microbiology*, 97(4), 719–730. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02349.x>

Bowden, M. G., Visai, L., Longshaw, C. M., Holland, K. T., Speziale, P., & Hook, M. (2002). Is the GehD lipase from Staphylococcus epidermidis a collagen binding adhesin? *The Journal of Biological Chemistry*, 277(45), 43017–43023. <https://doi.org/10.1074/jbc.M207921200>

Cantey, J. B., Anderson, K. R., Kalagiri, R. R., & Mallett, L. H. (2018). Morbidity and mortality of coagulase-negative staphylococcal sepsis in very-low-birth-weight infants. *World*

Journal of Pediatrics: WJP, 14(3), 269–273.
<https://doi.org/10.1007/s12519-018-0145-7>

Ceciliani, F., Audano, M., Addis, M. F., Lecchi, C., Ghaffari, M. H., Albertini, M., ... Bronzo, V. (2021). The untargeted lipidomic profile of quarter milk from dairy cows with subclinical intramammary infection by non-aureus staphylococci. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 10268–10281.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19975>

Chajęcka-Wierzchowska, W., Gajewska, J., Zadernowska, A., Randazzo, C. L., & Caggia, C. (2023). A Comprehensive Study on Antibiotic Resistance among Coagulase-Negative Staphylococci (CoNS) Strains Isolated from Ready-to-Eat Food Served in Bars and Restaurants. *Foods*, 12(3), 514.
<https://doi.org/10.3390/foods12030514>

Chajęcka-Wierzchowska, W., Zadernowska, A., Nalepa, B., Sierpińska, M., & Łaniewska-Trokenheim, Ł. (2015). Coagulase-negative staphylococci (CoNS) isolated from ready-to-eat food of animal origin – Phenotypic and genotypic antibiotic resistance. *Food Microbiology*, 46, 222–226.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.001>

Chmielewski, R. a. N., & Frank, J. F. (2003). Biofilm Formation and Control in Food Processing Facilities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 22–32. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00012.x>

Cho, G.-S., Li, B., Brinks, E., & Franz, C. M. A. P. (2022). Characterization of antibiotic-resistant, coagulase-negative staphylococci from fresh produce and description of *Staphylococcus shinii* sp. Nov. Isolated from chives. *Journal of Microbiology*, 60(9), 877–889. <https://doi.org/10.1007/s12275-022-2100-5>

Cunha, M. de L. R. de S. da, Peresi, E., Calsolari, R. A. O., & Araújo Júnior, J. P. (2006). Detection of enterotoxins genes in coagulase-negative staphylococci isolated from foods. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37, 70–74. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000100013>

De Buck, J., Ha, V., Naushad, S., Nobrega, D. B., Luby, C., Middleton, J. R., ... Barkema, H. W. (2021). Non-aureus Staphylococci and Bovine Udder Health: Current Understanding and Knowledge Gaps. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 658031. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.658031>

Del Pozo, J. L., & Patel, R. (2009). Clinical practice. Infection associated with prosthetic joints. *The New England Journal of Medicine*, 361(8), 787–794. <https://doi.org/10.1056/NEJMc0905029>

Do Carmo, L. S., Cummings, C., Roberto Linardi, V., Souza Dias, R., Maria De Souza, J., De Sena, M. J., ... Jett, M. (2004). A Case Study of a Massive Staphylococcal Food Poisoning Incident. *Foodborne Pathogens and Disease*, 1(4), 241–246. <https://doi.org/10.1089/fpd.2004.1.241>

Ehlersson, G., Hellmark, B., Svartström, O., Stenmark, B., & Söderquist, B. (2017). Phenotypic characterisation of coagulase-negative staphylococci isolated from blood cultures in newborn infants, with a special focus on *Staphylococcus capitis*. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway: 1992)*, 106(10), 1576–1582. <https://doi.org/10.1111/apa.13950>

Fijałkowski, K., Peitler, D., & Karakulska, J. (2016). Staphylococci isolated from ready-to-eat meat – Identification, antibiotic resistance and toxin gene profile. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.001>

Fluit, A. C., Visser, M. R., & Schmitz, F. J. (2001). Molecular detection of antimicrobial resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 14(4), 836–871, table of contents. <https://doi.org/10.1128/CMR.14.4.836-871.2001>

Fowoyo, P. T., & Ogunbanwo, S. T. (2016). Virulence and toxigenicity of coagulase-negative staphylococci in Nigerian traditional fermented foods. *Canadian Journal of Microbiology*, 62(7), 572–578. <https://doi.org/10.1139/cjm-2015-0752>

França, A., Gaio, V., Lopes, N., & Melo, L. D. R. (2021). Virulence Factors in Coagulase-Negative Staphylococci. *Pathogens*, 10(2), 170. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020170>

Francisco, M. S., Rossi, C. C., Brito, M. A. V. P., Laport, M. S., Barros, E. M., & Giambiagi-deMarval, M. (2021). Characterization of biofilms and antimicrobial resistance of coagulase-negative *Staphylococcus* species involved with subclinical mastitis. *Journal of Dairy Research*, 88(2), 179–184. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000285>

Gao, J., Ferreri, M., Yu, F., Liu, X., Chen, L., Su, J., & Han, B. (2012). Molecular types and antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* isolates from bovine mastitis in a single herd in China. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*, 192(3), 550–552. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.08.030>

Getahun, Y. A., Abey, S. L., Beyene, A. M., Belete, M. A., & Tessema, T. S. (2024). Coagulase-negative staphylococci from bovine milk: Antibigram profiles and virulent gene detection. *BMC Microbiology*, 24(1), 263. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03415-0>

Götz, F., Bannerman, T., & Schleifer, K.-H. (2006). The Genera *Staphylococcus* and *Micrococcus*. *The Prokaryotes*, 5–75. https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3_1

Habib, I., Lakshmi, G. B., Mohamed, M.-Y. I., Ghazawi, A., Khan, M., Al-Rifai, R. H., Abdalla, A., Anes, F., Elbediwi, M., Khalifa, H. O., & Senok, A. (2024). Staphylococcus spp. in Salad Vegetables: Biodiversity, Antimicrobial Resistance, and First Identification of Methicillin-Resistant Strains in the United Arab Emirates Food Supply. *Foods*, 13(15), 2439. <https://doi.org/10.3390/foods13152439>

Heilmann, C., Ziebuhr, W., & Becker, K. (2019). Are coagulase-negative staphylococci virulent? *Clinical Microbiology and Infection*, 25(9), 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2018.11.012>

Henwood, C. J., Livermore, D. M., Johnson, A. P., James, D., Warner, M., & Gardiner, A. (2000). Susceptibility of gram-positive cocci from 25 UK hospitals to antimicrobial agents including linezolid. The Linezolid Study Group. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 46(6), 931–940. <https://doi.org/10.1093/jac/46.6.931>

Ho, C. S., Wong, C. T. H., Aung, T. T., Lakshminarayanan, R., Mehta, J. S., Rauz, S., McNally, A., Kintses, B., Peacock, S. J., de la Fuente-Nunez, C., Hancock, R. E. W., & Ting, D. S. J. (2025). Antimicrobial resistance: A concise update. *The Lancet Microbe*, 6(1), 100947. <https://doi.org/10.1016/j.lanmic.2024.07.010>

Iyer, A. P., Baghallab, I., Albaik, M., & Kumosani, T. (2014). Nosocomial Infections in Saudi Arabia Caused by Methicillin Resistance Staphylococcus aureus (MRSA). *Clinical Microbiology: Open Access*, 03(03). <https://doi.org/10.4172/2327-5073.1000146>

Kahraman Yilmaz, D., & Berik, N. (2025). Phenotypic and Genotypic Antibiotic Resistance of Bacteria Isolated from Ready-to-eat Salted Seafood. *Aquatic Sciences and Engineering*, 40(1), 9–17. <https://doi.org/10.26650/ASE20241589821>

Katayama, Y., Ito, T., & Hiramatsu, K. (2000). A New Class of Genetic Element, Staphylococcus Cassette Chromosome mec, Encodes Methicillin Resistance in Staphylococcus aureus. <https://doi.org/10.1128/aac.44.6.1549-1555.2000>

Lade, H., & Kim, J.-S. (2023). Molecular Determinants of β -Lactam Resistance in Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA): An Updated Review. *Antibiotics*, 12(9), 1362. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12091362>

Lee, Y. J., & Lee, Y. J. (2022). Characterization of Biofilm Producing Coagulase-Negative Staphylococci Isolated from Bulk Tank Milk. *Veterinary Sciences*, 9(8), 430. <https://doi.org/10.3390/vetsci9080430>

MacFadyen, A. C., Leroy, S., Harrison, E. M., Parkhill, J., Holmes, M. A., & Paterson, G. K. (2019). Staphylococcus pseudoxylosus sp. Nov., isolated from bovine mastitis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(8), 2208–2213. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003416>

Madhusoodanan, J., Seo, K.S., Remortel, B.G., Park, J.Y., Hwang, S.Y., Fox, L., Park, Y.H., Deobald, C.F., Wang, D., Liu, S., Daugherty, S.C., Gill, A.L., Bohach, G.A., & Gill, S.R. (2011). (2011). An Enterotoxin-Bearing Pathogenicity Island in Staphylococcus epidermidis. *Journal of Bacteriology*, 193(8), 1854–1862. <https://doi.org/10.1128/jb.00162-10>

Mahato, S., Mistry, H. U., Chakraborty, S., Sharma, P., Saravanan, R., & Bhandari, V. (2017). Identification of Variable Traits among the Methicillin Resistant and Sensitive Coagulase Negative Staphylococci in Milk Samples from Mastitic Cows in India. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01446>

Molina, J., Peñuela, I., Lepe, J. A., Gutiérrez-Pizarra, A., Gómez, M. J., García-Cabrera, E., Cordero, E., Aznar, J., & Pachón, J. (2013). Mortality and hospital stay related to coagulase-negative *Staphylococci* bacteremia in non-critical patients. *Journal of Infection*, 66(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2012.10.021>

Muş, T. E., Çetinkaya, F., Soyutemiz, G. E., & Erten, B. (2023). Toxigenic Genes of Coagulase-negative *Staphylococci* and *Staphylococcus aureus* from Milk and Dairy. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(4), 924–932. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1181043>

Okoli, C. E., Njoga, E. O., Enem, S. I., Godwin, E. E., Nwanta, J. A., & Chah, K. F. (2018). Prevalence, toxigenic potential and antimicrobial susceptibility profile of *Staphylococcus* isolated from ready-to-eat meats. *Veterinary World*, 11(9), 1214–1221. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1214-1221>

Otto, M. (2009). *Staphylococcus epidermidis*—The “accidental” pathogen. *Nature Reviews Microbiology*, 7(8), 555–567. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2182>

Otto, M. (2013). Coagulase-negative staphylococci as reservoirs of genes facilitating MRSA infection. *BioEssays*, 35(1), 4–11. <https://doi.org/10.1002/bies.201200112>

Piette, A., & Verschraegen, G. (2009). Role of coagulase-negative staphylococci in human disease. *Veterinary Microbiology*, 134(1–2), 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.09.009>

Pinheiro, L., Brito, C. I., De Oliveira, A., Martins, P. Y. F., Pereira, V. C., & Da Cunha, M. D. L. R. de S. (2015). *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus haemolyticus*: Molecular Detection of Cytotoxin and Enterotoxin Genes. *Toxins*, 7(9), 3688–3699. <https://doi.org/10.3390/toxins7093688>

Podkowik, M., Bystroń, J., & Bania, J. (2012). Genotypes, Antibiotic Resistance, and Virulence Factors of Staphylococci from Ready-to-Eat Food. *Foodborne Pathogens and Disease*, 9(1), 91–93. <https://doi.org/10.1089/fpd.2011.0962>

Prajapati, A. K. (2025). *Bacterial Enemies of Human Health*. Cambridge Scholars Publishing.

Pyzik, E., Marek, A., Stępień-Pyśniak, D., Urban-Chmiel, R., Jarosz, Ł. S., & Jagiełło-Podębska, I. (2019). Detection of Antibiotic Resistance and Classical Enterotoxin Genes in Coagulase -negative Staphylococci Isolated from Poultry in Poland. *Journal of Veterinary Research*, 63(2), 183–190. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0023>

Rasigade, J. P., Raulin, O., Picaud, J. C., Tellini, C., Bes, M., Grando, J., ... & Laurent, F. (2012). Methicillin-resistant *Staphylococcus capitis* with reduced vancomycin susceptibility causes late-onset sepsis in intensive care neonates. *PloS One*, 7(2), e31548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031548>

Regecová, I., Pipová, M., Jevinová, P., Marušková, K., Kmet', V., & Popelka, P. (2014). Species identification and antimicrobial resistance of coagulase-negative staphylococci isolated from the meat of sea fish. *Journal of Food Science*, 79(5), M898-902. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12429>

Ribeiro, A. C., Tavares Alves, D., Campos, G. Z., da Costa, T. G., Dora Gombossy de Melo Franco, B., Almeida, F. A. de, & Pinto, U. M. (2025). Clarifying the Dual Role of *Staphylococcus* spp. In Cheese Production. *Foods*, 14(22), 3823. <https://doi.org/10.3390/foods14223823>

Rosenstein, R., & Götz, F. (2012). What Distinguishes Highly Pathogenic Staphylococci from Medium- and Non-pathogenic? In U. Dobrindt, J. H. Hacker, & C. Svanborg (Eds.),

Between Pathogenicity and Commensalism (pp. 33–89). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/82_2012_286

Ruiz, P., Barragán, I., Seseña, S., & Palop, M. L. (2016). Is staphylococci population from milk of healthy goats safe? *International Journal of Food Microbiology*, 238, 146–152.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.033>

Ruppé, E., Barbier, F., Mesli, Y., Maiga, A., Cojocar, R., Benkhalfat, M., Benchouk, S., Hassaine, H., Maiga, I., Diallo, A., Koumaré, A. K., Ouattara, K., Soumaré, S., Dufourcq, J. B., Nareth, C., Sarthou, J. L., Andremon, A., & Ruimy, R. (2009). Diversity of staphylococcal cassette chromosome mec structures in methicillin-resistant *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus haemolyticus* strains among outpatients from four countries. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 53(2), 442–449.
<https://doi.org/10.1128/AAC.00724-08>

Ryder, V. J., Chopra, I., & O'Neill, A. J. (2012). Increased Mutability of Staphylococci in Biofilms as a Consequence of Oxidative Stress. *PLoS ONE*, 7(10), e47695.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047695>

Sánchez Mainar, M., Stavropoulou, D. A., & Leroy, F. (2017). Exploring the metabolic heterogeneity of coagulase-negative staphylococci to improve the quality and safety of fermented meats: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 24–37.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.021>

Santos, G. A. C., Dropa, M., Martone-Rocha, S., Peternella, F. A. S., Veiga, D. P. B., & Razzolini, M. T. P. (2023). Microbiological monitoring of coagulase-negative *Staphylococcus* in public drinking water fountains: Pathogenicity factors, antimicrobial resistance and potential health risks. *Journal of Water and Health*, 21(3), 361–371. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.274>

Schilcher, K., & Horswill, A. R. (2020). Staphylococcal Biofilm Development: Structure, Regulation, and Treatment Strategies. *Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR*, 84(3), e00026-19. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00026-19>

Shoaib, M., Xu, J., Meng, X., Wu, Z., Hou, X., He, Z., ... Pu, W. (2023). Molecular epidemiology and characterization of antimicrobial-resistant *Staphylococcus haemolyticus* strains isolated from dairy cattle milk in Northwest, China. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1183390>

Stewart, G. C. (2022). *Staphylococcus*. In *Veterinary Microbiology* (pp. 231–239). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119650836.ch25>

Udo, E. E., Al-Bustan, M. A., Jacob, L. E., & Chugh, T. D. (1999). Enterotoxin production by coagulase-negative staphylococci in restaurant workers from Kuwait City may be a potential cause of food poisoning. *Journal of Medical Microbiology*, 48(9), 819–823. <https://doi.org/10.1099/00222615-48-9-819>

Valero, A., Rodríguez, M. Y., Posada-Izquierdo, G. D., Pérez-Rodríguez, F., Carrasco, E., & García-Gimeno, R. M. (2016). Risk Factors Influencing Microbial Contamination in Food Service Centers | IntechOpen. Retrieved December 16, 2025, from <https://www.intechopen.com/chapters/50077>

Vandenesch, F., Lebeau, C., Bes, M., McDEVITT, D., Greenland, T., NOVICK, N., & ETIENNE, J. (1994). Coagulase deficiency in clinical isolates of *Staphylococcus aureus* involves both transcriptional and post-transcriptional defects. *J. Med. Microbiol.*, 5(Vol. 40), 344–349.

Vautor, E., Abadie, G., Pont, A., & Thiery, R. (2008). Evaluation of the presence of the *bap* gene in *Staphylococcus aureus*

isolates recovered from human and animals species. *Veterinary Microbiology*, 127(3), 407–411. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.08.018>

Veras, J. F., do Carmo, L. S., Tong, L. C., Shupp, J. W., Cummings, C., Dos Santos, D. A., Cerqueira, M. M., Cantini, A., Nicoli, J. R., & Jett, M. (2008). A study of the enterotoxigenicity of coagulase-negative and coagulase-positive staphylococcal isolates from food poisoning outbreaks in Minas Gerais, Brazil. *International Journal of Infectious Diseases*, 12(4), 410–415. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2007.09.018>

Vergnano, S., Menson, E., Kennea, N., Embleton, N., Russell, A. B., Watts, T., Robinson, M. J., Collinson, A., & Heath, P. T. (2011). Neonatal infections in England: The NeonIN surveillance network. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 96(1), F9–F14. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.178798>

Von Eiff, C., Peters, G., & Heilmann, C. (2002). Pathogenesis of infections due to coagulase-negative staphylococci. *The Lancet. Infectious Diseases*, 2(11), 677–685. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(02\)00438-3](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(02)00438-3)

Walther, C., & Perreten, V. (2007). Letter to the Editor: Methicillin-Resistant *Staphylococcus epidermidis* in Organic Milk Production. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5351. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0547>

Wang, X.-M., Noble, L., Kreiswirth, B. N., Eisner, W., McClements, W., Jansen, K. U., & Anderson, A. S. (2003). Evaluation of a multilocus sequence typing system for *Staphylococcus epidermidis*. *Journal of Medical Microbiology*, 52(Pt 11), 989–998. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.05360-0>

Wisplinghoff, H., Bischoff, T., Tallent, S. M., Seifert, H., Wenzel, R. P., & Edmond, M. B. (2004). Nosocomial bloodstream

infections in US hospitals: Analysis of 24,179 cases from a prospective nationwide surveillance study. *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 39(3), 309–317. <https://doi.org/10.1086/421946>

Wolska-Gębarzewska, M., Miğdzobrodzki, J., & Kosecka-Strojek, M. (2024). Current types of staphylococcal cassette chromosome mec (SCCmec) in clinically relevant coagulase-negative staphylococcal (CoNS) species. *Critical Reviews in Microbiology*, 50(6), 1020–1036. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2023.2274841>

Yang, S., Li, X., Cang, W., Mu, D., Ji, S., An, Y., Wu, R., & Wu, J. (2023). Biofilm tolerance, resistance and infections increasing threat of public health. *Microbial Cell*, 10(11), 233–247. <https://doi.org/10.15698/mic2023.11.807>

BÖLÜM 5

YAĞ PALMİYESİNİN SU TÜKETİMİ VE PALM YAĞININ GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ

TÜLAY ELAL MUŞ¹
EZGİ KURTULMUŞ²

Giriş

Küresel yenilebilir yağ ve endüstriyel yağ pazarının kritik bir bileşeni olan palmiye yağı *Elaeis guineensis* ağacından elde edilmektedir. Palm yağı, zengin yağ asidi bileşimi ve antioksidan özellikleri sayesinde insan sağlığı üzerine çeşitli faydalar sunarken, üretimi önemli çevresel zorluklar doğurmaktadır (Alhaji ve ark., 2024). Yağ palmiyesi yetiştiriciliğinde ideal verim elde etmek için, tarımsal yönetim uygulamalarının ürün ekim sahasının tarımsal ekolojik koşullarına göre planlanması ve yürütülmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yağ palmiyesi yetiştiricileri genellikle sınırlı veriye dayanarak kararlar almak zorunda kalmaktadır. Su yönetimi yağ palmiyesi hasadının kritik bir unsurudur (Culman ve ark., 2019). Yağ palmiyesi sadece gıda endüstrisi hammaddesi olarak değil, aynı zamanda hayvan yemi, çeşitli kozmetik ürün bileşeni ve biyo yakıt

¹ Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Orcid: 0000-0002-3943-0097

² Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Orcid: 0000-0003-2535-2566

olarak da değerlendirilmektedir. Ayrıca, yağ palmyesinin meyve başına verimi yüksektir ve bu ürünün yönetimi diğer tarımsal ürünlere göre kolaydır. Bundan dolayı her on yılda bir palm yağı üretimi iki katına çıkmaktadır (Khatun ve ark., 2017). Bitkisel yağ pazarının en önemli ürünü olan palm yağı endüstrisinde sürdürülebilirliği desteklemek, tedarik zincir ve gıda güvenliğine katkı sağlamak için kurulan Sürdürülebilir Palm Yağı Yuvarlak Masası sertifikası programı ile üretimde verim artmış ve karbondioksit emisyonu da azalmıştır (Karacan ve ark., 2021). Yağ asitleri, karotenoidler, E vitamini ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşenleri bulunan palm yağı, gıda endüstrisinde yaygın olarak birçok gıdanın üretiminde kullanılmakta ve insanlar gıdalar yoluyla bu ürünü fazla miktarda tüketmektedir (Sulaiman ve ark., 2022).

Bu bölümün amacı, yağ palmyesinin su tüketimini ve palm yağının gıda endüstrisindeki yerini çok yönlü olarak ortaya koymak; bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen temel bilgileri özetlemektir. Devam eden kısımlarda yağ palmyesi yetiştiriciliği ve sulaması, palm yağı üretiminin su ayak izi, palm yağı üretiminde sürdürülebilirlik ve gıda endüstrisinde palm yağı kullanımı konuları ayrıntılı şekilde değerlendirilecektir. Son olarak, her yıl artarak üretimi gerçekleştirilen palm yağının ve yetiştiriciliğinin gelecekte de günümüzdeki popülerliğini sürdürebilmesi için öneriler sunulacaktır.

Yağ Palmyesi Yetiştiriciliği

Bilimsel olarak yağ palmyesi ağacı, *Elaeis guineensis* olarak bilinir, genellikle Afrika yağ palmyesi olarak adlandırılmakta ve botanik kökenini hindistan cevizi ve hurma ağaçlarıyla paylaşan Arecaceae ailesinden almaktadır. Palmye ağacının meyvesi yağ palmyesi meyvesidir ve bu meyve sıkı, dikenli salkımlardan oluşan bir drupadır. Her meyve, dış kabuk (ekzokarp), etli hamur (mezokarp), koruyucu kabuk (endokarp) ve iç çekirdek (endosperm)

olarak dört farklı katmandan oluşmaktadır. Yağ palmyesi meyvesinin mezokarp katmanından elde edilen yağa palm yağı, endosperm katmanından elde edilen yağa çekirdek (kernel) yağı adı verilmektedir. Yağ palmyesi ağacının kökeni Afrika kıtası olmasına karşın günümüzde birçok ülkede yaygın olarak yetiştirilmektedir (Alhaji ve ark., 2024). Yağ palmyesinin birçok ağaç bitkisi yetiştiriciliğinde olduğu gibi, çimlenmeden çiçeklenmeye kadar 3 ile 5 yıl arasında süren uzun bir gençlik evresi bulunmaktadır. Modern çeşitler, fide dikiminden yaklaşık 2 yıl sonra çiçek açmaya başlamaktadır. Erken olgunlaşma için gen seleksiyonu yapılmış olsa da, erken olgunlaşmanın altında yatan yatan genetik yapı henüz tam olarak netleşmemiştir. Yağ palmyesi, her bir yaprak altında oluşan ayrı erkek ve dişi çiçek salkımları (monoik) üretmektedir (Forster ve ark., 2017). Afrika yağ palmyesinin yıllık hektar başında 3-4 ton mezokarp yağı verimi bulunmaktadır. Bu verim düzeyi yağ palmyesini en yüksek verimli yağ bitkisi yapmaktadır. Ayrıca yağ palmyesinin yıllık hektar başına ortalama 0,5 ton %47 yağ içeriğine sahip çekirdek üretimi bulunmaktadır. Bazı deneysel araştırmalarda palm yağı verimi hektar başına yıllık 12 tona çıkabilmektedir. Fakat yetiştiriciler araştırma verilerine yakın bir verimlilik seviyesine henüz ulaşamamıştır (Rivas ve ark., 2012).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, palmye yağı dünya çapındaki bitkisel yağ üretiminin yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır ve bu da palm yağını küresel olarak en yaygın üretilen ve ticareti yapılan bitkisel yağ yapmaktadır. Palmye yağı endüstrisinin birçok ülkenin gayrisafi yurtiçi hasıla geliri üzerindeki rolü, sağladığı ekonomik faydalardan kaynaklanmaktadır. Bu avantajlar istihdamda artış, gelir sağlama ve genel ekonomik büyümeye katkı sağlayan döviz geliri getirmesi gibi çeşitlendirilebilmektedir (Kipli ve ark., 2023). Dünya çapında birçok ülkede palm yağı üretimi yapılmaktadır. Bu ülkelere ilişkin üretim verileri Tablo 1'de sunulmuştur. Dünyada en yüksek palm yağı

üretimi gerçekleştiren ülke Endonezya'dır ve onu Malezya, Tayland ve Kolombiya sırasıyla izlemektedir.

Tablo 1 Dünya palm yağı üretim verileri (kg/ha)

Ülkeler	Üretim Yılı	
	2021	2022
Angola	59.000	61.000
Benin	92.000	96.000
Brazil	579.158	587.108
Burundi	17.558	17.697
Kamboçya	95.000	97.000
Kamerun	310.000	330.000
Çin	113.131	113.185
Kolombiya	1.747.773	1.767.624
Kongo	28.303	28.216
Kostarika	267.258	282.268
Fildişi Sahili	601.290	561.000
Ekvator	448.434	437.192
Gabon	107.336	147.839
Gana	277.986	269.019
Guatemala	800.000	940.000
Honduras	650.000	650.000
Endonezya	49.710.345	46.820.000
Malezya	18.116.354	18.453.420
Meksika	320.100	357.600
Nijerya	1.350.000	1.420.000
Papua yeni Gine	765.000	810.000
Peru	270.000	280.000
Tayland	2.940.000	3.240.000
Venezuela	115.900	112.100

Kaynak: FAOSTAT, 2025

Palm ağacından elde edilen diğer bir bitkisel yağ türü ise çekirdek yağıdır (kernel oil). Palm çekirdeği yağının dünyada üretimine ilişkin veriler Tablo 2'de sunulmuştur. Palm yağı üretiminde olduğu gibi çekirdek yağında da Endonezya ve Malezya en yüksek üretim kapasitesine ulaşmış ülkelerdir.

Tablo 2 Dünya palm çekirdeği (kernel) yağı üretim verileri (kg/ha)

Ülkeler	Üretim Yılı	
	2021	2022
Angola	10.300	10.600
Benin	11.300	12.100
Brazil	71.700	73.500
Kamerun	34.900	36.500
Çin	16.286	17.730
Kolombiya	118.850	122.638
Fildişi Sahili	59.800	58.900
Gana	60.800	61.600
Guatemala	85.100	90.500
Honduras	68.900	69.300
Endonezya	4.653.100	4.835.200
Malezya	2.049.435	2.096.913
Nijerya	150.900	163.300
Papua yeni Gine	72.700	77.000
Peru	21.100	21.900
Tayland	282.300	295.600
Venezuela	10.620	10.265

Kaynak: FAOSTAT, 2025

Yağ palmyesi endüstrisi, üretim alanlarında yaprak, gövde gibi ve yağ palmyesi fabrikalarından boş meyve salkımı, palmye pres lifi, meyve posası, palmye çekirdeği posası, kabuklar ve palmye yağı atıkları başta olmak üzere çeşitli organik atıklar ortaya çıkmaktadır. Malezya'da bulunan 20 palm yağı üretim tesisi, palm yağı ekstraksiyon sürecinde yaklaşık 1,0 ton ham palm yağı üretmek için 5,5 ton taze meyve salkımına ihtiyaç duymaktadır. Bu süreçte meydana gelen atıkların %2'si boş meyve salkımı, %24'ü lif, %6'sı kabuk, %3'ü meyve posası, kabuk yağ atıklarıdır (Gandahi ve Hanafi, 2014). Yüksek miktarlara ulaşan palm yağı endüstrisi atıkları, kompostlama, hamurlaştırma, kompozit üretimi, mantar yetiştiriciliği ve biyoyakıt üretiminde kullanılarak atıklar üzerinden katma değer sağlanmaktadır (Awoh ve ark., 2023).

Yağ Palmiyesi Sulaması

Palmiye ağaçları sıcak ve nemli tropikal ortamlarda yetişmektedir. Bu nedenle geniş yaprak alanına ihtiyaç duymakta ve su kullanımı yüksek olmaktadır. Kurak dönemlerde yaygın karşılaşılan toprağın neminin azalması ve buhar basıncı açığının artması sonucu palmiye ağaçları olumsuz etkilenmektedir. El-Nino Güney Salınımı (ENSO) dünyanın çeşitli yerlerinde iklim koşulları üzerine etkili doğal bir olaydır. ENSO palmiye terlemesi üzerinde kuraklığa neden olmaktadır ve sulama ile önemli ölçüde hafifletilmektedir. Buhar basıncı açığı fotosentetik olarak aktif radyasyona kıyasla palmiye terlemesini düzenlemede önemli ölçüde daha güçlü bir etkiye sahiptir. Damla sulama sistemleri özellikle yaprak sınırlarını etkilemeden toprak su mevcudiyetini artırması nedeniyle, buhar basıncı açığı toleransını artırmada daha etkili olmaktadır (Brum ve ark., 2021). Yağ palmiyesi plantasyonlarında yıllık sulama ihtiyacının yaklaşık 2543 mm ile 3865 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Piritli topraklarda yağ palmiyesi yetiştirildiğinde de benzer şekilde yüksek hacimlerde suya ihtiyaç duyulması muhtemeldir. Bu nedenle, yağ palmiyesi plantasyonları marjinal topraklara doğru genişlemeye devam ettikçe, sulama suyu ihtiyacı artmaktadır (Akram ve ark., 2022).

Yağ palmiyelerinin sulanması ile sulanmayan palmiyelerden %56 daha fazla verim elde edilebilmektedir. Damla sulama sistemi, sınırlı su kaynaklarına sahip ancak yeterli besin girdisi olan alanları sulamak için uygun olmaktadır. Ancak, su kısıtlaması olmayan bölgelerde karık sulama sisteminin tercih edilmesi daha uygun olmaktadır. Sulamanın yağ palmiyesi verimini 5-6 ton/ha artırabilmektedir. Bu ekonomik olarak kabul edilebilir düzeydir. Bir yağ palmiyesi plantasyonunu sulamak için büyük bir su kaynağı gerekmektedir. Bununla birlikte, toprağa nüfuz eden suyu korumak, sınırlı su temini, elverişsiz araziler ve lojistik sorunlarını çözmek için

su yönetimindeki en pratik yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Afandi ve ark., 2022).

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte akıllı sulama sistemleri ile toprak koşulları izlenebilmekte, uygun su ve gübre kullanımı için sulama seviyesi kontrol edilebilmekte ve böylece 1,5 hektardan büyük arazilerdeki yağ palmyesi plantasyonlarında yüksek ekonomik performans sağlanabilmektedir (Chalvantharan ve ark., 2023).

Palm Yağı Üretiminin Su Ayak izi

Dünyada yağ palmyesi plantasyon alanlarının genişlemesi, değirmenlerin, rafinerilerin ve biyodizel üretim tesislerinin üretim kapasitesinde de artışa yol açmıştır. Bu faaliyetler için daha yüksek hacimlerde tatlı suya ihtiyaç duyulmaktadır. Gıda ve alternatif enerji pazarlarını desteklemek için palm yağı endüstrisi için bir su yönetimi planı geliştirmek amacıyla, doğrudan ve dolaylı su kullanımı yeşil, mavi ve gri su olmak üzere yağ palmyesi su ayak izinin hesaplanması önem taşımaktadır. Tayland'da yetişen taze meyve salkımlarının ortalama su ayak izi $1063 \text{ m}^3/\text{t}$ olarak bulunmuştur ve yeşil, mavi gri sular toplam su ayak izinin sırasıyla %68, %18 ve %14'ünü oluşturmaktadır. Tayland'da bulunan 7 palm yağı üretim tesisi bir ton ham palm yağı eldesi için ortalama 5083 m^3 su ayak izi bırakmaktadır. 2013 yılında Tayland'da ham palm yağı üretimi için 11343 milyon m^3 doğrudan ve dolaylı suya ihtiyaç duyulmaktaydı (Suttayakul ve ark., 2016). Endonezya'nın kuzey Sumatera bölgesinde yetişen yağ palmyelerinde taze meyve salkımı üretiminin su ayak izi $510,69 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ve ham palm yağı üretiminin ise $517,79 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ düzeyindedir. Endonezya yağ palmyesi yetiştiriciliğinde yeşil su kaynaklarının kullanımı %90'ın üzerindedir. Diğer taraftan, gübre, pestisit ve herbisitlerin kirliliğinin seyreltmesi için tüketilen gri su seviyesi yüksek bulunmuştur (Santosa ve ark., 2018).

Akıllı sulama sistemlerinin yağ palmyesi yetiştiriciliğinde faydalanılabilecek uygun bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Bu sistemle, bir plantasyonda optimum nem koşullarını sağlamak için akıllı sulama yapılmakta ve böylece su ayak izi ve maliyetlerde önemli bir azalma sağlanmaktadır (Chalvantharan ve ark., 2023).

Toprak tipi de yağ palmyelerinin su ayak izi üzerine etkili diğer bir faktördür. Buharlaştırma-terleme değerleri karşılaştırıldığında, spodosol ve inceptisolün 1242 mm/yıl ile benzerlik gösterdiği fakat ultisolün 1239 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca toprak tipinin yağ palmyesinin toplam su ayak izini önemli ölçüde değiştirdiği belirlenmiştir. Su Ayak izi en yüksek miktarda ultisol toprak tipi için 1310,04 m³/ton-1 olarak bulunmuştur. Yağ palmyesi yetiştiriciliğinde daha yüksek üretim, daha düşük su ayak izine yol açmıştır (Safitri ve ark., 2022).

Palm Yağı Üretiminde Sürdürülebilirlik

Sertifikasyon, bir üçüncü tarafın, tedarik zinciri boyunca bir ürün, süreç veya hizmetin belirli standartlara uygun olduğunu yazılı olarak güvence altına aldığı bir prosedür olarak tanımlanmaktadır. Palm yağı üretim plantasyonları veya işleme tesisleri bağlamında sürdürülebilirlik sertifikasyonu, palm yağının sürdürülebilir bir şekilde üretildiği ve olumsuz çevresel ve sosyal etkileri en aza indirmek için gerekli önlemlerin alındığı anlamına gelmektedir (Abdul Majid ve ark., 2021).

2004 yılında palm yağı üretim süreci için Sürdürülebilir Palm Yağı Yuvarlak Masa Toplantısı sertifikasyon programı kurulmuştur. Ardından bu sertifikasyon sürecine palm yağının sürdürülebilir üretimini sağlamak için diğer hükümet dışı girişimler katılmıştı. Dünyanın en büyük üreticileri olan Endonezya 2011 yılında Endonezya Sürdürülebilir Palm Yağı (ISPO) ve Malezya ise 2015 yılında Malezya Sürdürülebilir Palm Yağı (MSPO) kuruluşlarını faaliyete geçirmişlerdir (Abdul Majid ve ark., 2021). Günümüzde

başta Sürdürülebilir Palmiye Yağı Yuvarlak Masa Toplantısı (RSPO), MSPO ve ISPO olmak üzere farklı sürdürülebilirlik sertifikasyonu yapan kurumlar bulunmaktadır. (Shahimi ve ark., 2023). Sertifikasyon programlarının uygulanmasında, kabul görme, küçük ölçekli çiftçilerin katılımındaki yetersizlik ve üretim maliyetlerinde artış gibi zorluklarla ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, iyi tarım uygulamalarının benimsenmesi ile yağ palmiyelerinin verimliliği arttırabilmektedir. Bu sorunların üstesinden gelmek, teşviklerin arttırılması ve insan sermayesi gerektirmektedir. Böylece sektör sürdürülebilir palm yağı üretimine doğru yönlendirilebilir ve palm yağının markalaşması desteklenebilmektedir (Rahami, 2024).

Gıda Endüstrisinde Palm Yağı Kullanımı

Palm yağı, yüzyıllardır insanlar tarafından gıda ve ilaç olarak tüketilmektedir. Yağ palmyesi ağacının meyvesinden elde edilen ham palmiye yağı palmitik asit, β -karoten ve E vitamini açısından zengindir. Gıdalarda kullanımını çeşitlendirmek amacıyla ham palm yağı, sıvı palm oleini ve katı palm stearinine ayrıştırılmaktadır. Palm yağı, özellikle β -karoten ve tokotrienolün sinerjik aktivitesinden dolayı kızartma işlemi sırasında stabil kalabilmekte ve gıda endüstrisinde bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Palm yağı gibi doğal stabil yağların ve palm yağı ile birlikte farklı yağların birleştirilerek kullanılması ile yağlardan maksimum fayda sağlanabilmektedir (Mba ve ark., 2015).

Şekerleme üretiminde palm ve palm çekirdeği yağları benzersiz özellikleri sayesinde ideal hammaddeler arasına girmiştir. Bu yağlar daha fazla şekerleme ürünüde kullanılabilir için palm oleini ve stearinine modifiye edilmektedir. Böylece tablet ve sürülebilir çikolataların üretiminde yaygın kullanımları söz konusudur (Norazura ve Noor Lida, 2017).

Palm ve palm çekirdeği yağları margarin ve diğer katı yağlarda, mayonez, salata soslarında, süt içermeyen dondurma,

yoğurt, peynir, sıvı krema gibi ürünlerde ve filled süt (bitkisel yağlı süt) üretiminde ve bebek mamalarında da geniş kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca, hayvansal yağ ikamesi olarak nugget, sosis ve hamburger gibi işlenmiş et ürünlerinin üretiminde de önemli bir bileşen haline gelmiştir. E vitamini ve karotenler gibi palm yağı bazlı gıda takviyelerinin de uzun süredir ticari satışı bulunmaktadır (Dian ve ark., 2017).

Palm yağı, diğer birçok bitkisel yağa oranla yüksek miktarda doymuş yağ asitlerini içermekte ve tüketimi yüksek kan kolesterol seviyeleri ve kardiyovasküler hastalık riskinde artış ile ilişkilendirilmektedir. Fakat, palm yağının triasilgliserol diziliminin kardiyovasküler risk oluşturmadağı ortaya konmuştur. Mevcut in vitro ve in vivo çalışmalardan elde edilen veriler, palm yağına kardiyovasküler hastalık sebebi bir etken olarak tanımlamak için yeterli olmamaktadır. Diğer taraftan, sağlıklı bir diyet için tüketicilerin trans yağ asitlerinden, katı ve yarı katı yağlardan kaçınması gerektiğı hatırlanmalıdır (Urugo ve ark., 2021).

Sonuç

Yağ palmyesi, dünya çapında ticareti yapılan ve bitkisel yağ pazarında yaklaşık %40'lık bir üretim hacmi bulunan çok önemli bir yağ bitkisidir. Tropik bölgelerde yapılan yetiştiricilikte su ihtiyacının düşük olmasına karşın palm yağının işlenmesi ve dağıtım aşamalarında su tüketimi artmaktadır. Diğer taraftan az yağış alan bölgelerde sulama ihtiyacı da artmaktadır. Yağ palmyesi ağacının yüksek katma değerli ürünü olan palm yağı gıdalar yoluyla tüketicilere ulaşmakta ve gıda endüstrisinin en popüler bileşenlerinden biri olmaya devam etmektedir. Sürdürülebilirlik sertifikalı üretime geçilmiş olmasına karşın yağ palmyesi yetiştiriciliğı, iklim değışiklikleri, küresel ısınma, bitki zararlıları ve hastalıklar gibi tehditler olmak üzere birçok zorlukla karşı karşıyadır. Gelecekte iklim değışiklerinin kaçınılmazlığı yağ

palmyesi yetiştiriciliğinin m¼cadele etmek zorunda kalacağı en ¼nemli fakt¼r olarak g¼r¼lmektedir. Genetik ¼alıřmalar ile y¼ksek verimli t¼rler, geliştirilmiş yağ asidi profili, arttırılmış hastalık direnci ve iklimsel dayanıklılığın y¼kseltilmesi yağ palmyesinin geleceği bakımından ¼nem taşımaktadır.

Kaynakça

Abdul Majid, N., Ramli, Z., Md Sum, S., & Awang, A. H. (2021). Sustainable palm oil certification scheme frameworks and impacts: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(6), 3263.

Afandi, A. M. (2022). Oil palm water requirement and the need for irrigation in dry Malaysian areas. *Journal of Oil Palm Research*, 1-15.

Akram, H., Levia, D. F., Herrick, J. E., Lydiasari, H., & Sch¼tze, N. (2022). Water requirements for oil palm grown on marginal lands: A simulation approach. *Agricultural Water Management*, 260, 107292.

Alhaji, A. M., Almeida, E. S., Carneiro, C. R., da Silva, C. A. S., Monteiro, S., & Coimbra, J. S. D. R. (2024). Palm oil (*Elaeis guineensis*): A journey through sustainability, processing, and utilization. *Foods*, 13(17), 2814.

Awoh, E. T., Kiplagat, J., Kimutai, S. K., & Mecha, A. C. (2023). Current trends in palm oil waste management: A comparative review of Cameroon and Malaysia. *Heliyon*, 9(11).

Brum, M., Oliveira, R. S., L¼pez, J. G., Licata, J., Pypker, T., Chia, G. S., ... & Asbjørnsen, H. (2021). Effects of irrigation on oil palm transpiration during ENSO-induced drought in the Brazilian Eastern Amazon. *Agricultural Water Management*, 245, 106569.

Chalvantharan, A., Lim, C. H., & Ng, D. K. (2023). Economic feasibility and water footprint analysis for smart irrigation systems in palm oil industry. *Sustainability*, 15(10), 8069.

Culman, M., de Farias, C. M., Bayona, C., & Cruz, J. D. C. (2019). Using agrometeorological data to assist irrigation management in oil palm crops: A decision support method and results from crop model simulation. *Agricultural Water Management*, 213, 1047-1062.

Dian, N. L. H. M., Hamid, R. A., Kanagaratnam, S., Isa, W. A., Hassim, N. A. M., Ismail, N. H., ... & Sahri, M. M. (2017). Palm oil and palm kernel oil: Versatile ingredients for food applications. *Journal of Oil Palm Research*, 29(4), 487-511.

Forster, B. P., Sitepu, B., Setiawati, U., Kelanaputra, E. S., Nur, F., Rusfiandi, H., ... & Caligari, P. D. (2017). Oil palm (*Elaeis guineensis*). In genetic improvement of tropical crops (pp. 241-290). Cham: Springer International Publishing.

FAOSTAT, 2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> Erişim tarihi: 09.12.2025

Gandahi, A., Hanafi, M. (2014). Bio-composting oil palm waste for improvement of soil fertility. In: Maheshwari, D. (eds) *Composting for Sustainable Agriculture. Sustainable Development and Biodiversity*, vol 3. Springer.

Karacan, E., Yaylacı, A., & Yemişçioğlu, F. (2021). Bitkisel yağ sektörü tedarik zincirinde yeni teknolojilerin kullanımının ve palm yağı tedariki üzerinden RSPO sertifikasyonunun önemi üzerine bir inceleme. *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(2), 119-135.

Khatun, R., Reza, M. I. H., Moniruzzaman, M., & Yaakob, Z. (2017). Sustainable oil palm industry: The possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 608-619.

Kipli, K., Osman, S., Joseph, A., Zen, H., Salleh, D. N. S. D. A., Lit, A., & Chin, K. L. (2023). Deep learning applications for oil palm tree detection and counting. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100241.

Mba, O. I., Dumont, M. J., & Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry—A review. *Food Bioscience*, 10, 26-41.

Norazura Aila, M. H., & Noor Lida, H. M. D. (2017). Usage of palm oil, palm kernel oil and their fractions as confectionery fats. *Journal of Oil Palm Research*, 29, 301-310.

Rahami, M. S. (2024). Palm oil sustainability certification. In *Palm Oil Industry: Plantation and Process Towards Circular Economy* (pp. 5-18). Singapore: Springer Nature Singapore.

Rivas, M., Barbieri, R. L., & Maia, L. C. D. (2012). Plant breeding and in situ utilization of palm trees. *Ciencia Rural*, 42, 261-269.

Safitri, L., Kautsar, V., Suparyanto, T., Hidayat, A. A., & Pardamean, B. (2022, February). Sustainability of the water footprint of various soil types on oil palm plantations. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 998, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

Santosa, E., Stefano, I. M., Tarigan, A. G. G., Wachjar, A., Zaman, S., & Agusta, H. (2018). Tree-based water footprint assessment on established oil palm plantation in North Sumatera, Indonesia. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(1), 111-118.

Shahimi, S., BAM, H. S., & SF, H. (2023). Sustainability practices and financial profitability: the case of the world's top 20 crude palm oil producers. *Sage Open*, 13(4), 21582440231203832.

Sulaiman, N. S., Sintang, M. D., Mantihal, S., Zaini, H. M., Munsu, E., Mamat, H., ... & Pindi, W. (2022). Balancing functional and health benefits of food products formulated with palm oil as oil sources. *Heliyon*, 8(10).

Suttayakul, P., Aran, H., Suksaroj, C., Mungkalasiri, J., Wisansuwannakorn, R., & Musikavong, C. (2016). Water footprints

of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. *Science of the Total Environment*, 542, 521-529.

Urugo, M. M., Teka, T. A., Teshome, P. G., & Tringo, T. T. (2021). Palm oil processing and controversies over its health effect: overview of positive and negative consequences. *Journal of Oleo Science*, 70(12), 1693-1706.

BÖLÜM 6

THE ROLE OF PROBIOTICS IN FOOD HYGIENE

1. BURCU ÇAKMAK SANCAR¹

2. MERYEM AKHAN²

Introduction

The term probiotic is derived from the Greek word “pro bios,” meaning “for life” (Guarner et al., 2005:783-786). In the era of functional foods, probiotics have become a strategic commercial target both as supplements and as food ingredients due to their potential health benefits (Latif et al., 2023:1216674).

The foundations of the modern understanding of probiotics date back to the early 20th century. In 1907, Elie Metchnikoff reported that regular consumption of lactic acid bacteria found in fermented dairy products was associated with health and longevity; he demonstrated that these microorganisms supported digestive system functions and

¹ Assistant Professor, Istanbul Esenyurt University, Department of Nutrition and Dietetics, 0000-0002-0737-7009

² Assistant Professor, Istanbul Esenyurt University, Department of Nutrition and Dietetics, 0000-0001-8065-8635

strengthened the immune response. During the same period, Henry Tissier observed that bifidobacteria levels were low in children with diarrhea but high in healthy children, suggesting that these microorganisms could be used to regulate intestinal flora (Anukam & Reid, 2007:466-474). The term “probiotic” was first coined in 1953 by Werner Kollath and defined as active biological structures that provide health benefits (Gasbarrini, Bonvicini, & Gramenzi, 2016:116-119). Later, Lilly and Stillwell (1965) used this term for substances produced by one microorganism that promote the growth of another microorganism. Fuller, in 1992, defined probiotics as live microbial feed additives that improve intestinal microbial balance and positively affect host health (Lynne, 2015:85-90).

According to the current definition by the FAO, probiotics are “live microorganisms that confer a health benefit on the host when administered in adequate amounts” (FAO/WHO, 2002b). The basic characteristics of probiotic strains include resistance to stomach acid and bile salts, the ability to adhere to the intestinal epithelium and mucus layer, antimicrobial activity against pathogenic microorganisms, and the capacity to prevent pathogens from adhering to surfaces (Fijan, 2014:4745-4767).

The main probiotic microorganisms consist of species belonging to the lactobacilli group, which has recently been divided into 25 different genera, and bacteria of the Bifidobacterium genus. This group includes genera such as Lactobacillus, Lactocaseibacillus, Lactiplantibacillus, Limosilactobacillus, Levilactobacillus, and Ligilactobacillus; in addition, species such as Bifidobacterium animalis subsp. infantis, B. longum, and B. bifidum are commonly considered probiotic (Zheng et al., 2020:2782-2858). In addition, certain strains of bacterial species such as Lactococcus, Pediococcus, Enterococcus, Streptococcus, Bacillus, and Clostridium, as well as Saccharomyces cerevisiae var. It has been reported that some yeast strains, such as Saccharomyces boulardii, also exhibit probiotic

properties (Fijan, 2014:4745-4767). These microorganisms are said to directly affect health through their ability to detoxify xenobiotics, biotransform mycotoxins in foods, and synthesize essential vitamins such as vitamin K, riboflavin, and folate (Latif et al., 2023:1216674).

Lactic acid-producing bacteria (lactic acid bacteria, LAB) are among the most extensively studied probiotic microorganisms due to their positive effects on human health and constitute the most widely used probiotic group in foods. Most LABs have GRAS (Generally Recognized as Safe) status (Gupta, Jeevaratnam, & Fatima, 2018:411-424; Zielińska & Kolożyn-Krajewska, 2018:5063185). Important genera in this group include *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Carnobacterium*, and *Tetragenococcus*. Commonly used probiotic species include *B. animalis*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. bulgaricus*, *L. salivarius*, *L. lactis*, *L. johnsonii*, *L. plantarum*, and *L. reuteri*. However, it is emphasized that probiotic properties mostly differ at the strain level rather than the species level, and therefore the identification of specific strains is of great importance. These microorganisms have a wide range of applications in the food industry and carry significant commercial value (Khaneghah et al., 2020:205-218; Yadav, Srikanth, & Yadav, 2018:350).

Streptococcus salivarius subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* are starter cultures traditionally used in yogurt production. However, since these microorganisms are not expected to persist and multiply in the host's gastrointestinal tract, most researchers do not classify them as probiotics and consider them yogurt cultures (Senok, Ismaeel, & Botta, 2005:958-966).

Certain basic criteria must be met in order to identify probiotics and determine their suitability for use. Accordingly, probiotic microorganisms must be: of human origin, isolated from the gastrointestinal tract of healthy individuals, non-pathogenic, not

associated with serious diseases, resistant to stomach acid and bile salts, free of transferable antibiotic resistance genes, be able to produce antimicrobial substances, be safe for use in foods, adhere to the intestinal epithelial surface, colonize the digestive system, exhibit antagonistic effects against pathogens, and support the immune system (Bağdatlı & Kundakçı, 2013:197-215; Saarela et al., 2000:197-215).

The most common and natural habitats of microorganisms with these critical characteristics have historically been fermented products prepared using traditional methods. The fermentation of meat, milk, and plant-based foods is one of the oldest methods used to preserve fresh raw materials with a short shelf life due to their high water content and nutritional value (Ross, Morgan, & Hill, 2002:3-16). Thanks to the lactic acid bacteria that naturally develop during the fermentation process, these foods are not only nutritious products but also become functional foods with the potential to protect health and prevent disease (Kabak & Dobson, 2011:248-260).

Mechanisms of Action and Health Effects of Probiotics

Probiotics play critical roles in both human and animal health by maintaining the balance of the intestinal microflora (Soemarie, Milanda, & Barliana, 2021:335-339).

Various mechanisms explaining the effects of probiotics have been reported. The basic mechanisms are shaped through competitive exclusion of pathogens, improvement of intestinal barrier functions, immunomodulation, and neurotransmitter production (Latif et al., 2023:1216674). These mechanisms vary depending on the probiotic strain type, dosage consumed, and route of administration. The mechanisms of action of probiotics can be summarized as follows (Ayivi et al., 2020:202-232):

a. Probiotics support intestinal health by competing with pathogenic bacteria for attachment to epithelial cells.

b. They strengthen the intestinal epithelial barrier by increasing mucus production and prevent pathogen entry by reducing cell permeability.

c. They increase the defense capacity of the mucosal barrier by promoting the production of antimicrobial peptides.

d. They inhibit the growth of harmful bacteria by secreting antimicrobial substances such as bacteriocins and reuterin.

e. They limit pathogen growth by creating an acidic environment through the production of organic acids.

f. It contributes to the functioning of the intestinal immune system by stimulating serum Immunoglobulin A (IgA) production.

g. It supports non-specific immune responses by increasing phagocytosis and natural killer cell activity.

h. It limits inflammation by reducing proinflammatory cytokine production, preventing apoptosis, and suppressing T cell proliferation.

1. Suppresses pathogens associated with bacterial vaginosis through hydrogen peroxide production.

The recommended daily intake for probiotics to provide health benefits is approximately 10^9 colony-forming units (CFU)/day (Hill et al., 2014:506-514). When taken in sufficient doses, probiotics have been reported to have numerous positive effects, including strengthening the immune system, preventing intestinal infections and antibiotic-associated diarrhea, relieving constipation, suppressing urogenital infections, controlling serum cholesterol levels, reducing the risk of osteoporosis and colon

cancer, and alleviating the symptoms of lactose intolerance (Latif et al., 2023:1216674; Lourens-Hattingh & Viljoen, 2001:1-17; Oelschlaeger, 2010:57-62). It has also been reported that probiotic cultures possess antimicrobial and antioxidant properties (Hamad et al., 2020:102181; Monteiro et al., 2019:448; Mürüvvet Düz & Doğan, 2020:1-13).

Maintaining a healthy balance of the gut microbiota is critical for the proper functioning of the intestines. Factors such as age, diet, stress, diseases, and medication use can alter the physical and chemical structure of the gut microbiota, leading to imbalances known as “dysbiosis.” Research shows that the gut microbiota is a fundamental component of a healthy gastrointestinal system and that changes in the composition of the microbiota may be associated with various gastrointestinal disorders. In this context, consuming probiotics in different forms can support the host organism's response to various intestinal diseases and disorders (Khaneghah et al., 2020:205-218).

Probiotics attach to and colonize epithelial surfaces in the gastrointestinal system, preventing the proliferation of harmful bacteria, supporting gut microbial balance, and strengthening the barrier function of the intestinal mucosa. They also stimulate the host's systemic and mucosal immune responses by regulating the passage of food antigens. In addition, some probiotics have been reported to have the ability to render potential carcinogens inactive (Harish & Thomas, 2006:e3; Rolfe, 2000:396S-402S).

Probiotics are generally considered safe, but they also have the potential to cause some adverse effects. Reported side effects are grouped into four main categories: systemic infections, harmful metabolic activities, adverse effects on the immune system, and the risk of gene transfer. The most common side effects are gastrointestinal disorders, which can manifest as diarrhea, nausea,

bloating, dyspepsia, and abdominal pain. In rare cases, serious clinical conditions such as respiratory tract infections, allergic reactions, abscesses, sepsis, fungemia, and endocarditis have been reported (Zielińska, Sionek, & Kołożyn-Krajewska, 2018:131-161). These multifaceted biological effects of probiotics have important implications not only for host health but also for food hygiene and food safety.

The Role of Probiotics in Food Safety

Lactic acid bacteria (LAB) have a long history of safe use, having been safely consumed for thousands of years in fermented foods such as yogurt, kefir, and sauerkraut. This historical accumulation has ensured that most LABs are classified as the safest microorganisms in modern food regulations (Marco et al., 2021:196-208; Nwakoby et al., 2025:1-8).

In the United States, probiotic microorganisms added to traditional foods are evaluated under the “Generally Recognized as Safe” (GRAS) status. The U.S. Food and Drug Administration (FDA) does not act as a direct approval authority in GRAS determinations but rather serves in an advisory role; GRAS status is based on reasonable certainty, generally accepted by qualified scientists, that a substance will not be harmful under its intended conditions of use (Kumar et al., 2015:99-103). For a probiotic strain to be accepted as GRAS, it must have a detailed taxonomic description, no transferable antibiotic resistance genes, and specific toxicological evaluations must have been performed (Sanders et al., 2010:164-185). In the European Union, microbial safety assessment is conducted within the framework of the “Qualified (Kok & Hutkins, 2018:4-15).

These bioprotective properties are particularly important in terms of food safety, especially in controlling foodborne illnesses. Foodborne illnesses remain a significant public health issue due to

the rise in antibiotic resistance and the prevalence of bacterial pathogens. Pathogens that reach the gastrointestinal system through food can cause various clinical conditions such as diarrhea, vomiting, and neurological disorders. In this context, probiotic microorganisms offer a potential biological protection mechanism by regulating the gut microbiota and controlling foodborne pathogens. However, it has been reported that the mechanisms of action of probiotics against foodborne pathogens in the gastrointestinal tract vary and that knowledge about these mechanisms is still limited (Khaneghah et al., 2020:205-218). The importance of probiotics in terms of food safety is not limited to their effects on host health, but also includes technological advantages such as controlling pathogenic microorganisms in foods and delaying spoilage. In the food industry, lactic acid bacteria, in particular, are considered natural bioconservative agents and are widely used to suppress the growth of undesirable microorganisms in fermented milk, meat, and vegetable products. The bioconservative effect of LABs is based on the production of antagonistic compounds such as organic acids, hydrogen peroxide, fatty acids, and bacteriocins (Peivasteh-Roudsari et al., 2019:1-9).

Foodborne pathogens pose serious risks to both human health and economic losses due to the infections they cause (Moi et al., 2022). While antibiotics are widely used to control these infections, antibiotic resistance, which develops as a result of incorrect and excessive use, has become a significant public health problem. This situation has led to probiotic microorganisms, such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*, being considered powerful alternatives in the prevention and supportive treatment of bacterial infections. The protective effects of probiotics against pathogens occur through four main mechanisms: competitive exclusion, secretion of antimicrobial compounds, strengthening of the intestinal barrier function, and

immunomodulation (Wan, Forsythe, & El-Nezami, 2018:3320-3333).

The concept of “colonization resistance,” which encompasses all of these mechanisms, refers to probiotics attaching to epithelial surfaces in the gastrointestinal system and preventing pathogens from binding and multiplying (Yamazaki et al., 1982:55-59). It has been reported that *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* species, in particular, can reduce the number of *Enterobacteriaceae*, *Clostridium* spp., and other gram-negative anaerobic bacteria (Karimpour & Esmailnejad, 2003:313-318).

Probiotics exert a protective effect not only through their direct antagonistic effects against foodborne pathogens, but also by restoring the balance of the gut microbiota disrupted by modern dietary habits (Markowiak & Slizewska, 2017:1021). This protective effect is not limited to *Escherichia coli* and *Salmonella* species, but also includes *Clostridium perfringens* and *Yersinia* species. Furthermore, probiotics contribute to the synthesis of vitamins B9 and B12 while simultaneously supporting food hygiene safety, and they also increase the nutritional value of foods by enhancing mineral absorption (Nova et al., 2007:S90-S95).

The antimicrobial effects of probiotics are largely dependent on the metabolites they produce. Lactic acid bacteria inhibit the growth of pathogenic and spoilage microorganisms by synthesizing antagonistic compounds such as lactic acid, acetic acid, fatty acids, hydrogen peroxide, and bacteriocins. These compounds limit the growth of pathogens by lowering the pH of the environment and exert a bactericidal or bacteriostatic effect by disrupting cell membrane integrity (Ghanbari et al., 2017:e12413).

These biochemical mechanisms enable probiotics to be considered as natural bioprotective agents. *Lactobacillus* species, in particular, are effective in controlling pathogenic microorganisms

both in foods and in the gastrointestinal tract; species such as *L. acidophilus*, *L. casei*, and *L. plantarum* have been reported to exhibit significant antimicrobial activity in different food matrices (Ferdowsifard et al., 2011:13-20).

Food spoilage is mostly caused by the growth of unwanted microorganisms and their metabolic activities. Probiotic microorganisms, especially LAB, contribute to extending the shelf life of foods by suppressing the microflora that causes spoilage. Organic acids and bacteriocins produced by LAB inhibit the growth of spoilage microorganisms, thereby increasing the microbiological stability of foods (Ghanbari et al., 2017:e12413). Thanks to these properties, probiotics are used as an important component of natural bioprotection strategies in fermented dairy products, meat products, and fermented vegetables, creating positive effects on both product safety and sensory quality (Ferdowsifard et al., 2011:13-20; Ghanbari et al., 2017:e12413).

The Use of Probiotics in Food Production

Probiotics are consumed by adding them to food and beverages or in supplement form (Fenster et al., 2019:83). The effectiveness of probiotic foods is related to the microorganisms they contain having a sufficient number of live cells and the capacity to positively affect the host's gut microbiota (Bakr, 2015:423-431). According to the FAO/WHO definition, the presence of live microorganisms is a fundamental criterion for a product to be considered probiotic; however, this definition does not explicitly emphasize that the microorganisms must be metabolically active (Oelschlaeger, 2010:57-62; Zendeboodi et al., 2020:103-123). Therefore, the concept of “true probiotic” has been proposed in the literature to refer to microorganisms that are not only viable but also metabolically active and beneficial to the host. True probiotics are expected to have the ability to utilize substrates, produce

metabolites, and exhibit biological activity (Blagodatskaya & Kuzyakov, 2013:192-211; FAO/WHO, 2002a). In this process, the inclusion of prebiotics in food formulations to support the growth and metabolic activities of probiotics stands out as a strategic approach. Prebiotics are defined as dietary components that are indigestible by the host but selectively fermented by beneficial microorganisms (Gibson et al., 2017:491-502). Prebiotics such as inulin, fructooligosaccharides (FOS), and galactooligosaccharides (GOS), which are carbohydrates, serve as substrates for probiotic bacteria, stimulating their growth and metabolic activity (Gibson et al., 2017:491-502; Manzoor et al., 2022:111602).

Probiotic microorganisms exert their positive effects on health through various biotherapeutic mechanisms, including lowering intestinal pH, vitamin and enzyme synthesis, antimicrobial compound production, balancing the intestinal microbiota, modulating the immune system, and reducing lactose intolerance symptoms (Kumar & Singh, 2009:151-155). A significant portion of these effects arise through bioactive compounds produced by probiotics during their growth and metabolic processes, known as “postbiotics” (Salminen et al., 2021:649-667). Postbiotics are defined as preparations containing inactivated microbial cells, cell wall components, functional proteins, vitamins, and metabolites such as short-chain fatty acids (SCFA) (Aguilar-Toalá et al., 2018:105-114; Salminen et al., 2021:649-667). The most important advantage of postbiotics is their high stability against environmental stress factors such as temperature, stomach acid, and digestive enzymes, due to their lack of live microorganisms (Żółkiewicz et al., 2020:2189). These properties make postbiotics a safer alternative, particularly for immunocompromised individuals and sensitive patient groups (Tsilingiri et al., 2012:1007-1015).

Probiotics are used in numerous products in the food industry, such as beverages, ice cream, yogurt, and bread. However,

the environmental stresses encountered during the production, storage, and distribution processes of probiotic microorganisms, as well as their sensitivity to the acidic environment of the gastrointestinal tract, digestive enzymes, and bile salts, constitute a significant limiting factor in the development of probiotic-containing foods (Konuray & Erginkaya, 2018:92). At this point, the use of prebiotics can partially reduce these limitations by supporting probiotic viability, while postbiotics provide similar health benefits without the need for viability and ensure higher stability in food matrices (Chaluvadi, Hotchkiss, & Yam, 2016:515-523; Żółkiewicz et al., 2020:2189).

One of the main constraints to probiotic applications in the food industry is the sensitivity of microorganisms to processing conditions (high temperature, pH changes, etc.) and gastrointestinal stress factors. Innovative technological approaches such as nanoencapsulation and genetic modification are being developed to overcome these limitations. These methods aim to preserve the functional efficacy of probiotic microorganisms by increasing their survival rates both in food production processes and in the gastrointestinal system (Latif et al., 2023:1216674).

Use of Probiotics in Dairy Products

The dairy industry has developed various functional products by adding probiotic cultures to milk (Aboulfazli, Shori, & Baba, 2016:261-270). Probiotics have been reported to have numerous benefits, including supporting intestinal function, strengthening the immune system, increasing the bioavailability of nutrients such as calcium, iron, and vitamins, alleviating symptoms of lactose intolerance, exhibiting antimutagenic properties, and contributing to the prevention of colon cancer and other intestinal diseases. Furthermore, probiotics have been reported to have the potential to reduce the toxic effects of chemical contaminants found in milk and

dairy products (Bakr, 2015:423-431; Bovo et al., 2013:2230-2234; Mallebrera et al., 2013:141-149; Serrano-Niño et al., 2015:1334-1341). Milk and dairy products are considered one of the most suitable food matrices for probiotics due to their high nutritional value, buffering properties, and widespread consumption. Products such as fermented milk, yogurt, kefir, and cheese, in particular, enable probiotic microorganisms to reach the gastrointestinal tract while maintaining their viability (Gao et al., 2021:3937-3982). Probiotics used in dairy products consist of selected lactic acid bacteria, mainly *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* species, and some non-LAB microorganisms. However, it is emphasized that not all lactic acid bacteria can be considered probiotic, and that probiotic efficacy varies at the species and even strain level (Gao et al., 2021:3937-3982; Hill et al., 2014:506-514).

The production of organic acids, bioactive peptides, bacteriocins, and various metabolites by probiotics during the fermentation process in dairy products can positively affect both the shelf life and functional properties of the product. It has been reported that bioactive peptides synthesized by lactic acid bacteria in particular have antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory effects; these compounds impart natural bioprotective properties to dairy products (Gao et al., 2021:3937-3982; Sadiq et al., 2019:1403-1436).

Recent studies have shown that certain probiotic strains can contribute to reducing chemical contaminants found in dairy products or that may contaminate the product during the production process. In particular, it has been reported that certain *Lactobacillus* species in probiotic yogurts reduce the levels of endocrine-disrupting compounds such as bisphenol A. These findings reveal that probiotics offer potential benefits not only for gut health but also in the context of food safety (Gao et al., 2021:3937-3982; Moghaddam, Javadi, & Matin, 2020:737-742).

However, one of the most significant technological challenges regarding the use of probiotics in dairy products is maintaining the viability of microorganisms throughout production and storage. The regulations of many countries specify that, in order for a product to be considered probiotic, it must generally contain at least 10^6 – 10^7 CFU/g or mL of live probiotics at the time of consumption (Champagne et al., 2011:185-193; Gao et al., 2021:3937-3982).

Use of Probiotics in Meat Products

The positive effects of probiotic applications on the quality characteristics of fresh and processed meat products have attracted increasing attention in recent years (Trabelsi et al., 2019:29-36). The use of probiotics offers multiple advantages, such as improving quality parameters that directly affect consumer purchasing preferences and eating experience, such as color, texture, and water holding capacity (WHC), as well as increasing product safety, extending shelf life, and imparting unique sensory characteristics to the product (Kumar et al., 2017:2844-2856; Rouhi, Sohrabvandi, & Mortazavian, 2013:331-348).

Meat color is an important indicator of freshness for consumers and is largely related to the rate of postmortem pH decline (Mancini & Hunt, 2005:100-121). It has been reported that probiotic supplementation can improve meat color by balancing postmortem pH decline. Indeed, higher muscle pH and, consequently, redder meat color have been observed in broilers supplemented with *Enterococcus faecium*, while similarly darker and redder color values have been reported in pork supplemented with probiotics (Meng et al., 2010:3320-3326; Peivasteh-Roudsari et al., 2019:1-9; Zheng et al., 2014:1167). Furthermore, it has been determined that probiotics increase the water-holding capacity and tenderness of meat; they also reduce lipid oxidation and the formation of reactive

oxygen species by increasing antioxidant capacity (Bai et al., 2016:e0167339; Bai et al., 2017:74-82; Liu et al., 2016: 920-926).

Fermented meat products are considered a suitable food matrix for delivering live probiotic cultures to human consumption because they do not require heat treatment. In these products, *Lactobacillus* species, which have the ability to acidify meat, play a critical role in inhibiting pathogenic and spoilage microorganisms. Studies have shown that strains such as *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, and *Lactobacillus sakei* can be successfully used in fermented meat products (Al-Shawi et al., 2020:452; Vuyst, Falony, & Leroy, 2008:75-78).

One of the most significant problems negatively affecting the sensory quality and consumer acceptance of meat products is lipid oxidation. It has been reported that bacteriocins produced by probiotic microorganisms exert a protective effect by inhibiting lipolytic microorganisms that cause free fatty acid formation (Al-Shawi et al., 2020:452; Smaoui et al., 2017:1655-1667).

Probiotic microorganisms used in meat products must be both effective and safe, and they must maintain these properties throughout the product's shelf life. A dual safety mechanism is expected from suitable probiotic cultures for meat products: first, the suppression of pathogenic microorganisms present in the product; second, contributing to the prevention of pathogen growth in the gastrointestinal tract (Bağdatlı & Kundakçı, 2013:31-38; Guarner et al., 2005:783-786).

Use of probiotics in plant-based and other traditional fermented foods

Fermented foods have been an integral part of the human diet for thousands of years and are among the natural sources of probiotic microorganisms that have positive effects on host health. The presence of probiotics in fermented products not only enhances the

functional properties of these foods but also contributes to their enrichment with vitamins, proteins, essential amino acids, and fatty acids, thereby improving the bioavailability and digestibility of nutrients (Zhao et al., 2018:198-217).

Traditional fermented foods play an important role in shaping probiotic diversity worldwide. For example, kimchi, a traditional fermented vegetable product in Korean cuisine, is considered one of the best-known examples of plant-based probiotics, with approximately 200 different varieties. The lactic acid bacteria contained in kimchi have been reported to exhibit anti-inflammatory, cholesterol-lowering, and anti-aging effects; in this respect, it offers similar health benefits to milk-based fermented products such as yogurt (Patra et al., 2016:1-15; Tamang, 2015).

Similarly, serofluid dish (Jiang shui), which has a history of thousands of years in Chinese culture, is a traditional fermented product containing complex microbial communities. During the fermentation of this product, probiotic microorganisms, as well as bacteriocins and various enzymes, are produced; it has been reported that these biological components contribute to both product safety and potential health effects (Chen et al., 2016:134-136).

Future Outlook for Probiotics

Today's consumers' growing interest in protecting their personal health and preventing disease has significantly increased demand for functional foods. In Europe in particular, gut health has become one of the driving forces behind the functional food market, with rapid growth observed in both the probiotic yogurt and probiotic beverage sectors (Mattila-Sandholm et al., 2002:173-182). The prominence of health claims in the media and the proliferation of advertising campaigns have increased the popularity of probiotic-containing products, accelerating marketing strategies for the development of new functional food products. Today, probiotic

sources include dairy products, processed meats, vegetable products, fruit juices, and grain-based foods, as well as liquid, tablet, capsule, and powdered dietary supplements and medications (Zendeboodi et al., 2020:103-123).

Probiotic-based foods and beverages are among the important components of the future, not only for their nutritional properties but also in terms of food hygiene and food safety. In addition to the positive effects of probiotics on intestinal health and the immune system, their ability to control pathogens in foods and offer bioprotective potential increases the strategic importance of these microorganisms in the context of food safety (Manan, 2025:5567567).

However, maintaining the viability and stability of probiotics is a fundamental challenge in industrial production, both technologically and in terms of regulatory compliance. While probiotic foods must contain specific strains and maintain sufficient levels of live cells throughout their shelf life, uncertainties regarding definition and labeling create regulatory issues. Furthermore, probiotic strains are expected to be resistant to production, storage, food matrix, and gastrointestinal system conditions and not cause undesirable taste or texture changes in the product (Mattila-Sandholm et al., 2002:173-182). Reliably and sustainably realizing this potential depends on ensuring strict hygienic conditions throughout all stages from production to consumption, rigorously applying science-based risk assessments, and establishing harmonized, transparent regulatory frameworks worldwide (Manan, 2025:5567567).

However, the low cost and industrial-scale applicability of these technologies will continue to be one of the most important limiting factors in the future (Mattila-Sandholm et al., 2002:173-182).

Conclusion

Probiotics are traditionally recognized for their positive effects on human health, but today they also offer multifaceted potential in terms of food hygiene and food safety. The findings discussed in this book chapter reveal that probiotic microorganisms play important roles not only in balancing the gastrointestinal microbiota, but also in controlling foodborne pathogens, delaying food spoilage, and developing natural bioprotective strategies. In particular, the ability of lactic acid bacteria to suppress pathogens and spoilage-causing microorganisms through organic acids, bacteriocins, and other antimicrobial metabolites allows probiotics to be considered as alternative or complementary biological agents to chemical preservatives in food hygiene. In addition, the potential of some probiotic strains to reduce the bioavailability of toxic substances and process-derived chemical contaminants constitutes another noteworthy contribution to food safety. The use of probiotics in food production processes offers technological advantages such as increased product safety, extended shelf life, and preservation of sensory quality. However, ensuring these positive effects in a sustainable manner requires the safety, efficacy, and technological suitability of the probiotic strains used to be evaluated at the strain level. Furthermore, preserving the viability of probiotic microorganisms during production, storage, and distribution remains a significant limiting factor in industrial applications.

Consequently, probiotics are considered a supportive and innovative tool in food hygiene and food safety approaches. Future studies should focus on elucidating the bioprotective mechanisms of probiotics in greater detail, demonstrating their efficacy in different food matrices, and clarifying the conditions for their safe use within the regulatory framework. In this regard, integrating probiotic-based applications into food safety systems will contribute to both protecting public health and sustainable food production.

References

- Aboulfazli, F., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2016). Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on probiotics and nutritional profile of fermented ice cream. *LWT*, 70, 261-270. doi:10.1016/j.lwt.2016.02.056
- Aguilar-Toalá, J., Garcia-Varela, R., Garcia, H., Mata-Haro, V., González-Córdova, .., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114. doi:10.1016/j.tifs.2018.03.009
- Al-Shawi, S. G., Dang, D. S., Yousif, A. Y., Al-Younis, Z. K., Najm, T. A., & Matarneh, S. K. (2020). The Potential Use of Probiotics to Improve Animal Health, Efficiency, and Meat Quality: A Review. *Agriculture*, 10(10), 452. doi:10.3390/agriculture10100452
- Anukam, K. C., & Reid, G. (2007). Probiotics: 100 years (1907-2007) after Elie Metchnikoff's Observation. *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, 1, 466-474. doi:doi
- Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., . . . Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, 1(3), 202-232. doi:doi.org/10.3390/dairy1030015
- Bağdatlı, A. B., & Kundakçı, A. (2013). Fermente Et Ürünlerinde Probiyotik Mikroorganizmaların Kullanımı - Using Probiotic Microorganisms In Fermented Meat Products. *Celal Bayar University Journal of Science*, 9(1), 31-38.
- Bai, K., Huang, Q., Zhang, J., He, J., Zhang, L., & Wang, T. (2017). Supplemental effects of probiotic *Bacillus subtilis* fmbJ on

- growth performance, antioxidant capacity, and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 96(1), 74-82. doi:10.3382/ps/pew246
- Bai, W. K., Zhang, F. J., He, T. J., Su, P. W., Ying, X. Z., Zhang, L. L., & Wang, T. (2016). Dietary Probiotic *Bacillus subtilis* Strain fmbj Increases Antioxidant Capacity and Oxidative Stability of Chicken Breast Meat during Storage. *PloS one*, e0167339. doi:10.1371/journal.pone.0167339
- Bakr, S. A. (2015). The potential applications of probiotics on dairy and non-dairy foods focusing on viability during storage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(4), 423-431. doi:10.1016/j.bcab.2015.09.010
- Bakr, S. A. (2015). The potential applications of probiotics on dairy and non-dairy foods focusing on viability during storage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(4), 423-431. doi:10.1016/j.bcab.2015.09.010
- Blagodatskaya, E., & Kuzyakov, Y. V. (2013). Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 192-21. doi:10.1016/j.soilbio.2013.08.024
- Bovo, F., Corassin, C. H., Rosim, R. E., & Oliveira, C. A. (2013). Efficiency of Lactic Acid Bacteria Strains for Decontamination of Aflatoxin M1 in Phosphate Buffer Saline Solution and in Skimmed Milk. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2230-2234. doi:10.1007/s11947-011-0770-9
- Chaluvadi, S., Hotchkiss, A. T., & Yam, K. L. (2016). Chapter 36 - Gut Microbiota: Impact of Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, Pharmabiotics, and Postbiotics on Human Health. R. R. Watson, & V. R. Preedy içinde, *Probiotics, Prebiotics, and*

- Synbiotics* (s. 515-523). Cambridge, Massachusetts: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-802189-7.00036-8
- Champagne, C. P., Ross, R. P., Saarela, M., Hansen, K. F., & Charalampopoulos, D. (2011). Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. *International Journal of Food Microbiology*, 149(3), 185-193. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.005
- Chen, P., Zhao, Y., Wu, Z., Liu, R., Xu, R., Yan, L., & Li, H. (2016). Metagenomic data of fungal internal transcribed spacer from serofluid dish, a traditional Chinese fermented food. *Genomics Data*, 7, 134-136. doi:10.1016/j.gdata.2015.12.028
- EFSA. (2007). *Introduction of a Qualified Presumption of Safety (QPS) approach for assessment of selected microorganisms referred to EFSA - Opinion of the Scientific Committee*. Parma: European Food Safety Authority (EFSA). doi:10.2903/j.efsa.2007.587
- FAO/WHO. (2002a). *Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food: Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food*. London, Ontario, Canada: Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization. https://isappscience.org/wp-content/uploads/2019/04/probiotic_guidelines.pdf
adresinden alındı
- FAO/WHO. (2002b). *Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with*

Live Lactic Acid Bacteria. Rome: FAO/WHO.
<http://www.fao.org/3/a-y6398e.pdf> adresinden alındı

- Fenster, K., Freeburg, B., Hollard, C., Wong, C., Laursen, R. R., & Ouwehand, A. C. (2019). The Production and Delivery of Probiotics: A Review of a Practical Approach. *Microorganisms*, 7(3), 83. doi:10.3390/microorganisms7030083
- Ferdowsifard, M., Fazeli, M., Samadi, N., & Jamalifar, H. (2011). The stability of fermented and non-Fermented probiotic milk produced by three species of Autochthonous Lactobacillus. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 8(4), 13-20.
- Fijan, S. (2014). Microorganisms with Claimed Probiotic Properties: An Overview of Recent Literature. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11(5), 4745-4767. doi:10.3390/ijerph110504745
- Gao, J., Li, X., Zhang, G., Sadiq, F. A., Simal-Gandara, J., Xiao, J., & Sang, Y. (2021). Probiotics in the dairy industry—Advances and opportunities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3937-3982. doi:10.1111/1541-4337.12755
- Gasbarrini, G., Bonvicini, F., & Gramenzi, A. (2016). Probiotics History. *Journal of clinical gastroenterology*, 50, 116-119. doi:10.1097/MCG.0000000000000697
- Ghanbari, R., Aghaee, E. M., Rezaie, S., Khaniki, G. J., Alimohammadi, M., Soleimani, M., & Noorbakhsh, F. (2017). The inhibitory effect of lactic acid bacteria on aflatoxin production and expression of aflR gene in *Aspergillus parasiticus*. *Journal of Food Safety*, 38(1), e12413. doi:10.1111/jfs.12413

- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., . . . Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491-502. doi:10.1038/nrgastro.2017.75
- Guarner, F., Perdigon, G., Corthier, G., Salminen, S., Koletzko, B., & Morelli, L. (2005). Should yoghurt cultures be considered probiotic? *British Journal of Nutrition*, 783-786. doi:10.1079/bjn20051428
- Gupta, R., Jeevaratnam, K., & Fatima, A. (2018). Lactic Acid Bacteria: Probiotic Characteristic, Selection Criteria, and its Role in Human Health (A Review). *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 5(10), 411-424.
- 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. doi:10.1016/j.anaerobe.2020.102181
- Harish, K., & Thomas, V. (2006). Probiotics in humans – evidence based review. *Calicut Medical Journal*, 4(4).
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., . . . Harry J. Flint, S. S. (tarih yok).
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., . . . Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 11, 506-514. doi:10.1038/nrgastro.2014.66

- Kabak, B., & Dobson, A. D. (2011). An Introduction to the Traditional Fermented Foods and Beverages of Turkey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(3), 248-260. doi:10.1080/10408390903569640
- Karimpour, A. A., & Esmailnejad, M. A. (2003). Probiotics and their mechanism of action in the prevention and treatment of human diseases. *Research in Medicine*, 27(4), 313-318.
- Khaneghah, A. M., Abhari, K., Eş, İ., Soares, M. B., Oliveira, R. B., Hosseini, H., . . . Sant'Ana, A. S. (2020). Interactions between probiotics and pathogenic microorganisms in hosts and foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 205-2018. doi:10.1016/j.tifs.2019.11.022
- Kok, C. R., & Hutkins, R. (2018). Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria. *Nutrition Reviews*, 76(1), 4-15. doi:10.1093/nutrit/nuy056
- Konuray, G., & Erginkaya, Z. (2018). Potential Use of Bacillus coagulans in the Food Industry. *Foods*, 7(6), 92. doi:10.3390/foods7060092
- Kumar, H., Salminen, S., Verhagen, H., Rowland, I., Heimbach, J., Banares, S., . . . Lalonde, M. (2015). Novel probiotics and prebiotics: road to the market. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 99-103. doi:10.1016/j.copbio.2014.11.021
- Kumar, P., Chatli, M. K., Verma, A. K., Mehta, N., Malav, O. P., Kumar, D., & Sharma, N. (2017). Quality, functionality, and shelf life of fermented meat and meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 2844-2856. doi:10.1080/10408398.2015.1074533

- Kumar, Y., & Singh, L. (2009). Health Benefits of Fermented and Functional Foods. *Journal of Plant Development Science*, 1, 151-155.
- Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., . . . Korma, S. A. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Front. Microbiol.*, 14, 1216674. doi:10.3389/fmicb.2023.1216674
- Liu, L., Ni, X., Zeng, D., Wang, H., Jing, B., Yin, Z., & Kangcheng, P. (2016). Effect of a dietary probiotic, *Lactobacillus johnsonii* BS15, on growth performance, quality traits, antioxidant ability, and nutritional and flavour substances of chicken meat. *Animal Production Science*, 57(5), 920-926. doi:10.1071/AN15344
- Lourens-Hattingh, A., & Viljoen, B. C. (2001). Yogurt as probiotic carrier food. *International Dairy Journal*, 11(1-2), 1-17. doi:10.1016/S0958-6946(01)00036-X
- Lynne V. McFarland. (2015). *Clinical Infectious Diseases*, 60, 85-90. doi:10.1093/cid/civ054
- Mallebrera, B., Meca, G., Manyes, L., Mañes, J., & Font, G. (2013). Influence of pro- and prebiotics on gastric, duodenal and colonic bioaccessibility of the mycotoxin beauvericin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(2), 141-149. doi:10.1016/j.jfca.2013.09.003
- Manan, M. A. (2025). Progress in Probiotic Science: Prospects of Functional Probiotic-Based Foods and Beverages. *International Journal of Food Science*, 2025(1), 5567567. doi:10.1155/ijfo/5567567

- Mancini, R., & Hunt, M. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121. doi:10.1016/j.meatsci.2005.03.003
- Manzoor, S., Wani, S. M., Mir, S. A., & Rizwan, D. (2022). Role of probiotics and prebiotics in mitigation of different diseases. *Nutrition*, 96, 111602. doi:10.1016/j.nut.2022.111602
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., Vuyst, L. D., . . . Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196-208. doi:10.1038/s41575-020-00390-5
- Markowiak, P., & Slizewska, K. (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*, 9(9), 1021. doi:10.3390/nu9091021
- Mattila-Sandholm, T., Myllärinen, P., Crittenden, R., Mogensen, G., Fondén, R., & Saarela, M. (2002). Technological challenges for future probiotic foods. *International Dairy Journal*, 12(2-3), 173-182. doi:10.1016/S0958-6946(01)00099-1
- Meng, Q. W., Yan, L., Ao, X., Zhou, T. X., Wang, J. P., Lee, J. H., & Kim, I. H. (2010). Influence of probiotics in different energy and nutrient density diets on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, and blood characteristics in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 88(10), 3320-3326. doi:10.2527/jas.2009-2308
- Moghaddam, S. T., Javadi, A., & Matin, A. A. (2020). Reduction of bisphenol A by *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus plantarum* in yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 73(4), 737-742. doi:10.1111/1471-0307.12706

- Moi, I. M., Ibrahim, Z., Abubakar, B. M., Katagum, Y. M., Abdullahi, A., Yiga, G. A., . . . Ayuba, I. (2022). Properties of Foodborne Pathogens and Their Diseases. A. Lamas, C. M. Franco, & P. Regal içinde, *Foodborne Pathogens - Recent Advances in Control and Detection*. London: IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.105694
- Monteiro, C. R., Carmo, M. S., Melo, B. O., Alves, M. S., Santos, C. I., Monteiro, S. G., . . . Monteiro-Neto, V. (2019). In Vitro Antimicrobial Activity and Probiotic Potential of Bifidobacterium and Lactobacillus against Species of Clostridium. *Nutrients*, 11(2), 448. doi:10.3390/nu11020448
- Mürüvvet Düz, Y. N., & Doğan, İ. (2020). Antioxidant activity of Lactobacillus plantarum, Lactobacillus sake and Lactobacillus curvatus strains isolated from fermented Turkish Sucuk. *An Acad Bras Cienc*, 92(4), 1-13. doi:10.1590/0001-3765202020200105
- Nova, E., Warnberg, J., Gomez-Martinez, S., Diaz, L. E., Romeo, J., & Marcos, A. (2007). Immunomodulatory effects of probiotics in different stages of life. *British Journal of Nutrition*, 98(S1), S90-S95. doi:10.1017/S0007114507832983
- Nwakoby, I. P., Iheukwumere, I. H., Iheukwumere, C. M., Nwakoby, N. E., Idigo, M. A., & Ike, V. E. (2025). Use of Probiotics as Food Additives and its Legal Basis. *African Journal of Nutrition and Applied Research*, 1(1), 1-8. doi:10.54117/an7vv661
- Oelschlaeger, T. A. (2010). Mechanisms of probiotic actions – A review. *International Journal of Medical Microbiology*, 300(1), 57-62. doi:10.1016/j.ijmm.2009.08.005

- Patra, J. K., Das, G., Paramithiotis, S., & Shin, H.-S. (2016). Kimchi and Other Widely Consumed Traditional Fermented Foods of Korea: A Review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1-15. doi:10.3389/fmicb.2016.01493
- Peivasteh-Roudsari, L., Pirhadi, M., Karami, H., Tajdar-Oranj, B., Molaei-Aghaei, E., & Sadighara, P. (2019). Probiotics and food safety: an evidence-based review. *Journal of Food Safety and Hygiene*, 5(1), 1-9. doi:10.18502/jfsh.v5i1.3878
- Rolfe, R. D. (2000). The Role of Probiotic Cultures in the Control of Gastrointestinal Health. *The Journal of Nutrition*, 130(2), 396S-402S. doi:10.1093/jn/130.2.396S
- Ross, R. P., Morgan, S., & Hill, C. (2002). Preservation and fermentation: past, present and future. *International Journal of Food Microbiology*, 79(1-2), 3-16. doi:10.1016/S0168-1605(02)00174-5
- Rouhi, M., Sohrabvandi, S., & Mortazavian, A. M. (2013). Probiotic Fermented Sausage: Viability of Probiotic Microorganisms and Sensory Characteristics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 331-348. doi:10.1080/10408398.2010.531407
- Saarela, M., Mogensen, G., Fondén, R., Mättö, J., & Mattila-Sandholm, T. (2000). Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. *Journal of Biotechnology*, 84(3), 197-215. doi:10.1016/S0168-1656(00)00375-8
- Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., & Chen, W. (2019). Lactic Acid Bacteria as Antifungal and Anti-Mycotoxigenic Agents: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1403-1436. doi:10.1111/1541-4337.12481

- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., . . . Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 18(9), 649-667. doi:10.1038/s41575-021-00440-6
- Sanders, M. E., Akkermans, L. M., Haller, D., Hammerman, C., Heimbach, J. T., Hörmannspurger, G., & Huys, G. (2010). Safety assessment of probiotics for human use. *Gut microbes*, 1(3), 164-185. doi:10.4161/gmic.1.3.12127
- Senok, A. C., Ismaeel, A. Y., & Botta, G. A. (2005). Probiotics: facts and myths. *Clinical Microbiology and Infection*, 11(12), 958-966. doi:10.1111/j.1469-0691.2005.01228.x
- Serrano-Niño, J., Cavazos-Garduño, A., Cantú-Cornelio, F., González-Córdova, A., Vallejo-Córdova, B., Hernández-Mendoza, A., & García, H. (2015). In vitro reduced availability of aflatoxin B1 and acrylamide by bonding interactions with teichoic acids from lactobacillus strains. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1334-1341. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.015
- Smaoui, S., Ennouri, K., Chakchouk-Mtibaa, A., Karray-Rebai, I., Hmidi, M., Bouchaala, K., & Mellouli, L. (2017). Relationships Between Textural Modifications, Lipid and Protein Oxidation and Sensory Attributes of Refrigerated Turkey Meat Sausage Treated with Bacteriocin BacTN635. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1655-1667. doi:10.1007/s11947-017-1933-0
- Soemarie, Y. B., Milanda, T., & Barliana, M. I. (2021). Fermented Foods as Probiotics: A Review. *Journal of Advanced*

Pharmaceutical Technology & Research, 12(4), 335-339.
doi:10.4103/japtr.japtr_116_21

Tamang, J. P. (2015). *Health Benefits of Fermented Foods and Beverages*. Boca Raton: CRC Press.

Trabelsi, I., Slima, S. B., Ktari, N., Triki, M., Abdehedi, R., abaza, W., . . . Salah, R. B. (2019). Incorporation of probiotic strain in raw minced beef meat: Study of textural modification, lipid and protein oxidation and color parameters during refrigerated storage. *Meat Science*, 154, 29-36.
doi:10.1016/j.meatsci.2019.04.005

Tsilingiri, K., Barbosa, T., Penna, G., Caprioli, F., Sonzogni, A., Viale, G., & Rescigno, M. (2012). Probiotic and postbiotic activity in health and disease: comparison on a novel polarised ex-vivo organ culture model. *Gut*, 61(7), 1007-1015. doi:10.1136/gutjnl-2011-300971

Vuyst, L. D., Falony, G., & Leroy, F. (2008). Probiotics in fermented sausages. *Meat Science*, 80(1), 75-78.
doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.038

Wan, M. L., Forsythe, S. J., & El-Nezami, H. (2018). Probiotics interaction with foodborne pathogens: a potential alternative to antibiotics and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 3320-3333.
doi:10.1080/10408398.2018.1490885

Yadav, D., Srikanth, K., & Yadav, K. (2018). Flavors in Probiotics and Prebiotics. M. Selvamuthukumar, & Y. V. Pathak içinde, *Flavors for Nutraceutical and Functional Foods* (s. 24). Boca Raton: CRC Press. doi:10.1201/9781315160573

Yamazaki, S., Kamimura, H., Momose, H., Kawashima, T., & Ueda, K. (1982). Protective Effect of Bifidobacterium-

Monoassociation against Lethal Activity of *Escherichia coli*.
Bifidobacteria and Microflora, 1(1), 55-59.
doi:10.12938/bifidus1982.1.1_55

Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A. M., & Cruz, A. G. (2020). Probiotic: conceptualization from a new approach. *Current Opinion in Food Science*, 32, 103-123. doi:10.1016/j.cofs.2020.03.009

Zhao, W., Liu, Y., Latta, M., Ma, W., Wu, Z., & Chen, P. (2018). Probiotics database: a potential source of fermented foods. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 198-217. doi:10.1080/10942912.2019.1579737

Zheng, A., Luo, J., Meng, K., Li, J., Zhang, S., Li, K., . . . Yao, B. (2014). Proteome changes underpin improved meat quality and yield of chickens (*Gallus gallus*) fed the probiotic *Enterococcus faecium*. *BMC Genomics*, 15(1), 1167. doi:10.1186/1471-2164-15-1167

Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., . . . Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70(4), 2782-2858. doi:10.1099/ijsem.0.004107

Zielińska, D., & Kolożyn-Krajewska, D. (2018). Food-Origin Lactic Acid Bacteria May Exhibit Probiotic Properties: Review. *BioMed Research International*, 1, 5063185. doi:10.1155/2018/5063185

Zielińska, D., Sionek, B., & Kołożyn-Krajewska, D. (2018). Safety of probiotics. A. M. Holban, & A. M. Grumezescu içinde,

Diet, microbiome and health (s. 131-161). London: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-811440-7.00006-5

Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—A Step Beyond Pre- and Probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189. doi:10.3390/nu12082189

BÖLÜM 7

***CAMPYLOBACTER* spp. ALONG THE FOOD CHAIN: TRANSMISSION DYNAMICS, HEALTH CONSEQUENCES, AND CONTROL STRATEGIES**

BAŞAK GÖKÇE ÇÖL¹

Introduction

Campylobacter spp. are recognized as major etiological agents of foodborne bacterial infections and have become one of the leading causes of such infections worldwide, particularly in developed countries where they have surpassed *Salmonella* in reported incidence (EFSA & ECDC, 2016). Campylobacteriosis is regarded as an important foodborne zoonosis of global relevance and is caused by bacteria of the genus *Campylobacter*, which are widely distributed in environmental reservoirs (Iannino et al., 2019). Epidemiological evidence indicates that the majority of human infections are associated with *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*, species that are broadly disseminated and have shown a marked increase in reported cases over recent years (Chlebicz & Śliżewska, 2018; García-Sánchez et al., 2019; Kaakoush, Castaño-Rodríguez, Mitchell, & Man, 2015). As a result,

¹ Assistant Professor, Dokuz Eylül University, Faculty of Tourism, Department of Gastronomy and Culinary Arts, 0000-0002-7627-9867

campylobacteriosis has evolved from an individual clinical concern into a major public health challenge of considerable significance at the population level (EFSA & ECDC, 2016).

The persistence of *Campylobacter* spp. throughout multiple points of the food chain, together with their ability to cause infection at low doses and their propensity for cross-contamination, complicates effective control from a food safety perspective. Moreover, the predominantly sporadic nature of reported infections and the difficulty of retrospectively identifying exposure routes necessitate continuous surveillance of this pathogen within food safety systems (Platts-Mills & Kosek, 2014; Wagenaar, French, & Havelaar, 2013). In parallel, the increasing prevalence of antimicrobial-resistant *Campylobacter* strains, largely attributed to extensive and uncontrolled antibiotic use, has further amplified their significance as a public health threat extending beyond acute infection (Baruah et al., 2025).

In this context, the present section provides an overview of the general characteristics and pathogenic features of *Campylobacter* spp., examines their transmission dynamics along the food chain, and summarizes reported clinical outcomes, public health relevance, and approaches to control and prevention based on the available literature.

General Characteristics of *Campylobacter* spp.

The genus *Campylobacter*, classified within the family *Campylobacteraceae*, currently comprises 39 recognized species and 16 subspecies according to updated taxonomic frameworks (Facciola et al., 2017; Hlashwayo, Sigaúque, & Bila, 2020). Members of this genus are Gram-negative bacteria characterized by a slender cellular structure and display diverse morphologies, including spiral, curved, or short rod-shaped forms. While motility patterns vary among species, the majority of *Campylobacter* strains

possess a single polar or bipolar flagellum that enables their characteristic movement; nevertheless, the absence of flagella has also been documented in certain species (Ansari-Lari, Hosseinzadeh, Shekarforoush, Abdollahi, & Berizi, 2011; Mobaien et al., 2016).

From a clinical perspective, the genus exhibits marked heterogeneity, with approximately 10–12 species implicated in human infections. Among these, *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* are most frequently recovered from clinical specimens. In particular, *C. jejuni* is recognized as the predominant species associated with human disease and accounts for a substantial proportion of reported gastroenteritis cases worldwide (Ansari-Lari et al., 2011; On, 2001).

Physiologically, *Campylobacter* species are adapted to microaerophilic conditions and demonstrate optimal growth under reduced oxygen tension. Although oxidase activity is commonly observed across the genus, *Campylobacter gracilis* represents a notable exception to this trait. From a metabolic standpoint, these bacteria exhibit limited capacity for carbohydrate utilization and primarily derive energy from amino acids and intermediates of the tricarboxylic acid (TCA) cycle (On, 2001; Silva et al., 2011). Collectively, these structural, physiological, and metabolic features contribute to the successful adaptation of *Campylobacter* species to the gastrointestinal environment of the host and support their persistence throughout different stages of the food chain.

Pathogenesis of *Campylobacter* spp.

The pathogenic process of *Campylobacter* spp. involves a complex and sequential interaction between the microorganism and the host, encompassing survival within the gastrointestinal environment, successful colonization of the intestinal epithelium, and subsequent induction of inflammatory tissue damage. A distinctive feature of *Campylobacter* infections is the relatively low

number of bacterial cells required to initiate disease. Reported infectious doses range from approximately 3.5×10^2 to 1×10^4 CFU/g, and evidence suggests that higher ingested doses may be associated with increased clinical severity (Bhunia, 2018; Bolton, 2015; Epps et al., 2013). This low infectious threshold is considered a key factor contributing to the elevated susceptibility observed in children, elderly individuals, and immunocompromised populations (Same & Tamma, 2018).

For infection to be established following ingestion of contaminated food or water, *Campylobacter* must overcome several host defense mechanisms, including gastric acidity, bile salts, and oxidative stress. The ability to tolerate acidic conditions, resist bile, activate oxidative stress defense pathways, and efficiently acquire iron enables the bacterium to transit the upper gastrointestinal tract and reach the intestinal lumen (Casabonne, Gonzalez, Aquili, Subils, & Balague, 2016; Galate & Bangde, 2015; Kim, Oh, Kim, & Jeon, 2015). Nevertheless, pathogenic potential is not uniform across strains, as variations in gene expression profiles and host–pathogen interactions contribute to marked heterogeneity in virulence (Poli, Thorsen, Olesen, Wik, & Jespersen, 2012).

Upon arrival in the lower gastrointestinal tract, attachment to and colonization of the intestinal epithelium represent pivotal stages in disease development. Motility driven by chemotaxis and polar flagella facilitates penetration of the mucus layer, while the helical cell shape combined with flagellar rotation enables a corkscrew-like movement through the viscous mucus environment (Hermans et al., 2012). Chemotactic responses toward mucins and glycoproteins have been shown to guide bacterial localization, and several surface-associated proteins mediate adherence to epithelial cells (Jin et al., 2001; Poli et al., 2012). Among these, the fibronectin-binding CadF protein is recognized as a major adhesin involved in host cell interaction (Konkel, Garvis, Tipton, Anderson, & Cieplak, 1997).

Following adhesion, *Campylobacter*, particularly *C. jejuni*, may breach the epithelial barrier through transcellular or paracellular routes, a process regarded as a central mechanism in the pathogenesis of enteritis (Konkel, Monteville, Rivera-Amill, & Joens, 2001).

Subsequent bacterial proliferation within the intestinal mucosa, accompanied by toxin production, can result in villus damage and disruption of epithelial integrity. The weakening of tight junctions and loss of barrier function promote inflammatory responses and facilitate electrolyte leakage into the intestinal lumen, thereby contributing to the development of watery or bloody diarrhea (McFarland & Neill, 1992; Schulze, Hänel, & Borrmann, 1998). One of the most extensively characterized virulence factors is Cytolethal Distending Toxin (CDT), which exerts deoxyribonuclease activity leading to cell cycle arrest at the G2 phase, nuclear damage, and eventual cell death (Pickett & Whitehouse, 1999). The widespread presence of *cdt* genes among *Campylobacter* strains and the production of this toxin have been linked to increased disease severity (Bang et al., 2001).

In addition to direct epithelial damage, interactions between *Campylobacter* and intestinal cells can elicit strong proinflammatory immune responses. The magnitude and nature of these responses vary depending on host factors and experimental context, further highlighting the complexity of disease expression (Aguilar, Jiménez-Marín, Martins, & Garrido, 2014). The incomplete understanding of *Campylobacter* pathogenesis is largely attributed to substantial genetic diversity among strains and the use of different experimental models, which collectively complicate the interpretation of virulence mechanisms (Poli et al., 2012).

Transmission Routes, Reservoirs, and Distribution of *Campylobacter* spp. in the Food Chain

Campylobacteriosis ranks among the most frequently reported foodborne infections on a global scale, with estimates suggesting that approximately 10% of the world's population is affected annually (Myintzaw, Jaiswal, & Jaiswal, 2023). Burden of disease shows marked geographical and socioeconomic variation, with higher incidence reported in developing regions, while endemic transmission patterns are commonly observed in low- and middle-income countries (Endtz, 2020).

Human infection predominantly occurs via the fecal–oral route, most often through exposures linked to the food chain. Nevertheless, the presence of multiple potential contamination points between primary production and final consumption complicates efforts to interrupt transmission. Insufficient implementation of effective control measures during on-farm production, slaughter, and processing stages has been identified as a major contributor to the continued spread of *Campylobacter* spp. within food systems (Hansson, Sandberg, Habib, Lowman, & Engvall, 2018).

Among animal reservoirs, poultry has been consistently identified as a key source of *Campylobacter*, functioning both as a direct origin of human infection and as an efficient vehicle for dissemination along the food chain (Hänninen, Perko-Mäkelä, Pitkälä, & Rautelin, 2000; Pearson et al., 2000). Evidence from source attribution and case–control studies indicates that poultry meat represents one of the principal food vehicles for campylobacteriosis, with fecal contamination during slaughtering and carcass processing playing a critical role in bacterial transmission (Myintzaw et al., 2023). In poultry, the cecum constitutes the primary site of colonization, where bacterial loads may reach concentrations of 10^6 – 10^8 cfu/g (Meade et al., 2009). In

addition to poultry, ruminants have been implicated in transmission dynamics, particularly through environmental exposure pathways ((Mughini-Gras et al., 2014). Recent molecular epidemiological investigations further suggest that although poultry remains the dominant reservoir, cattle may act as a primary source of human infection under specific conditions. Moreover, indirect transmission routes are increasingly recognized, as *C. jejuni* strains originating from cattle can be transferred to poultry within the food production continuum (Teixeira, Boras, Hetman, Taboada, & Inglis, 2022).

Beyond meat products, the consumption of unpasteurized milk constitutes a well-documented risk factor for campylobacteriosis. Sentinel surveillance data demonstrate a clear association between raw milk intake and reported cases of infection (Davys, Marshall, Fayaz, Weir, & Benschop, 2020). Studies examining dairy products have confirmed the presence of *Campylobacter* spp. in raw cow's milk and have shown that *C. jejuni* can also be isolated from milk obtained from other mammals, including buffalo (Del Collo et al., 2017; El-Zamkan & Abdel Hameed, 2016; Modi, Brahmabhatt, Chatur, & Nayak, 2015). Waterborne exposure represents another important transmission route; outbreaks have been linked not only to drinking and household water supplies but also to contaminated tap water and inadequately protected wells in various settings (Davies, Ebbesen, Johansson, Kaden, & Rautelin, 2020; Guzman-Herrador et al., 2015; Pitkänen et al., 2008). Additionally, raw or insufficiently washed fruits and vegetables may serve as secondary vehicles of transmission when contaminated through irrigation water or contact with animal-derived environmental sources (Verhoeff-Bakkenes et al., 2011).

Findings from recent meta-analyses further highlight the uneven distribution of *Campylobacter* across food categories. Poultry products consistently exhibit the highest prevalence, with *C. jejuni* emerging as the dominant species detected in chickens and

chicken-derived foods (Mwangi et al., 2025; Phu et al., 2025). Regional synthesis studies corroborate these observations; for example, a meta-analysis conducted in Iran identified white meat products as having the greatest prevalence of *Campylobacter*, while also reporting more frequent isolation of *C. jejuni* compared to *C. coli* across multiple sample types (Ansarifar, Riahi, Tasara, Sadighara, & Zeinali, 2023). Taken together, these findings indicate that *Campylobacter* contamination within the food chain is not confined to a single commodity but rather reflects a complex and interconnected system shaped by animal production practices, environmental reservoirs, and food processing operations.

Clinical Findings and Complications

Clinical manifestations associated with *Campylobacter* infections are most often mild and self-limited, with symptoms generally subsiding within 5–7 days. In individuals with intact immune function, recovery typically occurs without the need for antimicrobial therapy (Peterson, 1994). Nonetheless, the clinical course is not uniform and may be influenced by multiple factors, including host immune status, the infecting *Campylobacter* species, and pre-existing health conditions. Variability in host–pathogen interactions is therefore considered a key determinant of disease severity and duration (Janssen et al., 2008).

Based on clinical presentation, *Campylobacter*-associated illnesses are broadly categorized into enteric and extraintestinal forms. Enteric infections represent the predominant clinical entity and usually manifest as acute gastroenteritis, characterized by watery or bloody diarrhea, fever, abdominal discomfort, and nonspecific systemic symptoms such as fatigue. Among the causative agents, *C. jejuni* is most frequently implicated and has been identified as a leading contributor to both traveler’s diarrhea and diarrheal disease in children (Bennett, Dolin, & Blaser, 2019;

Bullman et al., 2011; Ioannou, Sourris, Tsantes, & Samonis, 2024). In contrast, extraintestinal infections occur less frequently but are typically associated with more severe and systemic outcomes. Notably, *C. fetus* has been most commonly linked to invasive conditions, including bacteremia, endocarditis, and other serious infections (Bennett et al., 2019).

Although the majority of enteric infections resolve without long-term consequences, a subset of patients may develop postinfectious complications. These include neurological and inflammatory disorders such as Guillain–Barré syndrome, Miller Fisher syndrome, reactive arthritis, and irritable bowel syndrome. Notably, infections caused by *C. jejuni* have been strongly associated with autoimmune-mediated neurological sequelae. In rare instances, dissemination beyond the gastrointestinal tract may occur, leading to bacteremia, hepatic involvement, or central nervous system-related manifestations (Man, 2011; McGrogan, Madle, Seaman, & de Vries, 2009; Roberts, Stone, Sutton, & Flaherty, 2020; Roberts et al., 2020).

Public Health Impact and Disease Burden

Campylobacteriosis represents a substantial public health challenge among foodborne infections due to its widespread global occurrence and persistent transmission dynamics. Although the clinical course is self-limiting in most individuals, the consistently high number of reported cases results in a considerable cumulative disease burden (Kaakoush et al., 2015; Scallan et al., 2011). The typically short incubation period and rapid onset of symptoms complicate early case recognition, particularly for sporadic infections, and limit the effectiveness of timely interventions aimed at interrupting transmission (Awofisayo-Okuyelu et al., 2017). Epidemiological investigations indicate that outbreaks are most often linked to contaminated food and water and may involve multiple individuals simultaneously, underscoring the public health

relevance of common exposure sources (Frost, Gillespie, & O'Brien, 2002). The frequent association of outbreaks with animal-derived sources further highlights the critical importance of control measures implemented along the entire production-to-consumption continuum (Wilson et al., 2008). While *Campylobacter* infections can affect individuals across all age groups, disease severity and public health impact are not evenly distributed within the population. Young children and older adults represent particularly vulnerable groups, and more severe clinical outcomes as well as an increased risk of complications have been observed among individuals with compromised immune function or underlying chronic conditions (Haddock et al., 2010; Kennedy, 2004; Lévesque et al., 2013). In developing regions, early-life exposure, repeated infections, and prevailing socioeconomic factors contribute to a distinct epidemiological pattern. The occurrence of severe cases and elevated mortality rates, especially among young children, further amplifies the public health significance of campylobacteriosis in these settings (Rosenberg et al., 2018; Same & Tamma, 2018).

Species-specific differences in clinical presentation also play a role in shaping the overall public health burden of *Campylobacter* infections. Infections caused by *C. jejuni* are generally limited to the gastrointestinal tract and tend to resolve without long-term consequences, whereas infections associated with *C. fetus*, although less common, may progress to invasive and potentially life-threatening systemic conditions (Bennett et al., 2019). In recent years, the increasing detection of antimicrobial-resistant *Campylobacter* strains has further complicated disease management and public health control efforts. Antimicrobial resistance reduces available therapeutic options and challenges effective treatment, while the dissemination of resistance determinants through horizontal gene transfer constitutes an expanding threat to both clinical practice and public health systems (Ahmed et al., 2024).

Consequently, mitigating the public health impact of campylobacteriosis requires the adoption of integrated, food chain based control strategies that explicitly address the growing concern of antimicrobial resistance (Bukari et al., 2025).

Control and Prevention of *Campylobacter* spp. Infections

The risk posed by *Campylobacter* spp. As foodborne pathogens cannot be attributed to a single point within the production or processing continuum. Rather, effective control depends on a comprehensive strategy that addresses the entire pathway, extending from primary animal production through processing stages and ultimately to consumer handling. Accordingly, *Campylobacter* control should be regarded as a coordinated and continuous process in which complementary interventions are implemented simultaneously across different segments of the food chain. Within this integrated framework, risk assessment-based interventions have been shown to contribute to measurable reductions in campylobacteriosis cases associated with contaminated meat and meat products (Gonzalez-Fandos, Martinez-Laorden, & Perez-Arnedo, 2020).

Although *Campylobacter* contamination constitutes a global public health concern, variations in production systems, environmental factors, and livestock management practices necessitate the development of control programs tailored to national or regional conditions. Despite these differences, a shared priority across diverse production models is the enforcement of strict biosecurity practices designed to prevent the introduction and dissemination of the pathogen within farms and processing facilities (Newell et al., 2011; Newell & Fearnley, 2003).

Interventions targeting the reduction of pathogen loads during production and processing represent an important supportive component of *Campylobacter* control strategies. Measures such as

freezing and chemical decontamination applied at the slaughter stage have been reported to reduce *Campylobacter* contamination on carcass surfaces, although their effectiveness is influenced by operational conditions and application protocols (Gichure et al., 2022; Zhao, Ezeike, Doyle, Hung, & Howell, 2003). In addition, physical treatments, including irradiation, have been investigated as alternative control options, with experimental studies demonstrating that irradiation can significantly lower *Campylobacter* levels on poultry products under controlled settings (Isohanni & Lyhs, 2009). Other emerging technologies, such as pulsed electric fields, have yielded variable outcomes that appear to be strongly dependent on the characteristics of the treated matrix and the stage of application (Haughton et al., 2012). Collectively, current evidence suggests that physical and chemical interventions function primarily as supplementary tools and are insufficient to provide sustained *Campylobacter* control when implemented in the absence of robust biosecurity systems (Gichure et al., 2022; Newell & Fearnley, 2003).

From this perspective, biosecurity can be described as an integrated framework encompassing the regulation of personnel movement, the establishment of hygiene barriers, controlled access to production areas, appropriate water treatment, and the reduction of environmental contamination sources. Furthermore, maintaining hygienic conditions during animal transport and housing, together with the management of indirect transmission routes involving vectors and other animals, plays a critical role in limiting pathogen spread both within and between herds (Hald, Sommer, & Skovgård, 2007; Hansson, Ederoth, Andersson, Vågsholm, & Olsson Engvall, 2005; Hansson, Vågsholm, Svensson, & Olsson Engvall, 2007; Newell & Fearnley, 2003).

Alongside biosecurity measures, a variety of complementary strategies aimed at reducing *Campylobacter* colonization have been explored. These include vaccination attempts, the use of feed

additives, bacteriocins, bacteriophage-based applications, and competitive exclusion approaches (Johnson, Shank, & Johnson, 2017). Although such interventions may provide additional benefits under specific conditions, their effectiveness is closely linked to production environments, and available evidence indicates that they are currently insufficient to function as standalone alternatives to biosecurity as the principal control measure (Johnson et al., 2017; Newell et al., 2011).

At the consumer level, the prevention of campylobacteriosis relies largely on compliance with hygiene principles and safe food-handling practices. Given the heat sensitivity of *Campylobacter* species, achieving internal cooking temperatures of at least 70 °C remains a critical step in reducing infection risk. In parallel, adherence to personal hygiene during food preparation, the prevention of cross-contamination, and the maintenance of the cold chain constitute essential practices that serve as the final barrier limiting pathogen transmission to humans (Butzler, 2004; De Silva, Wickramanayake, & Heo, 2021; Facciola et al., 2017).

Conclusion

This chapter highlights that *Campylobacter* spp. constitute a multifaceted challenge for modern food safety systems rather than a typical foodborne pathogen. Their low infective dose, frequent asymptomatic carriage in animal reservoirs, and capacity to persist under diverse environmental conditions facilitate silent entry into the food chain, often with limited opportunities for early detection. This combination contributes substantially to the predominantly sporadic epidemiological pattern of campylobacteriosis. While the majority of infections are self-limiting, the documented occurrence of invasive disease and post-infectious sequelae demonstrates that the public health relevance of *Campylobacter* extends well beyond acute gastroenteritis. These outcomes are of particular concern among

vulnerable population groups, reinforcing the importance of preventive, upstream control strategies instead of reactive interventions.

From a food chain-oriented standpoint, *Campylobacter* contamination should be understood as the outcome of multiple interacting factors, including animal reservoirs, environmental conditions, and food handling behaviors, acting cumulatively across different stages of production and distribution. This multifactorial nature limits the effectiveness of control approaches that focus on single points or narrowly defined interventions. Consequently, reducing pathogen introduction at the level of primary production remains the most critical determinant of control success, while measures implemented during processing and consumption should be viewed as supportive components that enhance overall risk reduction rather than functioning independently.

Overall, sustainable management of *Campylobacter* spp. depends on the implementation of integrated, multi-stage control strategies that combine robust biosecurity measures, hygiene practices, and informed food handling behaviors. Such a holistic approach is essential not only for reducing the incidence of infection but also for enhancing the long-term resilience and effectiveness of food safety systems.

References

- Aguilar, C., Jiménez-Marín, Á., Martins, R. P., & Garrido, J. J. (2014). Interaction between *Campylobacter* and intestinal epithelial cells leads to a different proinflammatory response in human and porcine host. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 162(1–2), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2014.09.003>
- Ahmed, S. K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R. H., Fareeq, A., Mahmood, K. A., & Mohamed, M. G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081>
- Ansarifar, E., Riahi, S. M., Tasara, T., Sadighara, P., & Zeinali, T. (2023). *Campylobacter* prevalence from food, animals, human and environmental samples in Iran: A systematic review and meta-analysis. *BMC Microbiology*, 23(1), 126. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02879-w>
- Ansari-Lari, M., Hosseinzadeh, S., Shekarforoush, S. S., Abdollahi, M., & Berizi, E. (2011). Prevalence and risk factors associated with *campylobacter* infections in broiler flocks in Shiraz, southern Iran. *International Journal of Food Microbiology*, 144(3), 475–479. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.11.003>
- Awofisayo-Okuyelu, A., Hall, I., Adak, G., Hawker, J. I., Abbott, S., & McCARTHY, N. (2017). A systematic review and meta-analysis on the incubation period of *Campylobacteriosis*. *Epidemiology and Infection*, 145(11), 2241–2253. <https://doi.org/10.1017/S0950268817001303>
- Bang, D. D., Scheutz, F., Ahrens, P., Pedersen, K., Blom, J., & Madsen, M. (2001). Prevalence of cytolethal distending toxin

(cdt) genes and CDT production in *Campylobacter* spp. Isolated from Danish broilers. *Journal of Medical Microbiology*, 50(12), 1087–1094. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-50-12-1087>

Baruah, M., Bharadwaj, T. K., Kasheef, A., Doloi, S., Gogoi, S. M., & Deka, P. (2025). *Campylobacter* Associated Infections: An Emerging Public Health Concern. *Journal of Advances in Microbiology*, 25(5), 65–73. <https://doi.org/10.9734/jamb/2025/v25i5934>

Bennett, J. E., Dolin, R., & Blaser, M. J. (2019). *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases E-Book: 2-Volume Set*. Elsevier Health Sciences.

Bhunia, A. K. (2018). *Campylobacter and Arcobacter*. In A. K. Bhunia (Ed.), *Foodborne Microbial Pathogens: Mechanisms and Pathogenesis* (pp. 289–299). New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1_16

Bolton, D. J. (2015). *Campylobacter* virulence and survival factors. *Food Microbiology*, 48, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.11.017>

Bukari, Z., Emmanuel, T., Woodward, J., Ferguson, R., Ezughara, M., Darga, N., & Lopes, B. S. (2025). The Global Challenge of *Campylobacter*: Antimicrobial Resistance and Emerging Intervention Strategies. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed10010025>

Bullman, S., Corcoran, D., O'Leary, J., O'Hare, D., Lucey, B., & Sleator, R. D. (2011). Emerging dynamics of human campylobacteriosis in Southern Ireland. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 63(2), 248–253. <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.2011.00847.x>

Butzler, J.-P. (2004). *Campylobacter*, from obscurity to celebrity. *Clinical Microbiology and Infection: The Official*

Publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, 10(10), 868–876.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2004.00983.x>

Casabonne, C., Gonzalez, A., Aquili, V., Subils, T., & Balague, C. (2016). *Prevalence of Seven Virulence Genes of Campylobacter jejuni Isolated from Patients with Diarrhea in Rosario, Argentina* (Research Article No. 3; p. e14766). *International Journal of Infection*. Retrieved from International Journal of Infection website: <https://brieflands.com/journals/iji/articles/14766#abstract>

Chlebicz, A., & Śliżewska, K. (2018). Campylobacteriosis, Salmonellosis, Yersiniosis, and Listeriosis as Zoonotic Foodborne Diseases: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 863.
<https://doi.org/10.3390/ijerph15050863>

Davies, E., Ebbesen, M., Johansson, C., Kaden, R., & Rautelin, H. (2020). Genomic and Phenotypic Characterisation of *Campylobacter jejuni* Isolates From a Waterborne Outbreak. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 594856.
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.594856>

Davys, G., Marshall, J. C., Fayaz, A., Weir, R. P., & Benschop, J. (2020). Campylobacteriosis associated with the consumption of unpasteurised milk: Findings from a sentinel surveillance site. *Epidemiology and Infection*, 148, e16.
<https://doi.org/10.1017/S0950268819002292>

De Silva, L. A. D. S., Wickramanayake, M. V. K. S., & Heo, G. -J. (2021). Virulence and antimicrobial resistance potential of *Aeromonas* spp. Associated with shellfish. *Letters in Applied Microbiology*, 73(2), 176–186. <https://doi.org/10.1111/lam.13489>

Del Collo, L. P., Karns, J. S., Biswas, D., Lombard, J. E., Haley, B. J., Kristensen, R. C., ... Van Kessel, J. A. S. (2017). Prevalence, antimicrobial resistance, and molecular characterization of *Campylobacter* spp. in bulk tank milk and milk filters from US dairies. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3470–3479. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12084>

EFSA, & ECDC. (2016). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2015. *EFSA Journal*, 14(12), Article 4634. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4634>

El-Zamkan, M. A., & Abdel Hameed, K. G. (2016). Prevalence of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in raw milk and some dairy products. *Veterinary World*, 9(10), 1147–1151. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1147-1151>

Endtz, H. P. (2020). 50—*Campylobacter* Infections. In E. T. Ryan, D. R. Hill, T. Solomon, N. E. Aronson, & T. P. Endy (Eds.), *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases (Tenth Edition)* (pp. 507–511). London: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-55512-8.00050-8>

Epps, S. V. R., Harvey, R. B., Hume, M. E., Phillips, T. D., Anderson, R. C., & Nisbet, D. J. (2013). Foodborne *Campylobacter*: Infections, metabolism, pathogenesis and reservoirs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6292–6304. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126292>

Facciola, A., Riso, R., Avventuroso, E., Visalli, G., Delia, S. A., & Laganà, P. (2017). *Campylobacter*: From microbiology to prevention. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 58(2), E79–E92. Retrieved from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5584092/>

Frost, J. A., Gillespie, I. A., & O'Brien, S. J. (2002). Public health implications of campylobacter outbreaks in England and Wales, 1995-9: Epidemiological and microbiological investigations. *Epidemiology and Infection*, 128(2), 111–118. <https://doi.org/10.1017/s0950268802006799>

Galate, D. L., & Bangde, S. (2015). Campylobacter ? A Foodborne Pathogen. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(3,), 1250–1259. <https://doi.org/10.21275/SUB152337>

García-Sánchez, L., Melero, B., Jaime, I., Rossi, M., Ortega, I., & Rovira, J. (2019). Biofilm formation, virulence and antimicrobial resistance of different *Campylobacter jejuni* isolates from a poultry slaughterhouse. *Food Microbiology*, 83, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.05.016>

Gichure, J. N., Kamau Njage, P. M., Wambui, J. M., Dykes, G. A., Buys, E. M., & Coorey, R. (2022). Systematic-review and meta-analysis on effect of decontamination interventions on prevalence and concentration of *Campylobacter* spp. During primary processing of broiler chickens. *Food Microbiology*, 102, 103923. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103923>

Gonzalez-Fandos, E., Martinez-Laorden, A., & Perez-Arnedo, I. (2020). Effect of Decontamination Treatments on *Campylobacter jejuni* in Chicken. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(10), 1453. <https://doi.org/10.3390/foods9101453>

Guzman-Herrador, B., Carlander, A., Ethelberg, S., Freiesleben de Blasio, B., Kuusi, M., Lund, V., ... Nygård, K. (2015). Waterborne outbreaks in the Nordic countries, 1998 to 2012. *Euro Surveillance: Bulletin Europeen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin*, 20(24), 21160. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es2015.20.24.21160>

Haddock, G., Mullin, M., MacCallum, A., Sherry, A., Tetley, L., Watson, E., ... Everest, P. (2010). *Campylobacter jejuni* 81-176 forms distinct microcolonies on in vitro-infected human small intestinal tissue prior to biofilm formation. *Microbiology*, 156(10), 3079–3084. <https://doi.org/10.1099/mic.0.039867-0>

Hald, B., Sommer, H. M., & Skovgård, H. (2007). Use of fly screens to reduce *Campylobacter* spp. Introduction in broiler houses. *Emerging Infectious Diseases*, 13(12), 1951–1953. <https://doi.org/10.3201/eid1312.070488>

Hänninen, M. L., Perko-Mäkelä, P., Pitkälä, A., & Rautelin, H. (2000). A three-year study of *Campylobacter jejuni* genotypes in humans with domestically acquired infections and in chicken samples from the Helsinki area. *Journal of Clinical Microbiology*, 38(5), 1998–2000. <https://doi.org/10.1128/JCM.38.5.1998-2000.2000>

Hansson, I., Ederoth, M., Andersson, L., Vågsholm, I., & Olsson Engvall, E. (2005). Transmission of *Campylobacter* spp. To chickens during transport to slaughter. *Journal of Applied Microbiology*, 99(5), 1149–1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02689.x>

Hansson, I., Sandberg, M., Habib, I., Lowman, R., & Engvall, E. O. (2018). Knowledge gaps in control of *Campylobacter* for prevention of campylobacteriosis. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65 Suppl 1, 30–48. <https://doi.org/10.1111/tbed.12870>

Hansson, I., Vågsholm, I., Svensson, L., & Olsson Engvall, E. (2007). Correlations between *Campylobacter* spp. Prevalence in the environment and broiler flocks. *Journal of Applied Microbiology*, 103(3), 640–649. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03291.x>

Haughton, P. N., Lyng, J. G., Cronin, D. A., Morgan, D. J., Fanning, S., & Whyte, P. (2012). Efficacy of pulsed electric fields for the inactivation of indicator microorganisms and foodborne pathogens in liquids and raw chicken. *Food Control*, 25(1), 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.030>

Hermans, D., Pasmans, F., Messens, W., Martel, A., Van Immerseel, F., Rasschaert, G., ... Haesebrouck, F. (2012). Poultry as a host for the zoonotic pathogen *Campylobacter jejuni*. *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)*, 12(2), 89–98. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0676>

Hlashwayo, D. F., Sigaúque, B., & Bila, C. G. (2020). Epidemiology and antimicrobial resistance of *Campylobacter* spp. in animals in Sub-Saharan Africa: A systematic review. *Heliyon*, 6(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03537>

Iannino, F., Salucci, S., Di Donato, G., Badagliacca, P., Vincifori, G., & Di Giannatale, E. (2019). *Campylobacter* and antimicrobial resistance in dogs and humans: “One health” in practice. *Veterinaria Italiana*, 55(3), 203–220. <https://doi.org/10.12834/VetIt.1161.6413.3>

Ioannou, P., Sourris, A., Tsantes, A. G., & Samonis, G. (2024). Infective Endocarditis by *Campylobacter* Species—A Narrative Review. *Pathogens*, 13(7), 594. <https://doi.org/10.3390/pathogens13070594>

Isohanni, P. M. I., & Lyhs, U. (2009). Use of ultraviolet irradiation to reduce *Campylobacter jejuni* on broiler meat. *Poultry Science*, 88(3), 661–668. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00259>

Janssen, R., Krogfelt, K. A., Cawthraw, S. A., van Pelt, W., Wagenaar, J. A., & Owen, R. J. (2008). Host-pathogen interactions in *Campylobacter* infections: The host perspective. *Clinical*

Microbiology Reviews, 21(3), 505–518.
<https://doi.org/10.1128/CMR.00055-07>

Jin, S., Joe, A., Lynett, J., Hani, E. K., Sherman, P., & Chan, V. L. (2001). JlpA, a novel surface-exposed lipoprotein specific to *Campylobacter jejuni*, mediates adherence to host epithelial cells. *Molecular Microbiology*, 39(5), 1225–1236.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2001.02294.x>

Johnson, T. J., Shank, J. M., & Johnson, J. G. (2017). Current and Potential Treatments for Reducing *Campylobacter* Colonization in Animal Hosts and Disease in Humans. *Frontiers in Microbiology*, 8, 487. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00487>

Kaakoush, N. O., Castaño-Rodríguez, N., Mitchell, H. M., & Man, S. M. (2015). Global Epidemiology of *Campylobacter* Infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(3), 687–720.
<https://doi.org/10.1128/CMR.00006-15>

Kennedy, M. R. T. (2004). Self-monitoring recall during two tasks after traumatic brain injury: A preliminary study. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 13(2), 142–154.
[https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2004/015\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2004/015))

Kim, J.-C., Oh, E., Kim, J., & Jeon, B. (2015). Regulation of oxidative stress resistance in *Campylobacter jejuni*, a microaerophilic foodborne pathogen. *Frontiers in Microbiology*, 6, 751. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00751>

Konkel, M. E., Garvis, S. G., Tipton, S. L., Anderson, D. E., & Cieplak, W. (1997). Identification and molecular cloning of a gene encoding a fibronectin-binding protein (CadF) from *Campylobacter jejuni*. *Molecular Microbiology*, 24(5), 953–963.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.1997.4031771.x>

Konkel, M. E., Monteville, M. R., Rivera-Amill, V., & Joens, L. A. (2001). The pathogenesis of *Campylobacter jejuni*-mediated enteritis. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 2(2), 55–71.

Lévesque, S., Fournier, E., Carrier, N., Frost, E., Arbeit, R. D., & Michaud, S. (2013). Campylobacteriosis in urban versus rural areas: A case-case study integrated with molecular typing to validate risk factors and to attribute sources of infection. *PloS One*, 8(12), e83731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083731>

Man, S. M. (2011). The clinical importance of emerging *Campylobacter* species. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 8(12), 669–685. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2011.191>

McFarland, B. A., & Neill, S. D. (1992). Profiles of toxin production by thermophilic *Campylobacter* of animal origin. *Veterinary Microbiology*, 30(2–3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/0378-1135\(92\)90119-e](https://doi.org/10.1016/0378-1135(92)90119-e)

McGrogan, A., Madle, G. C., Seaman, H. E., & de Vries, C. S. (2009). The epidemiology of Guillain-Barré syndrome worldwide. A systematic literature review. *Neuroepidemiology*, 32(2), 150–163. <https://doi.org/10.1159/000184748>

Meade, K. G., Narciandi, F., Cahalane, S., Reiman, C., Allan, B., & O’Farrelly, C. (2009). Comparative in vivo infection models yield insights on early host immune response to *Campylobacter* in chickens. *Immunogenetics*, 61(2), 101–110. <https://doi.org/10.1007/s00251-008-0346-7>

Mobaien, A., Moghaddam, F., Talebi, S., Karami, A., Amirmoghaddami, H., & Ramazani, A. (2016). Studying the prevalence of *Campylobacter jejuni* in adults with gastroenteritis from northwest of Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 6(12), 957–960. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(16\)61164-7](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(16)61164-7)

Modi, S., Brahmabhatt, M. N., Chatur, Y. A., & Nayak, J. B. (2015). Prevalence of *Campylobacter* species in milk and milk products, their virulence gene profile and antibiogram. *Veterinary World*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.1-8>

Mughini-Gras, L., Smid, J. H., Wagenaar, J. A., DE Boer, A., Havelaar, A. H., Friesema, I. H. M., ... Van Pelt, W. (2014). *Campylobacteriosis* in returning travellers and potential secondary transmission of exotic strains. *Epidemiology and Infection*, 142(6), 1277–1288. <https://doi.org/10.1017/S0950268813002069>

Mwangi, A., Kunyanga, C., Sogin, J. H., Ngala, S., Aliwa, B., Onsare, R. S., & Ndiritu, A. (2025). Prevalence of *CAMPYLOBACTER* in specific food and food products: A systematic literature review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2539402>

Myintzaw, P., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2023). A Review on *Campylobacteriosis* Associated with Poultry Meat Consumption. *Food Reviews International*, 39(4), 2107–2121. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1942487>

Newell, D. G., Elvers, K. T., Dopfer, D., Hansson, I., Jones, P., James, S., ... Allen, V. M. (2011). Biosecurity-based interventions and strategies to reduce *Campylobacter* spp. On poultry farms. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(24), 8605–8614. <https://doi.org/10.1128/AEM.01090-10>

Newell, D. G., & Fearnley, C. (2003). Sources of *Campylobacter* colonization in broiler chickens. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 4343–4351. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.8.4343-4351.2003>

On, S. L. (2001). Taxonomy of *Campylobacter*, *Arcobacter*, *Helicobacter* and related bacteria: Current status, future prospects

and immediate concerns. *Symposium Series (Society for Applied Microbiology)*, (30), 1S-15S. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01349.x>

Pearson, A. D., Greenwood, M. H., Donaldson, J., Healing, T. D., Jones, D. M., Shahamat, M., ... Colwell, R. R. (2000). Continuous source outbreak of campylobacteriosis traced to chicken. *Journal of Food Protection*, 63(3), 309–314. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-63.3.309>

Peterson, M. C. (1994). Clinical aspects of *Campylobacter jejuni* infections in adults. *The Western Journal of Medicine*, 161(2), 148–152.

Phu, D. H., Wongtawan, T., Nam, T. T., Truong, D. B., Suttidate, N., Carrique-Mas, J., ... Thomrongsuwannakij, T. (2025). Prevalence and antimicrobial resistance of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* over time in Thailand under a One Health approach: A systematic review and meta-analysis. *One Health (Amsterdam, Netherlands)*, 20, 100965. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.100965>

Pickett, C. L., & Whitehouse, C. A. (1999). The cytolethal distending toxin family. *Trends in Microbiology*, 7(7), 292–297. [https://doi.org/10.1016/s0966-842x\(99\)01537-1](https://doi.org/10.1016/s0966-842x(99)01537-1)

Pitkänen, T., Miettinen, I. T., Nakari, U.-M., Takkinen, J., Siitonen, A., Kuusi, M., ... Hänninen, M.-L. (2008). Faecal contamination of a municipal drinking water distribution system in association with *Campylobacter jejuni* infections. *Journal of Water and Health*, 6(3), 365–376. <https://doi.org/10.2166/wh.2008.050>

Platts-Mills, J. A., & Kosek, M. (2014). Update on the burden of *Campylobacter* in developing countries. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 27(5), 444–450. <https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000091>

Poli, V. F. S., Thorsen, L., Olesen, I., Wik, M. T., & Jespersen, L. (2012). Differentiation of the virulence potential of *Campylobacter jejuni* strains by use of gene transcription analysis and a Caco-2 assay. *International Journal of Food Microbiology*, 155(1), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.019>

Roberts, S. C., Stone, S. M., Sutton, S. H., & Flaherty, J. P. (2020). Cutaneous manifestations of *Campylobacter jejuni* infection: A case report and review of the literature. *Infectious Diseases in Clinical Practice (Baltimore, Md.)*, 28(2), 61–63. <https://doi.org/10.1097/IPC.0000000000000827>

Rosenberg, A., Weinberger, M., Paz, S., Valinsky, L., Agmon, V., & Peretz, C. (2018). Ambient temperature and age-related notified *Campylobacter* infection in Israel: A 12-year time series study. *Environmental Research*, 164, 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.017>

Same, R. G., & Tamma, P. D. (2018). *Campylobacter* Infections in Children. *Pediatrics in Review*, 39(11), 533–541. <https://doi.org/10.1542/pir.2017-0285>

Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M.-A., Roy, S. L., ... Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—Major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 17(1), 7–15. <https://doi.org/10.3201/eid1701.p11101>

Schulze, F., Hänel, I., & Borrmann, E. (1998). Formation of cytotoxins by enteric *Campylobacter* in humans and animals. *Zentralblatt Fur Bakteriologie: International Journal of Medical Microbiology*, 288(2), 225–236. [https://doi.org/10.1016/s0934-8840\(98\)80045-5](https://doi.org/10.1016/s0934-8840(98)80045-5)

Silva, J., Leite, D., Fernandes, M., Mena, C., Gibbs, P. A., & Teixeira, P. (2011). *Campylobacter* spp. as a Foodborne Pathogen: A

Review. *Frontiers in Microbiology*, 2, 200.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00200>

Teixeira, J. S., Boras, V. F., Hetman, B. M., Taboada, E. N., & Inglis, G. D. (2022). Molecular Epidemiological Evidence Implicates Cattle as a Primary Reservoir of *Campylobacter jejuni* Infecting People via Contaminated Chickens. *Pathogens*, 11(11), 1366. <https://doi.org/10.3390/pathogens11111366>

Verhoeff-Bakkenes, L., Jansen, H. a. P. M., in 't Veld, P. H., Beumer, R. R., Zwietering, M. H., & van Leusden, F. M. (2011). Consumption of raw vegetables and fruits: A risk factor for *Campylobacter* infections. *International Journal of Food Microbiology*, 144(3), 406–412.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.027>

Wagenaar, J. A., French, N. P., & Havelaar, A. H. (2013). Preventing *Campylobacter* at the source: Why is it so difficult? *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 57(11), 1600–1606.
<https://doi.org/10.1093/cid/cit555>

Wilson, D. J., Gabriel, E., Leatherbarrow, A. J. H., Cheesbrough, J., Gee, S., Bolton, E., ... Diggle, P. J. (2008). Tracing the Source of *Campylobacteriosis*. *PLOS Genetics*, 4(9), e1000203.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000203>

Zhao, T., Ezeike, G. O. I., Doyle, M. P., Hung, Y.-C., & Howell, R. S. (2003). Reduction of *Campylobacter jejuni* on Poultry by Low-Temperature Treatment. *Journal of Food Protection*, 66(4), 652–655. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-66.4.652>

