

Review

식용 코팅 및 허들기술이 수산물의 품질 유지와 저장성 연장에 미치는 영향

백지혜 · 이소영 · 오세욱*

국민대학교 식품영양학과

The Effects of Edible Coating and Hurdle-Technology on Quality Maintenance and Shelf-Life Extension of Seafood

Ji Hye Baek, So-Young Lee, Se-Wook Oh*

Department of Food and Nutrition, Kookmin University, Seoul, Korea

(Received March 31, 2020/Revised April 28, 2020/Accepted May 15, 2020)

ABSTRACT - Foodborne diseases occur frequently and have various being related to the intake of contaminated foods. Seafood products are susceptible to contamination due to higher water content and microorganisms, which combine to give them a short shelf-life. Various approaches have been applied to overcome this problem. Edible coatings that are also biodegradable and biocompatible have been discussed as one of the applicable solutions. These coatings can actually help to maintain seafood quality by inhibiting the growth of microorganisms and delaying the loss of moisture. This paper presents the effects of various natural bio-polymers, antimicrobial substances and physical sterilization techniques such as gamma irradiation, ultraviolet (UV) sterilization, and light-emitting diode (LED) sterilization on seafood coatings.

Key words : Edible coating, Food coating, Quality maintenance, Food safety, Shelf-Life Extension

현대사회에서는 식생활 패턴 변화, 단체급식 증가, ready to eat (RTE) 식품 소비 증가, 수산물 소비 증가 등 다양한 원인으로 인한 식중독 발생이 증가하고 있다. 식중독 발생은 규모 면에서도 집단화와 대형화되고 있는 실정이며, 오염된 식품 섭취와 밀접한 관련을 가진다¹⁾. 식품은 생산단계에서 분뇨 퇴비, 야생동물 및 가축의 분변, 감염된 근로자, 용기 및 도구 등에 오염될 수 있다²⁾. 또한, 가공, 유통, 저장 등과 같은 과정에서 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*와 같은 병원성 미생물에 의한 오염이 발생할 수 있으므로, 병원성 미생물을 제어하는 것이 식품의 품질과 안전성을 유지하는데 중요하다³⁻⁵⁾.

우리나라의 수산물 소비는 점차 증가하고 있으며, 사회와 경제가 발전함에 따라 수산물의 품질을 중요시하는 추세이다⁶⁾. 수산물은 미생물이 빠르게 성장하고 생화학적 반응이 진행되며 자가 효소로 인한 분해가 일어난다. 이러

한 현상은 수산물의 급속한 품질 변화를 초래하여 저장 기한이 감소되고 또한 식중독 발생을 야기할 수 있다⁷⁾. 이에 따라 냉장 또는 냉동으로 저장되는 수산물의 품질을 유지하기 위해 물리적인 살균 방법, 고농도의 CO₂ 사용, 합성 화합물을 사용하는 등 오염과 부패를 억제할 수 있는 다양한 연구들이 진행되었다⁸⁻¹¹⁾. 합성 화합물의 사용은 저장 기간 중 수산물의 품질을 유지하는 데 효과적일 수 있지만 잠재적인 독성으로 인해 제한적인 반면에, 가식성이 있으면서 독성이 없는 장점을 가지는 식용 코팅에 대한 관심이 계속적으로 높아지고 있다¹²⁻¹⁵⁾.

식용 코팅은 다당류, 단백질 및 지질을 포함한 다양한 원료로부터 제조될 수 있으며, 식품에 직접 적용하여 코팅하거나 필름의 형태로 만들어져 사용될 수도 있다. 주로 산소와 물에 대한 장벽으로 작용하여 산화 반응을 늦추고 수분 손실을 지연시킨다. 또한 미생물의 성장과 지질 산화를 감소시킬 수 있고, 견고성을 유지하는 등 저장 기간 동안 식품의 품질을 유지하며 외관을 개선할 수 있다. 또한, 식용 코팅은 식품 표면에서 단순히 보존제로서의 역할만 하는 것이 아니라 항균성 화합물 및 항산화제의 담체로서도 작용할 수 있기 때문에 몇몇 연구결과에는 식용 코팅과 병합되어 사용되었다. 그 외에도 물리적인 살

*Correspondence to: Se-Wook Oh, Department of Food and Nutrition, Kookmin University, Seoul 02727, Korea
Tel: +82-2-910-5778; Fax: +82-2-910-5249
E-mail: swoh@kookmin.ac.kr

균 기술인 light emitting diode (LED), ultraviolet (UV), 감마선(gamma) 조사 등과 병합하는 등 식용 코팅 효과의 시너지를 높이려는 연구가 계속해서 진행되고 있다^{16,20}.

이에 따라 본 연구는 수산물에 사용되는 식용 코팅의 성분과 특성에 대한 특성 및 응용에 대하여 조사하였으며 또한 코팅에 화학적 항균 물질 및 항산화제와 물리적 살균 기술을 병합한 허들 기술(hurdle technology)에 대하여 분석하였다.

식용 코팅에 이용되는 소재 및 특성

다당류

다당류는 중합체에 의해 식품의 수분 손실을 지연시켜 일반적으로 식품의 물리적, 화학적 및 관능적인 특성을 유지할 수 있다²¹. 식용 코팅에 주로 사용되는 다당류로는 알긴산 나트륨(sodium alginate), 키토산(chitosan), 카라기난(carrageenan), 아라비아고무(gum arabic) 등과 같은 복합다당류나 해조 추출물이 이용된다^{16,21,22}.

Na 또는 K 등 염의 형태인 알긴산(alginate)은 해조류에 함유되는 다당류의 일종으로, 다시마에서 추출되는 방법에 따라 화학적 성질의 변화를 일으키며 분자량 및 입자의 형태에 따라 다양한 물성을 보인다²³. 식품산업에서 알긴산(alginate)은 필름 및 코팅의 형태로 미생물의 생육을 억제시켜 부패를 방지하기 위해 주로 과일이나 수산물 표면에 코팅 되어 다양하게 이용되고 있다^{24,26}. Neetoo 등²⁷은 *L. monocytogenes*를 인위적으로 접종 한 연어를 알긴산(alginate)으로 코팅한 뒤 22°C에서 6일 동안 또한 4°C에서 30일 동안 보관한 결과 두 처리구의 *L. monocytogenes*의 성장을 유의적으로 억제 시켰다고 하였다. Costa 등²⁸ 또한 굴을 4±1°C에서 보관하였을 때 굴의 저장 기한인 57시간에 비해 코팅한 굴은 106시간으로 2.5배 이상 증가하였다고 보고하였으며, 알긴산(alginate) 코팅은 미생물의 성장을 억제함과 동시에 수산물의 수분 손실을 막아 저장 기한을 연장할 수 있다고 하였다.

키토산(chitosan)은 게, 가재, 새우 껍질 등 자연계에 풍부하게 존재하는 천연 고분자물질인 키틴(chitin)을 탈아세틸화한 다당류다. 이는 고밀도의 양전하를 띤 고분자 전해질 구조로 항암 작용, 면역 작용, 항균 활성 등 다양한 생리 활성을 나타내어 식품의 보호막으로써 미생물학적, 화학적 품질유지를 가능하게 하므로 코팅제로 이용될 수 있다^{29,30}. Fan 등³¹에 의하면 저장 초기에 total viable count가 2.9 log CFU/g 인 잉어를 -3°C에 보관한 경우 25일째 이후에 허용치인 7.0 log CFU/g 를 초과하였지만, 키토산(chitosan)으로 코팅 한 잉어는 30일까지 허용치를 초과하지 않았다고 하였다. Ojagh 등³² 또한 초기 total viable count가 3.86 log CFU/g 인 송어를 4°C에서 보관한 경우, 12일째 이후 7.88 log CFU/g에 도달하여 허용치를 초과하

였지만, 키토산(chitosan) 코팅 후 보관한 송어는 16일까지 허용치를 초과하지 않았다고 하였다.

카라기난(carrageenan)은 홍조류의 아이리쉬 모스(irish moss)를 열수 추출하여 얻어지는 다당류로서 겔 형성 능력과 안정성, 코팅 및 필름 형성 능력이 뛰어나기 때문에 미생물의 성장을 억제시켜 저장 기한을 증가시킬 수 있다고 알려져 있다³³⁻³⁶. Volpe 등²²에 따르면 코팅하지 않은 송어는 4°C에서 보관 후 6일째에 허용치를 초과하였지만 카라기난(carrageenan) 코팅 한 송어는 12일째까지 허용치를 초과하지 않았다고 하였다.

아카시아 나무의 줄기나 가지에서 분비되는 아라비아고무(gum arabic) 또한 천연 기원의 다당류로 유화, 코팅 및 필름 형성 특성을 가지고 있어서 식품에 존재하는 미생물의 성장을 억제하여 코팅제로 식품산업에서 광범위하게 이용되고 있다^{37,38}. Cai 등³⁹에 따르면 아라비아고무(gum arabic)로 코팅 후 4°C에서 16일 동안 보관한 도미의 total volatile basic nitrogen (TVB-N) 값은 저장 종료 후, 25 mg N/100 g 미만이지만 코팅하지 않은 도미는 최대 허용치인 30 mg N/100 g을 초과 하였다고 하였다.

단백질과 지질

단백질 코팅은 산소와 이산화탄소를 차단하여 산화를 방지하고, 수분, 가스, 향료 등의 투과를 저해할 수 있는 우수한 특성을 가진다. 또한, 쉽게 분해될 수 있어 환경친화적인 성질을 가진다고 보고된다^{40,41}. 그 예로, 옥수수 단백질(zein)은 산화 방지 목적으로 견과류의 코팅제로 많이 사용되었으며^{42,43}, 콜라겐(collagen), 젤라틴(gelatin), 유청단백질(whey protein) 등이 수산물 코팅에 이용되었다^{8,9,15,40,44}.

Wang 등⁴⁴에 따르면 콜라겐(collagen)을 연어에 코팅하여 15일 동안 4±1°C에서 보관하여 비교하였다. 콜라겐(collagen)은 분자 외부에 친수성 카르복실기(hydrophilic carboxyl)와 수산기(hydroxyl groups)가 존재하여 콜라겐과 수분 사이에 수소결합이 형성되어 수분을 보유할 수 있고, 수분의 증발 또한 차단할 수 있기 때문에 코팅 되지 않은 연어의 무게 손실은 코팅된 연어에 비해서 2배 이상 높았다. 또한, 미생물 분석 결과 초기 균수가 1.2 log CFU/g 인 연어는 보관 15일 이후에 8.3 log CFU/g 증가한 반면에, 코팅 된 연어는 3.2 log CFU/g 증가하였다고 하였다. Ahmad 등¹⁵에 따르면 젤라틴(gelatin)으로 코팅한 농어를 4°C에서 12일 동안 보관하였을 때, 코팅하지 않은 농어와 비교하여 total viable count가 약 2 log CFU/g 감소하였으며, 젤라틴 펩타이드(gelatin peptide)가 여러 미생물에 대해 항균 활성을 보였다고 하였다. Rodriguez-Turienzo 등⁸은 유청단백질(whey protein)로 코팅한 연어를 -20°C에서 4개월 동안 보관하였을 때 해동 수율을 향상시켰다고 하였고, Motalebi 등⁹ 또한, 유청 단백질(whey protein)로 코팅한 정어리를 -18°C에서 6개월 동안 보관하였을 때 총

박테리아 수, 과산화물가, 유리지방산, TVB-N 등이 코팅하지 않은 정어리와 유의한 차이가 있었다고 하였다($P < 0.05$).

각 단백질에는 고유한 친수성-소수성 균형이 존재하여 필름 형성 특성과 친수성 표면에 대한 접착성을 가질 수 있기 때문에, 콜라겐(collagen), 유청단백질(whey protein), 젤라틴(gelatin)과 같은 단백질이 식용 코팅제로 사용되면 pH, TVB-N 등을 감소시킬 수 있으며, 수분손실을 지연시킬 수 있다^{8,9,15,44}.

지질은 식품에서의 수분 전달을 제한하기 위해 소수성 물질에 기초하여 사용되어 왔다. 그러나, 지질은 생물이 생산하는 고분자 물질인 다당류와 단백질과 같은 일반적인 바이오 폴리머(biopolymer)가 아니며, 구조 특성상 응집성을 가지고 있기 때문에 독립적인 코팅을 형성하기 어렵다^{45,46}. 하지만, 일반적인 바이오 폴리머(biopolymer)를 기반으로 한 식용 코팅에 지질을 융합하면 응집력, 소수성, 유연성이 증가하여 수분 장벽이 향상될 수 있기 때문에 미생물학적 안정성을 높이는데 활용될 수 있으며, 가공된 수산물이나 신선한 수산물의 색상, 질감, 향미를 향상시키는데 사용될 수도 있다^{47,48}.

코팅에 적용되는 허들 기술(hurdle technology)

항균 물질과 항산화제

일반적인 다당류나 단백질 재료로 수산물을 코팅하면 저장 기한 동안 미생물의 성장을 억제 시키고, 수분 손실을 감소시켜 견고성을 유지하는 등 식품의 품질을 유지 및 향상시킬 수 있다^{8,12}. 하지만, 식용 코팅은 식품 표면에서 단순히 보존제로서의 역할만 하는 것이 아니라 항균성 화합물 및 항산화제의 담체로서도 작용할 수 있기 때문에 이를 활용한 연구가 많이 보고된다^{9,25,44,49,50}.

Table 1은 식용 코팅과 항균성 물질과 항산화제를 병합한 일부 선행연구결과를 정리한 것이다.

Lu 등²⁵은 가물치에 3%의 알긴산(alginate) 용액과 아미노산으로 이루어진 펩티드(peptide) 분자로서 유해 세균에 대해 강한 살균력을 가지고 있는 항균 물질인 니신(nisin), 킬레이트제(chelator)인 EDTA를 병합하여 코팅한 후 4±1°C에서 보관하였다. 초기 total psychrophilic counts의 값이 2.98 log CFU/g 이고, total viable count가 4.28 log CFU/g 인 가물치는 보관 7일째 최대 허용치인 7 log CFU/g 를 초과하였지만, 코팅한 가물치의 total psychrophilic counts 와 total viable count는 각각 6.62 log CFU/g, 6.88 log CFU/g 였다고 하였다. 그 외에도 pH와 수분 손실 등 코팅한 가물치와 유의한 차이가 있었다고 하였다($P < 0.05$). Song 등⁴⁹은 지방 산화 및 효소 억제를 억제하는 천연 항산화제로서 금속 이온을 킬레이트화(chelation) 시킬 수 있고, 식품의 pH, 수분 활성 및 조성에 영향을 줄 수 있는 vitamin C와 폴리하이드록시(polyhydroxy) 유기물질의 일종

으로 활성산소(free radical)를 제거할 수 있는 특성을 가진 차 폴리페놀(tea polyphenols)을 각각 알긴산(alginate)과 병합하여 도미에 코팅하였다. 21일동안 4±1°C에서 보관하여 비교하였을 때, 코팅 되지 않은 도미와 비교하여 코팅된 도미가 화학적 손상이 감소하였으며 일반적인 어류의 전반적인 관능적 품질을 개선할 수 있었다고 하였다. Kim 등¹⁹ 또한, 알긴산(alginate)과 키토산(chitosan) 코팅 용액에 카테킨(catechins), 에피케틴(epicatechin), 테트라메릭 프로시아니딘(tetrameric procyanidins)과 같은 성분들이 함유되어 있어 항산화 작용을 일으킬 수 있는 천연 항균 물질인 자몽종자추출물을 병합하여 새우에 코팅 처리 후 15일 동안 4°C에서 보관하였다. 그 결과, 코팅하지 않은 새우와 비교하여 2 log CFU/g 만큼 세균수가 감소된 것을 확인하였으며, 식용 코팅과 자몽종자추출물의 병합 처리가 미생물의 성장과 TVB-N의 형성을 억제하는데 효과적이라고 보고하였다. Wang 등⁴⁴은 콜라겐(collagen)에 항산화제로 라이소자임(lysozyme)을 농도 별(0.1 g, 0.3 g, 0.5 g, 0.7 g)로 첨가 후 연어에 코팅하여 4±1°C에서 보관하였다. 초기 균수가 1.2 log CFU/g 이었던 연어는 8.3 log CFU/g 증가한 반면에 코팅 된 연어는 3.1 log CFU/g 증가하였고, 라이소자임(lysozyme)의 농도가 증가함에 따라 파열 강도(breaking strength) 및 견고성을 증가시킬 수 있었다고 하였다. 이는 라이소자임(lysozyme)이 세균의 세포벽을 가수분해하여 투과성을 증가시키고 세포를 파괴 시키기 때문이라고 하였다.

이 외에도 일반 식용 코팅과 항균 물질과 항산화제를 병합한 코팅에 대한 지속적이고 활발한 연구가 계속적으로 진행중이다^{24,30}.

물리적 살균 기술

식용 코팅에 항균 활성을 보이는 물질을 병합하는 방법 이외에도 물리적 살균 방법을 식용 코팅과 병합하여 식품의 안정성을 높이는 연구결과도 보고되고 있으며, 대표적으로 LED, UV, 감마선 조사 등이 있다^{11,18,51}.

항산화제를 함유하고 있는 활성 코팅이 저선량(low doses)의 감마선 조사와 결합하면 시너지 효과를 낼 수 있다고 하였다^{52,54}. Ouattara 등¹⁸은 새우에 유청단백질(whey protein), 백리향 기름(thyme oil), 계피 유래 추출물(trans-cinnamaldehyde)을 병합하여 코팅 후, 감마선으로 조사하여 4°C에서 보관하였다. 21일 이후, 새우에 인위적으로 접종한 *Pseudomonas putida*를 포함한 호기성 세균의 성장을 억제 할 수 있었다고 하였으며, 대조구와 비교하여 감마선 조사 단독 처리를 하였을 때는 5 일의 저장 기한이 연장 되었고, 항균 코팅 단독 처리는 9일의 저장 기한 연장, 항균력을 가지는 코팅과 감마선 조사를 병합하였을 때는 총 11일 이상의 저장 기한을 연장 시켰다고 하였다. 이러한 방사선(ionizing radiation)의 세균 성장 억제는 DNA

Table 1. Results of previous studies on edible coatings containing antimicrobial agents

Authors	Coating material	Compounds	Foods	Coating treatment	Result	Ref.
Lu et al.	Alginate	Nisin	Northern snake head	- Uncoated - Nisin+EDTA - 3% Alginate - 3% Alginate+Nisin+EDTA	Weight loss: Control: Lost around 2% Treated: Lost around 1% pH: Control: gradual increase Treated: initially decreased and then increased TVB-N¹⁾: Control: exceeded 300 mg/kg Treated: 160-180 mg/kg TVC²⁾: Control: exceeded 7 log CFU/g Treated: 6.39-3.92 log CFU/g Shelf-life: Control: 5 days Treated: 7 days or more	[25]
Song et al.	Alginate	Vitamin C (Vc), Tea polyphenols (TP)	Bream	- Uncoated - 1.5% Alginate+10% Glycerin - 1.5% Alginate+10% Glycerin+5% Vc - 1.5% Alginate+10% Glycerin+0.3% TP	Weight loss: Control: increased Treated: decreased pH: Control: increased Treated: delayed the increase speed TVB-N¹⁾: Control: increased Treated: inhibited the increase TVC²⁾: Control: 9.5 log CFU/g Treated: 5.54- 5.63 log CFU/g Shelf-life: Control: 12 days Treated: 21 days	[49]
Kim et al.	Alginate +Chitosan	Grapefruit seed extract (GSE)	Shrimp	- Uncoated - 2% Alginate+0.5% GSE - 1.5% Chitosan+0.5% GSE - 2% Alginate+1.5% Chitosan+0.5% GSE - 1.5% Chitosan+2% Alginate+0.5% GSE	Melanosis of shrimp: Except for the control, treated samples reduced melanosis pH: pH did not significantly change according to the storage period TVB-N¹⁾: Control: 30.14 mg/100g Treated: 14.74-19.66 mg/100g TVC²⁾: Control: 7.80 log CFU/g Treated: 5.19-6.08 log CFU/g Shelf-life: Control: 3 days Treated: 9 days	[19]
Wang et al.	Collagen	Lysozyme	Salmon	- Uncoated - 4% Collagen+0.1% Lysozyme(w/v) - 4% Collagen+0.3% Lysozyme(w/v) - 4% Collagen+0.5% Lysozyme(w/v) - 4% Collagen+0.7% Lysozyme(w/v)	Weight loss: Control: reached 10.14% more than the treated ($P < 0.05$). pH: Control: increased Treated: delayed the increase speed TVB-N¹⁾: The value of the treated sample was lower than the control ($P < 0.05$). TVC²⁾: Control: 9.5 log CFU/g Treated: 2.7-4.3 log CFU/g Shelf-life: Control: 9 days Treated: 15 days	[44]

¹⁾TVB-N: total volatile basic nitrogen.²⁾TVC: total viable count.

손상 또는 막 투과성 및 다른 세포 기능들의 변화로 인해 나타난다고 한다⁵⁵).

UV는 중요한 물리적 저감 기술 기술의 하나로서 식품 표면의 오염 제거와 교차오염을 방지하는 등 식품 가공 산업에서 특히 중요하다⁵⁶. UV는 UV-A, UV-B, UV-C 영역이 존재하며, 일반적으로 살균을 위해 사용하는 파장 영역은 200-280 nm인 UV-C 영역이다. 특히 254 nm 파장은 미생물의 DNA에 가장 치명적인 효과를 주는 파장으로 보고되어 있다고 한다. 일반적으로 자외선이 조사되면 미생물의 DNA가 파괴되기 때문에 식품의 매개 미생물들이 불활성화 되어, UV 기술을 이용한 살균은 화학 살균제 또는 보존제의 사용량을 줄이거나 없앨 수 있다⁵⁷. Ozer 등⁵⁸에 따르면, *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*를 인위적으로 접종한 연어에 UV 조사를 하였을 때, 두 가지 균주 모두 1 log CFU/g 이상 감소되었다고 하였다. Lin 등⁵⁹은 키토산(chitosan) 코팅과 카라기난(carrageenan) 코팅 용액을 각각 용안(longan fruits)에 코팅하였다. 그 후 UV 조사하여 28°C에서 7일 동안 보관하였을 때 대조군과 비교하여 용안(longan fruits)의 노화가 현저히 지연되었다고 하였다.

LED는 광역학적 불활성화 현상에 의해서 미생물을 불활성화 시키며 특히, 특정 파장인 400-470 nm은 세포 독성 반응을 유발하여 세포 사멸을 유도한다고 보고되어 있다⁶⁰⁻⁶³. 이에 Sommers 등⁶⁴은 인위적으로 *E. coli*, *Staphylococcus* spp., *L. monocytogenes*를 접종한 가금류에 405 nm LED를 10-20분 정도 조사하여 약 1 log CFU/g 감소시켰다고 하였다. 하지만 아직까지 LED 살균 기술과 식용 코팅을 병합한 연구들은 많지 않은 상황이다.

LED 살균 방법과 좋은 시너지 효과를 내게 할 수 있는 방안 중 하나는 감광제(photosensitizer)를 이용하는 것이다. 감광제는 무독성 염료와 가시광선을 사용하여 화학적, 물리적 변화를 일으키고 이러한 에너지를 이용하여 생성된 활성산소종(reactive oxygen species)은 세포 사멸을 일으킨다^{65,66}. Luksiene 등⁶⁷에 따르면, 400-480 nm의 LED 파장은 미생물의 PDI (photodynamic inactivation)를 유도하게 되고, 세균 세포가 빛에 노출되면 감광제인 내인성 포르피린(porphyrin)이 반응하여, 활성산소종(reactive oxygen species)이 생성된다고 하였다⁶⁷. Luksiene 등⁶⁸은 *L. monocytogenes*를 인위적으로 접종한 딸기를 감광제 종류 중 하나인 클로로필린(chlorophyllin)에 5분 동안 침지 한 후 400 nm LED로 30분 동안 조사하였다. 처리된 딸기의 총 항산화 활성은 19% 증가하였으며, 접종한 균 98%, 효모 86%, 곰팡이 97%가 억제되고, 2일의 저장 기한이 연장되었다고 하였다. Josewin 등¹¹은 *L. monocytogenes*를 인위적으로 접종한 연어에 리보플라빈(riboflavin)을 감광제로 사용 후, 460 nm LED를 조사하여 세균 개체 수를 90% 감소시켰으며, 단독으로 LED 조사를 하였을 때 보다 리

보플라빈(riboflavin)을 투여한 후 LED 조사를 하였을 때의 감소율이 현저히 높았다고 하였다.

이 외에도 감광제 종류 중 하나인 엽록소(chlorophyll)를 담체로 사용하여 식품의 시각과 감각 특성에 미치는 영향을 최소화하는 연구를 진행하는 등 감광제를 이용한 연구들이 진행되고 있다⁶⁹. 최근에도 UV와 코팅을 병합한 지속적인 연구가 진행되고 있으며⁷⁰, 식용 코팅에 나노 입자를 적용하는 연구 등 식품의 품질을 유지시키기 위한 허들 기술이 다수 보고되고 있다⁷¹⁻⁷³.

Conclusion

수산물 품질을 신선하게 유지하고 또한 미생물 오염에 의한 식중독 위험을 낮추기 위해서 식용 코팅이 사용되고 있다. 특히 항균물질이나 항산화제를 식용 코팅에 첨가하였을 때 효과적이라는 다양한 보고가 있다. 물리적 살균 기술에 감광제를 처리하였을 때 상승효과가 나타난다는 연구결과들이 보고되고 있지만, 수분함량이 비교적 높은 수산물은 살균 처리에 의해 수분 손실이 발생하여 감각적 특성들이 하락할 수 있다. 이를 보완하기 위한 식용 코팅과의 병합 처리 기술이 소수 보고되고 있어 더 많은 연구가 요구된다. 이 외에도 더 경제적이고 더 간편하게 수산물의 품질을 유지하여 저장 기한을 늘릴 수 있는 다양한 허들 기술에 대한 연구가 필요하다.

국문요약

본 논문은 수산물에 사용되는 식용 코팅의 다양한 천연 성분에 대한 소재 및 특성에 대하여 조사하였으며, 화학적 항균 물질 및 항산화제와 물리적 살균 기술을 병합한 허들 기술(hurdle technology)에 대하여 서술하였다. 다양한 원인으로 인한 식중독 사고가 빈번히 발생하고 있으며 주된 원인은 오염된 식품의 섭취와 관련이 있다. 특히, 식품 중에서도 수산물은 수분함량이 많고 미생물에 오염되기 쉽기 때문에 저장 기한이 짧다. 이에 대한 해결방안으로 여러 가지 대안들이 적용되고 있는데, 가식성을 가지고 독성이 없는 장점을 가진 식용 코팅이 주목을 받고 있다. 식용 코팅은 미생물의 성장을 억제하고 수분 손실을 지연시킴으로써 수산물의 품질을 유지할 수가 있다. 또한 항균 물질 및 항산화제를 첨가하거나 물리적인 살균 기술과도 병합할 수 있다. 하지만 식용 코팅과의 병합 처리 기술이 소수 보고되고 있어 다양한 허들 기술에 대한 연구가 필요하다.

References

1. Kwun, J.W., Lee, C.H., Trends of recent food-borne disease

- outbreaks in Korea. *J. Korean Med. Assoc.*, **50**, 573-581 (2007).
2. Oliveira, M., Usall, J., Viñas, I., Solsona, C., Abadias, M., Transfer of *Listeria innocua* from contaminated compost and irrigation water to lettuce leaves. *Int. J. Food Microbiol.*, **28**, 590-596 (2011).
 3. Rahman, S. M.E., Ding, T., Oh, D.H., Inactivation effect of newly developed low concentration electrolyzed water and other sanitizers against microorganisms on spinach. *Food Control*, **21**, 1383-1387 (2010).
 4. Back, K.H., Ha, J.W., Kang, D.H., Effect of hydrogen peroxide vapor treatment for inactivating *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Food Control*, **44**, 78-85 (2014).
 5. Sagong, H.G., Lee, S.Y., Chang, P.S., Heu, S., Ryu, S., Choi, Y.J., Kang, D.H., Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Int. J. Food Microbiol.*, **145**, 287-292 (2011).
 6. Park, S.K., Kim, M.J., Effects of changing age structure of population on seafood consumption. Master's Thesis, University of Pukyong, Busan, Korea (2008).
 7. Maqsood, S., Benjakul, S., Synergistic effect of tannic acid and modified atmospheric packaging on the prevention of lipid oxidation and quality losses of refrigerated striped catfish slices. *Food Chem.*, **121**, 29-38 (2010).
 8. Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Moreno, V., Caride, A., Vieites, J.M., Diaz, O., Whey protein-based coatings on frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*): Influence of the plasticiser and the moment of coating on quality preservation. *Food Chem.*, **128**, 187-194 (2011).
 9. Motalebi, A.A., Seyfzadeh, M., Effects of whey protein edible coating on bacterial, chemical and sensory characteristics of frozen common Kilka (*Clupeonella delitula*). *Iran J. Fish Sci.*, **11**, 132-144 (2012).
 10. Barnett, H.J., Stone, F.E., Roberts, G.C., Hunter, P.J., Nelson, R.W., Kwok, J., A study in the use of a high concentration of CO₂ in a modified atmosphere to preserve fresh Salmon. *Mar. Fish. Rev.*, **44**, 7-11 (1982).
 11. Josewin, S.W., Ghate, V., Kim, M.J., Yuk, H.G., Antibacterial effect of 460 nm light-emitting diode in combination with riboflavin against *Listeria monocytogenes* on smoked salmon. *Food Control*, **84**, 354-361 (2018).
 12. Raghav, P.K., Agarwal, N., Saini, M., Edible coating of fruits and vegetables: A review. *Int. J. Sci. Res. Mod. Educ.*, **1**, 188-204 (2016).
 13. Concha-Meyer, A., Schöbitz, R., Brito, C., Fuentes, R., Lactic acid bacteria in an alginate film inhibit *Listeria monocytogenes* growth on smoked salmon. *Food Control*, **22**(3-4), 485-489 (2011).
 14. Kong, K.J.W., Alçiçek, Z., Balaban, M.O., Effects of dry brining, liquid smoking and high-pressure treatment on the physical properties of aquacultured King salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) during refrigerated storage. *J. Agric. Food Sci.*, **95**, 708-714 (2015).
 15. Ahmad, M., Benjakul, S., Sumpavapol, P., Nirmal, N.P., Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil. *Int. J. Food Microbiol.*, **155**, 171-178 (2012).
 16. Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M., Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chem.*, **240**, 505-513 (2018).
 17. Siripatrawan, U., Harte, B.R., Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocoll.*, **24**, 770-775 (2010).
 18. Ouattara, B., Sabato, S.F., Lacroix, M., Combined effect of antimicrobial coating and gamma irradiation on shelf life extension of pre-cooked shrimp (*Penaeus* spp.). *Int. J. Food Microbiol.*, **68**, 1-9 (2001).
 19. Kim, J.H., Hong, W.S., Oh, S.W., Effect of layer-by-layer antimicrobial edible coating of alginate and chitosan with grapefruit seed extract for shelf-life extension of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 4°C. *Int. J. Biol. Macromol.*, **120**, 1468-1473 (2018).
 20. Olatunde, O.O., Benjakul, S., Natural preservatives for extending the shelf-life of seafood: a revisit. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **17**, 1595-1612 (2018).
 21. Brasil, I.M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M.E., & Moreira, R.G., Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT Food Sci. Technol.*, **47**, 39-45 (2012).
 22. Volpe, M.G., Siano, F., Paolucci, M., Sacco, A., Sorrentino, A., Malinconico, M., Varricchio, E. Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT Food Sci. Technol.*, **60**, 615-622 (2015).
 23. Grant, G.T., Morris, E.R., Rees, D.A., Smith, P.J., Thom, D., Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS Lett.*, **32**, 195-198 (1973).
 24. Aloui, H., Khwaldia, K., Sánchez-González, L., Muneret, L., Jeandel, C., Hamdi, M., Desobry, S., Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **49**, 952-959 (2014).
 25. Lu, F., Liu, D., Ye, X., Wei, Y., Liu, F., Alginate-calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*Channa argus*) fillets stored at 4°C. *J. Sci. Food Agric.*, **89**, 848-854 (2009).
 26. Kester, J.J., Fennema, O.R., Edible films and coatings: A review. *Food Technol.*, **40**, 47-59 (1986)
 27. Neetoo, H., Ye, M., Chen, H., Bioactive alginate coatings to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon slices and fillets. *Int. J. Food Microbiol.*, **136**, 326-331 (2010).
 28. Costa, C., Conte, A., Del Nobile, M.A., Effective preservation techniques to prolong the shelf life of ready to eat oysters. *J. Sci. Food Agric.*, **94**, 2661-2667 (2014).
 29. Li, T., Li, J., Hu, W., Li, X., Quality enhancement in refrigerated

- ated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives. *Food Chem.*, **138**, 821-826 (2013).
30. Poverenov, E., Danino, S., Horev, B., Granit, R., Vinokur, Y., Rodov, V., Layer-by-layer electrostatic deposition of edible coating on fresh cut melon model: Anticipated and unexpected effects of alginate–chitosan combination. *Food Bioproc. Tech.*, **7**, 1424-1432 (2014).
 31. Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y., Chi, Y., Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chem.*, **115**, 66-70 (2009).
 32. Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., Hosseini, S.M.H., Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chem.*, **120**, 193-198 (2010).
 33. Necas, J., Bartosikova, L., Carrageenan: a review. *J. Vet. Med. Educ.*, **58**, 187-205 (2013).
 34. Pavlath, A.E., Orts, W., 2009. Edible films and coatings: why, what, and how?, New York, NY, USA, pp. 1-23.
 35. Moraes, K.S.D., Fagundes, C., Melo, M.C., Andreani, P., Monteiro, A.R., Conservation of *Williams* pear using edible coating with alginate and carrageenan. *Food Sci. Technol (Campinas)*, **32**, 679-684 (2012).
 36. Hamzah, H.M., Osman, A., Tan, C.P., Ghazali, F.M., Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biol. Technol.*, **75**, 142-146 (2013).
 37. McNamee, B.F., O'Riorda, E.D., O'Sullivan, M., Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 3385-3388 (2001).
 38. Ye, A., Edwards, P.J., Gilliland, J., Jameson, G.B., Singh, H., Temperature-dependent complexation between sodium caseinate and gum arabic. *Food Hydrocoll.*, **26**, 82-88 (2012).
 39. Cai, L., Wu, X., Dong, Z., Li, X., Yi, S., Li, J., Physicochemical responses and quality changes of red sea bream (*Pagrosomus major*) to gum arabic coating enriched with ergothioneine treatment during refrigerated storage. *Food Chem.*, **160**, 82-89 (2014).
 40. Gennadios, A., McHugh, T.H., Weller, C.L., Krochta, J.M., 1994. Edible coating films based on proteins. Edible coatings and films to improve food quality, Lancaster, PA, USA, pp. 201-227.
 41. Maté, J.I., Krochta, J.M., Oxygen uptake model for uncoated and coated peanuts. *J. Food Eng.*, **35**, 299-312 (1998).
 42. Guilbert, S., Gontard, N., Cuq, B., Technology and applications of edible protective films. *Packag. Tech. Sci.*, **8**, 339-346 (1995).
 43. Cosler, H.B., Prevention of staleness, rancidity in nut meats and peanuts. *Peanuts J. Nut. World*, **37**, 10-15 (1958).
 44. Wang, Z., Hu, S., Gao, Y., Ye, C., Wang, H., Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation. *LWT Food Sci. Technol.*, **75**, 59-64 (2017).
 45. McHugh, T.H., Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Mol. Nutr. Food Res.*, **44**, 148-151 (2000).
 46. De Azeredo, H.M.C., 2012, Edible coatings, Boca Raton, FL, USA, p. 345.
 47. Chamanara, V., Shabanpour, B., Gorgin, S., Khomeiri, M., An investigation on characteristics of rainbow trout coated using chitosan assisted with thyme essential oil. *Int. J. Biol. Macromol.*, **50**, 540-544 (2012).
 48. Stuchell, Y.M., Krochta, J.M., Edible coatings on frozen king salmon: Effect of whey protein isolate and acetylated monoglycerides on moisture loss and lipid oxidation. *J. Food Sci.*, **60**, 28-31 (1995).
 49. Song, Y., Liu, L., Shen, H., You, J., Luo, Y., Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*). *Food Control*, **22**, 608-615 (2011).
 50. Datta, S., Janes, M.E., Xue, Q.G., Losso, J., La Peyre, J.F., Control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella anatum* on the surface of smoked salmon coated with calcium alginate coating containing oyster lysozyme and nisin. *J. Food Sci.*, **73**, M67-M71 (2008).
 51. Nawapat, D., Thawien, W., Effect of UV-treatment on the properties of biodegradable rice starch films. *Food Res. Int.*, **20**, 1313 (2013).
 52. Leistner, L., Food preservation by combined methods. *Food Res. Int.*, **25**, 151-158 (1992).
 53. Farkas, J., Combination of irradiation with mild heat treatment. *Food Control*, **1**, 223-229 (1990).
 54. Lacroix, M., Ouattara, B., Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products—a review. *Food Res. Int.*, **33**, 719-724 (2000).
 55. Lopez-Gonzalez, V., Murano, P.S., Brennan, R.E., Murano, E.A., Influence of various commercial packaging conditions on survival of *Escherichia coli* O157: H7 to irradiation by electron beam versus gamma rays. *J. Food Prot.*, **62**, 10-15 (1999).
 56. Keklik, N.M., Krishnamurthy, K., Demirci, A., 2012. Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light, London, UK, pp. 344-369.
 57. Bialka, K.L., Demirci, A., Efficacy of pulsed UV-light for the decontamination of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* spp. on raspberries and strawberries. *J. Food Sci.*, **73**, M201-M207 (2008).
 58. Ozer, N.P., Demirci, A., Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **41**, 354-360 (2006).
 59. Lin, M.G., Lasekan, O., Saari, N., Khairunniza-Bejo, S., The effect of the application of edible coatings on or before ultraviolet treatment on postharvested longan fruits. *J. Food Qual.* **2017**, 1-11 (2017).
 60. Ghate, V., Kumar, A., Zhou, W., Yuk, H.G., Irradiance and temperature influence the bactericidal effect of 460-nanometer light-emitting diodes on *Salmonella* in orange juice. *J. Food Prot.*, **79**, 553-560 (2016).
 61. Ghate, V., Kumar, A., Kim, M.J., Bang, W.S., Zhou, W., Yuk, H.G., Effect of 460 nm light emitting diode illumination on

- survival of *Salmonella* spp. on fresh-cut pineapples at different irradiances and temperatures. *J. Food Eng.*, **196**, 130-138 (2017).
62. Kim, M.J., Bang, W.S., Yuk, H.G., 405±5 nm light emitting diode illumination causes photodynamic inactivation of *Salmonella* spp. on fresh-cut papaya without deterioration. *Food Microbiol.*, **62**, 124-132 (2017).
 63. Kim, M.J., Tang, C.H., Bang, W.S., Yuk, H.G., Antibacterial effect of 405±5 nm light emitting diode illumination against *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* on the surface of fresh-cut mango and its influence on fruit quality. *Int. J. Food Microbiol.*, **244**, 82-89 (2017).
 64. Sommers, C., Gunther IV, N.W., Sheen, S., Inactivation of *Salmonella* spp., pathogenic *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp., or *Listeria monocytogenes* in chicken purge or skin using a 405-nm LED array. *Food Microbiol.*, **64**, 135-138 (2017).
 65. Demidova, T.N., Hamblin, M.R., Effect of cell-photosensitizer binding and cell density on microbial photoinactivation. *Antimicrob. Agents Chemother.*, **49**, 2329-2335 (2005).
 66. Smith, J., Burritt, D., Bannister, P., Ultraviolet-B radiation leads to a reduction in free polyamines in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Growth Regul.*, **35**, 289-294 (2001).
 67. Luksienė, Z., Zukauskas, A., Prospects of photosensitization in control of pathogenic and harmful micro-organisms. *J. Appl. Microbiol.*, **107**, 1415-1424 (2009).
 68. Luksienė, Z., Paskeviciute, E., Novel approach to the microbial decontamination of strawberries: chlorophyllin based photosensitization. *J. Appl. Microbiol.*, **110**, 1274-1283 (2011).
 69. López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R., Ocio, M.J., Photoactivated chlorophyllin-based gelatin films and coatings to prevent microbial contamination of food products. *Int. J. Food Microbiol.*, **126**, 65-70 (2008).
 70. Abdipour, M., Malekhossini, P.S., Hosseinifarahi, M., Radi, M., Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit. *Sci. Hortic.*, **264**, 109197 (2020).
 71. Arroyo, B.J., Bezerra, A.C., Oliveira, L.L., Arroyo, S.J., de Melo, E. A., Santos, A.M.P., Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chem.*, **309**, 125566 (2020).
 72. Zambrano-Zaragoza, M.L., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., González-Reza, R.M., Cornejo-Villegas, M.A., Gutiérrez-Cortez, E., Effect of Nano-edible coating based on beeswax solid lipid nanoparticles on Strawberry's preservation. *Coatings 2020*, **10(3)**, 253 (2020).
 73. Dai, L., Zhang, J., Cheng, F., Cross-linked starch-based edible coating reinforced by starch nanocrystals and its preservation effect on graded Huangguan pears. *Food Chem.*, **311**, 125891 (2020).