



Etil Laurol Arjinat ile Zenginleştirilmiş Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Bahar Demircan¹  ✉, Özgül Özdehan Ocak² 

¹Ankara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 06830, Gölbaşı, Ankara

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35000, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 19.01.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 26.05.2021

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): bdemircan@ankara.edu.tr (B. Demircan)*

☎ 0 312 203 33 00 📠 0 312 317 87 11

ÖZ

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdaları fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik hasarlardan korumanın yanı sıra çeşitli antimikrobiallerin gıda sistemlerinde kullanımında bir taşıyıcı olarak da işlev görmektedir. Literatürde yenilebilir film ve kaplamaların yapısına birçok farklı bileşik eklenerek gıdaların raf ömürlerinin güvenli bir şekilde uzatılması birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Son yıllarda ise güçlü ve geniş antimikrobiyal aktivite spektrumuna sahip olan ve tatsız, kokusuz ve beyaz toz formda olması nedeniyle kullanım kolaylığı sağlayan etil lauroil arjinat ön plana çıkmaktadır. Etil lauroil arjinatın yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilerek etkinliğinin incelenmesi nispeten yeni bir çalışma alanı olsa da elde edilen sonuçlar incelendiğinde etil lauroil arjinatın bu sistemlerin hem fiziko-kimyasal hem de antimikrobiyal etkisini önemli ölçüde arttırdığı bilinmektedir. Maddenin yasal kullanım sınırlarının düşük olması, bu ajanın yenilebilir film ve kaplamalar ile birlikte gıda sistemlerine uygulanması hem düşük miktarların gerekliliği hem de yavaş salınımına bağlı olarak etkisinin uzun süreler korunabilmesi önemli avantajlar sunmaktadır. Bu derlemede, etil lauroil arjinat ile zenginleştirilmiş yenilebilir film ve kaplamalar hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etil lauroil arjinat, Laurik arjinat, Gıda güvenliği, Antimikrobiyal yenilebilir film ve kaplama

Edible Films and Coatings Enriched with Ethyl Lauroyl Arginate

ABSTRACT

Edible films and coatings may function as a carrier for various antimicrobials in food systems besides their protective activity for foods against physical, chemical and microbiological damages. In the literature, many studies have determined the safe extension of the shelf life of foods by adding many different compounds to the structure of edible films and coatings. In recent years, ethyl lauroyl arginate, which has a strong and wide antimicrobial activity spectrum and provides ease of use with its tasteless, odorless and white powder form, has received increased attention. Although the study of the effectiveness of ethyl lauroyl arginate by including itself in edible films and coatings is a relatively new field of study, it is known that it significantly increases both the physico-chemical and antimicrobial effects of food systems. The legal limits of this substance are low, and its application to food systems together with edible films and coatings offers significant advantages due to the requirement of low amounts and the ability to maintain its effect for a long time because of its slow release. In this review, edible films and coatings enriched with ethyl lauroyl arginate are reviewed.

Keywords: Ethyl lauroyl arginate, Lauric arginate, Food safety, Antimicrobial edible film and coating

GİRİŞ

Günümüzde, gıda ambalajlama sistemlerinin çoğu, üretimi son yirmi yılda katlanarak artan petrolden türetilmiş sentetik plastiklere dayanmaktadır [1]. Petrol türevi sentetik plastikler gıda ambalajı için yaygın olarak kullanılsa da, ciddi çevresel etkileri ve yüksek geri dönüşüm maliyetleri mevcut araştırmaları biyo-bazlı/biyo-bozunur gıda ambalaj malzemelerine doğru yönlendirmiştir [2, 3]. Günümüzde, aktif maddeler içeren çok işlevli ambalajlama sistemleri, endüstriyel ürünlerin güvenlik endişelerinin yanı sıra tüketicilerin gıda ambalajlarında geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir malzemeler kullanma taleplerine yanıt vermek üzere tasarlanmıştır [4].

Gıdanın bozulması ve patojen bulaşması genellikle gıda yüzeyinde başlamaktadır. Bu nedenle, işlemlerden sonra gıda yüzey işlemleri ve ambalajlama, gıda kalitesini ve güvenliğini korumak için kritik adımlardır [5]. Hem tüketici beklentisini karşılamak hem de gıda güvenliği sağlamak amacıyla geliştirilen teknolojiler arasında selüloz, aljinat, karragenan ve kitosan gibi yenilebilir veya biyolojik olarak parçalanabilir ambalaj malzemeleri üretmek için yenilenebilir kaynakların kullanımı ürün kalitesini artırmanın yanı sıra atık bertaraf sorunlarını da azaltmanın etkili bir yolu olarak ön plana çıkmaktadır [6, 7].

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, polisakaritler, proteinler ve lipitler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Genel olarak, lipitler nem geçişini azaltmak için, proteinler mekanik stabilite sağlamak için ve polisakaritler ise oksijen ve diğer gaz geçişlerini kontrol etmek için kullanılmaktadır [8-10]. Bu yapılar nem ve oksijen transferine ve lipid oksidasyonuna seçici engeller sağlayarak ve antimikrobiyal ajanların taşıyıcıları olarak hareket ederek gıda kalitesini ve güvenliğini artırmaktadır [11]. Antimikrobiyal ajanların yapıya dahil edildiği yenilebilir film ve kaplamaların özellikleri, gıda bozulmasını yavaşlatan aktif bileşiklerin salımını kontrol etmeleri ile ilgilidir [12]. Antimikrobiyal yenilebilir film ve kaplamalar, antimikrobiyal bileşiğin gıda yüzeyine difüzyonunu kontrol etmenin bir yoludur [13]. Literatürde uçucu yağlar, probiyotik bakteriler, bakteriyosinler, organik asitler, polipeptitler ve yağ asidi esterleri gibi potansiyel olarak yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilebilecek çeşitli aktif bileşik kategorileri tanımlanmıştır [14-18]. Her ne kadar doğal bileşenlere olan yönelim daha fazla olsa da sentetik fakat çok güçlü bir antimikrobiyal madde olan etil lauroil arjinat (LAE) son yıllarda birçok araştırmacı tarafından odak noktası olmuştur [14, 19-23]. LAE, filmlerin ve kaplamaların işlevselliğini geliştirmek için farklı polimer matrislerine dahil edilmiştir [21, 24, 25]. LAE'nin bu şekilde uygulanması ile yenilebilir film ve kaplamaların aktif bileşiği aşamalı bir şekilde salma kapasitesi, gıda formülasyonuna aktif maddenin doğrudan eklendiği geleneksel ambalajlama sistemlerine göre önemli avantajlar sunmaktadır [14].

Bu derlemede LAE'nin farklı yenilebilir film ve kaplamaların formülasyonuna dahil edilmesi, LAE'nin bu

yapıların işlevselliği üzerindeki etkileri ve bu konuda yapılmış güncel çalışmalar ile sonuçları ele alınmıştır.

ANTİMİKROBİYAL YENİLEBİLİR FİLM ve KAPLAMALAR

Yenilebilir filmler tüketilebilen, ancak neme, oksijene ve çözünen maddelere engel oluşturan bir malzeme tabakası olarak tanımlanmaktadır [26]. Yenilebilir filmler ile gıda ambalajında kullanılan diğer polimerler arasındaki temel fark, yenilebilir filmlerin gıda ürünleriyle birlikte tüketilebilmesidir. Çeşitli antimikrobiyal maddelerin yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilmesi, uzun yıllardır büyük ilgi görmektedir. Çünkü bu kullanım, gıda kaynaklı ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimini kontrol ederek veya önleyerek gıda ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini artırmaktadır [27].

Yenilebilir kaplamalar biyo-uyumluluk, estetik görünüm, bariyer özellik, toksik olmama ve düşük maliyet avantajlarına sahiptir [28, 29], ayrıca yenilebilir ambalaj malzemelerinin ortaya çıkan önemli işlevlerinden biri de ambalajlanmış gıdaya ek besleyici ve sağlık yararları sağlayabilen farklı işlevsel katkı maddelerinin bir matris ve taşıyıcı olarak kullanılmasıdır [30]. Genellikle, farklı antimikrobiyal ve antioksidan maddeler, prebiyotikler veya diğer besinler, ambalajlanmış gıdanın raf ömrünü uzatmak ve/veya besin değerini artırmak için yenilebilir matrislere eklenmektedir [31]. Literatürde filmlerin yapısal, mekanik ve işlevsellik özelliklerini geliştirmek veya kaplamaya ek özellikler sağlamak için bu yapılara çeşitli maddelerin dahil edilmesini konu alan farklı çalışmalar bulunmaktadır [32-36]. Araştırmacılar tarafından en yaygın olarak kullanılan antimikrobiyal maddeler arasında organik asitler (asetik, benzoik, sitrik, fumarik, laktik, malik, propiyonik, sorbik, süksinik ve tartarik asit), polipeptidler (lizozim, peroksidaz, laktoferrin, nisin) ve uçucu yağlar (kekik, limon otu, tarçın, çay ağacı, karanfil, yenibahar, kekik, nergis, fesleğen, biberiye, bergamot, adaçayı, sarımsak) yer almaktadır [37-44].

Doğrudan aktif bileşenin gıdaya ilavesi, antimikrobiyalın gıda matrisine hızlı yayılmasına ve ürün bileşenleri ile etkileşim yoluyla kısmi inaktivasyonuna neden olabilmektedir. Alternatif olarak, antimikrobiyal yenilebilir film ve kaplamalar, antimikrobiyal ajanların yapıdan gıda yüzeylerine yavaş ve sürekli salınmasını sağlamaktadır, böylece depolama ve dağıtım sırasında antimikrobiyal gıda yüzeyinde yoğunlaşarak yeterli bir konsantrasyonu muhafaza edebilmektedir [45-47]. Yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilen çok çeşitli antimikrobiyal katkı maddeleri, raf ömrünü arttırmasından dolayı gıda ürünlerine de değer katan sistemlerdir [12, 27].

ETİL LAUROL ARJİNAT

Etil lauroil arjinat (LAE, $C_{20}H_{40}N_4O_3 \cdot HCl$, molekül ağırlığı 421.0 Da), 1983 yılında İspanya'da patentlenen ve günümüzde ticari olarak Vedeqsa Lamirsa Group tarafından üretilen bir katyonik yüzey aktif maddedir [48]. Aktif bileşeni etil- N^a -laurol-L-arjinat hidroklorür olan bu madde, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (U.S. Food and

Drug Administration, FDA) tarafından gıda uygulamalarında genel olarak güvenli (Generally recognized as safe, GRAS) olarak onaylanmıştır [49-51]. Bu madde literatürde etil lauroil arjinat hidroklorür, laurik arjinat etil ester, lauramid arjinin etil ester, LAE, INS No. 243, EC No. 434-630-6 ve E243 gibi farklı şekillerde ifade edilmektedir [49]. LAE'nin erime noktası 40-43°C'dir ve oda sıcaklığında beyaz toz formdadır. LAE'nin suda çözünürlüğü 20°C'de >247 g/kg'dır ve ticari LAE ürünleri kullanım kolaylığı için propilen glkol ve gliserol gibi gıda sınıfı bir çözücü içinde %20-25 LAE içeren sıvı formülasyonlar halinde bulunmaktadır [52, 53].

LAE, 2005 yılında FDA tarafından antimikrobiyal koruyucu olarak et, kümes hayvanları ve peynir gibi gıda ürünlerinde maksimum 200 mg/kg (ppm) [54], 2007 yılında ise Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA) tarafından maksimum 225

mg/kg kullanımda GRAS olarak onaylanmıştır [53]. Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'nde ise aşağıdaki başlıklarda yer almaktadır;

- EK II - Gıdalarda Kullanılmasına İzin Verilen Gıda Katkı Maddelerinin Listeleri ve Kullanım Koşulları
 - BÖLÜM B - Tüm Katkı Maddelerinin Listesi
 - Renklendiriciler ve tatlandırıcılar dışındaki katkı maddeleri kısmında "E 243" kodu ile,
 - BÖLÜM E - Gıda Kategorilerinde İzin Verilen Gıda Katkı Maddeleri ve Kullanım Koşulları
 - Isıl işlem görmüş et ürünleri kısmında "kavurma, emülsifiye edilmiş sosler, tütülenmiş sosler ve ciğer ezmesi hariç maksimum kullanım limiti 160 mg/L veya mg/kg" olarak belirtilmiştir.

LAE'nin Tablo 1'deki kategorilerde belirtilen maksimum seviyelere kadar kullanılması önerilmektedir [53].

Tablo 1. Gıdalarda etil lauroil arjinatın önerilen kullanım seviyeleri [53]

Table 1. Recommended levels of use of ethyl lauroil arginate in food [53]

Gıda kategorisi	Etil Lauroil Arjinat (mg/kg)
Meyve suları içeren alkolsüz aromalı içecekler	115
Enerji ve spor içecekleri	115
Meyve suyu bazlı konsantreler	180
Tuzlu kurutulmuş balık	225
Et ürünleri (sadece ısıtılmış işlem görmüş, marine edilmiş ve kurutulmuş et ürünleri)	225
Pizzalar veya benzeri ürünlerin dolgu malzemeleri	225
Rehidre olmuş baklagiller	225
Balık yumurtası ürünleri (Mersin balığı yumurtaları)	225
Hazır salatalar	225

LAE'nin en öne çıkan özelliği çok güçlü bir antimikrobiyal madde olmasıdır ve antimikrobiyal etkinliği birçok çalışmada farklı matrislerin ve gıda sistemlerinin yapısında incelenmiştir [55-64]. LAE'nin geniş bir mikroorganizma spektrumunu inhibe ettiği bilinmektedir. Farklı mikroorganizmalara karşı LAE'nin minimum inhibitör konsantrasyonları (MİK) Tablo 2'de verilmiştir. LAE inhibisyon sağlamanın yanı sıra mikroorganizmalar üzerine bakterisidal etki de göstermektedir. *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans* ve *Zygosaccharomyces bailii* üzerine LAE'nin minimum bakterisidal konsantrasyonu sırasıyla 23.5, 11.8, 23.5, 25, 50, 100, 35, 112.5 ve 62.5 ppm olarak belirlenmiştir [52, 55, 65]. Ek olarak biyofilm oluşturan bakterilerin inhibisyonunda da LAE'nin etkili olduğu farklı araştırmalarda ortaya konmuştur [66-69].

Gram-negatif ve gram-pozitif bakterilere, küflere ve mayalara karşı geniş bir antimikrobiyal aktivite spektrumuna sahip olan LAE ayrıca, hem antimikrobiyal aktivitesini hem de gıda sistemlerine uygulandığında antimikrobiyal özelliklerini etkileyen anyonik gıda bileşenleri ile bağlanma kabiliyetini belirleyen pozitif bir yük taşımaktadır [70]. Fakat yapıdaki pozitif yükün varlığı ile doğrudan ilişkili olduğu bilinen antimikrobiyal aktivite mekanizması hala tam olarak karakterize edilememiştir. Bu konuda araştırmacılar bakteriyel

zarların LAE'nin ana hedefi olduğu noktasında ortak bir görüş bildirmektedir [49]. Katyonik yapı aynı zamanda LAE'nin 50 ppm'den daha yüksek bir konsantrasyonda kullanımında acı bir tat oluşumuna da neden olabilmektedir [71] ancak LAE'nin gıda ürünlerinin duyu özellikleri üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalar çok sınırlıdır [60, 72, 73].

LAE'nin toksikolojisi de birkaç çalışmada incelenmiştir. Hawkins ve ark. [74], gıdalarda kullanım için yeni bir antimikrobiyal ajan olan LAE'nin insan metabolizmasındaki rolünü ve farmakokinetiğini hem in vitro hem de in vivo teknikler kullanarak araştırmışlardır. Araştırmacılar LAE'nin 4 saat içinde lauroil arjinine kolayca hidrolize edildiğini belirlemişlerdir. Çalışmada LAE'nin simüle edilmiş mide sıvısında stabil kalırken simüle edilmiş bağırsak sıvısında 1 saat sonra %90'ından fazlasının arjinin ile lauroil arjinine hidrolize edildiği bulunmuştur. Öte yandan LAE 1.5 mg/kg ve 2.5 mg/kg doz seviyelerinde insanlara uygulanmış ve insanlarda LAE'nin doğal olarak oluşan diyet bileşenleri laurik asit ve arjinine hızla metabolize edildiği sonucuna varılmıştır [74]. Ruckman ve ark. [75], LAE'nin düşük akut toksisite gösterdiğini belirlemişlerdir. LAE'nin hafif dermal tahriş edici olmasının yanı sıra ciddi bir göz tahriş edici olduğu da bildirilmiştir. Araştırmacılar, LAE ile yapılan metabolizma çalışmaları sonucunda etil ester ve lauroil amid fonksiyonlarının hidrolizi ile LAE'nin amino asit arjinine hızla metabolize edildiğini kanıtlamışlardır. Arjininin ise daha sonra doğal olarak

oluşan üre döngüsüne girdiğini ve burada ornitin ve üreye ve sonrasında CO₂'ye metabolize edildiği belirtilmiştir. LAE bölünmesinin diğer ürünü ise birçok bitki kaynağında bulunan ve bu nedenle normal yağ asidi metabolizmasına girecek bir insan diyet bileşeni olan laurik asit olduğu belirlenmiştir [75]. Mevcut tüm

toksikoloji verilerini gözden geçirdikten sonra EFSA, bir kişinin ortalama vücut ağırlığının 60 kg olduğunu varsayarak, 0.5 mg LAE/kg vücut ağırlığı değerinde bir kabul edilebilir günlük alım (Acceptable Daily Intake, ADI) değeri belirlemiştir. Bu değerler bazında ADI değeri 30 mg/kişi düzeyindedir [76].

Tablo 2. Etil lauril arjinatın çeşitli mikroorganizmalar üzerindeki MİK değerleri (ppm)

Mikroorganizma	MİK (ppm)	Referans
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	11.8	
<i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 43895	11.8	[57]
<i>S. enteritidis</i>	23.6	
<i>E. coli</i> ATCC 25922, <i>L. innocua</i> DSMZ 20649, <i>S. enterica</i>	25	
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	12.5	[55]
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	100	
<i>L. monocytogenes</i> 10403S	40	
<i>L. monocytogenes</i> 2045	50	
<i>L. innocua</i>	60	
<i>L. innocua</i> M1	80	[56]
<i>Salmonella typhimurium</i>	200	
<i>Salmonella heidelberg</i>	200	
<i>S. enterica</i> ATCC BAA-708 ve ATCC BAA-709	256	
<i>S. enterica</i> ATCC BAA-710	128	[77]
<i>L. monocytogenes</i>	25	[78]
<i>S. cerevisiae</i>	20	
<i>C. albicans</i>	50	[65]
<i>Z. bailii</i>	30	
<i>Aspergillus flavus</i> CECT 2949	400	[79]

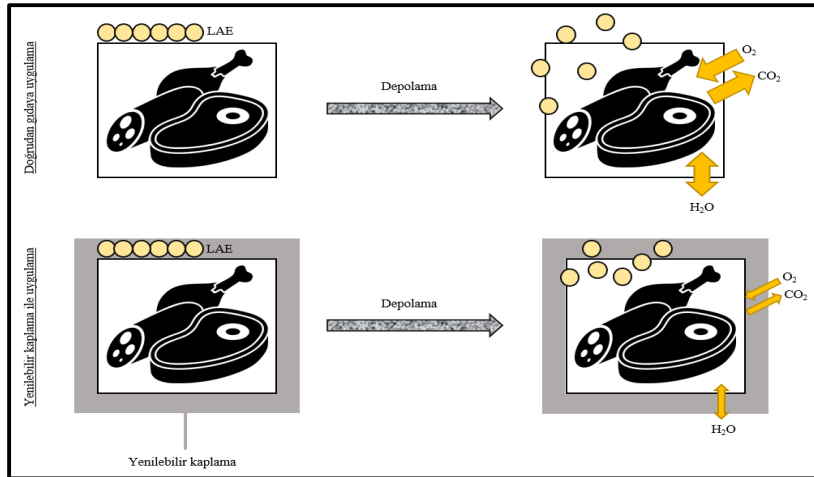
LAE'NİN YENİLEBİLİR FİLM ve KAPLAMALARDA KULLANIMI

LAE'nin önceki bölümlerde anlatılmış olan üstün özellikleri, gıda ürünlerinin güvenliği ve kalitesini geliştirmek amacıyla LAE'nin kullanımına büyük bir ilgi uyandırmıştır [49]. LAE'nin ambalaj filmlerinde antimikrobiyal bir bileşik olarak dahil edilmesi çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir ancak bu filmlerin gerçek gıda sistemlerinde kaplama olarak uygulanmasıyla ilgili sınırlı bilgi mevcuttur [14, 80-82].

LAE'nin gıdaya doğrudan uygulanması ile karşılaştırıldığında, yenilebilir kaplamalara dahil edilerek uygulanması, gıdanın organoleptik özelliklerini

etkilemeden fonksiyonel etki sağlayabilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere yenilebilir kaplamalar, gıdaların yüzeyinde yarı geçirgen bir bariyer olarak yer aldığından katkı maddesinin kontrollü salınımı sağlayarak koruyucu etkiyi uzun bir süre sağlayabilmektedir [83].

Son yıllarda LAE katkılı yenilebilir filmlerin üretimi ve LAE katkılı kaplamaların gıda ürünlerine uygulanmasını içeren çalışmalar yapılmaktadır. Gıda ürünlerine yenilebilir kaplama uygulanmasından önce yenilebilir filmlerin karakterizasyonunun yapılması son derece önemlidir. Bu bağlamda farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş LAE katkılı farklı biyopolimer bazlı yenilebilir filmler Tablo 3'te ve yenilebilir kaplamalar Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 1. LAE'nin gıdalara doğrudan ve yenilebilir kaplama ile uygulanmasının şematik gösterimi

Figure 1. Schematic illustration of direct application of ethyl lauril arginate to foods with edible coating

Tablo 3. Etil lauroil arjinat katkılı geliştirilmiş antimikrobiyal yenilebilir filmler

Table 3. Developed antimicrobial edible films with ethyl lauroil arginate

Film ana bileşeni	LAE ilavesi (ağırlık/hacim)	Sonuç	Referans
Kitosan	%0.1 LAE	Gelişmiş fiziko-kimyasal özellikler, yüksek antioksidan aktivite ve toplam mezofilik aerobik bakteri popülasyonu üzerinde yüksek inhibisyon	[14]
Zein	%5 ve %10 LAE	Morfolojik, optik, termal, mekanik ve bariyer özellikleri üzerinde önemsiz etki ve LAE'nin artan sıcaklıkla salım hızının artması	[21]
Zein	%5 ve %10 LAE	Mekanik ve su buharı geçirgenliği üzerinde önemsiz etki ve <i>E. coli</i> ve <i>L. monocytogenes</i> üzerinde yüksek inhibisyon	[25]
Nişasta	%2 ve %4 LAE	<i>Salmonella saintpaul</i> üzerinde tam inhibisyon	[84]
Etilen vinil alkol kopolimeri	%5 ve %10 LAE	<i>L. monocytogenes</i> ve <i>E. coli</i> üzerinde yüksek inhibisyon	[85]
Pullulan	%0.5, %1 ve %2.5 LAE	Gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler ve patojenler üzerinde yüksek inhibisyon	[86]
Nişasta-jelatin	%1.3 LAE	<i>L. innocua</i> 'ya karşı bakterisidal etki	[87]
Nişasta-jelatin	%0.1 LAE	<i>L. innocua</i> ve <i>E. coli</i> 'ye karşı bakterisidal etki	[88]
Kitosan	%1, %5 ve %10 LAE	Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere, mayalara, küflere ve mantarlara karşı yüksek antimikrobiyal etki	[24]
Kitosan-jelatin	%0.1 LAE	<i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. typhimurium</i> ve <i>Campylobacter jejuni</i> 'nin gelişimi üzerinde yüksek inhibisyon	[89]
Kitosan	%0.1 ve %0.2 LAE	Gelişmiş antimikrobiyal aktivite	[90]
Kitosan	%0.5 ve %1 LAE	Gelişmiş su buharı geçirgenliği ve mekanik özellikler	[82]
Poli(laktik asit)	%1 LAE	<i>L. innocua</i> , <i>E. coli</i> ve <i>Salmonella</i> spp. üzerinde yüksek inhibisyon	[91]
Jelatin	%0.8 LAE	<i>S. typhimurium</i> ve <i>Vibrio parahaemolyticus</i> üzerinde yüksek inhibisyon	[92]
Jelatin	%0.5, %1, %5 ve %10 LAE	Gelişmiş pH, yüzey gerilimi, çözünürlük, nem içeriği ve dayanıklılık	[93]

Tablo 4. Etil lauroil arjinat katkılı geliştirilmiş antimikrobiyal yenilebilir kaplamalar

Table 4. Developed antimicrobial edible coatings with ethyl lauroil arginate

Kaplama formülasyonu	Kaplanan gıda ürünü	Referans
Kitosan-LAE	Çilek	[96]
Kitosan-nişasta-LAE	Papaya	[97]
Kitosan-LAE-Sitrik asit	Taze kesilmiş elma	[98]
Kitosan-LAE-montmorillonit	Üzüm	[99]
Pektin-aljinat-LAE	Taze yumurta	[100]
Kitosan-LAE	Tavuk göğsü filetoları	[24]
Pullulan-LAE	Çiğ hindi göğsü, jambon, çiğ sığır eti	[101]
Pullulan-LAE	Çiğ sığır eti, çiğ tavuk göğsü, hindi göğsü	[86]
Mısır nişastası-sığır jelatini-LAE	Marine edilmiş somon balığı	[87]
Jelatin-LAE	Levrek ve karides	[92]

Gıda ürünlerine uygulandığında, LAE ile yağ, polisakkarit ve protein gibi gıda bileşenleri arasındaki etkileşimler LAE'nin antimikrobiyal aktivitesini düşürebilmektedir [57, 94]. Katyonik bir yapıda olan LAE ayrıca pektin, aljinat, karragenan ve ksantan gibi anyonik polisakkaritlerle de bağlanma eğilimindedir [19, 95].

Literatürde LAE'nin farklı yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarına dahil edilmesini konu alan güncel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Higuera ve ark. [24], antimikrobiyal bileşik olarak LAE (%1, 5, 10) içeren kitosan filmleri gıda ambalajlama uygulamaları için geliştirmişlerdir. LAE ilaveli kitosan filmler şeffaf ve tekdüze olarak değerlendirilerek kitosan ve kitosan-LAE filmler arasında hiçbir görsel farklılık belirlenmemiştir. Sulu gıda benzeri bir ortamda incelendiğinde LAE 4 ve 28°C'de bir kaç saat için

tamamen serbest bırakılmıştır. Filmlerin mezofiller, psikrofiller, *Pseudomonas* spp., koliformlar, laktik asit bakterileri, hidrojen sülfid üreten bakteriler, maya ve küflere karşı antimikrobiyal aktivitesi, tavuk göğsü filetolarında incelenmiştir. Kitosan filmler 0.47-2.96 log indirgeme aralığında antimikrobiyal aktivite gösterirken, kitosan-%5 LAE filmleri 1.78-5.81 log indirgeme göstermiştir. Araştırmacılar kitosan bazlı bir ambalaj yapısına LAE dahil edilmesinin, taze kümes hayvanı ürünlerinin tazeliğini ve stabilitesini arttırabileceğini belirtmişlerdir [24].

Pattanayaiyng ve ark. [101], %2 LAE ve nisin Z içeren pullulan filmleri tek başına veya kombinasyon halinde, soğuk depolamada kaslı gıdalarda patojenleri kontrol etmek için kullanmışlardır. Yalnız LAE eklenmiş filmle sarılan çiğ hindi göğsü dilimlerinde *S. typhimurium* ve *S. enteritidis* için sırasıyla 2.5 ve 4.5 log kob/cm² indirgeme gözlenirken; LAE'nin nisin Z ile kombinasyonu şeklinde

oluşturulmuş filmle sarılan örneklerde sırasıyla 3.5 ve 5.1 log kob/cm² indirgeme gözlenmiştir. LAE'nin nisin Z ile birlikte kullanıldığı film jambon yüzeylerinde *S. aureus* ve *L. monocytogenes* için sırasıyla 5.53 ve 5.62 log kob/cm² indirgeme sağlamıştır. *E. coli* O157: H7 popülasyonu, kombinasyon filmi ile işlendikten sonra çiğ sığır dilimleri üzerinde 4 log kob/cm² oranında azaltılmıştır. Araştırmacılar, LAE ve LAE-nisin Z içeren pullulan filmlerinin taze ve işlenmiş kaslı gıda ürünlerinde gıda kaynaklı patojenlere karşı mükemmel inhibisyon sergilediğini vurgulamışlardır [101].

Kashiri ve ark. [21], LAE'nin zein matrisine dahil edilmesine dayanan yeni antimikrobiyal biyopolimer filmler üretmiş ve aktif gıda ambalajı kapsamında filmlerden LAE'nin kontrollü salımını incelemiştir. LAE'nin %5 ve 10'luk oranlarda biyopolimer matrisine eklenmesi filmlerin morfolojik, optik, termal, mekanik ve bariyer özelliklerinde değişikliklere neden olmamıştır. Filmlerin etki mekanizması esas olarak antimikrobiyal salımına dayandığından, bu çalışmada aktif biyofilmler 4, 23 ve 37°C'de su, %3 asetik asit ve %10 alkol ortamlarında karakterize edilmiştir. Çalışma sonuçları, LAE'nin %80'inden fazlasını salınan 4°C'de su ortamı dışında, LAE'nin neredeyse tüm koşullarda tamamen ekstrakte edildiğini ortaya koymuştur. LAE salımının daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olduğu ve difüzyon katsayısı değerlerinin de sıcaklıkla arttığı belirtilmiştir. Filmlerin antibakteriyel aktivitesi *L. monocytogenes* ve *E. coli*'ye karşı test edilmiş ve %5 LAE içeren zein filmlerinin 4°C'de 5 günlük depolamadan sonra *L. monocytogenes* ve *E. coli*'ye karşı sırasıyla 2.02 ve 3.07 log azalma sağladığı gözlenmiştir. Sıcaklığın 37°C'ye yükselmesi ile %10 LAE içeren filmlerde daha fazla antibakteriyel aktivite (5 log azalma) gözlenmiştir. Araştırmacılar yenilebilir polimer malzemelerle yapılan bir ambalaj filmine LAE'nin dahil edilmesinin gıdalardaki bakteriyel kontaminasyonun kontrolü için etkili bir yaklaşım olabileceğini öne sürmüştür [21].

Ma ve ark. [90], LAE, tarçın yağı (CO) ve EDTA ilaveli kitosan filmlerinin fiziksel ve antimikrobiyal özelliklerini değerlendirmişlerdir. LAE ve CO kombinasyonunun Gram pozitif bakteriler üzerinde sinerjik antimikrobiyal etkiye sahip olduğu ancak gram negatif bakteriler üzerinde antagonistik etkiye neden olduğu belirtilmiştir. Formülasyona dahil edilen EDTA ise LAE'nin aktivitesini arttırmıştır. Antimikrobiyal eklenen kitosan filmlerinin kalınlığının değişmediği, sarılık değerinin ve su buharı geçirgenliğinin arttığı belirtilirken, CO konsantrasyonu arttıkça suda çözünürlüğün azaldığı belirtilmiştir. Mekanik dayanımda antimikrobiallerin dahil edilmesi kopma mukavemetini düşürmüştür fakat kopma anında uzama yüzdesini etkilememiştir. Antimikrobiyal içeren filmlerde daha büyük inhibisyon bölgeleri tespit edilmiştir. EDTA'nın eklenmesi LAE'li filmlerin antimikrobiyal aktivitesini artırırken CO ilavesi filmde ortama salınan LAE miktarını azaltmıştır. Araştırmacılar LAE, CO ve EDTA içeren antimikrobiyal filmlerin gıda ürünlerinin güvenliğini geliştirmede potansiyel gösterebileceğini vurgulamışlardır [90].

Rubilar ve ark. [82], kitosan filmlerinin su buharı geçirgenliğini ve mekanik özelliklerini geliştirmek için bir

nanokil (Cloisite®30B) (0, 5, 10 g/L) ve bir antimikrobiyal ajan olarak LAE (0, 0.5, 1 g/L) kullanmışlardır. LAE ve/veya nanokil içeren ve içermeyen tüm filmler esnek ve yarı şeffaf olarak elde edilmişken, nanokil veya LAE'nin varlığı gerilme ve delinme mukavemetini arttırmıştır. En yüksek LAE ve/veya nanokil konsantrasyonları ile elde edilen filmlerin mekanik özellikleri (gerilme ve delinme mukavemetleri ve kopma anında uzama) gelişmişken; suda çözünürlük ve su buharı iletim hızı azalmıştır. Araştırmacılar biyoaktif fonksiyona sahip doğal biyopolimer bazlı ambalaj malzemesinin geliştirilmesinde nanoteknolojinin de uygulanabilirliğini vurgulamışlardır [82].

Guo ve ark. [96], gıda kaynaklı patojen popülasyonlarını azaltmak için alil izotiyosiyanat (AIT) ve LAE katkılı kitosan filmler ve kaplamaların kullanımını araştırmışlardır. *L. innocua* üzerinde %1 AIT'li kaplamalar ve filmlerin, kültür ortamında (Tryptic soy broth, TSB), et ve çilekte sırasıyla 5, 2 ve 3 log kob'ın üzerinde inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. *E. coli* ve *Salmonella* spp. popülasyonları üzerinde %1 LAE içeren kaplama ve filmlerin ise TSB ve çilekte sırasıyla 5 ve 2 log kob'dan fazla inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, çeşitli gıdalarda patojenik mikroorganizmaları azaltmak için antimikrobiyal materyal olarak LAE ve AIT'in etkili olabileceği sonucuna varmışlardır [96].

Moreno ve ark. [87], mısır nişastası ve sığır jelatinine dayalı 1.3 g LAE (a/a) ilaveli antimikrobiyal filmleri karakterize ederek filmlerin marine edilmiş somon balığında mikrobiyal gelişimi kontrol etmedeki etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmada, LAE ilaveli filmlerin renklerinde kararmalar gözlenmiştir. Tüm film formülasyonları in vitro testlerde antilisterial aktivite sergilemiştir. Bu filmler ile ambalajlanan marine edilmiş somon numunelerinde 5°C'de 45 gün depolamadan sonra toplam canlı sayımları yasal sınırın altında kalarak büyük ölçüde azalmış ve ürünün raf ömrünü uzatmıştır. Ancak filmler yetersiz su buharı bariyeri özellikleri nedeniyle ağırlık kaybını kontrol etmede etkili olmamıştır. Özellikle LAE ilaveli filmler *L. innocua*'ya karşı in vitro bakterisidal etki göstermişken; somon balığı üzerinde etki daha az gözlenmiştir. Araştırmacılar, uzun bir depolama süresi boyunca marine edilmiş somon balığının kalitesini korumak için yüksek su buharı bariyer tabakası içeren çok katmanlı bir filmin gerekli olabileceğini vurgulamışlardır [87].

Moreno ve ark. [88], LAE (polimer:LAE=1:0.1) ilaveli nişasta-jelatin filmlerinin fonksiyonel özelliklerini değerlendirmişlerdir. Filmlerde çapraz bağlanma etkisinin zaman içindeki değişimini değerlendirmek için ise 5 haftalık depolamadan sonra gerilme ve optik özellikleri ile su buharına karşı bariyer kapasitesini analiz etmişlerdir. Sodyum periyodat ile nişasta oksidasyonu filmlerin mukavemetini ve bariyer kapasitesini arttıran çapraz bağlanmayı geliştirirken, Maillard reaksiyonları filmin kararmasına neden olmuştur. LAE ilaveli tüm filmler *L. innocua* ve *E. coli*'ye karşı bakterisidal etki göstermiş fakat LAE içermeyen filmler Maillard bileşiklerinin antimikrobiyal özelliklerinden dolayı her iki bakterinin gelişmesini 1-2

log kob/g inhibe etmiştir. Araştırmacılar LAE içeren nişasta ve jelatin karışımı filmlerinin gıda ambalajlama uygulamaları için umut verici malzemeler olduğu sonucuna varmışlardır [88].

Ochoa ve ark. [84], mısır nişastası bazlı LAE (400, 2000, 4000 mg/L) ve/veya natamisin (80, 400, 800 mg/L) katkı yenilebilir filmler geliştirmişlerdir. *Rhizopus stolonifer*, *Colletotrichum gloeosporioides* ve *Botrytis cinerea*'daki LAE'nin minimum fungusidal konsantrasyonu (MFK) 800 mg/L ve natamisin'in MFK'si 160 mg/L olarak tespit edilmiştir. LAE'nin 100 mg/L'de kullanılması ile diğer suşlardan daha dirençli olan *S. saintpaul*'un tam inhibisyonunu sağladığı gözlenmiştir. Araştırmacılar LAE'nin bakteri ve küflere karşı etkili olduğunu, natamisinin ise sadece küf gelişimini kontrol ettiğini bildirmiştir. Ayrıca, LAE ve natamisinin tek başına kullanılmasının yanı sıra bir arada kullanılmasının (2000 mg/L LAE+400 mg/L natamisin) bozulmaya neden olan küfler ve patojen bakterilerin tamamen inhibisyonunda etkili olduğu rapor edilmiştir [84].

De Leo ve ark. [100], taze yumurtaların raf ömrünü ve 7°C'de 42 gün depolama sırasında fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirmeden *S. enteritidis* kontaminasyonunu önlemek için pektin-aljinat (PA) ve pektin-aljinat-LAE (PAL) kaplamalarının kullanım potansiyelini araştırmışlardır. PA ve PAL kaplamaların fiziko-kimyasal özelliklere önemli bir etkisi olmadığı; PA ve PAL kaplamaları uygulanan yumurta kabuklarının kaplanmamış kabuklara kıyasla önemli ölçüde daha düşük bir mikrobiyal popülasyon gösterdiği belirlenmiştir. PA ve PAL kaplamaların sırasıyla 1 ve 7 günlük depolamadan sonra *Salmonella*'nın gelişimini etkili bir şekilde inhibe ettiği ve 42 güne kadar herhangi bir gelişme gözlenmediği rapor edilmiştir [100].

Escamilla-García ve ark. [97], papayanın raf ömrünü uzatmak için 3.750 µg/mL nisin ve 0.0625 mg/mL LAE içeren bir kitosan-nişasta (3:1 a/a) kaplaması geliştirmiştir. Bu kaplama, oda sıcaklığında tutulan papayanın raf ömrü üzerinde olumlu bir etki göstererek, kaplanmamış meyvelere göre daha uzun süre boyunca özelliklerini korumuştur. Kaplama, meyvenin sıklığının sağlanmasına yardımcı olarak kaplanmamış papayanın 5 gün sonra son olgunlaşma aşamasına ulaşırken, kaplanmamış meyvenin ise oda sıcaklığında 15 gün sonra bu aşamaya ulaştığı gözlenmiştir. Papaya meyvesinin fermantasyonuna özgü uçucu bileşenler (etil butanoat gibi) kaplanmamış örneklerde 5 gün sonra ortaya çıkarken, kaplanmamış örneklerde 10 gün sonra oluşmuştur. Yenilebilir kaplamalar meyve yüzey görüntülerinde daha iyi homojenlik göstermiştir. Kaplanmamış meyvelerde mikrobiyal popülasyon azalırken, kaplanmamış papayalarda tam tersi durum gözlenmiştir. Başlangıçta papaya meyvesinin yüzeyinde 35 kob/g toplam koliform, 548 kob/g mezofilik aerobik bakteri, 239 kob/g maya belirlenmiş ve küf belirlenmemiştir. Toplam koliform ve mezofilik aerobik bakteri popülasyonu, kaplamalı papayada ilk 10 günde bir azalma sergilerken kaplanmamış papayada artış sergilemiştir ve 15 günlük depolama sonunda kaplanmamış papayada küf popülasyonu 0.3 log kob/g, kaplanmamış papayada 2.06 log kob/g düzeyinde tespit edilmiştir. Kaplanmamış

papayalarda depolama sonunda maya popülasyonu 5 log kob/g gözlenirken, kaplanmamış papayalarda 2 log kob/g gözlenmiştir. Araştırmacılar bu kaplamanın papayada uzun ve güvenli bir raf ömrünü mümkün kıldığını rapor etmişlerdir [97].

Sun ve ark. [99], montmorillonit ve LAE içeren kitosan (CML) kaplamaların 4°C'de 20 gün depolanan üzümün kalite ve raf ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. CML kaplamalarının üzümdeki ağırlık kaybını, solunumu ve çürüme belirtilerini ve ayrıca toplam aerobik bakteri, maya, küf ve laktik asit bakterilerinin sayılarını etkili bir şekilde azalttığı gözlenmiştir. CML kaplamaları ayrıca poligalakturonaz, pektin metil esteraz ve polifenol oksidazın azalmış aktivitelerine bağlı olarak doku yumuşamasını ve esmerleşmeyi geciktirmede daha iyi etkiler göstermiştir. CML kaplamaları, diğer örneklerle kıyasla üzümün çözünür katı içeriğini ve titre edilebilir asitliği veya pH değerini önemli ölçüde değiştirmemiştir. Bununla birlikte, CML kaplamalar üzümde daha yüksek askorbik asit içeriği ve duyu kalite sağlamıştır. Araştırmacılar, CML kaplamaların mikrobiyolojik güvenliği sağladığını ve minimum düzeyde işlenmiş üzümün beslenme ve duyu kalitesini koruduğunu doğrulamıştır [99].

Haghighi ve ark. [89], biyopolimer olarak kitosan ve jelatin, plastikleştirici olarak gliserol ve antimikrobiyal bileşik olarak LAE kullanarak harman ve çift katmanlı aktif filmler geliştirmişlerdir. Karışım filmlerin, çift katmanlı filmlere göre daha yüksek kopma mukavemetine ve elastik modüle ve daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Çift katmanlı filmler UV ışığına karşı etkili bariyer olarak değerlendirilmiş ve daha düşük şeffaflık değerleri göstermiştir. LAE (%0.1, h/h) ilavesi filmlerin ağ yapısını etkilememişken *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S. typhimurium* ve *C. jejuni*'nin gelişimini tamamen inhibe etmiştir. Araştırmacılar geliştirilmiş fiziksel, mekanik, bariyer ve antimikrobiyal özelliklere sahip gıda paketlenme uygulamaları için LAE ilaveli kitosan ve jelatine dayalı harman ve çift katmanlı biyo-bazlı aktif filmlerin geliştirilmesinin etkili olacağı sonucuna varılmıştır [89].

Kashiri ve ark. [25], LAE içeren zein kaplamaları polipropilen filmlere uygulamak için geliştirmişlerdir. Plastikleştirici olarak gliserol veya oleik asit kullanılmıştır. Aktif madde konsantrasyonunun (%5 ve 10) filmlerin mekanik ve su buharı geçirgenliği özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir. Gliserol ile plastikleştirilmiş %10 LAE içeren zein bazlı kaplamalar, patojen bakteriler içeren tavuk çorbası (gerçek gıda sistemi) ile yapılan denemelerde somut olarak çok iyi bir antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Burada indirgemeler *L. monocytogenes* için 3.47 iken *E. coli* için 5.02 log düzeyinde gözlenmiştir. Oleik asit ile plastikleştirilmiş %10 LAE içeren zein bazlı kaplamalarda *L. monocytogenes* için 8.68, *E. coli* için 8.87 log indirme gözlenmiştir. Araştırmacılar gıda kaynaklı patojenleri kontrol etmek için aktif gıda paketlenmesinde LAE içeren zein kullanımının etkili olabileceğini belirtmişlerdir [25].

Pattanayaiying ve ark. [92], deniz ürünlerinde gıda kaynaklı patojenleri kontrol etmek için LAE (0.8 mg/cm²) ve/veya Nisin Z (69.4 AU/cm²) içeren jelatin (%15, h/h) filmler geliştirmişlerdir. Filmler ile 28 gün +4°C ve 90 gün -20°C depolamada iri göz levrek (*Lutjanus lineolatus*) ve kaplan karides (*Penaeus monodon*) dilimlerinde *V. parahaemolyticus* ve *S. typhimurium*'ün gelişimi incelenmiştir. LAE ilaveli film *S. typhimurium*'ün gelişimini 4°C'de 28 gün sonra 3.2 log kob/g; Nisin ilaveli film ise 3.5 log kob/g azaltmıştır. İri göz levrek dilimlerinde 4°C 28 gün depolamada *V. parahaemolyticus* için sadece LAE içeren film 2.6 log kob/g indirgeme sağlarken, nisin-LAE içeren film 4.2 log kob/g indirgeme sağlamıştır. Her iki film de *V. parahaemolyticus*'u kaplan karidesi dilimlerinde 4°C 28 gün depolamada 7.1 log kob/g indirgemıştır. LAE ve nisin içeren filmler -20°C'de 60 gün sonra her iki gıdada da *S. typhimurium*'u sırasıyla 5.8 ve 5.6 log kob/g indirgemıştır. Araştırmacılar elde edilen sonuçlara dayanarak soğutulmuş ve dondurulmuş deniz ürünlerinde *S. typhimurium* ve *V. parahaemolyticus*'a karşı mükemmel inhibisyon sergilediğini belirtmişlerdir [92].

Demircan ve Özdestand Ocak [14], LAE (%0.1 a/h) ve limon esansiyel yağı (%1 h/h) katkılı kitosan (%2 a/h) bazlı yenilebilir filmlerin fiziko-kimyasal, mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişler ve katkılarının kitosan filminin özelliklerini geliştirdiği ve/veya iyileştirdiğini saptamışlardır. LAE'nin yapıya dahil edilmesi kitosan filminin çözünürlüğünü, antioksidan aktivitesini, toplam fenolik madde miktarını ve mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Öte yandan morfolojik incelemede LAE'nin daha sıkı bir ağ yapısı oluşturduğu belirlenmiştir. Ardından film çözeltileri kaplama olarak (kitosan, kitosan-LAE, kitosan-limon esansiyel yağı) uskumru filetolarına uygulanmış ve 4°C'de 9 günlük bir depolama boyunca antimikrobiyal ilaveli kaplamaların filetoların fiziko-kimyasal özelliklerini daha iyi muhafaza ettiği ve bu kaplamaların kullanımının kalite parametreleri üzerinde daha koruyucu etkileri olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, limon esansiyel yağının %1 (h/h) oranında formülasyona dahil ederken LAE'yi %0.1 (a/h) oranında ilave etmeleri sonucunda her iki maddenin de filmler ve kaplamalar üzerinde benzer etkiler sergilediğini gözlemlemişlerdir. Çalışmada düşük dozlarda LAE'nin yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilmesi ile bu sistemlerin işlevselliğinin artırılabilirliği sonucuna varılmıştır [14].

Hassan ve Cutter [86], pullulan bazlı bir biyopolimer ve polietilenden (PE) yapılmış kompozit antimikrobiyal film (CAF) geliştirmiş ve gıda patojenlerini kontrol etmek için incelemişlerdir. CAF'lar timol (T), nisin (N) ve/veya LAE'nin pullulan katmanına eklenmesi ve PE'nin üstüne katmanlanmasıyla geliştirilmiştir. Elde edilen CAF'ların antimikrobiyal aktivitesi Shiga toksini üreten *E. coli* (STEC), *Salmonella* spp., *L. monocytogenes* ve *S. aureus*'a göre değerlendirilmiştir. Sonuçlarda N içeren CAF'lerin etkisiz olduğu, T içerenlerin ise patojenlerin inhibisyonunda etkili olduğu gözlenmiştir. Fakat bunlarla yapılan CAF'ler istenen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamazken %0.5, 1 ve 2.5 LAE ile yapılan CAF'ler uygun fiziksel ve mekanik özellikleri koruyarak tüm

patojenleri inhibe etmiştir. Filmler ambalaj olarak kullanılmak üzere şekillendirilmiş ve 4°C'de 28 gün depolama boyunca %0.5, 1 ve 2.5 LAE içeren CAF'ler sırasıyla; çiğ sığır eti üzerinde STEC için 1.13, 1.33 ve 2.88 log kob/cm²; çiğ tavuk göğsünde *Salmonella* için 2.03, 2.12 ve 3.01 log kob/cm²; hindi göğsünde *L. monocytogenes* için 1.12, 1.81, 3.56 ve *S. aureus* için 0.68, 2.02 ve 3.43 log kob/cm² indirgeme sağlamıştır. Araştırmacılar gıda kaynaklı patojenleri kontrol etmek için et ve kümes hayvanları endüstrisinde LAE'nin etkili bir antimikrobiyal ajan olarak kullanılabileceğini öne sürmüştür [86].

Jin ve ark. [98] tarafından taze kesilmiş elmalara *Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* inoküle edilmiş ve sitrik asit (CA) ve/veya LAE katkılı kitosan kaplamalar uygulanmıştır. LAE konsantrasyonunun %0.25'ten %0.5'e yükseltilmesinin üç patojenin de tüm popülasyonunu önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. *Salmonella*, *Listeria* ve *E. coli* popülasyonları %1 CA+%0.25 LAE kaplamasında sırasıyla 2, 1.7 ve 4.2 log kob/cm² düzeyinde; %1 CA+0.5 LAE kaplamasında 1.2, 1.1 ve 3.7 log kob/cm² düzeyinde tespit edilmiştir. LAE konsantrasyonunun %0.5'ten %1'e yükseltilmesi *Salmonella* popülasyonlarını önemli ölçüde azaltmış ancak *Listeria* ve *E. coli* popülasyonlarını etkilememiştir. Araştırmacılar LAE'nin düşük dozlarda kullanımının bile patojenler üzerinde etkili olabileceğini ve taze kesilmiş elmaları mikrobiyolojik ve kalite bozulmasından korumak için güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir [98].

Motta ve ark. [102], katyonik yüzey aktif madde LAE (%0.05 a/h) ile aktive edilen nişasta bazlı yenilebilir filmler geliştirmişlerdir. Filmlerin karakterizasyon sonuçlarında, LAE'nin eklenmesi ile gram-pozitif *S. aureus*, gram-negatif *E. coli* ve küf *Penicillium* spp.'nin inhibe edildiği belirtilmiştir. Filmlerde LAE ilavesinin, kalınlıkta ve esneklikte bir artışa ve sertlikte bir azalmaya neden olduğundan bir plastikleştirici olarak davrandığı veya gliserol ile sinerjik bir etki oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, LAE ilavesinin filmlerin opaklığını arttırdığı da belirtilmiştir. Araştırmacılar, nişasta bazlı geliştirilen yenilebilir film ve kaplamalara LAE'nin dahil edilmesinin, ambalajlanmış ürünlerin raf ömrünü uzatmada birincil ambalaj görevi göreceği sonucuna varmışlardır [102].

Otero-Tuárez ve ark. [93], farklı konsantrasyonlarda LAE (%0.5, 1, 5, 10 a/a) içeren balık jelatini filmlerinin fiziksel, kimyasal ve antimikrobiyal özelliklerini incelemişlerdir. Filmlerin optik özellikleri artan LAE ile değişmemiş ancak pH ve yüzey gerilimi artmıştır. LAE'nin formülasyona dahil edilmesi filmlerin nem içeriği ve çözünürlüğünü arttırmıştır. Ek olarak, LAE'nin varlığı filmlerin daha esnek ve dayanıklı olmasını sağlarken, su buharı geçirgenliği üzerinde etkili olmamıştır. LAE katkılı filmlerde artan LAE konsantrasyonları ile *L. innocua*, *Shewanella putrefaciens* ve *Pseudomonas fluorescens*'e karşı antimikrobiyal etki de artarken; *Aeromonas hydrophila*'ya karşı böyle bir etki gözlenmemiştir. Araştırmacılar bu antimikrobiyal filmlerin taze balık ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için alternatif bir teknoloji olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [93].

SONUÇ

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdaları korumak için kullanılan en iyi yöntemlerden biri olarak uzun yıllardır literatürde yer almaktadır. Bu yapıların gıdaları mekanik, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalardan korumasının yanı sıra çeşitli antimikrobiyal ajanların da taşıyıcısı olarak kullanılması birçok araştırmacı tarafından odak noktası olmaktadır. Bir antimikrobiyal ajanı gıdaya doğrudan uygulamak yerine yenilebilir film ve kaplama yoluyla uygulamak ajanın kontrollü salımına imkan verdiğinden birçok avantaj sunmaktadır. Bu noktada denenmiş olan birçok farklı katkı maddesi bulunmaktadır fakat son yıllarda LAE sahip olduğu özelliklerden dolayı öne çıkan bir madde olarak değerlendirilmektedir. LAE, GRAS olarak sınıflandırılmış bir gıda koruyucu antimikrobiyal katkı maddesidir ve bakteriyel, maya ve küfler üzerinde güçlü inhibisyon etkisi vardır. LAE'nin antimikrobiyal etki mekanizması konusunda çeşitli görüşler olsa da genel yargı esas hedefin mikrobiyal membranlar olduğu yönündedir. Ayrıca LAE'nin renksiz, kokusuz ve tatsız olması da kullanımını kolaylaştırmaktadır. LAE ile ilgili yasal düzenlemeler göz önünde bulundurulduğunda miktarların çok düşük olması bu maddenin etkinliğinin daha iyi bir şekilde ve daha uzun bir sürede sağlanması amacıyla LAE'nin yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilerek gıdalarda kullanımını yenilikçi bir yaklaşımdır ve birçok çalışmada elde edilen sonuçlar bu sistemlerde LAE'nin etkinliğinin arttığını göstermektedir. LAE'nin yenilebilir film ve kaplamalara dahil edilmesi, gıdalarda raf ömrünü uzatması ve gıda kalitesini geliştirmek için birçok mikroorganizmanın gelişimini inhibe etmesinin yanı sıra filmlerin fiziko-kimyasal ve morfolojik özelliklerini de geliştirmektedir. Tüm bu veriler doğrultusunda, LAE içeren yenilebilir film ve kaplamaların gerçek gıda sistemlerinde uygulanması, uzun depolama süreçlerinde LAE'nin bu sistemlerden salım etkinliğinin incelenmesi ve LAE'nin diğer gıda bileşenleri ile etkileşimi konusunda daha fazla araştırma yapılmalıdır. Ek olarak diğer antimikrobiyaller ile kombinasyon halinde yenilebilir film ve kaplamalarda kullanımı, kaplamalara veya gıda ile temas eden ambalaj filmlerine dahil ederek gıda matrisi müdahalesini en aza indiren ve talep halinde antimikrobiyal serbest bırakan dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi ve tüketici kabulü için detaylı duyuşal değerlendirmelerin yapılması da araştırılması gereken öncelikli konulardır.

KAYNAKLAR

- [1] Moreno, O., Pastor, C., Muller, J., Atarés, L., González, C., Chiralt, A. (2014). Physical and bioactive properties of corn starch–buttermilk edible films. *Journal of Food Engineering*, 141, 27-36.
- [2] Byun, Y., Kim, Y.T. (2014). Bioplastics for food packaging: chemistry and physics. In *Innovations in food packaging*, Edited by J.H. Han, Academic Press, 353-368.
- [3] Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148.
- [4] Chouhan, S., Sharma, K., Guleria, S. (2017). Antimicrobial activity of some essential oils-present status and future perspectives. *Medicines*, 4(3), 58.
- [5] Malhotra, B., Keshwani, A., Kharkwal, H. (2015). Antimicrobial food packaging: Potential and pitfalls. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1-9.
- [6] Trinetta, V., Floros, J.D., Cutter, C.N. (2010). Sakacin a-containing pullulan film: an active packaging system to control epidemic clones of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. *Journal of Food Safety*, 30(2), 366-381.
- [7] Mangalassary, S., Han, I., Rieck, J., Acton, J., Dawson, P. (2008). Effect of combining nisin and/or lysozyme with in-package pasteurization for control of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat turkey bologna during refrigerated storage. *Food Microbiology*, 25(7), 866-870.
- [8] Seol, K.H., Lim, D.G., Jang, A., Jo, C., Lee, M. (2009). Antimicrobial effect of κ-carrageenan-based edible film containing ovotransferrin in fresh chicken breast stored at 5°C. *Meat Science*, 83(3), 479-483.
- [9] Valdés, A., Burgos, N., Jiménez, A., Garrigós, M.C. (2015). Natural pectin polysaccharides as edible coatings. *Coatings*, 5(4), 865-886.
- [10] Solak, A.O., Dyankova, S.M. (2014). Composite films from sodium alginate and high methoxyl pectin-physicochemical properties and biodegradation in soil. *Ecologia Balkanica*, 6(2).
- [11] Martins, J.T., Cerqueira, M.A., Souza, B.W., Carmo Avides, M.D., Vicente, A.A. (2010). Shelf life extension of ricotta cheese using coatings of galactomannans from nonconventional sources incorporating nisin against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1884-1891.
- [12] Özdestand Ocak, Ö., Demircan, B. (2020). Transportation of flavorings and bioactive substances in food systems with edible films and coatings and their effects on functionality. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26(7), 1245-1256.
- [13] Gaikwad, K.K., Lee, S.M., Lee, J.S., Lee, Y.S. (2017). Development of antimicrobial polyolefin films containing lauroyl arginate and their use in the packaging of strawberries. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1706-1716.
- [14] Demircan, B., Özdestand Ocak, Ö. (2020). Effects of lemon essential oil and ethyl lauroyl arginate on the physico-chemical and mechanical properties of chitosan films for mackerel fillet coating application. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19(11), 1-10.
- [15] Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstien, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505-513.
- [16] Poverenov, E., Rutenberg, R., Danino, S., Horev, B., Rodov, V. (2014). Gelatin-chitosan composite films and edible coatings to enhance the quality of food products: Layer-by-Layer vs. blended formulations. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3319-3327.

- [17] Souza, V.G.L., Fernando, A.L., Pires, J.R.A., Rodrigues, P.F., Lopes, A.A., Fernandes, F.M.B. (2017). Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 107, 565-572.
- [18] Staroszczyk, H., Sztuka, K., Wolska, J., Wojtasz-Pająk, A., Kołodziejska, I. (2014). Interactions of fish gelatin and chitosan in uncrosslinked and crosslinked with EDC films: FT-IR study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117, 707-712.
- [19] Bonnaud, M., Weiss, J., McClements, D.J. (2010). Interaction of a food-grade cationic surfactant (lauric arginate) with food-grade biopolymers (pectin, carrageenan, xanthan, alginate, dextran, and chitosan). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(17), 9770-9777.
- [20] Kang, J., Stasiewicz, M.J., Murray, D., Boor, K.J., Wiedmann, M., Bergholz, T.M. (2014). Optimization of combinations of bactericidal and bacteriostatic treatments to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon. *International Journal of Food Microbiology*, 179, 1-9.
- [21] Kashiri, M., Cerisuelo, J.P., Domínguez, I., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R. (2016). Novel antimicrobial zein film for controlled release of lauroyl arginate (LAE). *Food Hydrocolloids*, 61, 547-554.
- [22] Petkoska, A.T., Daniloski, D., D' Cunha, N.M., Naumovski, N., Broach, A.T. (2021). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. *Food Research International*, 140, 109981.
- [23] Theinsathid, P., Visessanguan, W., Kruenate, J., Kingcha, Y., Keeratipibul, S. (2012). Antimicrobial activity of lauric arginate-coated polylactic acid films against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on cooked sliced ham. *Journal of Food Science*, 77(2), 142-149.
- [24] Higuera, L., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R., Rollini, M. (2013). Development of a novel antimicrobial film based on chitosan with LAE (ethyl-N α -dodecanoyl-L-arginate) and its application to fresh chicken. *International Journal of Food Microbiology*, 165(3), 339-345.
- [25] Kashiri, M., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R. (2019). Antimicrobial packaging based on a LAE containing zein coating to control foodborne pathogens in chicken soup. *International Journal of Food Microbiology*, 306, 108272.
- [26] Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.
- [27] Demircan, B., Özdestan Ocak, (2019). Gıda katkı maddelerinin yenilebilir film ve kaplamalar kullanılarak taşınmasının günümüzde ve gelecekteki uygulama potansiyeli. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 130-150.
- [28] Campos, C.A., Gerschenson, L.N., Flores, S.K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.
- [29] Vásconez, M.B., Flores, S.K., Campos, C.A., Alvarado, J., Gerschenson, L.N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42(7), 762-769.
- [30] Broumand, A., Emam-Djomeh, Z., Hamed, M., Razavi, S.H. (2011). Antimicrobial, water vapour permeability, mechanical and thermal properties of casein based *Zataria multiflora* Boiss. extract containing film. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2316-2323.
- [31] Janjarasskul, T., Krochta, J.M. (2010). Edible packaging materials. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 415-448.
- [32] Odila Pereira, J., Soares, J., Costa, E., Silva, S., Gomes, A., Pintado, M. (2019). Characterization of edible films based on alginate or whey protein incorporated with *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis BB-12 and prebiotics. *Coatings*, 9(8), 493.
- [33] Benbettaieb, N., Karbowski, T., Debeaufort, F. (2019). Bioactive edible films for food applications: Influence of the bioactive compounds on film structure and properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(7), 1137-1153.
- [34] Valencia, G.A., Luciano, C.G., Fritz, A.R.M. (2019). Smart and active edible coatings based on biopolymers. *Polymers for Agri-Food Applications*, 391-416.
- [35] Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M.D.C., Freire, C.S. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science Technology*, 80, 212-222.
- [36] Yousuf, B., Qadri, O.S. (2020). Preservation of fresh-cut fruits and vegetables by edible coatings. *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*, 225-242.
- [37] Donsi, F., Marchese, E., Maresca, P., Pataro, G., Vu, K.D., Salmieri, S., Ferrari, G. (2015). Green beans preservation by combination of a modified chitosan based-coating containing nanoemulsion of mandarin essential oil with high pressure or pulsed light processing. *Postharvest Biology and Technology*, 106, 21-32.
- [38] Espitia, P.J., Avena-Bustillos, R.J., Du, W.X., Chiou, B.S., Williams, T.G., Wood, D., Soares, N.F. (2014). Physical and antibacterial properties of açai edible films formulated with thyme essential oil and apple skin polyphenols. *Journal of Food Science*, 79(5), 903-910.
- [39] Kadzińska, J., Bryś, J., Ostrowska-Ligęza, E., Estéve, M., Janowicz, M. (2020). Influence of vegetable oils addition on the selected physical properties of apple-sodium alginate edible films. *Polymer Bulletin*, 77(2), 883-900.
- [40] Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 8-16.
- [41] Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Markov, S., Vaštag, Ž., Popović, L., Popović, S. (2016). Characterization of starch edible films with different

- essential oils addition. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(4), 277-286.
- [42] Teixeira, B., Marques, A., Pires, C., Ramos, C., Batista, I., Saraiva, J.A., Nunes, M.L. (2014). Characterization of fish protein films incorporated with essential oils of clove, garlic and origanum: Physical, antioxidant and antibacterial properties. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 533-539.
- [43] Wu, J., Liu, H., Ge, S., Wang, S., Qin, Z., Chen, L., Zhang, Q. (2015). The preparation, characterization, antimicrobial stability and in vitro release evaluation of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil nanoliposomes. *Food Hydrocolloids*, 43, 427-435.
- [44] Xiong, Y., Chen, M., Warner, R.D., Fang, Z. (2020). Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatine edible coating and its effect on cold storage of fresh pork. *Food Control*, 110, 107018.
- [45] Arancibia, M.Y., López-Caballero, M.E., Gómez-Guillén, M.C., Montero, P. (2014). Release of volatile compounds and biodegradability of active soy protein lignin blend films with added citronella essential oil. *Food Control*, 44, 7-15.
- [46] Barbiroli, A., Bonomi, F., Capretti, G., Iametti, S., Manzoni, M., Piergiovanni, L., Rollini, M. (2012). Antimicrobial activity of lysozyme and lactoferrin incorporated in cellulose-based food packaging. *Food Control*, 26(2), 387-392.
- [47] Musso, Y.S., Salgado, P.R., Mauri, A.N. (2017). Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocolloids*, 66, 8-15.
- [48] García Domínguez, J.J., Infante, M.R., Erra, P., Julia, M.R. (1983). N-alpha-acil-L-alkylaminoguanidinic acids and their salts surfactants with antimicrobial action. *Spanish Patent*, ES, 512643-A1.
- [49] Demircan, B., Özdestan Ocak, Ö. (2019). Antimicrobial activity, mechanism of effect and usage potential of ethyl lauroyl arginate in food systems. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(7), 854-863.
- [50] EFSA Panel on Food Additives and Flavourings (EFSA FAF Panel), Younes, M., Aquilina, G., Engel, K.H., Fowler, P., Frutos Fernandez, M.J., Castle, L. (2019). Safety of ethyl lauroyl arginate (E 243) as a food additive in the light of the new information provided and the proposed extension of use. *EFSA Journal*, 17(3), e05621.
- [51] Kawamura, Y., Whitehouse, B. (2008). Ethyl Lauroyl Arginate-chemical and technical assessment. *69th JEFCA, FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*, JEFCA Monographs.
- [52] Ma, Q., Davidson, P.M., Zhong, Q. (2020). Properties and potential food applications of Lauric arginate as a cationic antimicrobial. *International Journal of Food Microbiology*, 315, 108417.
- [53] European Food Safety Authority (EFSA). (2007). Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) related to an application on the use of ethyl lauroyl arginate as a food additive. *EFSA Journal*, 5(7), 1-27.
- [54] FDA, U. (2005). Agency response letter GRAS notice no. GRN 000164. <http://wayback.archive-it.org/7993/20171031052522/https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/UCM268847.pdf>
- [55] Becerril, R., Manso, S., Nerin, C., Gómez-Lus, R. (2013). Antimicrobial activity of lauroyl arginate ethyl (LAE), against selected food-borne bacteria. *Food Control*, 32(2), 404-408.
- [56] Lingbeck, J.M., Cordero, P., O'BRYAN, C.A., Johnson, M.G., Ricke, S.C., Crandall, P.G. (2014). Temperature effects on the antimicrobial efficacy of condensed smoke and lauric arginate against *Listeria* and *Salmonella*. *Journal of Food Protection*, 77(6), 934-940.
- [57] Ma, Q., Davidson, P.M., Zhong, Q. (2013). Antimicrobial properties of lauric arginate alone or in combination with essential oils in tryptic soy broth and 2% reduced fat milk. *International Journal of Food Microbiology*, 166(1), 77-84.
- [58] Lavieri, N.A., Sebranek, J.G., Brehm-Stecher, B.F., Cordray, J.C., Dickson, J.S., Horsch, A.M., Mendonca, A.F. (2014). Investigating the control of *Listeria monocytogenes* on alternatively-cured frankfurters using natural antimicrobial ingredients or post-lethality interventions. *Meat Science*, 97(4), 568-574.
- [59] Nair, D.V., Nannapaneni, R., Kiess, A., Mahmoud, B., Sharma, C.S. (2014). Antimicrobial efficacy of lauric arginate against *Campylobacter jejuni* and spoilage organisms on chicken breast fillets. *Poultry Science*, 93(10), 2636-2640.
- [60] Sommers, C., Mackay, W., Geveke, D., Lammenes, B., Pulsfus, S. (2012). Inactivation of *Listeria innocua* on frankfurters by flash pasteurization and lauric arginate ester. *Journal of Food Processing and Technology*, 3, 1-4.
- [61] Luchansky, J.B., Call, J.E., Hristova, B., Rumery, L., Yoder, L., Oser, A. (2005). Viability of *Listeria monocytogenes* on commercially-prepared hams surface treated with acidic calcium sulfate and lauric arginate and stored at 4°C. *Meat Science*, 71(1), 92-99.
- [62] Taormina, P.J., Dorsa, W.J. (2009). Short-term bactericidal efficacy of lauric arginate against *Listeria monocytogenes* present on the surface of frankfurters. *Journal of Food Protection*, 72(6), 1216-1224.
- [63] Stopforth, J.D., Visser, D., Zumbrink, R., Van Dijk, L., Bontenbal, E.W. (2010). Control of *Listeria monocytogenes* on cooked cured ham by formulation with a lactate-diacetate blend and surface treatment with lauric arginate. *Journal of Food Protection*, 73(3), 552-555.
- [64] Techathuvanan, C., Reyes, F., David, J.R., Davidson, P.M. (2014). Efficacy of commercial natural antimicrobials alone and in combinations against pathogenic and spoilage microorganisms. *Journal of Food Protection*, 77(2), 269-275.
- [65] Loeffler, M., McClements, D.J., McLandsborough, L., Terjung, N., Chang, Y., Weiss, J. (2014). Electrostatic interactions of cationic lauric arginate

- with anionic polysaccharides affect antimicrobial activity against spoilage yeasts. *Journal of Applied Microbiology*, 117(1), 28-39.
- [66] Sadekuzzaman, M., Yang, S., Kim, H.S., Mizan, M.F.R., Ha, S.D. (2017). Evaluation of a novel antimicrobial (lauric arginate ester) substance against biofilm of *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* spp. *International Journal of Food Science Technology*, 52(9), 2058-2067.
- [67] Fu, Y., Deering, A.J., Bhunia, A.K., Yao, Y. (2017). Biofilm of *Escherichia coli* O157: H7 on cantaloupe surface is resistant to lauroyl arginate ethyl and sodium hypochlorite. *International Journal of Food Microbiology*, 260, 11-16.
- [68] Fernández, C.E., Aspiras, M., Dodds, M.W., González-Cabezas, C., Rickard, A. H. (2018). Combinatorial effect of magnolia bark extract and ethyl lauroyl arginate against multi-species oral biofilms: Food additives with the potential to prevent biofilm-related oral diseases. *Journal of Functional Foods*, 47, 48-55.
- [69] Kim, T.S., Ham, S.Y., Park, B.B., Byun, Y., Park, H.D. (2017). Lauroyl arginate ethyl blocks the iron signals necessary for *Pseudomonas aeruginosa* biofilm development. *Frontiers in Microbiology*, 8, 970.
- [70] Chang, Y., McLandsborough, L., McClements, D.J. (2015). Fabrication, stability and efficacy of dual-component antimicrobial nanoemulsions: essential oil (thyme oil) and cationic surfactant (lauric arginate). *Food Chemistry*, 172, 298-304.
- [71] Zheng, Z. (2014). Ingredient technology for food preservation. *Industrial Biotechnology*, 10(1), 28-33.
- [72] Wang, L., Zhao, L., Yuan, J., Jin, T.Z. (2015). Application of a novel antimicrobial coating on roast beef for inactivation and inhibition of *Listeria monocytogenes* during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 211, 66-72.
- [73] Nübling, S., Hägele, F., Wohlt, D., Graf, B., Schweiggert, R.M., Carle, R., Weiss, A. (2017). Effects of *Quillaja saponaria* extract and N α -lauroyl-L-arginine ethyl ester on reducing selected foodborne pathogens in vitro and maintaining quality of fresh-cut endive (*Cichorium endivia* L.) at pilot plant scale. *Food Control*, 73, 393-400.
- [74] Hawkins, D.R., Rocabayera, X., Ruckman, S., Segret, R., Shaw, D. (2009). Metabolism and pharmacokinetics of ethyl N α -lauroyl-L-arginate hydrochloride in human volunteers. *Food and Chemical Toxicology*, 47(11), 2711-2715.
- [75] Ruckman, S.A., Rocabayera, X., Borzelleca, J.F., Sandusky, C.B. (2004). Toxicological and metabolic investigations of the safety of N α -Lauroyl-L-arginine ethyl ester monohydrochloride (LAE). *Food and Chemical Toxicology*, 42(2), 245-259.
- [76] Aznar, M., Gómez-Estaca, J., Vélez, D., Devesa, V., Nerín, C. (2013). Migrants determination and bioaccessibility study of ethyl lauroyl arginate (LAE) from a LAE based antimicrobial food packaging material. *Food and Chemical Toxicology*, 56, 363-370.
- [77] Adams, C. (2012). Determination of the minimal inhibitory concentration of lauric arginate against three strains of *Salmonella enterica*, 2012 Annual Meeting of the International Association of Food Protection.
- [78] Soni, K.A., Nannapaneni, R., Schilling, M.W., Jackson, V. (2010). Bactericidal activity of lauric arginate in milk and Queso Fresco cheese against *Listeria monocytogenes* cold growth. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4518-4525.
- [79] Manso, S., Nerin, C., Gómez-Lus, R. (2011). Antifungal activity of the essential oil of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*), oregano (*Origanum vulgare*) and lauramide argine ethyl ester (LAE) against the mold *aspergillus flavus* CECT 2949. *Italian Journal of Food Science*, 23, 151.
- [80] Ebner, C., Morgan, A., Manuel, C. (2021), Food safety and quality-based shelf life of perishable foods. In *Food Microbiology and Food Safety*, Edited by P.J. Taormina, M.D. Hardin, Springer, Cham, 105-134p.
- [81] Muriel-Galet, V., Carballo, G.L., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R. (2016). Ethyl lauroyl arginate (LAE): Usage and potential in antimicrobial packaging. In *Antimicrobial Food Packaging*, Edited by J.B. Velázquez, Academic Press, 313-318p.
- [82] Rubilar, J.F., Candia, D., Cobos, A., Díaz, O., Pedreschi, F. (2016). Effect of nanoclay and ethyl-N α -dodecanoyl-L-arginate hydrochloride (LAE) on physico-mechanical properties of chitosan films. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 206-214.
- [83] Demircan, B., Özdestan Ocak, Ö. (2020). Yenilebilir Film ve Kaplamalarda Sentetik Katkı Maddesi Olarak Etil Lauroyl Arjinatın Kullanımı, *Türkiye 13. Gıda Kongresi*, 21-23 Ekim, 2020, Çanakkale, Türkiye, Bildiri Özetleri, 125s.
- [84] Ochoa, T.A., Almendárez, B.E.G., Reyes, A.A., Pastrana, D.M.R., López, G.F.G., Beloso, O.M., Regalado-González, C. (2017). Design and characterization of corn starch edible films including beeswax and natural antimicrobials. *Food and Bioprocess Technology*, 10(1), 103-114.
- [85] Muriel-Galet, V., Lopez-Carballo, G., Gavara, R., Hernández-Muñoz, P. (2015). Antimicrobial effectiveness of lauroyl arginate incorporated into ethylene vinyl alcohol copolymers to extend the shelf-life of chicken stock and surimi sticks. *Food and Bioprocess Technology*, 8(1), 208-217.
- [86] Hassan, A.H., Cutter, C.N. (2020). Development and evaluation of pullulan-based composite antimicrobial films (CAF) incorporated with nisin, thymol and lauric arginate to reduce foodborne pathogens associated with muscle foods. *International Journal of Food Microbiology*, 320, 108519.
- [87] Moreno, O., Gil, À., Atarés, L., Chiralt, A. (2017). Active starch-gelatin films for shelf-life extension of marinated salmon. *LWT-Food Science and Technology*, 84, 189-195.
- [88] Moreno, O., Cárdenas, J., Atarés, L., Chiralt, A. (2017). Influence of starch oxidation on the functionality of starch-gelatin based active films. *Carbohydrate Polymers*, 178, 147-158.

- [89] Haghghi, H., De Leo, R., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H.W., Pulvirenti, A. (2019). Comparative analysis of blend and bilayer films based on chitosan and gelatin enriched with LAE (lauroyl arginate ethyl) with antimicrobial activity for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 31-39.
- [90] Ma, Q., Zhang, Y., Zhong, Q. (2016). Physical and antimicrobial properties of chitosan films incorporated with lauric arginate, cinnamon oil, and ethylenediaminetetraacetate. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 173-179.
- [91] Guo, M., Jin, T.Z., Yang, R. (2014). Antimicrobial polylactic acid packaging films against *Listeria* and *Salmonella* in culture medium and on ready-to-eat meat. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3293-3307.
- [92] Pattanayaiying, R., Sane, A., Photjanataree, P., Cutter, C.N. (2019). Thermoplastic starch/polybutylene adipate terephthalate film coated with gelatin containing nisin Z and lauric arginate for control of foodborne pathogens associated with chilled and frozen seafood. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 59-67.
- [93] Otero-Tuárez, V., Fernández-Pan, I., Ignacio Maté, J. (2020). Effect of the presence of ethyl lauroyl arginate on the technological properties of edible fish gelatin films. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 2113-2121.
- [94] Chen, W., Golden, D.A., Critzer, F.J., Davidson, P.M. (2015). Antimicrobial activity of cinnamaldehyde, carvacrol, and lauric arginate against *Salmonella tennessee* in a glycerol-sucrose model and peanut paste at different fat concentrations. *Journal of Food Protection*, 78(8), 1488-1495.
- [95] Asker, D., Weiss, J., McClements, D.J. (2009). Analysis of the interactions of a cationic surfactant (lauric arginate) with an anionic biopolymer (pectin): isothermal titration calorimetry, light scattering, and microelectrophoresis. *Langmuir*, 25(1), 116-122.
- [96] Guo, M., Yadav, M.P., Jin, T.Z. (2017). Antimicrobial edible coatings and films from micro-emulsions and their food applications. *International Journal of Food Microbiology*, 263, 9-16.
- [97] Escamilla-García, M., Rodríguez-Hernández, M. J., Hernández-Hernández, H.M., Delgado-Sánchez, L.F., García-Almendárez, B.E., Amaro-Reyes, A., Regalado-González, C. (2018). Effect of an edible coating based on chitosan and oxidized starch on shelf life of *Carica papaya* L., and its physicochemical and antimicrobial properties. *Coatings*, 8(9), 318.
- [98] Jin, T.Z., Chen, W., Gurtler, J.B., Fan, X. (2020). Effectiveness of edible coatings to inhibit browning and inactivate foodborne pathogens on fresh-cut apples. *Journal of Food Safety*, 40(4), e12802.
- [99] Sun, Z., Hao, J., Yang, H., Chen, H. (2018). Effect of chitosan coatings enriched with lauroyl arginate ethyl and montmorillonite on microbial growth and quality maintenance of minimally processed table grapes (*Vitis vinifera* L. Kyoho) during cold storage. *Food and Bioprocess Technology*, 11(10), 1853-1862.
- [100] De Leo, R., Quartieri, A., Haghghi, H., Gigliano, S., Bedin, E., Pulvirenti, A. (2018). Application of pectin-alginate and pectin-alginate-lauroyl arginate ethyl coatings to eliminate *Salmonella enteritidis* cross contamination in egg shells. *Journal of Food Safety*, 38(6), e12567.
- [101] Pattanayaiying, R., Aran, H., Cutter, C.N. (2015). Incorporation of nisin Z and lauric arginate into pullulan films to inhibit foodborne pathogens associated with fresh and ready-to-eat muscle foods. *International Journal of Food Microbiology*, 207, 77-82.
- [102] Motta, J.F.G., de Souza, A.R., Gonçalves, S.M., Madella, D.K.S.F., de Carvalho, C.W.P., Vitorazi, L., de Melo, N.R. (2020). Development of active films based on modified starches incorporating the antimicrobial agent lauroyl arginate (LAE) for the food industry. *Food and Bioprocess Technology*, 13(12), 2082-2093.
-