



Current Approaches to Nitrite Reduction Methods in Meat Products and Their Potential for Transfer to Industry

Gülen Yıldız Turp^{1,a,*} Tuğçe Avcı^{2,b}

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, 35040 Bornova, İzmir

²Department of Food Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ege University, 35040 Bornova, İzmir

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 28/08/2021 Accepted : 27/02/2022</p> <p>Keywords: Meat Cured Meat Nitrite Nitrate Contemporary Methods</p>	<p>Nowadays, consumer demand for healthy and natural food is reflected in the meat industry and researches and investments on this issue have gained speed. Nitrite is a widely used synthetic additive in meat products due to its contribution to the development of characteristic color and flavor, controls lipid oxidation and has an antimicrobial effect on pathogenic microorganisms, especially <i>Clostridium botulinum</i>. However, the fact that nitrite causes the formation of toxic, mutagenic and carcinogenic N-nitrosamine compounds and constitutes a risk to human health has led to the searches for alternative additives. An important part of the studies on this subject consists of testing the use of natural additives as an alternative to nitrite. In recent years, instead of using nitrate and nitrite in meat products, studies have been carried out to use organic acids and microbial resources. In addition to these methods, up-to-date technology applications such as high pressure, irradiation, encapsulation, active packaging containing nitrite, zinc protoporphyrin IX compound formation and cold plasma technology constitute other research areas that we encounter in reducing the nitrite rate in meat products. Within the scope of this review, the functions of nitrite in cured meat products, current potential methods for reducing nitrite content and the limitations of transferring these methods to industry were examined.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(3): 475-488, 2022

Et Ürünlerinde Nitrit Kullanımını Azaltma Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar ve Sanayiye Aktarılma Potansiyelleri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 28/08/2021 Kabul : 27/02/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Et Kürlenmiş Et Nitrit Nitrat Güncel Yöntemler</p>	<p>Günümüzde tüketicilerin sağlıklı ve doğal gıda talebi et endüstrisine de yansarak bu konuda yapılan araştırmalar ve yatırımlar hız kazanmıştır. Nitrit et ürünlerinde; karakteristik renk ve lezzetin gelişimine katkıda bulunması, lipid oksidasyonunu kontrol altına alması ve başta <i>Clostridium botulinum</i> olmak üzere patojen mikroorganizmalar üzerine antimikrobiyal etki göstermesi nedenleriyle yaygın olarak kullanılan sentetik katkı maddesidir. Ancak nitritin toksik, mutajenik ve kanserojenik N-nitrozamin bileşiklerinin oluşumuna neden olması ve insan sağlığı üzerinde risk oluşturması alternatif katkı arayışlarına yol açmıştır. Bu konuda yapılan çalışmaların önemli bir kısmının içeriğini, doğal katkı maddelerinin nitrite alternatif olarak kullanımının denenmesi oluşturmaktadır. Son yıllarda ise et ürünlerinde nitrat ve nitrit kullanımı yerine organik asitlerin, mikrobiyal kaynakların kullanımı çalışmaları da artmıştır. Bu yöntemlere ek olarak yüksek basınç, ışınlama, enkapsülasyon, nitrit içeren aktif ambalaj, çinko protoporfirin IX bileşiği oluşumu ve soğuk plazma teknolojisi gibi güncel teknolojik uygulamalar da et ürünlerinde nitrit oranının düşürülmesi konusunda karşımıza çıkan diğer araştırma alanlarını oluşturmaktadır. Bu derleme kapsamında, kürlenmiş et ürünlerinde nitritin fonksiyonları, nitrit oranının azaltılması amacıyla araştırılan ve uygulanan güncel yöntemler ve bu yöntemlerin sanayiye aktarımındaki olası kısıtlamalar incelenmiştir.</p>

[gulen.yildiz.turp@ege.edu.tr](https://orcid.org/0000-0002-9318-3349)

[http://orcid.org/0000-0002-9318-3349](https://orcid.org/0000-0002-9318-3349) | tuqce.avci9641@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3630-8336>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Et, doymuş ve doymamış yağlar, proteinler, karbonhidratlar, vitaminler ve pigment türlerinden oluşan karmaşık bir bileşime sahiptir (Pateiro ve ark., 2018). Bu besin bileşimi, etin bozulmasına sebep olan mikroorganizmaların çoğalması için ideal bir ortam oluşturmaktadır (Aymerich ve ark., 2008; Zhou ve ark., 2010). Ette olgunlaşma döneminde meydana gelen oksidasyon, proteoliz gibi biyokimyasal değişimler de bozulmaya yol açabilmektedir (Öztan, 2017). Bu nedenle, güvenliğini ve kalitesini korumak amacıyla et ürünlerine yeterli koruma teknolojilerinin uygulanması gerekmektedir (Aymerich ve ark., 2008; Zhou ve ark., 2010). Et ürünlerinin muhafaza edilmesinde kullanılan en eski yöntemlerden biri kürlenme işlemidir. Kürlenme işleminde, ete tuz, nitrat, nitrit gibi katkı maddeleri eklenerek etin kalite özelliklerinin korunması amaçlanmaktadır (Sebranek ve Bacus, 2007).

Nitrit kürlenmiş et ürünlerinde istenilen karakteristik rengi sabitleyen, lezzet gelişimine katkı sağlayan, lipit oksidasyonunun kontrol altına alınmasına yardımcı olan ve başta *Clostridium botulinum* olmak üzere çeşitli patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etki gösteren temel bir kür malzemesidir (Sindelar ve Milkowski, 2011). Ancak, nitritin asidik koşullar altında aminler ya da amidlerle reaksiyona girmesi ile kanserojen etki gösteren N-nitrozo bileşiklerinin oluştuğu bilinmektedir (Wakamatsu ve ark., 2020). Günümüzde tüketiciler tarafından sentetik katkı maddelerinin yerini alabilen, antioksidan ve antimikrobiyal özellik gösterebilen doğal katkı maddelerinin kullanıldığı, “yeşil etiketli” gıdalara gösterilen talep artmaktadır (Takwa ve ark., 2018; Vasilaki ve ark., 2019). Bu artan talep üzerine kürlenmemiş (nitrat veya nitrit eklenmemiş), doğal (kimyasal katkı maddesi içermeyen) veya doğal olarak kürlenmiş et ürünlerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır (Sebranek ve Bacus, 2007; Riel ve ark., 2017). Özellikle et ürünlerine ilave edilen nitrit alternatifi katkı ve/veya uygulanan işlemler üzerine yapılan araştırmaların arttığı gözlenmektedir. Et ürünlerinde nitritin sağladığı fonksiyonları yerine getirebilecek, sağlık riski oluşturmayan doğal katkı maddesi arayışı uzun zamandır araştırılan konular arasında yer almakla birlikte nitritin yerini alabilecek tek bir doğal katkı maddesi henüz keşfedilememiştir. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu bitkisel kaynakların bu amaçla kullanımına dayanmakta, organik asitler ve mikrobiyal kaynaklar da nitrit alternatifi olarak değerlendirilmektedir. Yapılan diğer güncel çalışmalarda ise yüksek basınç, ışınlama, enkapsülasyon, nitrit içeren aktif ambalaj, çinko protoporfirin IX bileşiği oluşumu ve soğuk plazma teknolojisi gibi güncel teknoloji uygulamalarının da nitrite alternatif olma potansiyelleri incelenmektedir. Bu derlemede, et ürünlerinde nitritin fonksiyonlarına, azaltılmasına yönelik araştırılan ve uygulanan güncel yöntemlere ve bu yöntemlerin sanayiye aktarımını kısıtlayan faktörlere yer verilmiştir.

Kürlenmiş Et Ürünlerinde Nitrat ve Nitritin Fonksiyonları

Nitrat ve nitrit, et ürünlerinde kürlenme ajanları olarak da adlandırılan katkı maddeleri olup birçok ülkede sodyum ve potasyum tuzları şeklinde kullanılmaktadır (Kaynakçı ve Kılıç, 2009). Nitrat pasif bir kürlenme ajanıdır. Kürlenme

reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için nitratın daha aktif formdaki nitrite indirgenmesi gerekmektedir (Terns ve ark., 2011). Bu indirgenme, belirli bir sıcaklık ve inkübasyon süresince, ürün içerisinde veya nitrat içeren katkı ürüne ilave edilmeden önce dış ortamda (Krause ve ark., 2011) bazı mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilebilmektedir (Sebranek ve Bacus, 2007).

Nitritin işlenmiş et ürünlerindeki temel fonksiyonu, *Listeria* spp. ve *Clostridium botulinum* gibi patojenik bakterilere karşı bakteriyostatik ve bakterisidal aktivite göstererek gıda güvenliğini sağlamaktır (Majou ve Christieans, 2018; Pini ve ark., 2020). Bununla birlikte nitrit, et ürünlerinde potansiyel olarak bulunan *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* ve *Bacillus cereus* gibi diğer patojenleri de inhibe edebilmektedir (Majou ve Christieans, 2018; Fraqueza ve ark., 2020). Nitritin en önemli fonksiyonlarından biri antioksidan özellik göstermesidir. Nitritin indirgenmesi sonucunda nitrik oksit bileşiği (NO) oluşmaktadır. Bu bileşik, serbest radikal tutucu olarak görev yaparak antioksidan özellik göstermektedir (Parthasarathy ve Bryan, 2012). Böylece et ve et ürünlerinin kalitesini olumsuz yönde etkileyen lipit oksidasyonu sonucunda gerçekleşen acılaşıma geciktirilmektedir (Vasavada ve Cornforth, 2005; Sindelar ve Milkowski, 2011). Ayrıca nitrit kalite gelişiminde etkin olan amino-peptidaz ve lipaz gibi kas enzimlerinin aktivitesini etkilememektedir (Motilva ve Toldrá, 1993; Toldrá ve ark., 1993; Flores ve Toldrá, 2021).

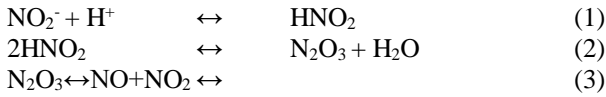
Nitritin diğer önemli fonksiyonları ise kürlenmiş et ürünlerinde karakteristik rengin sabitlenmesini ve nitrit içermeyen ürünlerden ayırt edilebilecek düzeyde eşsiz bir lezzet profili oluşturulmasını sağlamasıdır (Sindelar ve Milkowski, 2011). Nitritin nitrik oksite dönüşümü sonrasında, nitrik oksit bileşiği miyogloblin hem grubundaki Fe⁺²'ye bağlanarak nitrozomiyogloblin bileşiğini oluşturmaktadır (Hammes, 2012; Pini ve ark., 2020). Bu bileşik, tüketicilerin kürlenmiş et ürünlerinde temel bir organoleptik özellik olarak gördüğü karakteristik kırmızı kür rengini sağlamaktadır (Pini ve ark., 2020). Kürlenmiş et ürünlerinde karakteristik lezzet gelişimi için 50 mg/kg (Sindelar ve Milkowski, 2011) ve istenilen pembe rengin oluşumu için 2-14 mg/kg nitrit yeterli olurken, 40-50 mg/kg nitrit kullanımını homojen renk dağılımını sağlamakta ve zamanla rengin solmasını önleyebilmektedir (Sebranek ve Bacus, 2007; Yıldız Turp ve Sucu, 2016). Nitrit, sahip olduğu tüm bu özellikler nedeniyle et ürünlerinin güvenliğinin sağlanması ve kalitesinin korunması için kullanımı önemli olan bir kürlenme ajanıdır.

Et Ürünlerinde Kullanılan Nitrat ve Nitrit Miktarı Neden Azaltılmalı?

Kürlenmiş etlerin güvenliği 1970'li yıllarda tartışılmaya başlanmış ve nitrat/nitrit seviyelerinin insan sağlığı için bir risk oluşturup oluşturmadığı sorusu gündeme gelmiştir (Cassens, 1997). Diyetle alınan inorganik nitratın kardiyovasküler sistem üzerinde bazı yararları olduğu bildirilmiştir. Bazı sebzelerde bulunan nitrat, insan vücudunda önce nitrite ardından NO ve diğer biyoaktif ürünlere dönüştürülmektedir (Raubenheimer ve

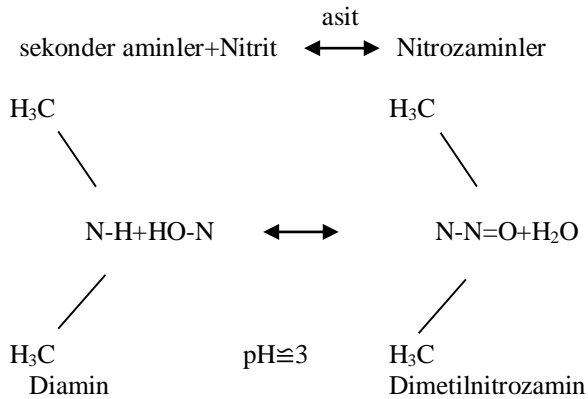
ark., 2019). Ancak yüksek seviyelerde nitrit uygulaması toksik, mutajenik ve kanserojenik N-nitrozamin bileşiklerinin oluşumuna neden olmaktadır (Ning ve ark., 2019; Chatkitanan ve Harnkarnsujarit, 2020). Bu bileşikler, kürlenmiş et ürünlerinde, sekonder bir aminin yüksek sıcaklıklarda ve yeterince düşük pH'lı bir ortamda nitritle reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Toldra, 2017). Taze ette amin miktarı oldukça az olup, olgunlaşma ve fermantasyon ile artmaktadır.

Eklenen nitrat/nitrit miktarı, et kalitesi, etin yağ içeriği, işleme koşulu ve paketlenme gibi çeşitli faktörler N-nitrozamin oluşumunu etkileyebilmektedir (Drabik-Markiewicz ve ark., 2011; Herrmann ve ark., 2015; Alirezalu ve ark., 2019). Kürlenme işleminde fazla nitrat ve nitrit kullanımı ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Candan ve Bağdatlı, 2018). N-nitrozamin bileşiklerinin koleraktal kanser başta olmak üzere (Santarelli ve ark., 2008), mide, karaciğer, yemek borusu kanseri gibi farklı kanser türlerinin oluşumunda, beyin tümörlerinin gelişiminde rol oynadığı ve çocuklarda lösemi riskini arttırdığı bildirilmiştir (Alirezalu ve ark., 2019). Nitrat/nitrit alımı ve kanser oluşum riski arasındaki ilişki üzerine yapılan bazı çalışmalardan elde edilen bulguların ise tutarsız ve belirsiz olduğu vurgulanmaktadır (Bryan ve ark., 2012; Karwowska ve Kononiuk, 2020). Ayrıca nitrit, insan vücudunda kanın O₂ taşıma işlevini önleyen veya azaltan methemoglobin oluşumuna neden olarak, özellikle çocuklar için tehlikeli olan methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) hastalığına yol açabilmektedir (Cemek ve ark., 2007). Nitritin sağlık üzerinde oluşturduğu tüm bu riskler nedeniyle, et ürünlerinde kullanımına yasal sınırlamalar getirilmiştir. Sınırlandırılan nitrat ve nitrit miktarları, ürün tipine ve ürünün üretildiği ülkeye göre değişkenlik gösterebilmektedir.



Şekil 1. Nitritin nitrik okside dönüşüm tepkimeleri (Honikel, 2008; Sebranek ve Bacus, 2007; Jo ve ark., 2020c).

Figure 1. Conversion reactions of nitrite to nitric oxide (Honikel, 2008; Sebranek and Bacus, 2007; Jo et al., 2020c).



Şekil 2. Nitrozamin oluşumu (Öztaş, 2017; Candan ve Bağdatlı, 2018).

Figure 2. Nitrosamine formation (Öztaş, 2017; Candan and Bağdatlı, 2018).

Ülkemizde yapılan yasal düzenlemelere göre; ısıtma işlemi görmemiş işlenmiş etlerde kullanımına izin verilen maksimum nitrit miktarı 150 mg/kg, sucuk ve pastırma hariç ısıtma işlemi görmemiş işlenmiş etler için ise maksimum nitrat miktarı 150 mg/kg olarak belirlenmiştir. Sterilize et ürünleri için kullanılacak maksimum nitrit miktarı 100 mg/kg iken sterilize et ürünleri hariç ısıtma işlemi görmüş işlenmiş etler için ise bu miktar 150 mg/kg'dır (TGK, 2013).

Et Ürünlerinde Nitrit Azaltılmasına Yönelik Güncel Yöntemler ve Bu Yöntemlerin Sanayide Kullanımında Olası Kısıtlayıcı Faktörler

İşlenmiş etlerde üzerinde en fazla tartışılan katkı maddesi sodyum nitrit olduğu gözlenmektedir (Ozaki ve ark., 2021). Et ürünlerinde sodyum nitrit kullanımı, tüketiciler için büyük bir endişe konusudur (Ahn ve ark., 2002; Kim ve ark., 2019a). Nitritin sağlığa olan zararlı etkileri ve tüketicilerin tercihleri göz önünde bulundurularak nitrite alternatif olabilecek doğal katkı ve/veya yöntem arayışı hız kazanmıştır. Farklı doğal katkı maddelerinin denenmesi, katkı maddelerinin kombinasyonları, organik asitlerin ve mikrobiyal kaynakların kullanımı et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla üzerinde uzun süredir çalışılmaya devam edilen konulardandır. Son yıllarda yapılan güncel çalışmalarda ise ışınlatma, yüksek basınç, soğuk plazma teknolojisi, nitrit içeren aktif ambalaj kullanımı, çinko protoporfirin IX bileşiği oluşumu ve enkapsülasyon araştırılan yeni potansiyel yöntemler olarak dikkat çekmektedir.

Bitkisel Katkı Maddelerinin Kullanımı

Et ürünlerinde kullanılan nitrit miktarını azaltmak amacıyla yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunu çeşitli bitkisel katkı maddelerinin bu amaçla denendiği çalışmalar oluşturmaktadır. Yüksek oranda nitrat içeren pancar, kereviz, marul, ıspanak, turp (Özdeş ve Üren, 2010) gibi sebzeler et ürünlerinde nitrit alternatifi olarak kullanılabilir. Özellikle kerevizin farklı formlarının et ürünlerinde nitrit ikamesi olarak kullanılmasının yaygın olarak incelendiği ve diğer sebzelerin kullanımına göre daha iyi sonuçlar alınabildiği gözlemlenmiştir (Jin ve ark., 2018; Özdemir, 2018; Yıldız Turp ve Sucu, 2018; Eisinaite ve ark., 2020).

Bitkisel katkı maddelerinin kullanımında iki strateji uygulanmaktadır. Bunlardan ilki, ürün karışımına doğrudan bitkisel katkı maddesinin starter kültür ile birlikte eklenmesidir. Böylelikle üretim süresince bitkide bulunan nitrat, starter kültür tarafından nitrite indirgenmektedir. İkinci stratejide ön dönüştürme uygulanır, nitrat içeriği bilinen sebze tozu ürüne eklenmeden önce mikroorganizma ile işleme tabi tutulmaktadır. Böylelikle bitkilerdeki nitratın nitrite dönüşümü işlemi bitkisel katkı ürüne eklenmeden önce gerçekleştirilmektedir.

Kereviz içeren katkı maddeleri başta olmak üzere "VegStable 506, celery juice powder" gibi çeşitli ticari bitkisel katkı maddelerinin ABD'de satışa sunulduğu ve araştırma grupları tarafından özellikle ABD yönetmelikleri ile izin verilen fermente bitkisel ekstraktların incelendiği gözlemlenmektedir. Asya ve Avrupa ülkelerinde bu konuda daha az sayıda çalışma olduğu, bunun nedeninin bu tip ürünlerin ticarileşmesinin daha az olmasına dayandığı

düşünülmektedir. Bitkisel katkı maddelerinin nitrit kaynağı olarak kullanıldığı et ürünlerinde etiket içeriği beyanı hala bir problem olma özelliğini sürdürmektedir (Flores and Toldra, 2021).

Ticari olarak nitrit ikamesi olarak satılan kereviz tozu (%0,14 Veg Stable 503 ve %0,27 Veg Stable 504) ve biberiye özü (%0,5) ilaveli salam örneklerinin 30 günlük olgunlaşma periyodu sonunda kontrol örneğiyle benzer duyuşsal özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Kawski ve ark., 2017). Yapılan çalışmalarda meyvelerin ve diğer bazı bitkisel kaynakların da et ürünlerinde antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle nitrit ikamesi olarak değerlendirildiği gözlenmektedir. Et ürünlerinde nitrit ikamesi olarak doğal katkı maddelerinin denendiği bazı çalışmalar Çizelge 1’de sunulmuştur.

Bitkisel katkı maddeleri tat ve aroma açısından yoğun bir lezzet profiline sahip olması nedeniyle (Candan ve Bağdatlı, 2018), yüksek konsantrasyonlarda kullanıldığında ürünün duyuşsal özelliklerinde olumsuz etki yaratabilmektedirler (Alahakoon ve ark., 2015). Yapılan bir çalışmada, domuz filetosunun kürlenme salamurasında, fermente ıspanak suyu ve azaltılmış oranda sodyum nitrit kullanılması sonucunda üründe kalıntı nitrit miktarının azaldığı, ancak ıspanağın ürünün aromasını ve genel kabul edilebilirliğini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Kim ve ark., 2019b). Benzer şekilde sucuk üretiminde ıspanak, havlıcan ve karanfilin nitrit ikamesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, ıspanağın ürünün pH değerlerinde artışa ve oluşturduğu yeşil renk nedeniyle duyuşsal değerlendirme puanlarında önemli düzeyde düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir (Yıldız Turp ve ark., 2018). Bitkisel ürünler kullanılırken ürüne en uygun konsantrasyonun belirlenmesi önemlidir (Alahakoon ve ark., 2015).

Et ürünlerinde nitrit ikamesi olarak bitkisel katkı maddelerinin kullanımının önünde bazı kısıtlayıcı faktörler olduğu gözlenmektedir. Bunlardan biri yukarıda değinildiği şekilde bitkisel katkı maddelerinin kendilerine özgü renk, lezzet özellikleri ve farklı pH değerleri nedeniyle üretilen et ürününün özelliklerinde kullanılan doza bağlı olarak istenilmeyen duyuşsal ve fiziksel değişimlere neden olabilmesidir. Bu durumda, et ürünlerine sadece sınırlı miktarlarda bitkisel ürünler eklenebilmektedir. Özellikle fermente et ürünlerine eklenen meyve ve pancar gibi bazı sebzelerdeki karbonhidrat içeriğinin starter kültürler için ilave bir substrat olarak değerlendirilebileceği ve ürün pH değerlerinde daha hızlı bir azalmaya neden olabileceği dikkate alınmalıdır. Bitkisel katkı maddelerinin et ürünlerinin belirtilen çeşitli özelliklerinde ve özellikle duyuşsal özelliklerinde olumlu sonuç verebilecek optimum dozu, nitritin üründe sağladığı antimikrobiyal, antioksidan, lezzet ve renk etkilerini yeterince sağlayamayabilmektedir. Diğer bir kısıtlayıcı faktör ise sebzelerin içerdiği nitrat oranı değişim gösterdiği için, bu sebzelerin nitrit ikamesi amacıyla kullanımında karşımıza çıkmaktadır. Sebzeler üzerinde yapılan çalışmalarda aynı çeşit sebzelerin farklı zamanlarında alınan örneklerinde bile nitrat konsantrasyonunun değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sebzelerde nitrat konsantrasyonunu inorganik azotlu gübre kullanımı, sebze çeşidi, kültürü, ışık, coğrafik bölge, hasat zamanı, depolama süresi gibi çok sayıda faktör etkilemektedir (Özdekan ve Üren, 2010). Bu nedenle nitrat içeriği yüksek sebzelerin et ürünlerinde nitrit ikamesi olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmaların sonuçları sanayiye aktarılıp uygulandığında her et ürünü partisinde formülasyon aynı olsa da oluşabilecek nitrit oranının farklılık gösterebilme ihtimali bulunmaktadır.

Bitkisel katkı maddelerinin et ürünlerinde kullanımı ile ilgili diğer bir konu N-nitrozamin oluşumudur. Nitrat veya nitrit bakımından zengin bitkisel ekstraktların, N-nitrozamin oluşumunu engelleyemeyeceği bildirilmiştir. Üründe oluşacak olası kalıntı nitritin yüksek sıcaklık altında reaksiyona girerek N-nitrozaminleri oluşturabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bitkisel kaynaklar pestisitler, bazı mikotoksinler, ağır metaller gibi çeşitli kalıntıları içerebilmektedir. Bunun bitkilerin spor içerebilme ve et ürünlerinde spor sayısının artışına neden olabilme riski bulunmaktadır (Flores and Toldra, 2021). Bitkisel katkı maddelerinin nitrit alternatifi olarak kullanımı ile ilgili tüm bu kısıtlamalar, sanayiye aktarımını güçleştiren faktörlerdir.

Organik Asit ve Mikrobiyal Kaynakların Kullanımı

Laktik asit bakterileri (LAB) organik asitler, antibakteriyel peptitler ve bakteriyosinler gibi birçok antimikrobiyal madde üretmektedir (Holtzel ve ark., 2000; Magnusson ve Schnürer, 2001; Gálvez ve ark., 2007). Bu maddelerin *Listeria monocytogenes*, *Clostridium* spp., *C. botulinum*, *B. cereus*, *Salmonella* spp. ve *E. coli*’ye karşı etkili oldukları tespit edilmiştir (Fraqueza ve ark., 2020). Bu nedenle laktik asit bakterilerinin (LAB), antibakteriyel peptitlerin, organik asitlerin ve bakteriyosinlerin antimikrobiyal özelliklerine dayanarak et ürünlerinde nitrit alternatifi olarak değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada, *Lactobacillus plantarum*’un (7 ve 8 log CFU/g) sosiste nitrite alternatif olarak kullanımının, *Salmonella enterica* ve *L. monocytogenes* sayılarını azalttığı belirtilirken, bu üründe kullanılan nitrit miktarının 50 mg/kg’a kadar düşürülebileceği bildirilmiştir (Slima ve ark., 2017). Benzer şekilde fermente et ürününde *Lactobacillus pentosus* (7 log CFU/g) ve farklı oranlarda sodyum nitrit (60 ve 120 mg/kg) kullanılan bir çalışmada, *L. pentosus*’un göstermiş olduğu antibakteriyel aktivite sonucunda üründe mikrobiyal stabilitenin sağlandığı belirtilmiştir (Zhu ve ark., 2019).

Yapılan bazı çalışmalarda et ürünleri formülasyonlarında kullanılan nitrit miktarını azaltmak amacıyla nisin, enterosin, sakasin ve pediosin gibi bazı LAB bakteriyosinlerinin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Jayaweera ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, nisinin tavuk sosisinde *Salmonella* Typhimurium ve *Bacillus subtilis*’e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği ve nitritin yerini alma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Enterosinin salamda *L. monocytogenes*’e karşı etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, *L. monocytogenes* sayısında 1,67 log azalma sağlandığı bildirilmiştir (Lauková ve ark., 1999; Alahakoon ve ark., 2015).

Et ürünlerinde nisin kullanımına yönelik bazı temel sınırlamalar olduğu ve bu sınırlamaların, nisinin ürünlerdeki düşük çözünürlüğü, enzimatik yıkım olasılığı ve birkaç önemli patojenik veya bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların inhibisyonundaki yetersizliği ile ilgili olduğu ifade edilmiştir (De Martinis ve ark., 2002; da Costa ve ark., 2019). Fermente et ürünlerine eklenen bakteriyosinlerin %80’e kadar olan büyük bir bölümü gıda bileşenleri tarafından adsorbe edilebilmekte ve bu da düşük veya yetersiz koruyucu etki göstermesi ile sonuçlanabilmektedir (Aasen ve ark., 2003; Gharsallaou ve ark., 2016; Favaro ve Todorov, 2017). Ayrıca, gıdalarda yaygın olarak kullanılan bakteriyosinlerin, gıda kaynaklı hastalıklara sebep olan gram (-) patojenleri inhibe edemediği bildirilmiştir (da Costa ve ark., 2019). Bu durum bakteriyosinlerin gıdalarda kullanımını sınırlandırmaktadır.

Çizelge 1. Et ve et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla doğal katkı maddelerinin kullanıldığı bazı çalışmalar
Table 1. Some studies that were used natural additives to reduce nitrite in meat and meat products

Ürün	Katkı	Sonuçlar	Kaynak
Sosis	Kırmızı üzüm posası (%1 ve %2), Sodyum nitrit (30, 60 ve 120 mg/kg)	%1 oranında üzüm posası ilavesinin, farklı oranda nitrit içeren sosis örneklerinde lipit oksidasyon derecesini azaltabileceği saptanmıştır.	Riazi ve ark., 2016
Sucuk	Pancar tozu (%0,12, %0,24 ve %0,35), Sodyum nitrit (50, 100 ve 150 mg/kg)	Pancar tozunun, sucuk örneklerinde kırmızılık (a^*) değerlerini arttırdığı ve oluşan cazip kırmızımsı rengin depolama süresince korunduğu saptanmıştır. Nitrit kullanılmayan ve %0,35 pancar tozu eklenen sucuk örneklerinin oksidasyon bakımından 56 güne kadar depolanabileceği belirlenmiştir.	Sucu ve Yıldız Turp, 2018
Hindi Kıyması	Alıç (%1,5 ve 10) ve gilaburu (%65) konsantresi	Alıç ve gilaburu konsantresi oranı arttıkça üründe oksidasyonun azaldığı belirtilmiştir. Özellikle %10 oranında alıç konsantresi kullanımının kanatlı etindeki oksidatif değişimlerin geciktirilmesinde etkili bir yöntem olabileceği bildirilmiştir.	Çemtekin ve ark., 2019
Sosis	Kişniş esansiyel yağı (0,075-0,150 µL / g) Sodyum nitrit (0, 50 ve 100 mg/kg)	Kişniş esansiyel yağının domuz sosisi örneklerinde önemli antioksidatif ve antimikrobiyal aktivite gösterdiği, ürünün kalitesini ve raf ömrünü artırma potansiyeline sahip olduğu saptanmıştır.	Šojić ve ark., 2019
Sosis	Dondurularak kurutulmuş kereviz (%2,58), Sodyum nitrit (150 mg/kg)	Kereviz katkılı sosis örneklerinin a^* değerleri depolama süresince kontrol örneğinden daha düşük belirlenmiştir. Bununla birlikte kerevizin uygun starter kültürlerle birlikte nitrit alternatifi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.	Eisinaite ve ark., 2020
Sosis	Biberiye ekstraktı (%0-0,5), üzüm çekirdeği ekstraktı (%0-0,5), yeşil çay polifenolü (%0-0,5), Sodyum nitrit (%0,015)	%0,5 oranında kullanılan yeşil çay polifenolü örneklerde kalıntı nitrit, N-nitrozamin içeriği ve TBARS değerleri bakımından en iyi sonuç veren katkı olarak saptanmıştır.	Zhou ve ark., 2020
Sosis	Domates posası (0,075 ve 0,150 µL/g), organik nane uçucu yağı (0,075 ve 0,150 µL/g) Sodyum nitrit (50 mg/kg)	En düşük kalıntı nitrit ve TBARS değerleri 0,075 µL/g oranında domates püresi ve 50 mg/kg nitrit ile üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Bunun yanında en düşük toplam canlı sayımı 0,150 µL/g oranında organik uçucu nane yağı ve 50 mg/kg sodyum nitrit içeren örneklerde saptanmıştır.	Šojić ve ark., 2020
Fermente et ürünü	Turp tozu (%0,5 ve %1) ve pancar tozu (%0,5 ve %1) Sodyum nitrit (150 mg/kg)	pH, renk, kalıntı nitrit, Laktik asit bakteri gelişimi açısından en iyi sonuç veren katkının, %1 oranında eklenen turp tozu olduğu belirlenmiştir.	Ozaki ve ark., 2021

Organik asitler, et ürünleri için güvenli olduğu kabul edilen antimikrobiyallerdir (Hugo ve Hugo, 2015). Kırmızı et ve kanatlı et ürünlerinde organik asitlerin (propiyonik, laktik, piruvik, asetik ve sitrik asitler gibi) sodyum ve potasyum tuzları yaygın olarak kullanılmaktadır (Thippareddi ve ark., 2003). Yapılan bir çalışmada, sodyum nitrit, nisin, potasyum sorbat ve sodyum laktatın, domuz sosisinde *S. aureus* gelişimi ve stafilocokal enterotoksin A üretimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda sodyum nitrit, nisin ve potasyum sorbatın, *S. aureus* gelişimine karşı zayıf bir etki gösterdiği ve stafilocokal enterotoksin A üretimine karşı herhangi bir etki sağlayamadığı, bununla birlikte 24 g/kg oranında sodyum laktat kullanımının *S. aureus* gelişimini ve stafilocokal enterotoksin A üretimini önemli ölçüde inhibe ettiği tespit edilmiştir (Lin ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, % 1,5 sodyum laktat, 100 ppm kekik uçucu yağı ve 200 ppm nitrit içeren ve farklı sıcaklıklarda (8°C' de 41 gün ve 30°C' de 14 gün) depolanan sosis örnekleri *L. monocytogenes* gelişimi bakımından incelenmiştir. 8°C' de

depolanan sosis örneklerinde en etkili *L. monocytogenes* inhibisyonunun aralarında önemli bir fark olmaksızın nitrit ve sodyum laktat ilavesi ile sağlandığı belirlenmiştir. 30°C' de depolanan örneklerde ise en iyi inhibisyon sağlayan katkının sodyum laktat olduğu saptanmıştır (Blanco-Lizarazo ve ark., 2017).

Organik asitlerin, doğal katkı maddeleriyle kombinasyon halinde nitrit alternatifi olarak değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada farklı oranlarda karabiber (5, 10 ve 15 g/kg) ve sodyum askorbat (0 ve 568 mg/kg) kullanılarak üretilen ve farklı pişirme süreleri uygulanan sucuk örneklerinde kalıntı nitrit miktarının sodyum askorbat kullanımı ile önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır (Sallan ve ark., 2019). Kim ve ark. (2019a) tarafından yapılan bir çalışmada, domuz filetosu örneklerine küreme aşamasında uygulanan marinasyon formülasyonlarının içeriği bazı organik asitler (malik, askorbik, sitrik ve tartarik asit), fermente ıspanak ve sodyum nitritle kombine edilerek hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda askorbik asit, malik asit, sitrik asit ve

fermente ispanak ile marine edilen örneklerin a^* değerleri, askorbik asit ve sodyum nitrit içeren marinasyonla marine edilen örneklerle kıyasla daha yüksek belirlenmiştir. Organik asit eklenen örneklerin kalıntı nitrit içerikleri daha düşük tespit edilmiştir. Sitrik asit haricinde diğer katkı maddeleri üründe lipit oksidasyonunun engellenmesi üzerine olumlu etki gösterirken, ürünün kalite özellikleri üzerinde en etkili organik asidin askorbik asit olduğu saptanmıştır. Yapılan çalışmalar ışığında laktik asit bakterilerinin ve organik asitlerin et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla kullanımı ile olumlu sonuçlar alınabildiği gözlenmektedir. Ancak et endüstrisinde ucuz ve kullanımı daha kolay olduğu için sentetik nitritler (sodyum ve potasyum nitrit) daha çok tercih edilebilmektedir (Jo ve ark., 2020c).

Işınlama ve Yüksek Basınç Teknolojilerinin Kullanımı

Işınlama, gıdanın istenilen bir teknolojik amaca ve usulüne uygun olarak yeterli bir dozda iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılmasıdır (TGK, 2019). Bu uygulama, nitrit veya diğer kimyasal koruyucuların kullanımını azaltarak, et ürünlerinde hijyenik kalite, daha uzun raf ömrü, kimyasal ve toksik kalıntıların azaltılması gibi çok sayıda avantaj sağlayabilmektedir (Cummins ve Lyng, 2017). Yüksek basınç uygulaması ise sıvı veya katı gıdaların, ambalajlı veya ambalajsız olarak 100–1000 MPa basınca maruz bırakılmasıyla yapılan bir işlemdir (Özlü ve Atasever, 2007). Bu teknolojinin uygulanması ile et ürünlerinde mikrobiyolojik stabilite sağlanarak nitrit kullanımının sınırlanabileceği belirtilmiştir (Fraqueza ve ark., 2018; Possas ve ark., 2019).

Işınlama ve yüksek basınç teknolojilerinin et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla tek başına veya doğal antimikrobiyal ve antioksidan maddelerle kombine edilerek kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Farklı dozlarda gamma ışınlaması (0, 2,5 ve 5 kGy) ve antioksidan kombinasyonu (misk otu ekstraktı ve askorbik asit) bir arada kullanılarak yapılan bir çalışmada, tavuk sosisi örneklerinde kalıntı nitrit miktarının azaldığı ve lipit oksidasyonunun geciktirildiği bildirilmiştir (Hwang ve ark., 2015). Bu konuda yapılan başka bir çalışmada ise, farklı oranlarda (%0, 1 ve 2) yasemin çayı ekstraktından elde edilen damıtılmış beyaz sirke eklenen sosis örneklerine 500 MPa/3 dk yüksek basınç uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda %1 oranında sirke ilavesinin ve 500 MPa'da yüksek basınç uygulamasının, sosis örneklerinin kalite özelliklerinde olumsuz bir etki yaratmadan *C. perfringens*'in gelişimini önlediği ve bu kombinasyonun nitrit alternatifi olarak kullanılabilceği ifade edilmiştir (Lee ve ark., 2019).

Jambon örneklerinde farklı dozlarda gamma ışınlaması (0-6 kGy) uygulaması ve sodyum nitrit (0, 50 ve 150 mg/kg) ilavesinin kombine edildiği bir çalışmada, ışınlamanın jambon örneklerinde *C. sporogenes* sporlarının azaltılmasında etkili olduğu, ışınlama uygulanan örneklerin aromasının geliştiği ve kontrol örneklerine yakın duyuşal değerlendirme puanları elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmada, duyuşal ve mikrobiyal kalite açısından en uygun kombinasyonun 3 kGy gamma ışınlaması ve 50 mg/kg sodyum nitrit kullanımı olarak belirlenmiştir (Silva ve ark., 2021). Benzer şekilde Jonas ve ark. (2017) tarafından sosiste 450 ve 600 MPa (5 dakika,

20°C) yüksek basınç ile farklı oranlarda (50, 75, 100 ve 125 mg/kg) sodyum nitrit uygulamasının ikombine edildiği bir çalışmada ise, yüksek basınç uygulamasının tüm nitrit konsantrasyonlarında örneklerin parlaklık (L^*) değerlerini azalttığı, a^* değerlerini önemli ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Fonksiyonel özellikler açısından değerlendirildiğinde, en iyi sonuçların 450 MPa basınç ve 75 ppm sodyum nitritin kombine edildiği örnekte gözlemlendiği bildirilmiştir.

Işınlama ve yüksek basınç teknolojileri et ürünlerinde birçok avantaj sağlamasına rağmen bazı istenmeyen değişikliklere neden olabilmektedir (Cummins ve Lyng, 2017). Işınlama işlemi sonrasında, lipit oksidasyonu ve diğer kimyasal değişikliklere sebep olan serbest radikaller oluşabilmektedir (Du ve ark., 2002). Bu durum, ışınlanmış etlerde istenmeyen tat gelişimine sebep olabilmektedir (Korel ve Orman, 2005). Yapılan bir çalışmada, kurutulmuş ete farklı dozlarda (2-9 kGy) uygulanan ışınlama işlemi sonucunda ışınlama dozu arttıkça ürünün renk, tat, sertlik gibi özelliklerinde olumsuzlukların arttığı ve bu değişikliklerin serbest radikallerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Zhao ve ark., 2018).

Yapılan bir çalışmada, hindi göğüs etine uygulanan ışınlama işlemi sonrasında lipit oksidasyonu ve protein oksidasyonunda önemli düzeyde artışlar tespit edilirken, farklı bir koku belirlenmiş ve bu durumun kükürt içeren amino asitler ve aldehitlerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Feng ve ark., 2017). Işınlama uygulaması ile mikroorganizmalarda direnç gelişimi ortaya çıkabilmektedir. Işınlama işleminin en büyük dezavantajlarından biri ise toplumun, iyonize radyasyona tabi tutulmuş gıdalar ile ilgili ön yargı ve yanlış görüşlere sahip olmasıdır (Budak ve Obuz, 2006).

Yüksek basınç teknolojisinin çok sayıda avantajı olmakla birlikte, et ürünlerinde lipit oksidasyonunun artmasına sebep olabilmektedir. 300 MPa'nın altındaki yüksek basınç uygulamasının lipit oksidasyonu üzerindeki etkisi az olmakla birlikte, basınç seviyesi arttıkça lipit oksidasyonunun arttığı bildirilmiştir (Cummins ve Lyng, 2017). Yüksek basınç teknolojisi et rengi üzerinde olumsuz değişikliklere neden olabilmektedir. Yüksek basınç uygulamasının taze et rengi üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, orta derecelerde uygulanan basıncın (50-215 MPa) bile et rengi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu belirtilirken, ürünün L^* değerinde bir artışa ve a^* değerinde bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir (Ha ve ark., 2017). Benzer şekilde farklı oranlarda sodyum nitrit ve yüksek basınç uygulaması kullanılarak çiğ et hamuru üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada, nitrit azaltılması ve yüksek basıncın ürünün a^* değerlerinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Visy ve ark., 2019). Bununla birlikte genel olarak basınç, zaman, sıcaklık, kütleme ve artan pH gibi parametreler optimize edilerek yüksek basınç yönteminin üründe oluşturduğu istenmeyen değişiklikler sınırlandırılmaktadır (Bajovic ve ark., 2012).

Işınlama ve yüksek basınç yöntemlerinin sanayide yaygın olarak uygulanmasının önündeki engellerden bir diğeri de yüksek uygulama maliyeti gerektirmeleridir. Aynı zamanda yüksek basınç teknolojisi, yapım, kullanım ve bakım aşamalarında son derece yüksek hassasiyet gerektiren bir ekipmandan oluşmaktadır (Cummins ve Lyng, 2017). Tüm bu dezavantajlar, ışınlama ve yüksek

basınç uygulamalarının sanayide et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla kullanımı önünde kısıtlayıcı bir faktör olarak yer almaktadır.

Çinko Protoporfirin IX Bileşiği Oluşumundan Yararlanılması

Nitritin sağladığı, istenilen kırmızı rengi et ürünlerinde elde etmek amacıyla, nitrite alternatif tüm farklı alternatifler giderek daha fazla ilgi görmektedir (Parolari ve ark., 2009). Nitrat/nitrit kullanmadan üretilen Parma jambonlarında kırmızı rengin oluşmasını sağlayan çinko protoporfirin IX (ZnPP) bileşiği tespit edilmiştir (Wakamatsu ve ark., 2004). ZnPP bileşiğinin sadece Parma jambonunda değil, diğer et ürünlerinde de daha az konsantrasyonlarda olmakla birlikte bulunduğu bildirilmiştir (Adamsen ve ark., 2006; Grossi ve ark., 2014).

ZnPP kararlı parlak bir kırmızı pigmenttir ve nitrit/nitrat olmadan et ürünlerinin rengini iyileştirme yeteneğine sahip olduğu düşünülmektedir (Wakamatsu ve ark., 2004; Asaduzzaman ve ark., 2020). Bu bileşiğin oluşum mekanizması halen çözülememiş olmakla birlikte ferroselataz gibi etteki endojen enzimlerin ZnPP oluşumunu teşvik ettiği bildirilmiştir (Chau ve ark., 2011; Becker ve ark., 2012; Wakamatsu ve ark., 2020). ZnPP oluşumunda endojen enzimlerin dışında, ete starter kültür olarak eklenen bazı mikroorganizmaların da etkili olduğu, ette bulunan mikroorganizmalara kıyasla ZnPP oluşumunu bu mikroorganizmaların daha çok arttırdığı ve böylece et renginin iyileştirilebileceği belirtilmektedir (Wakamatsu ve ark., 2020). Bununla birlikte, nitrat ve nitrit ilave edilerek kürlen en ürünlerde nitrik oksidin oluşmasıyla ZnPP oluşumunun engellendiği saptanmıştır (Adamsen ve ark., 2006; Grossi ve ark., 2014).

Son yıllarda et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla yapılan çalışmalarda ZnPP bileşiği oluşumunu etkileyen faktörlerin daha kapsamlı incelendiği gözlenmektedir. Yapılan bir çalışmada, nitrit ilavesi olmadan üretilen sucukta çinko protoporfirin IX pigmentinin sadece 4.9'dan yüksek pH koşullarında oluşabildiği belirlenmiştir. Üretim sürecinin ilerleyen aşamasında (177. güne kadar) ise bu pigmentin önemli ölçüde arttığı ve pH'ya ek olarak, sürenin de oluşum sürecinde çok önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir (De Maere ve ark., 2016). Başka bir çalışmada, nitrit içermeyen domuz kıyması örneklerine çinko protoporfirin IX oluşturan mikroorganizmalar eklenmiştir. *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc mesenteroides* ve *Enterococcus faecium* izolatlarının inoküle edildiği örneklerde *L** değerlerinin ve ZnPP oluşumunun kontrol örneğine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ZnPP oluşturan bu mikroorganizmalar ile nitrit/nitrat olmadan et ürünlerinin rengini iyileştirmenin mümkün olabileceği bildirilmiştir (Asaduzzaman ve ark., 2020).

Nitrat/nitrit içermeyen et ürünlerinde ZnPP'nin oluşum mekanizmasında süreç oksijen, sıcaklık, tuz içeriği, pH ve kas lifi tipi gibi faktörlere bağlı olduğu ifade edilmektedir (Wakamatsu ve ark., 2020). Bunun yanında, kırmızı pigmenti et ürünlerinde hızlı bir şekilde geliştirmenin zor olduğu belirtilmektedir (Chau ve ark., 2011). Bu durum sanayide kullanım açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır. Aynı zamanda et ürünlerinde nitrat/nitrit kullanılmaması gıda güvenliği açısından risk

oluşturduğu için, diğer yöntemlerle birlikte kullanılması ihtiyacı bulunmaktadır. ZnPP'nin ette oluşum mekanizması, nitrit azaltılması amacıyla kullanımı, oluşumunu etkileyen faktörlerin ortaya konulması konuları henüz araştırma aşamasında olup, sanayiye aktarılabilme potansiyelinin değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Nitrit İçeren Aktif Ambalaj Teknolojisi Uygulanması

Aktif ambalajlama teknolojisinde gıdanın kalitesini korumak, gıda güvenliğini sağlamak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla ambalaj malzemesine ya da ambalaj ortamına bazı aktif maddeler eklenmektedir (Kızıllırmak Esmer ve ark., 2020). Antimikrobiyal madde içeren film ve kaplamalar aktif ambalajlama sistemlerine örnek olarak gösterilebilmektedir (Özdemir ve Floros, 2004; Ayana ve Turhan, 2010). Nitrit içeren film kullanımı, kürlenmiş etlerin raf ömrünü artırma potansiyeline sahip yeni bir aktif ambalajlama teknolojisidir (Cropp, 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalarda nitrit içeren filmlerin, et ve et ürünlerinde kullanıldığında son derece düşük nitrit konsantrasyonunu sağladığı ve et paket ile temas ettiğinde film yüzeyine gömülü olan nitritin, ette çözünerek nitrik oksiti oluşturduğu saptanmıştır (Cropp ve ark., 2020). Böylece bu teknolojiye kürlenmiş et ürünlerinde nitrit azaltılması konusunda yapılan çalışmalarda yer vermeye başlanmıştır. Yapılan bir çalışmada, kereviz tozu (%0,44) ve kiraz tozu (%0,5) ile kürlen Bologna sosislerine, nitrit içeren film ile aktif ambalajlama teknolojisi uygulandığında hem yüzeyde hem de iç kısımlarında *a** değerlerinin geliştirildiği ve renk stabilitesinin geleneksel filmle kaplanan örneklerle göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üründe belirlenen kalıntı nitrit miktarının geleneksel filmlere göre farklılık göstermediği saptanmıştır (Cropp ve ark., 2020).

Yapılan çalışmalar, nitrit içeren film kullanımı ile et ürünlerinin özelliklerini koruyarak, kullanılan nitrit miktarında azalma sağlanabileceğini ve bu teknolojinin nitrit azaltılması konusunda yeni ve umut verici bir uygulama olduğunu göstermektedir. Ancak teknik sınırlamalar ve yüksek maliyet, et endüstrisinde aktif ambalajlama teknolojisinin uygulanmasını kısıtlamaktadır (Realini ve Marcos, 2014). Bu teknolojinin et ürünlerinde nitrit azaltılması konusunda sanayide kullanım potansiyeli, yapılacak ayrıntılı çalışmalar ve maliyete dayalı olumsuz faktörlerin elimine edilmesinin ardından diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olarak gözlemlenmektedir.

Enkapsülasyon Uygulanması

Gıda bileşenleri, enzimler, mikroorganizmalar gibi katı veya sıvı yapıdaki aktif maddelerin bir kaplama materyali ile kaplanarak çevresel koşullara karşı daha dirençli hale getirilmesine enkapsülasyon adı verilmektedir (Fang ve Bhandari, 2010; Soyuçuk ve ark., 2019). Et ürünlerinin kalite özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan enzimler, katkı maddeleri, esansiyel yağlar, ekstraktlar ve mikroorganizmaların etkinliğinin sağlanması için enkapsülasyon teknolojisi kullanılmaktadır (Soyuçuk ve ark., 2019).

Son yıllarda et ürünlerinde nitrit oranının azaltılması amacıyla antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip doğal katkı maddelerinin enkapsüle edilerek kullanıldığı çalışmaların artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşük

seviyede (25 ppm) nitrit içeren tavuk sosisi örneklerinde enkapsüle gac (bir kavun türü) tozu ekstraktı kullanılan bir çalışmada, örneklerin a^* ve sarılık (b^*) değerlerinin geliştirildiği, toplam canlı sayısında azalma sağlandığı ve lipid oksidasyonunun yavaşlatıldığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda enkapsüle gac tozu ekstraktının düşük nitrit içeren sosis örnekleri için fonksiyonel bir bileşen olabileceği belirtilmiştir (Chanshotikul ve Hemung, 2019). Başka bir çalışmada, sosis enkapsüle kekik esansiyel yağı (500 ppm) ve sodyum nitrit (20 ppm) kombinasyonu kullanılması sonucunda sosis örneklerinin renk ve duyuşal özellikleri olumsuz yönde etkilenmeden *C. perfringens*'e karşı bakterisidal aktivite sağlandığı ve bu katkının et ürünlerinde nitrit ikamesi olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir (Vafania ve ark., 2019). Benzer şekilde kekik esansiyel yağının enkapsüle edilerek hamburger köftesinde kullanılması sonucunda, *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium*'a karşı antimikrobiyal etki sağlandığı ve bu katkının gıdalarda doğal bir koruyucu olarak uygulanabileceği bildirilmiştir (Radünz ve ark., 2020). Karim ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise, farklı konsantrasyonlarda (750 ve 1000 ppm) enkapsüle tarçın esansiyel yağı (sinnamaldehyt) farklı oranlarda nitrit (20 ve 120 ppm) ile kombine edilerek sosis üretiminde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda enkapsüle tarçın esansiyel yağının, sosisin renk, doku ve duyuşal özelliklerinde olumsuz etki oluşturmadan, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı bakterisidal etki gösterdiği saptanmıştır.

Çeşitli katkı maddelerine enkapsülasyon yöntemi uygulanması ile et ürünlerinde nitrit azaltılması konusunda yapılan çalışmaların sonuçlarının umut verici olduğu gözlenmekle birlikte bu yöntemin, üreticiler için ek masraflara yol açması, üretim süreci ve tedarik zincirinin artan karmaşıklığı, tüketici ön yargısı ve kapsüllerin stabilite zorlukları (Zuidam ve Nedovic', 2010) bu yöntemin sanayiye aktarımını sınırlandırmaktadır. Belirtilen kısıtlamaların yapılacak çalışmalarla azaltılma imkânı bulunmaktadır. Ancak katkı maddeleri enkapsüle edilerek kullanılsa da bu yöntemin nitritin et ürünlerinde sağladığı antimikrobiyal, antioksidan etkileri, lezzet ve renk özelliklerini geliştirmede, doğrudan katkı maddelerinin kullanıldığı çalışmalarda olduğu gibi yetersiz kalabileceği ve diğer yöntemlerle kombinasyona ihtiyaç duyulabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Soğuk Plazma Teknolojisi Kullanımı

Maddenin dördüncü hali olarak tarif edilen plazma; pozitif ve negatif iyonlar, elektronlar, serbest radikaller ve nötr parçacıklardan oluşan kısmen veya tamamen iyonize edilmiş gaz olarak tanımlanmaktadır (Nehra ve ark., 2008; Lee ve ark., 2017). Genel olarak güçlü bir radyasyon, elektrik alan veya elektriksel boşalım etkisiyle oluşan veya oluşturulan plazma (Denes ve Manolache, 2004; Güleç, 2012), mikroorganizmaların DNA'sına ve dış zarlarına oksidatif hasar vererek hücre ölümüne yol açan reaktif oksijen türlerini ve reaktif azot türlerini içermektedir (Lee ve ark., 2018).

Plazma düşük basınçta veya atmosfer basıncında üretilebilmekte ve termodinamik durumlarına göre termal veya termal olmayan plazma olarak sınıflandırılmaktadır (Misra ve ark., 2018; Jo ve ark., 2020a). Gıda kalitesinde bozulmaya yol açabileceğinden termal plazmaların ısıya duyarlı gıdalarda kullanımı uygun değildir. Bu nedenle et

ve et ürünlerine termal olmayan (soğuk) plazma teknolojisi uygulanmaktadır. Bu teknolojinin mikroorganizmaları kısa sürede ve etkili bir şekilde inhibe ettiği tespit edilmiştir (Yüksel ve Karagözlü, 2017). Son zamanlarda ise plazmanın, kürlenmiş et ürünlerinin üretiminde önemli bir katkı maddesi olan nitritin yerini alabilme potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır (Jung ve ark., 2015; Lee ve ark., 2017). Yapılan güncel çalışmalarda, et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla atmosferik basınçta çalışan soğuk plazma sistemleri ve plazma ile artırılmış su kullanımı araştırılan konular arasındadır (Lee ve ark., 2018; Inguglia ve ark., 2020; Jo ve ark., 2020b).

Atmosferik basınç altında üretilen plazmaya atmosferik basınç plazması adı verilmekte ve bu teknoloji termal olmayan sterilizasyonda yenilikçi bir yöntem olarak dikkat çekmektedir (Yong ve ark., 2015; Misra ve Jo, 2017; Yong ve ark., 2019). Plazmada bulunan ultraviyole, reaktif türler ve yüklü parçacıklar, doğrudan gıda yüzeyindeki mikroorganizmalarla etkileşime girmekte (Jung ve ark., 2015; Yong ve ark., 2015) ve mikroorganizmaları inhibe etmektedir. Bununla birlikte plazma ile et ürünleri doğrudan işlendiğinde nitrit içeriğinin kademeli olarak artırılabilmesi belirtilmektedir (Jung ve ark., 2017; Lee ve ark., 2018). Bitkisel kaynakların da nitrat içeriğinden bağımsız olarak plazma işlemi ile doğal nitrit kaynaklarına dönüştürülebileceği ifade edilmektedir (Jo ve ark., 2020a).

Yapılan bir çalışmada, 60 dk süreyle plazma yöntemi uygulanan örneklerin nitrit içeriğinde artış gözlemlenirken, 30 dk süren uygulamanın sonunda örneklerin renk, doku, oksidasyon ve kalıntı nitrit sonuçlarında, nitritle üretilen örneklerle kıyasla önemli bir farklılık gözlenmediği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda konserve jambon kıymasının plazma uygulaması ile katkı maddesi kullanılmadan üretilebileceği ifade edilmiştir (Lee ve ark., 2018). Benzer şekilde Yong ve ark. (2019) tarafından kurutulmuş domuz eti örneklerine atmosferik basınç altında 40 ve 60 dk süreyle plazma teknolojisi uygulanan bir çalışmada, örneklerin a^* değerlerinde artış, lipid oksidasyonunda azalma sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca örneklerde *S. aureus* ve *B. cereus* patojenlerinin miktarının nitrit içeren örneklerle kıyasla önemli ölçüde düşük olduğu gözlenmiştir.

Yapılan son çalışmalarda bitkisel kaynakların plazma işlemine tabi tutularak nitrit içeriklerinin artırıldığı ve nitrit alternatifleri olarak et ürünlerinde denendiği gözlemlenmiştir. Jo ve ark. (2020b) tarafından yapılan bir çalışmada, konserve jambon kıymasında nitrit alternatifleri olarak, soğuk atmosferik plazma işlemine tabi tutularak nitrit içeriği 4,87 g/kg olan kış mantarı kullanılması sonucunda, örneklerin renk ve TBARS değerlerinin, nitrit içeren örneklerle benzerlik gösterdiği ve elde edilen bu katkının nitrit ikamesi olarak başarıyla kullanılabilmesi belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, yumurta akı (%30) içeren soğan tozuna soğuk atmosferik plazma işlemi uygulanmıştır ve sosis formülasyonunda nitrit alternatifleri olarak kullanılmıştır. Bu karışım ile formüle edilen sosis örneklerinin, nitrit içeren örneklerle benzer a^* değerlerine sahip olduğu ve plazma işlemi ile nitrit içeriği artırılan yumurta akı ilaveli soğan tozunun sentetik nitrit yerine kullanılabilir etkili bir katkı olduğu bildirilmiştir (Kim ve ark., 2021).

Yapılan çalışmalar, et ürünlerinin atmosferik basınçlı soğuk plazma ile muamele edilmesi sonucunda patojen inaktivasyonu sağlandığını göstermektedir. Ancak bazı

çalışmalarda plazma işleminde uygulama süresi arttıkça et ürünlerinde TBARS değerlerinin artış gösterdiği (Rød ve ark., 2012; Kim ve ark., 2013; Jayasena ve ark., 2015), a^* ve L^* değerlerinin ise azaldığı gözlemlenmiştir (Kim ve ark., 2013; Jayasena ve ark., 2015; Lee ve ark., 2016). Plazma yönteminin et ürünlerinde renk ve oksidasyon üzerindeki olumsuz etkileri bazı engel teknolojileriyle ve ürüne uygun optimum uygulama koşullarının belirlenmesiyle engellenebilmektedir. Henüz bu teknolojinin et ürünlerinin çeşitli özellikleri üzerine etkileri uygulanan parametrelere göre tam olarak ortaya konulmadığı için özellikle nitrit azaltılması amacıyla kullanımı üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Plazma ile Aktifleşmiş Su Kullanımı

Su bazı sıvılara plazma işlemi uygulandığında, sıvıların pH ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri değişmekte ve elde edilen bu sıvılara plazma ile aktifleşmiş su adı verilmektedir (Inguglia ve ark., 2020). Oehmigen ve ark. (2010) tarafından plazmanın sıvı ile etkileşimi sonucunda, reaktif oksijen türlerinin yanı sıra mikroorganizmaları inaktive eden nitrat (NO^-3) ve nitrit (NO^-2) gibi azot türlerinin de üretildiği tespit edilmiştir (Jung ve ark., 2015). Bu çalışmaya dayanarak plazma ile aktifleştirilen nitrit içeren suyun doğal bir kütleme ajanı olarak nitrit yerine kullanılabilirliği öne sürülmüştür (Jung ve ark., 2015).

Yapılan bir çalışmada, plazma ile aktifleştirilmiş suyun kurutulmuş domuz filetosunun kütleme salamurasında kullanılması sonucunda örneklerin lipit oksidasyonunda azalma sağlandığı, a^* değerlerinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir (Luo ve ark., 2019). Plazma ile aktifleştirilmiş su (PAW) (%9), kereviz tozu (%2,3) ve sodyum nitrit (%0,01) kullanılarak hazırlanan 3 farklı sosis örneğinin incelendiği bir çalışmada, PAW içeren örneklerin diğer örneklerle göre daha düşük kalıntı nitrit konsantrasyonuna sahip olduğu, nitrit içeren örneğe kıyasla duyuşsal özellikler açısından önemli bir farklılık göstermediği belirlenmiştir (Jung ve ark., 2015). Benzer şekilde plazma ile aktifleştirilmiş tuzlu suyun, kurutulmuş sığır eti, örneklerinde doku özellikleri ve lipit oksidasyonu gelişimi bakımından standart olarak kürlenmiş kontrol örneklerine kıyasla önemli bir farklılık göstermediği, bunun yanında a^* değerlerinde artışa ve *Listeria innocua* popülasyonunda 0,85 log CFU/g düzeyinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Inguglia ve ark., 2020). Luo ve ark. (2019) ise plazma ile aktifleştirilmiş suyun kütleme yöntemi olarak kullanılmasının kurutulmuş domuz eti ürünleri üretmek için etkili bir yol olduğunu belirtirken, et ürünlerinin güvenliği açısından daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Özellikle son yıllarda bu konuda yapılan çalışmaların olumlu sonuçları dikkate alındığında, yöntemin et ürünlerinin özellikleri üzerine etkilerinin kapsamlı şekilde ortaya konulmasını sağlayacak daha fazla çalışmayla geliştirilerek nitrit azaltılması amacıyla kullanımı mümkün görünmektedir.

Sonuç

Nitrit içermeyen veya nitrit oranı azaltılmış daha sağlıklı et ürünlerinin üretimine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Kürlenmiş et ürünlerinde nitrit azaltılması ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda, nitritin fonksiyonlarını yerine getirebilecek doğal alternatif katkı arayışı ortaya çıkarak, bu amaçla bitkisel katkı maddelerinin yanında organik asitler ve mikrobiyal kaynaklar da denenmiştir. Ancak nitritin et

ürünlerinde gerçekleştirdiği tüm fonksiyonları yeterli düzeyde sağlayabilme bakımından bu uygulamalarda kısıtlamalar olduğu gözlemlenmiştir. Et ürünlerine, ürünün duyuşsal özelliklerinin olumsuz etkilenmemesi için bitkisel ürünler sınırlı miktarlarda eklenebilmektedir. Bu durumda da üründe istenilen özelliklerin oluşmaması durumu ile karşılaşılabilen, ayrıca bu tip ürünlerin raf ömrü kısa olabilmektedir. Ayrıca bitkisel ürünlerin nitrat içeriğinin değişkenlik göstermesi, pestisit, ağır metal gibi kalıntıları içerebilmesi sanayi uygulamalarında karşılaşılma olasılığı bulunan diğer problemlerdir. Yapılan güncel çalışmaların içeriğini oluşturan ışınlama, yüksek basınç, soğuk plazma teknolojisi, nitrit içeren aktif ambalaj kullanımı, çinko protoporfirin IX bileşiği oluşumu ve enkapsülasyon gibi yöntemler mikrobiyal güvenlik sağlanması, lipit oksidasyonunun yavaşlatılması, kalıntı nitrit miktarının azaltılması ve istenilen rengin elde edilmesi gibi özelliklerin bazılarında olumlu sonuçlar sunarak, et ürünlerinde nitrit kullanılmaması veya azaltılması konusunda umut verici uygulamalar olarak öne çıkmıştır. Bunun yanında soğuk atmosferik plazma teknolojisi ve plazma ile aktifleşmiş su kullanımı et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla üzerinde çalışmalar yapılan diğer güncel yöntemlerdir. Belirtilen bu güncel uygulamaların, et ürünlerinde nitrit kullanımını elimine edebilmesi için et kalitesi üzerine etki mekanizmalarının tam olarak anlaşılabilmesi ve et endüstrisine güvenle aktarılabilmesi yolunda daha kapsamlı ve fazla sayıda çalışmaların yapılması gerekmektedir. Et ürünlerinde nitrit azaltılması amacıyla üzerinde çalışmalar yapılan tüm güncel yöntemlerin sanayi uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi yolunda ilk adım, ürün güvenliğinin istenilen duyuşsal özellikleri sağlayarak gerçekleştirilmesi olup, devamında maliyet, uygulanabilirlik ve tüketici kabulü açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. En son basamak olan bu ürünlerin pazarlanmasında ilgili mevzuatların oluşturulması, günümüzde tüm dünyada üzerinde tartışılan konuların başında gelmektedir.

Kaynaklar

- Aasen IM, Markussen S, Møretro T, Katla T, Axelsson L, Naterstad K. 2003. Interactions of the bacteriocins sakacin P and nisin with food constituents. *International Journal of Food Microbiology*, 87(1-2): 35-43. doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00047-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00047-3)
- Adamsen CE, Møller JK, Laursen K, Olsen K, Skibsted LH. 2006. Zn-porphyrin formation in cured meat products: Effect of added salt and nitrite. *Meat Science*, 72(4): 672-679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.09.017>
- Ahn HJ, Kim JH, Jo C, Lee CH, Byun MW. 2002. Reduction of carcinogenic N-nitrosamines and residual nitrite in model system sausage by irradiation. *Journal of Food Science*, 67(4): 1370-1373. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10291.x>
- Alahakoon AU, Jayasena DD, Ramachandra S, Jo C. 2015. Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. *Trends in Food Science and Technology*, 45(1): 37-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.008>
- Alirezalu K, Hesari J, Nemati Z, Munekata PE, Barba FJ, Lorenzo JM. 2019. Combined effect of natural antioxidants and antimicrobial compounds during refrigerated storage of nitrite-free frankfurter-type sausage. *Food Research International*, 120: 839-850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.048>

- Asaduzzaman M, Ohya M, Kumura H, Hayakawa T, Wakamatsu JI. 2020. Searching for high ZnPP-forming edible bacteria to improve the color of fermented meat products without nitrite/nitrate. *Meat Science*, 108109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108109>
- Ayana B, Turhan, KN. 2010. Gıda ambalajlamasında antimikrobiyel madde içeren yenilebilir filmler/kaplamalar ve uygulamaları. *Gıda*, 35(2): 151-158.
- Aymerich T, Picouet PA, Monfort JM. 2008. Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78(1-2): 114-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.007>
- Bajovic B, Bolumar T, Heinz V. 2012. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Science*, 92(3): 280-289. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.024>
- Becker EM, Westermann S, Hansson M, Skibsted LH. 2012. Parallel enzymatic and non-enzymatic formation of zinc protoporphyrin IX in pork. *Food Chemistry*, 130: 832-840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.090>
- Blanco-Lizarazo CM, Betancourt-Cortés R, Lombana A, Carrillo-Castro K, Sotelo-Díaz I. 2017. *Listeria monocytogenes* behaviour and quality attributes during sausage storage affected by sodium nitrite, sodium lactate and thyme essential oil. *Food Science and Technology International*, 23(3): 277-288. doi: <https://doi.org/10.1177/1082013216686464>
- Bryan NS, Alexander DD, Coughlin JR, Milkowski AL, Boffetta P. 2012. Ingested nitrate and nitrite and stomach cancer risk: an updated review. *Food and Chemical Toxicology*, 50(10): 3646-3665. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.062>
- Budak A, Obuz E. 2006. Gıdalarda İyonize Radyasyon Uygulamaları. Bolu, 24-26 Mayıs 2006, Türkiye 9. Gıda Kongresi.
- Candan T, Bağdatlı A. 2018. Et ürünlerinde nitrit/nitrat azaltılmasına yönelik doğal uygulamalar. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(7): 1382-1387. doi: 10.5505/pajes.2017.80269
- Cassens RG. 1997. Composition and safety of cured meats in the USA. *Food Chemistry*, 59(4): 561-566. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00007-1)
- Cemek M, Akkaya L, Birdane YO, Seyrek K, Bulut S, Konuk M. 2007. Nitrate and nitrite levels in fruity and natural mineral waters marketed in western Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4): 236-240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.003>
- Chanshotikul N, Hemung BO. 2019. Encapsulation of gac powder extract and its application in low-nitrite chicken sausage. *International Journal of Food Engineering*, 5(2): 146-151. doi: 10.18178/ijfe.5.2.146-151
- Chatkitanan T, Harnkarnsujarit N. 2020. Development of nitrite compounded starch-based films to improve color and quality of vacuum-packaged pork. *Food Packaging and Shelf Life*, 25: 100521. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100521>
- Chau TT, Ishigaki M, Kataoka T, Taketani S. 2011. Ferrochelatase catalyzes the formation of Zn-protoporphyrin of dry-cured ham via the conversion reaction from heme in meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(22): 12238-12245. doi: <https://doi.org/10.1021/jf203145p>
- Cropp MS, Dickson JS, Tarté R, Sebranek JG. 2020. Use of nitrite-embedded packaging film for color stability of alternatively-cured, fully cooked bologna. *Meat and Muscle Biology*, 4(1).
- Cropp MS. 2018. The Potential Role of Nitrite-Embedded Film Technology in Extending the Color Stability and Shelf Life of Alternatively-Cured Meat Products. Msc. Thesis, Meat Science, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Cummins EJ, Lyng JG. 2017. *Emerging Technologies in Meat Processing: Production, Processing and Technology*. ISBN 9781118350775.
- Çemtekin B, Kilinc E, Karabacak L, Dağtekin T, Tiryaki T, Soyuçok A, Şimşek A, Kılıç, B. 2019. An evaluation of guelder rose (*Viburnum opulus L.*) and hawthorn (*Crataegus monogyna*) concentrates as alternative antioxidant sources to BHT and nitrite in poultry meat model system. *Scientific Papers: Series D, Animal Science-The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science*, 62(2): 217-227.
- Da Costa RJ, Voloski FL, Mondadori RG, Duval EH, Fiorentini AM. 2019. Preservation of meat products with bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from meat. *Journal of Food Quality*. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4726510>
- De Maere H, Fraeye I, De Mey E, Dewulf L, Michiels C, Paelinck H, Chollet S. 2016. Formation of naturally occurring pigments during the production of nitrite-free dry fermented sausages. *Meat Science*, 114: 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.024>
- De Martinis ECP, Alves VF, Franco BDGM. 2002. Fundamentals and perspectives for the use of bacteriocins produced by lactic acid bacteria in meat products. *Food Reviews International*, 18(2-3):191-208. doi: <https://doi.org/10.1081/FRI-120014688>
- Denes FS, Manolache S. 2004. Macromolecular plasma-chemistry: an emerging field of polymer science. *Progress in Polymer Science*, 29(8): 815-885. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.05.001>
- Drabik-Markiewicz G, Dejaegher B, De Mey E, Kowalska T, Paelinck H, Vander Heyden Y. 2011. Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat. *Food Chemistry*, 126(4): 1539-1545. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.149>
- Du M, Hur SJ, Ahn DU. 2002. Raw-meat packaging and storage affect the color and odor of irradiated broiler breast fillets after cooking. *Meat Science*, 61(1): 49-54. doi: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00161-9)
- Eisinaité V, Tamkutė L, Vinauskienė, R, Leskauskaitė D. 2020. Freeze-dried celery as an indirect source of nitrate in cold-smoked sausages: Effect on safety and color formation. *LWT-Food Science and Technology*, 109586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109586>
- Fang Z, Bhandari B. 2010. Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(10): 510-523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>
- Favaro L, Todorov SD. 2017. Bacteriocinogenic LAB strains for fermented meat preservation: Perspectives, challenges, and limitations. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 9(4): 444-458. doi: 10.1007/s12602-017-9330-6
- Feng X, Moon SH, Lee HY, Ahn DU. 2017. Effect of irradiation on the parameters that influence quality characteristics of raw turkey breast meat. *Radiation Physics and Chemistry*, 130: 40-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.015>
- Flores M, Toldrá F. 2021. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products. *Meat Science*, 108272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108272>
- Fraqueza MJ, Borges A, Patarata L. 2018. Chapter 9- Strategies to Reduce the Formation of Carcinogenic Chemicals in Dry Cured Meat Products. In: Holban AM, Grumezescu AM (editors). *Food Control and Biosecurity. Handbook of Food Bioengineering*, Academic Press. pp. 295-342. ISBN: 978-0-12-811445-4
- Fraqueza MJ, Laranjo M, Elias M, Patarata L. 2020. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. *Current Opinion in Food Science*. 38: 32-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.027>
- Gálvez A, Abriouel H, López RL, Omar NB. 2007. Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International Journal of Food Microbiology*, 120(1-2): 51-70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.001>

- Gharsallaoui A, Oulahal N, Joly C, Degraeve P. 2016. Nisin as a food preservative: part 1: physicochemical properties, antimicrobial activity, and main uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8): 1262-1274. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
- Grossi AB, do Nascimento ES, Cardoso DR, Skibsted LH. 2014. Proteolysis involvement in zinc-protoporphyrin IX formation during Parma ham maturation. *Food Research International*, 56: 252-259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.007>
- Güleç HA. 2012. Gıda endüstrisinde ısı olmayan plazma teknolojileri. *The Journal of Food*, 37(5).
- Ha M, Dunshea FR, Warner RD. 2017. A meta-analysis of the effects of shockwave and high pressure processing on color and cook loss of fresh meat. *Meat Science*, 132: 107-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.016>
- Hammes WP. 2012. Metabolism of nitrate in fermented meats: the characteristic feature of a specific group of fermented foods. *Food Microbiology*, 29(2): 151-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.016>
- Herrmann SS, Granby K, Duedahl-Olesen L. 2015. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages. *Food Chemistry*, 174: 516-526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.101>
- Holtzel A, Gänzle MG, Nicholson GJ, Hammes WP, Jung G. 2000. The first low molecular weight antibiotic from lactic acid bacteria: reutericyclin, a new tetramic acid. *Angewandte Chemie International Edition*, 39(15): 2766-2768. doi: [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20000804\)39:15<2766::AID-ANIE2766>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20000804)39:15<2766::AID-ANIE2766>3.0.CO;2-G)
- Honikel KO. 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1-2): 68-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.030>
- Hugo CJ, Hugo A. 2015. Current trends in natural preservatives for fresh sausage products. *Trends in Food Science and Technology*, 45(1): 12-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.003>
- Hwang KE, Kim HW, Song DH, Kim YJ, Ham YK, Lee JW, Choi YS, Kim CJ. 2015. Effects of antioxidant combinations on shelf stability of irradiated chicken sausage during storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 106: 315-319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.08.014>
- Inguglia ES, Oliveira M, Burgess CM, Kerry JP, Tiwari BK. 2020. Plasma-activated water as an alternative nitrite source for the curing of beef jerky: Influence on quality and inactivation of *Listeria innocua*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59: 102276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102276>
- Jayasena DD, Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K, Choe W, Jo C. 2015. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiology*, 46: 51-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.07.009>
- Jayaweera TSP, Jayasinghe JMCS, Madushanka DNN, Yasawathie DG, Ruwandeeepika HAD. 2018. Assessment of the inhibitory effect of Nisin (E234) on *S. Typhimurium* and *B. subtilis* in chicken sausage. *Asian Food Science Journal*, 1-11. doi: 10.9734/AFSJ/2018/41374
- Jin SK, Choi JS, Yang HS, Park TS, Yim DG. 2018. Natural curing agents as nitrite alternatives and their effects on the physicochemical, microbiological properties and sensory evaluation of sausages during storage. *Meat Science*, 146: 34-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.032>
- Jo K, Lee J, Lee S, Lim Y, Choi YS, Jo C, Jung S. 2020a. Curing of ground ham by remote infusion of atmospheric non-thermal plasma. *Food Chemistry*, 309: 125643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125643>
- Jo K, Lee S, Jo C, Jeon HJ, Choe JH, Choi YS, Jung S. 2020b. Utility of winter mushroom treated by atmospheric non-thermal plasma as an alternative for synthetic nitrite and phosphate in ground ham. *Meat Science*, 166: 108151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108151>
- Jo K, Lee S, Yong HI, Choi YS, Jung S. 2020c. Nitrite sources for cured meat products. *LWT*, 109583. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109583>
- Jonas G, Csehi B, Palotas P, Toth A, Kenesei G, Pasztor-Huszar K, Friedrich L. 2017. Combined effects of high hydrostatic pressure and sodium nitrite on color, water holding capacity and texture of frankfurter. In *Journal of Physics: Conference Series*, 950(4). doi: 10.1088/1742-6596/950/4/042006
- Jung S, Kim HJ, Park S, Yong HI, Choe JH, Jeon HJ, Choe W, Jo C. 2015. The use of atmospheric pressure plasma-treated water as a source of nitrite for emulsion-type sausage. *Meat Science*, 108: 132-137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.009>
- Jung S, Lee J, Lim Y, Choe W, Yong HI, Jo C. 2017. Direct infusion of nitrite into meat batter by atmospheric pressure plasma treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39: 113-118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.11.010>
- Karim M, Fathi M, Soleimanian-Zad S. 2021. Nanoencapsulation of cinnamic aldehyde using zein nanofibers by novel needleless electrospinning: Production, characterization and their application to reduce nitrite in sausages. *Journal of Food Engineering*, 110140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110140>
- Karwowska M, Kononiuk A. 2020. Nitrates/nitrites in food-Risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants*, 9(3): 241. doi: <https://doi.org/10.3390/antiox9030241>
- Kawski VL, Bertol TM, Santos MJHD, Sawitzki MC, Fiorentini AM, Coldebella A, Agnes IBL. 2017. Sensory and physicochemical characteristics of salamis added with vegetable-based curing ingredients. *Ciência Rural*, 47. doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151510>
- Kaynaklı E, Kılıç B. 2009. Et ürünlerinde yeni eğilimler: Daha sağlıklı ürün geliştirme çalışmaları. *Akademik Gıda*, 7(6): 52-59.
- Kızıllırmak Esmer Ö, Özer Ö, Naserifar F. 2020. Taze tavuk etlerinde aktif ambalajlama uygulamaları. *Etilik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 31(1): 87-92. doi: <https://doi.org/10.35864/evmd.623386>
- Kim JS, Lee EJ, Cho EA, Kim YJ. 2013. Inactivation of *Campylobacter jejuni* using radio-frequency atmospheric pressure plasma on agar plates and chicken hams. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 33(3): 317-324. doi: <http://dx.doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.3.317>
- Kim JW, Lee HJ, Shin DJ, Baek KH, Yong HI, Jung S, Jo C. 2021. Enrichment of nitrite in onion powder using atmospheric pressure plasma and egg whites for meat curing. *LWT*, 135: 110050. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110050>
- Kim TK, Hwang KE, Lee MA, Paik HD, Kim YB, Choi YS. 2019a. Quality characteristics of pork loin cured with green nitrite source and some organic acids. *Meat Science*, 152: 141-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.015>
- Kim TK, Lee MA, Sung JM, Jeon KH, Kim YB, Choi YS. 2019b. Combination effects of nitrite from fermented spinach and sodium nitrite on quality characteristics of cured pork loin. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(10): 1603. doi: 10.5713/ajas.18.0903
- Korel F, Orman S. 2005. Gıda ışınlaması, uygulamaları ve tüketicinin ışınlanmış gıdaya bakış açısı. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2):19-27.
- Krause BL, Sebranek JG, Rust, RE, Mendonca A. 2011. Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat, uncured, no-nitrite-or-nitrate-added, ground, cooked and sliced ham. *Meat Science*, 89(4): 507-513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.05.018>
- Lauková A, Czikková S, Laczková S, Turek P. 1999. Use of enterocin CCM 4231 to control *Listeria monocytogenes* in experimentally contaminated dry fermented Hornád salami. *International Journal of Food Microbiology*, 52(1-2): 115-119. doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00125-7)

- Lee H, Yong HI, Kim HJ, Choe W, Yoo SJ, Jang EJ, Jo C. 2016. Evaluation of the microbiological safety, quality changes, and genotoxicity of chicken breast treated with flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. *Food Science and Biotechnology*, 25: 1189-1195. doi: 10.1007/s10068-016-0189-1
- Lee J, Jo K, Lim Y, Jeon HJ, Choe JH, Jo C, Jung S. 2018. The use of atmospheric pressure plasma as a curing process for canned ground ham. *Food Chemistry*, 240: 430-436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.148>
- Lee J, Lee CW, Yong HI, Lee HJ, Jo C, Jung S. 2017. Use of atmospheric pressure cold plasma for meat industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4): 477. doi: 10.5851/kosfa.2017.37.4.477
- Lee SH, Choe J, Shin DJ, Yong HI, Choi Y, Yoon Y, Jo C. 2019. Combined effect of high pressure and vinegar addition on the control of *Clostridium perfringens* and quality in nitrite-free emulsion-type sausage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52: 429-437. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.006>
- Lin L, Hu JY, Wu Y, Chen M, Ou J, Yan WL. 2018. Assessment of the inhibitory effects of sodium nitrite, nisin, potassium sorbate, and sodium lactate on *Staphylococcus aureus* growth and staphylococcal enterotoxin A production in cooked pork sausage using a predictive growth model. *Food Science and Human Wellness*, 7(1): 83-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2017.12.003>
- Luo J, Yan W, Nasiru MM, Zhuang H, Zhou G, Zhang J. 2019. Evaluation of physicochemical properties and volatile compounds of Chinese dried pork loin curing with plasma-treated water brine. *Scientific Reports*, 9(1): 1-11. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50351-5>
- Magnusson J, Schnüre J. 2001. *Lactobacillus coryniformis* subsp. *coryniformis* strain Si3 produces a broad-spectrum proteinaceous antifungal compound. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(1): 1-5. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.67.1.1-5.2001>
- Majou D, Christiesans S. 2018. Mechanisms of the bactericidal effects of nitrate and nitrite in cured meats. *Meat Science*, 145: 273-284. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.013>
- Misra NN, Jo C. 2017. Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. *Trends in Food Science and Technology*, 64: 74-86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.005>
- Misra NN, Martynenko A, Chemat F, Paniwnyk L, Barba FJ, Jambak AR. 2018. Thermodynamics, transport phenomena, and electrochemistry of external field-assisted nonthermal food technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11): 1832-1863. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1287660>
- Motilva MJ, Toldrá F. 1993. Effect of curing agents and water activity on pork muscle and adipose subcutaneous tissue lipolytic activity. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 196(3): 228-232.
- Nehra V, Kumar A, Dwivedi HK. 2008. Atmospheric non-thermal plasma sources. *International Journal of Engineering*, 2(1): 53-68.
- Ning C, Li L, Fang H, Ma F, Tang Y, Zhou C. 2019. L-Lysine/l-arginine/l-cysteine synergistically improves the color of cured sausage with NaNO₂ by hindering myoglobin oxidation and promoting nitrosylmyoglobin formation. *Food Chemistry*, 284, 219-226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.116>
- Oehmigen K, Hähnel M, Brandenburg R, Wilke C, Weltmann KD, Von Woedtke T. 2010. The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids. *Plasma Processes and Polymers*, 7(3-4): 250-257. doi: <https://doi.org/10.1002/ppap.200900077>
- Ozaki MM, Munekata PE, Jacinto-Valderrama RA, Efraim P, Pateiro M, Lorenzo JM, Polloni MAR. 2021. Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Science*, 171, 108275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108275>
- Özdemir M, Floros JD. 2004. Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3): 185-193. doi: <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Özdemir S. 2018. Fermente Sucuk Üretiminde Kereviz ve Kuşburnu Tozları Kullanılarak Sentetik Nitrit Miktarının Azaltılabilme İmkânlarının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye.
- Özdeştan Ö, Üren Ali. 2010. Gıdalarda nitrat ve nitrit. *Akademik Gıda*, 8(6): 35-43.
- Özlü H, Atasever M. 2007. Gıdalara yüksek basınç uygulaması. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 2(1): 7-27.
- Öztan A. 2017. Et Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Mühendisleri Odası Yayınları Kitaplar Serisi. Yayın no: 1, 11. Baskı. Ankara, Türkiye.
- Parolari G, Benedini R, Toscani T. 2009. Color formation in nitrite-free dried hams as related to Zn-protoporphyrin IX and Zn-chelatase activity. *Journal of Food Science*, 74(6): C413-C418. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01193.x>
- Parthasarathy DK, Bryan NS. 2012. Sodium nitrite: The "cure" for nitric oxide insufficiency. *Meat Science*, 92(3): 274-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.03.001>
- Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Sant'Ana AS, Khaneghah AM, Gavahian M, Gómez B, Lorenzo JM. 2018. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 113: 156-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103417>
- Possas A, Valdramidis V, García-Gimeno RM, Pérez-Rodríguez F. 2019. High hydrostatic pressure processing of sliced fermented sausages: A quantitative exposure assessment for *Listeria monocytogenes*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52: 406-419. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.017>
- Radünz M, dos Santos Hackbart HC, Camargo TM, Nunes CFP, de Barros FAP, Dal Magro J, Sanches Filho PJ, Gandra EA, Radünz AL, da Rosa Zavareze E. 2020. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 108696. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696>
- Raubenheimer K, Bondonno C, Blekkenhorst L, Wagner KH, Peake JM, Neubauer O. 2019. Effect of dietary nitrate on inflammation and immune function and implications for cardiovascular health. *Nutrition Reviews*, 77: 584-599. doi: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz025>
- Realini CE, Marcos B. 2014. Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3): 404-419. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Riazi F, Zeynali F, Hoseini E, Behmadi H, Savadkoobi S. 2016. Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems. *Meat Science*, 121: 350-358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.07.008>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.007>
- Rød SK, Hansen F, Leipold F, Knøchel S. 2012. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*, 30(1): 233-238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.018>

- Sallan S, Kaban G, Kaya M. 2019. Nitrosamines in sucuk: Effects of black pepper, sodium ascorbate and cooking level. *Food Chemistry*, 288: 341-346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.129>
- Santarelli RL, Pierre F, Corpet DE. 2008. Processed meat and colorectal cancer: a review of epidemiologic and experimental evidence. *Nutrition and Cancer*, 60(2): 131-144. doi: [10.1080/01635580701684872](https://doi.org/10.1080/01635580701684872)
- Sebranek JG, Bacus JN. 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1): 136-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.025>
- Silva DR, Haddad GB, de Moura AP, de Souza PM, Ramos AL, Hopkins DL, Ramos EM. 2021. Safe cured meat using gamma radiation: Effects on spores of *Clostridium sporogenes* and technological and sensorial characteristics of low nitrite cooked ham. *LWT*, 137: 110392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110392>
- Sindelar JJ, Milkowski AL. 2011. Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: a review of curing and examining the risk/benefit of its use. *American Meat Science Association White Paper Series*, 3: 1-14.
- Slima SB, Ktari N, Trabelsi I, Triki M, Feki-Tounsi M, Moussa H, Makni I, Herrero A, Jimenez-Colmenero F, Perez CRC, Salah RB. 2017. Effect of partial replacement of nitrite with a novel probiotic *Lactobacillus plantarum* TN8 on color, physico-chemical, texture and microbiological properties of beef sausages. *LWT*, 86: 219-226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.058>
- Šojić B, Pavlič B, Ikončić P, Tomović V, Ikončić B, Zeković Z, Kocić-Tanackov S, Jokanović M, Škaljac S, Ivić M. 2019. Coriander essential oil as natural food additive improves quality and safety of cooked pork sausages with different nitrite levels. *Meat Science*, 157: 107879. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107879>
- Šojić B, Pavlič B, Tomović V, Kocić-Tanackov S, Đurović S, Zeković Z, Belović M, Torbica A, Jokanović M, Urumović N, Vujadinović D, Ivić M, Škaljac S. 2020. Tomato pomace extract and organic peppermint essential oil as effective sodium nitrite replacement in cooked pork sausages. *Food Chemistry*, 127202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127202>
- Soyuçok A, Kılıç B, Kılıç GB. 2019. Et Ürünlerinde Enkapsülasyon Teknolojisinin Kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1): 102-110. doi: <https://doi.org/10.29048/makufebd.530102>
- Sucu Ç, Yıldız Turp G. 2018. The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat Science*, 140: 158-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.012>
- Takwa S, Caleja C, Barreira JC, Soković M, Achour L, Barros L, Ferreira IC. 2018. *Arbutus unedo* L. and *Ocimum basilicum* L. as sources of natural preservatives for food industry: A case study using loaf bread. *LWT*, 88: 47-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.041>
- Terns MJ, Milkowski AL, Claus JR, Sindelar JJ. 2011. Investigating the effect of incubation time and starter culture addition level on quality attributes of indirectly cured, emulsified cooked sausages. *Meat Science*, 88(3): 454- 61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.026>
- TGK, 2013. Türk Gıda Kodeksi. Gıda katkı maddeleri tebliği. T.C. Resmi Gazete Sayı: 28693. Şu adresten ulaşılabilir: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/06/20130630-4.htm> [20 Temmuz 2020'de erişildi]
- TGK, 2019. Türk Gıda Kodeksi. Gıda İşleme Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete. Sayı: 30907. Şu adresten ulaşılabilir: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/10/20191003-1.htm> [30 Temmuz 2020'de erişildi]
- Thippareddi H, Juneja VK, Phebus RK, Marsden JL, Kastner CL. 2003. Control of *Clostridium perfringens* germination and outgrowth by buffered sodium citrate during chilling of roast beef and injected pork. *Journal of Food Protection*, 66(3):376-381 pp. doi: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-66.3.376>
- Toldrá F, Cerveró MC, Part C.1993. Porcine aminopeptidase activity as affected by curing agents. *Journal of Food Science*, 58(4): 724-726. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09344.x>
- Toldrá F. 2017. The Storage and Preservation of Meat: III—Meat Processing. In *Lawrie's Meat Science*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. pp. 265-296. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00009-1>
- Vafania B, Fathi M, Soleimanian-Zad S. 2019. Nanoencapsulation of thyme essential oil in chitosan-gelatin nanofibers by nozzle-less electrospinning and their application to reduce nitrite in sausages. *Food and Bioprocess Processing*, 116: 240-248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.001>
- Vasavada MN, Cornforth DP. 2005. Evaluation of milk mineral antioxidant activity in beef meatballs and nitrite-cured sausage. *Journal of Food Science*, 70(4): C250-C253. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07168.x>
- Vasilaki A, Hatzikamari M, Stagkos-Georgiadis A, Goula AM, Mourtzinos I. 2019. A natural approach in food preservation: Propolis extract as sorbate alternative in non-carbonated beverage. *Food Chemistry*, 298: 125080. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125080>
- Visy A, Hidas K, Csonka J, Friedrich L, Jónás G. 2019. Combined effect of various nitrite concentration and high pressure treatment on functional characteristics of raw meat batter. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 26: 47-51.
- Wakamatsu J, Nishimura T, Hattori A. 2004. A Zn-porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67(1): 95-100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.09.012>
- Wakamatsu JI, Kawazoe H, Ohya M, Hayakawa T, Kumura, H. 2020. Improving the color of meat products without adding nitrite/nitrate using high zinc protoporphyrin IX-forming microorganisms. *Meat Science*, 161: 107989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107989>
- Yıldız Turp G, Sucu Ç, Nalbant H, Akbulut M. 2018. Characteristics of Nitrite Reduced Fermented Sausages Including Spinach Powder with Galangal and Clove Extracts. *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, Ankara, Türkiye*.
- Yıldız Turp G, Sucu Ç. 2016. Et ürünlerinde nitrat ve nitrit kullanımına potansiyel alternatif yöntemler. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2). doi: <https://doi.org/10.18466/cbujos.70961>
- Yıldız Turp G, Sucu Ç. 2018. The Assessment of Celery Powder as Nitrite Alternative in Sucuk (Turkish Dry Fermented Sausage), Van, Turkey, 9-12 May 2018.
- Yong HI, Kim HJ, Park S, Kim K, Choe W, Yoo SJ, Jo C. 2015. Pathogen inactivation and quality changes in sliced cheddar cheese treated using flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. *Food Research International*, 69: 57-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.008>
- Yong HI, Lee SH, Kim SY, Park S, Park J, Choe W, Jo C. 2019. Color development, physicochemical properties, and microbiological safety of pork jerky processed with atmospheric pressure plasma. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53: 78-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.005>
- Yüksel ÇY, Karagözü N. 2017. Soğuk atmosferik plazma teknolojisi ve gıdalarda kullanımı. *Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty*, 14(2). doi: <https://doi.org/10.25308/aduziraat.332684>
- Zhao L, Zhang Y, Pan Z, Venkatasamy C, Zhang L, Xiong W, Guo S, Xia H, Liu W. 2018. Effect of electron beam irradiation on quality and protein nutrition values of spicy yak jerky. *LWT*, 87: 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.062>

- Zhou GH, Xu XL, Liu Y. 2010. Preservation technologies for fresh meat—A review. *Meat Science*, 86(1): 119-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.033>
- Zhou Y, Wang Q, Wang S. 2020. Effects of rosemary extract, grape seed extract and green tea polyphenol on the formation of N-nitrosamines and quality of western-style smoked sausage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6): 14459. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14459>
- Zhu Y, Wang P, Guo L, Wang J, Han R, Sun J, Yang Q. 2019. Effects of partial replacement of sodium nitrite with *Lactobacillus pentosus* inoculation on quality of fermented sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5): 13932. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13932>
- Zuidam NJ, Nedovic' VA. 2010. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. Springer. ISBN 978-1-4419-1007-3.