

Zeolite/Zinc-polypeptide를 코팅한 폴리프로필렌필름의 항균 및 항진균 특성에 관한 연구

이학래 · 고의석 · 심원철 · 김종서 · 김재능*

연세대학교 패키징학과

A Study on the Antibacterial and Antifungal Properties of Zeolite/Zinc-polypeptide Coated Polypropylene Film

Hakrae Lee, Euisuk Ko, Woncheol Shim, Jongseo Kim, and Jaieung Kim*

Department of Packaging, Yonsei University, Wonju, 220-710, Korea

Abstract This study is for the application of functional antibacterial packaging to fresh food. Zeolite/Zinc-polypeptide was coated on PP film at concentrations of 5%, 10%, and 15%, degree of dispersion was verified through FESEM and FT-IR analysis. In addition, the antibacterial and antifungal properties of the films were analyzed according to the control group and the concentration of coating materials. As a result, the degree of dispersion of coating material was irregular but wide, depending on the concentration of Zeolite/Zinc-polypeptide on the surface of PP film. The antibacterial effect against *E. coli* was over 99.9%, and the growth of *R. oryzae* was inhibited about 70%. Therefore, it was confirmed that Zeolite/Zinc-polypeptide had antibacterial and antifungal properties against *E. coli* and *R. oryzae* even after coated on PP film. In conclusion, Zeolite/Zinc-polypeptide coating film is expected to be effective in preventing corruption and improving the shelf life of fresh food as a functional packaging material. In order to be applied to various fresh foods in the future, storage experiments are additionally required with temperature and humidity conditions according to fresh foods.

Keywords Functional packaging, Zeolite, Zinc polypeptide, Antibacterial, Antifungal, Coating film

서 론

2018년 기준 국내 신선식품 시장 규모는 22조 7000억 원에 달하며 이는 전년 동기 대비 10.2% 성장한 규모인 것으로 나타났다. 또한 소비자의 70%는 신선식품을 구매할 때 소용량 상품을 구매하는 것을 선호하며, 이는 1~2인 가구가 늘어남에 따른 구매 트렌드로 분석되었다¹⁾. 통계청에 따르면 1인 가구의 비율이 2019년 기준 전체 가구 대비 최근 4년 사이에 27.4%에서 29.2%로 증가하였다²⁾. 이와 같이 구매의 편의성을 최우선으로 하는 1인 가구의 특성으로 편의점에서 과일, 채소 등의 신선식품의 수요는 해마다

증가하는 추세 보이고 있다. 2019년 BGF 리테일 보도 자료에 따르면, CU의 과일 전년 대비 매출 신장률은 매년 두 자릿수 성장률을 꾸준히 유지하며 올해는 전년 대비 40.9%로 가장 큰 신장률을 보였다. 이는 기존의 전문가게, 재래시장, 대형마트 등에서 판매하던 대용량 과일이 최근에는 편의점에서 소포장으로 판매됨에 따라 매출 상승을 일으키고 있는 것이다³⁾. 하지만 신선식품의 경우 유통 과정에서 발생하는 충격, 진동 등 다양한 원인에 의해 과피가 손상될 수 있으며 이 과정에서 미생물이 쉽게 침입하게 되며 상품성을 빠르게 상실한다⁴⁾. 특히 신선식품은 일반세균 뿐 아니라 병원성 세균인 *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *B. cereus* 등에 상시 노출되어 있으며, 무름병을 일으키는 병원성 곰팡이인 *R. oryzae* 등에 감염되어 상품성을 상실하기도 한다⁵⁻⁹⁾. 따라서 신선식품의 개별 포장을 위하여 각각의 신선식품에 적합한 포장 개발이 시급한 실정이다.

Zeolite/Zinc-polypeptide는 구조적 특성과 공동 내 양이온

이 논문은 이학래의 2020년도 석사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.

*Corresponding Author: Jai Neung Kim
Department of Packaging, Yonsei University, 1 Yonseidaegil, Wonju, Kangwon-do, 220-710, Korea
Tel: +82-33-760-2379
E-mail: kimjn@yonsei.ac.kr

에 의해 물질을 흡착하려는 제올라이트(Zeolite)와 친환경 광촉매 물질인 ZnO를 생물체의 면역 체계에서 선천적으로 작용하는 항균 물질인 Antimicrobial peptide에 합성한 중합체인 Zinc-polypeptide를 혼합하여 항균 및 항진균 특성을 갖춘 기능성 물질이다¹⁰⁻¹²). 본 연구는 이러한 높은 항균 효과를 가지고 있는 Zeolite/Zinc-polypeptide를 실제 신선식품 포장재로 활용하기 위하여 대량 생산에 적합한 폴리프로필렌(Polypropylene) 필름에 코팅을 실시하였으며, 이후 FESEM과 FT-IR 분석을 통해 분산된 Zeolite/Zinc-polypeptide의 필름 표면을 확인하고 코팅 전·후의 항균 및 항진균성을 확인하고자 하였다.

본 론

1. 실험재료

1.1. Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 폴리프로필렌 필름

본 연구에서 사용한 Zeolite/Zinc-polypeptide는 Zeolite와 ZnO를 Antimicrobial peptide에 합성한 Zinc-polypeptide를 혼합한 물질로 예원 BNI(Ansan, Korea)에서 위탁 제조하여 사용하였으며, 코팅 물질의 함량 및 샘플명은 Table 1에 나타내었다. Zeolite의 경우 코팅액의 실제 제조 과정 중의 한계로 함량을 3%(w/w)로 제한하였으며, Zinc-polypeptide (Zn-Pep)는 항균 및 항진균 효과를 확인하기 위하여 함량(%(w/w))을 5%, 10%, 15%로 제조하였다. 폴리프로필렌 필름(Polypropylene Film)은 20 µm OPP(BOPP, Youlchon

Table 1. Compositions of coating material

Sample type	Composition (%(w/w))			
	PU(Binder)	Water	Zeolite	Zn-Pep
PP-0%	10	90	0	0
PP-5%	10	82	3	5
PP-10%	10	77	3	10
PP-15%	10	72	3	15

Chemical, Co., Ltd, Korea)와 양면 코로나 처리된 40 µm CPP(GCP, Youlchon Chemical, Co., Ltd, Korea)를 Dry lamination하여 제작하였으며, 40~50°C에서 48시간 경화한 후 사용하였다. Zeolite/Zinc-polypeptide은 PU binder와 함께 그라비아 코터를 이용하여 CPP면에 45 µm 두께로 코팅, 24시간 안정화 후 분석하였다(Fig. 1).

1.2. 항균 및 항곰팡이성 실험의 균주 및 배지

항균시험용으로 사용된 균주는 한국미생물보존센터(KCCM, Korea)에서 분양받은 그람 음성균인 *E. coli* ATCC 8739와 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터(National Agrobiodiversity center, Korea)에서 분양받은 *R. oryzae* KACC 45816을 배양하여 사용하였다. 균의 배양과 접종에 사용된 배지(BD difco, Korea)의 구성 조건은 Table 2와 같다.

2. 실험 방법

2.1. 코팅 액의 항균성 및 항진균성 분석

1) 코팅 액의 항균성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide의 항균성 효과 여부는 디스크 확산법(Disc diffusion method)으로 분석하였다. *E. coli* ATCC 8739 200 µl를 배지 표면에 골고루 도말 및 접종한 후 세균 배양액(Agar) 증양 위에 Paper disk를 놓고 Zinc-polypeptide를 농도별로 0.15 mL씩 접종하였다. Incubator

Table 2. Microbial culture medium

Medium	Constitution	Microorganism
NB [*]	DW ^{**} 1 L + NB [*] 8 g	<i>E. coli</i> ATCC 8739
PCA ^α	DW ^{**} 1 L + PCA ^α 23.5 g	<i>E. coli</i> ATCC 8739
PDB ^β	DW ^{**} 1 L + PDB ^β 24 g	<i>R. oryzae</i> KACC 45816
PDA ^γ	DW ^{**} 1 L + PDA ^γ 39 g	<i>R. oryzae</i> KACC 45816

*: Nutrient broth, **: Distilled water

α: Plate count agar, β: Potato dextrose broth, γ: Potato dextrose agar

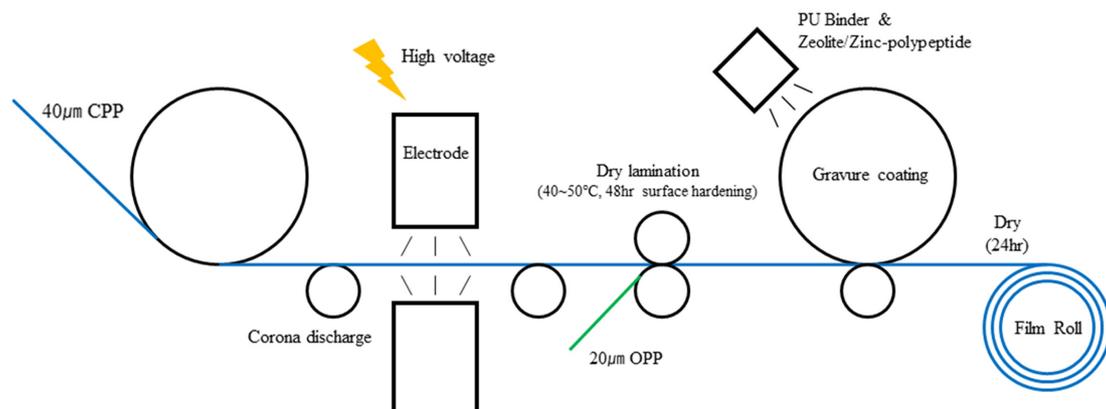


Fig. 1. Development process of PP packaging material coated with Zeolite/Zinc-polypeptide.

(Hanbeak scientific Co., Korea)에서 온도조건 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 으로 24시간 배양한 후 Paper disk 주위에 균이 증식하지 못한 Clear zone을 대조구와 비교하여 항균성 여부를 판단하였다.

2) 코팅 액의 항진균성 분석

항진균성 분석은 Zeolite/Zinc-polypeptide의 균사체 성장 억제 효과를 통해 진행하였다. Zeolite/Zinc-polypeptide을 Zinc-polypeptide 농도에 따라 500 μl 씩 혼합한 Potato dextrose agar 중앙에 Potato dextrose broth에서 7일간 진탕배양(Twist shaker, TW3, FINEPCR, Korea)한 *R. oryzae* KACC 45816를 넣고 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 Incubator(Hanbeak scientific Co., Korea)에서 24시간 간격으로 72시간 동안 배양시키며 균사체의 성장을 확인하였다. 균사체의 성장은 Digital vernier calipers(CD-20APX, Mitutoyo, Japan)을 이용하여 평균 지름으로 나타내었으며, 항곰팡이 지수(Antifungal index)는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Antifungal index (\%)} = 1 - \frac{D_a}{D_b} \times 100$$

(Da : 실험균의 평균 균사체 크기, Db : 대조균의 평균 균사체 크기)

2.2. 코팅 필름의 표면특성 및 화학적 조성 분석

1) 표면 특성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 PP 필름 표면 코팅 상태를 확인하기 위하여 Field Emission Scanning Electron Microscopy(FESEM, Quanta FEG 250, FEI, Oregon, USA) 분석을 실시하였다. 이를 위해 시편에 30초간 Platinum(Pt) coating(Cressington sputter coater, Cressington scientific instruments Ltd., Walford, England)을 실시한 후 FESEM 분석을 실시하였다.

2) 화학적 조성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 PP 필름의 화학적 조성은 적외선분광 흡수기(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, PerkinElmer, USA)를 사용하여 분석하였다. 이에 따라 전반사 측정법(ATR-mode)으로 background를 설정하였고, 16 scan으로 4000-400 cm^{-1} 범위에서 측정을 실시하였다. 결과는 % transmittance로 나타내었다.

2.3. 코팅 필름의 항균성 및 항진균성 분석

1) 코팅 필름의 항균성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 PP 필름의 항균성을 확인하기 위하여 ASTM 2149-10¹³⁾에 따른 항균 정량 분석을 실시하였다. 이에 따라 균주를 38°C 에서 24시간 동안 배양

한 후 7.61 Log(CFU/mL)의 균액이 되도록 접종하여 현탁하였다. *E. coli* 균의 현탁액에 1시간 이상 자외선 소독을 실시한 PP 필름 시편 25.8 cm^2 을 담지한 후 24시간 동안 배양하였으며 배양된 액을 희석하여 Plate count agar(BD difco, Seoul, Korea)에 도말하였다. 도말한 균체는 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 Incubator (Hanbeak scientific Co., Korea)에 24시간 배양하였고, 이후 대조균의 콜로니 수와 비교하여 항균성 비율(% Reduction, R(%))과 항균활성(Antimicrobial activity (%))을 계산하였다.

$$R(\%) = \frac{(B-C)}{B} \times 100$$

(B : 항균 물질을 넣지 않은 대조균의 24시간 후의 균에 대한 CFU, C : 24시간 후의 Zinc-polypeptide의 균에 대한 CFU)

2) 코팅 필름의 항진균성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 PP 필름의 항진균성 효과 여부는 필름 시편을(20 × 20 mm)을 PDA에 접촉시키고 Potato dextrose broth에서 7일간 진탕배양(Twist shaker, TW3, FINEPCR, Korea)한 *R. oryzae* KACC 45816를 코팅 필름 시편 위에 접종시켜 24시간 간격으로 72시간 동안 시편과 그 주위에서 균사체의 성장을 대조구와 비교하여 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 코팅 액의 항균성 및 항진균성 분석

1.1. 코팅 액의 항균성 분석

E. coli ATCC 8739에 대한 Zeolite/Zinc-polypeptide의 항균성 분석 결과, Table 3과 같이 24시간 경과 후 Zinc-polypeptide 함량에 따라 각각 15.75 ± 0.62 mm, 19.46 ± 1.26 mm, 22.41 ± 1.33 mm의 Clear zone이 나타났고, 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 디스크 확산법을 이용하여 Farzana R 등은 ZnO 나노 입자의 *E. coli*에 대하여 13.2 ± 0.5 mm의 억제 영역을 형성하여 항균 효과를 확인하였고, Xudong Gao 등은 라바(Laba) 마늘에서 추출한 항균성 펩타이드가 *E. coli*에 대하여 17.6 ± 1.32 mm의 억제 영역을 형성하여 항균 효과를 확인하였다^{14,15)}. 선행연구에 따르면, Zeolite/Zinc-polypeptide의 양이온화 된 아미노기와 Zn^{2+} 가 *E. coli*의 세포벽 간 고분자 복합체를 형성하여 세포막 조직을 파괴함으로써 항균 능력이 발현되는 것으로 알려져있다^{16,17)}. 이러한 결과를 바탕으로 Zeolite/Zinc-polypeptide가 *E. coli* ATCC 8739에 대하여 높은 항균력을 갖고 있는 것으로 판단하였다.

Table 3. Evaluation of antimicrobial activities of Zinc-polypeptide against *E. coli* ATCC 8739

	Control	Zn-Pep 5%	Zn-Pep 10%	Zn-Pep 15%
<i>E. coli</i> ATCC 8739				
Clear zone (mm)	00.00 ± 00.00	15.75 ± 0.62***	19.46 ± 1.26***	22.41 ± 1.33***

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

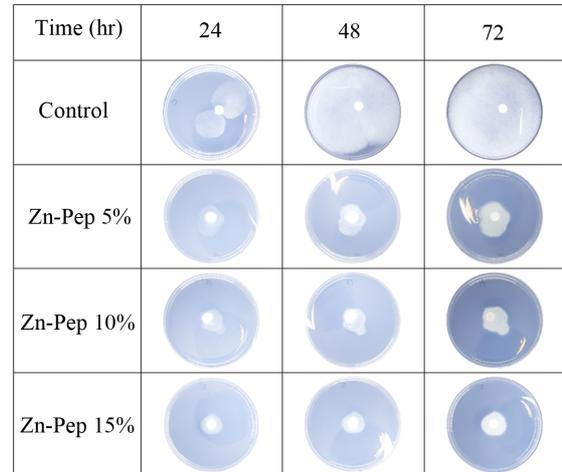
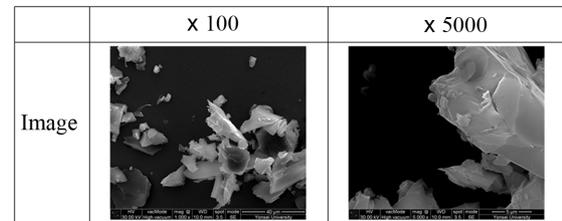
1.2. 코팅 액의 항진균성 분석

R. oryzae KACC 45816에 대한 Zeolite/Zinc-polypeptide의 항진균성 분석 결과, 72시간 후 Zinc-polypeptide 함량이 높아짐에 따라 Table 4와 같이 각각 $54.53 \pm 1.41\%$, $61.84 \pm 0.60\%$, $70.60 \pm 1.65\%$ 의 항곰팡이 지수가 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다(Fig. 2). Ratul Kumar Das 등의 연구에서는 ZnO 나노 파티클 600 µg/mL 이상의 농도에서 *R. oryzae*에 대하여 우수한 포자 억제 효과가 나타났다¹⁸⁾. Kelly Samara de Lira Mota 등의 연구에서는 *Thymus vulgaris* L. 에센셜 오일이 *R. oryzae*에 대하여 약 55%의 항진균성이 있음을 확인하였다¹⁹⁾. Khalid Ziani 등의 연구에서는 키토산 용액의 *R. oryzae*에 대하여 63%~93%의 방사상 억제(radical inhibition) 효과가 있음을 확인하였다²⁰⁾. 항진균성을 갖는 펩타이드는 진균류의 막에 결합한 후 막 구조를 파괴시키는 방식, 막을 가로질러 들어가 세포 내의 Glucan이나 Chitin 등과 같은 필수 세포 성분과 결합하여 생합성을 저해하는 방식 그리고 다양한 크기의 수용성 Pore를 막에 형성하여 이온들이나 다른 용질들이 막을 통과하게 하여 세포에 삼투 쇼크를 일으키게 하는 방식 등으로 항진균 효과를 나타낸다²¹⁾. 이러한 결과를 통하여 Zeolite/Zinc-polypeptide가 *R. oryzae* KACC 45816에 대하여 항진균 효과를 갖고 있는 것으로 판단하였다.

2. 코팅 필름의 표면특성 및 화학적 조성 분석

2.1. 표면 특성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide은 Fig. 3와 같이 고체 상태에서 불규칙한 모양의 결정 구조를 갖고 있다. Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 PP 필름의 표면 특성 분석 결과는 Fig. 4와 같다. 대조군은 표면 손상이 없는 매끈한 표면을 갖고 있는 반면(Fig. 4(A)), 실험군의 경우 코팅액의 분포 및 크

**Fig. 2.** Images of *R. oryzae* KACC 45816 growth on PDA medium treated with Zeolite/Zinc-polypeptide.**Fig. 3.** FESEM images of Zeolite/Zinc-polypeptide.

기는 불규칙하지만 넓게 나타나고 있으며(Fig. 4(B-D)), Zinc-polypeptide의 농도가 증가함에 따라 코팅 입자의 양이 분명히 관찰되었다(Fig. 4(E-G)). 특히 15% Zinc-polypeptide가 코팅된 PP 필름은 코팅입자가 두껍게 남아있었다(Fig. 4(G)).

2.2. 화학적 조성 분석

화학적 조성 분석은 Fig. 4(G)의 결과를 바탕으로 대조군과 15% Zinc-polypeptide가 코팅된 PP 필름을 비교 분석하였다. 분석 결과는 Fig. 5와 같으며, 각 피크의 데이터는 Table 5에 제시하였다. PP 필름은 탄소(C)와 수소(H) 원소로 구성되어 있으며, 2920~2840 cm^{-1} 에서 CH_2 , CH_3 , 1500~1400 cm^{-1} 에서 CH_2 , 1373 cm^{-1} 은 CH_3 등의 결합을 확인할 수 있었다(Fig. 5)^{22,23)}. Zeolite의 화학식은 $\text{M}_{x/n} \cdot [(\text{Al}_2\text{O}_3)_x \cdot (\text{SiO}_2)_y]$ 로 알려져 있는데, 1100~435 cm^{-1} 에서 Al-O-Al, Al-O, 1094 cm^{-1} 에서 Si-O-Si, 946~800 cm^{-1} 에

Table 4. Antifungal index to inhibit *R. oryzae* KACC 45816 growth according to the different Zinc-polypeptide concentrations

	Control	Zn-Pep 5%	Zn-Pep 10%	Zn-Pep 15%
Antifungal index (%)	00.00 ± 00.00	54.53 ± 1.4***	61.84 ± 0.60***	70.60 ± 1.65***

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

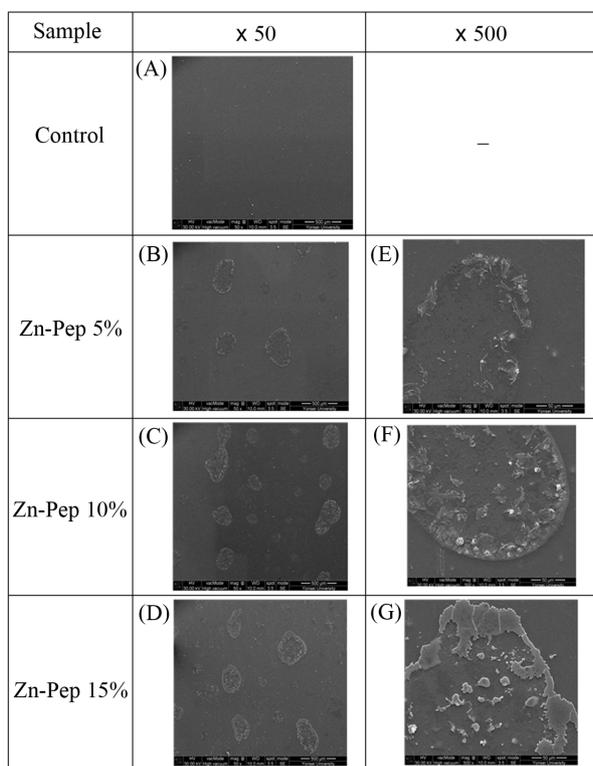


Fig. 4. FESEM images of PP film coated Zeolite/Zinc-polypeptide ($\times 50$, $\times 500$): (A) Control $\times 50$, (B) Zn-Pep 5% $\times 50$, (C) Zn-Pep 10% $\times 50$, (D) Zn-Pep 15% $\times 50$, (E) Zn-Pep 5% $\times 500$, (F) Zn-Pep 10% $\times 500$, (G) Zn-Pep 15% $\times 500$.

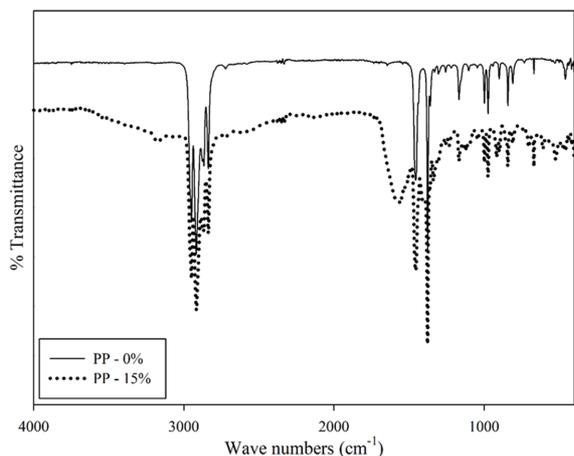


Fig. 5. FT-IR spectra at PP film coated 15% Zeolite/Zinc-polypeptide.

서 Si-O, Si-OH 등이 확인되어 SEM 이미지에서 직접적으로 확인할 수 없었던 Zeolite를 확인하였다^{24,25}. Zinc-polypeptide는 Zn-O, -NH, C=O, R(C=O)R, C-N 등의 결합이 존재한다. 436 cm^{-1} 에서 Zn-O, $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ 에서 -NH, $1820\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ 에서 C=O, $1730\text{--}1710\text{ cm}^{-1}$ 에서 R(C=O)R, $1250\text{--}1020\text{ cm}^{-1}$ 에서 C-N 등이 확인되어 PP 필름 표면

Table 5. FT-IR spectra peak table

Group	Chemical groups	Wave numbers (cm^{-1})
PP film	CH ₂ , CH ₃ (stretch)	2920-2840
	CH ₂ (bending)	1500-1400
	CH ₃ (bending)	1380-1350
	(CH ₂) _n	750-700
Zeolite	Al-O-Al, Al-O	1100-435
	Si-O-Si	1094
	Si-O, Si-OH	946-800
Zn-Pep	Zn-O	436
	NH	3400-3250
	C=O	1820-1680
	C-N (stretch)	1250-1020
	R(C=O)R	1730-1710
PU binder	-OH (stretch)	3550-3200
	NH	3400-3250
	C-H (stretch)	2900-2800
	C-O-C	1100-1000
	C-O, C-N (stretch)	1250-1020

에 Zinc-polypeptide가 존재함을 알 수 있다²⁶⁻²⁸. PU binder는 $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ 에서 -NH, $2900\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ 에서 C-H, $100\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ 에서 C-O-C, $1250\text{--}1020\text{ cm}^{-1}$ 에서 C-O와 C-N 등의 결합이 나타나 PP 필름 표면에 PU binder를 통해 Zeolite/Zinc-polypeptide가 코팅되어 있음을 알 수 있다²⁹. 이를 통하여 PP 필름에 Zeolite/Zinc-polypeptide 물질이 코팅되었음을 확인하였다.

3. 코팅 필름의 항균성 및 항진균성 분석

3.1. 코팅 필름의 항균성 분석

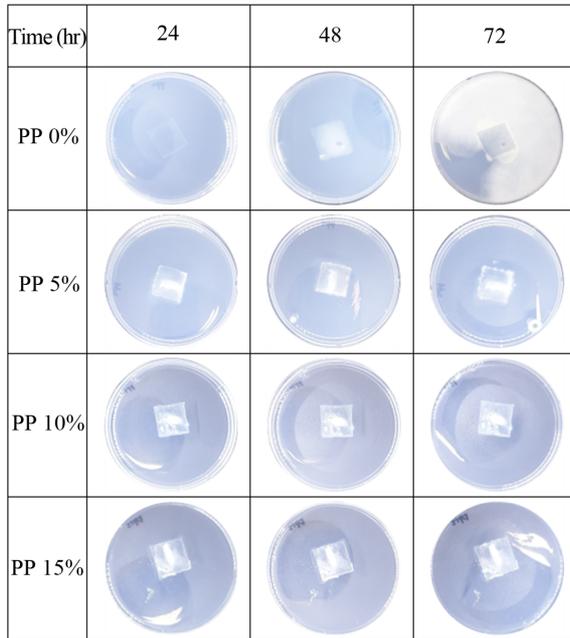
Zinc-polypeptide 함량에 따른 코팅 필름의 항균성을 분석한 결과 Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 필름은 Table 6와 같이 *E. coli* ATCC 8739에 대하여 99.9% 이상의 항균력과 3.56 이상의 항균 활성치를 보였다. Lee와 Ko의 연구에서는 *E. coli*에 대하여 LDPE-Nano ZnO 복합 필름이 ZnO 함량비 1.0 wt% 이상의 조건에서 90% 이상의 균 감소를 나타냈으며 함량비 5.0 wt% 시편의 항균 활성치는 2.3으로 나타났음을 확인하였다³⁰. 선행연구에 따르면 ZnO 나노입자는 +24 mV의 제타 전위로 양전하를 갖기 때문에 나노입자와 *E. coli* 사이에 강한 결합이 발생하여 3.4 mM 이상 농도에서 대장균 성장의 완전하게 억제하는 것으로 알려져 있다^{31,32}. 이를 통해 Zeolite/Zinc-polypeptide가 코팅 후에도 *E. coli* ATCC 8739에 대하여 우수한 항균 효과를 유지하고 있음을 알 수 있다.

3.2. 코팅 필름의 항진균성 분석

Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 포장재 위에서 *R. oryzae*

Table 6. Qualitative Analysis of Antibacterial Activity of Kraft paper and PP film coated Zeolite/Zinc-polypeptide

	Log (CFU/mL)	% Reduction	Antimicrobial activity (%)
PP-0%	7.61 ± 0.05	-	-
PP-5%	3.58 ± 0.03	99.98	3.82
PP-10%	3.49 ± 0.02	99.99	3.90
PP-15%	3.23 ± 0.04	99.99	4.16

**Fig. 6.** *R. oryzae* KACC 45816 growth on PP film coated Zeolite/Zinc polypeptide.

KACC 45816의 균사체 성장 억제 효과를 확인한 결과 72 시간 후 대조군에서는 *R. oryzae* KACC 45816의 성장이 관찰되었지만, Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 포장재 주위로 곰팡이의 성장이 억제되었다(Fig. 6). Pollini는 Clear zone의 크기에 따라 항균력의 등급을 정하였고, 한천 확산법(diffusion test in agar)으로 미생물의 성장 억제 영역이나 시편 위에 미생물의 성장이 관찰되지 않으면 항균력이 있고, 그 반대의 경우 항균력이 없다고 판단하였다³³⁾. Higuera에 따르면 접촉식 항균 기작을 갖고 있는 항균 물질은 항진균성 확인 시 곰팡이의 성장을 억제할 만큼 배지로 전이되지 않고, 이로 인하여 항진균성 분석 시 곰팡이의 성장 억제 범위 확인은 어렵다고 언급하였다³⁴⁾. Khalid Ziani 등의 연구에서는 키토산 용액이 *Rhizopus oryzae*에 대하여 63%~93%의 방사상 억제 효과를 보이며 항진균성을 확인하였으나, 필름 코팅 시 *Rhizopus oryzae*의 빠른 성장 및 접촉된 표면에 필름이 증착될 때 부적절하게 접촉하여 항진균성 확인이 가능하지 않을 수 있다고 언급하였

다²⁰⁾. 이러한 결과를 통하여 Zeolite/Zinc-polypeptide가 코팅 후에도 *R. oryzae* KACC 45816에 대하여 우수한 균사체 성장 억제 효과를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

결론

1인 가구가 증가함에 따라 가정간편식, 밀키트 등의 매출이 급증하면서 신선식품 시장의 규모가 더욱 확대되어지고 있다. 하지만 신선식품의 경우 저온 유통에도 불구하고 수확 후 호흡증산 작용에 의해 포장 내 수분이 맺혀 세포벽 약화 및 병원성 미생물의 성장으로 갈변 현상, 이취 발생, 조직감 저하 등에 의해 짧은 유통기한을 갖게 된다. 따라서 신선식품 제조업체의 경우 미리 생산하지 못하고 주문과 동시에 제작하여 해당 물량을 공급하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 신선식품 제조업체의 생산성 향상을 위해 신선식품의 짧은 유통기한의 문제점을 항균 코팅 포장 기법을 통해 해결하고자 하였다. Zeolite/Zinc-polypeptide 포장재를 통해 식품의 항균 및 항진균성을 높임으로서 유통기한을 향상시키고 제품을 미리 생산함으로써 신선식품 제조업체 생산성을 향상시키고 재고관리 등의 효율성을 극대화 시키고자 하였다. 이는 포장재의 항균 및 항진균성 분석을 통해 신선식품의 품질 향상성을 간접적으로 검증하였으나, 다양한 신선식품의 온도 조건과 습도 조건 별 저장실험 등을 통한 실증연구가 추가적으로 요구되어진다.

요약

본 연구는 기능성 항균 포장재를 신선식품에 적용하기 위한 연구로서 Zeolite/Zinc-polypeptide를 식품용 포장재 중 하나인 PP 필름에 코팅하여 항균 및 항진균성을 확인하였다. 이를 검증하기 위하여 Zeolite/Zinc-polypeptide를 PP 필름에 각각 5%, 10%, 15% 농도로 코팅하였으며, FESEM과 FT-IR 분석을 통해 분산된 Zeolite/Zinc-polypeptide의 코팅 여부를 확인하였다. 또한 항균 효과를 검증하기 위하여 대조군과 코팅 물질의 농도에 따른 필름의 항균 및 항진균성을 분석하였다. 코팅 필름의 표면 분석 결과 PP 필름의 표면에서 Zeolite/Zinc-polypeptide의 농도에 따라 코팅 액의 분포 크기가 불규칙하지만 넓게 나타났다. 또한 항균 효과에 따른 분석 결과 박테리아 균 중 하나인 *E. coli*에서 99.9%의 항균 효과를 확인하였으며, *R. oryzae*의 성장을 약 70% 억제하여 PP 필름 코팅 적용 후에도 Zeolite/Zinc-polypeptide가 *E. coli*와 *R. oryzae*에 대하여 항균 및 항진균 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 이에 따라 Zeolite/Zinc-polypeptide 코팅 필름은 기능성 포장재로서 신선식품의 부패 방지와 보관수명 향상에 효과적일 것으로 보이며, 향후 다양한 신선식품에 적용하기 위한 저장 실험이 요구되어진다.

참고문헌

- Jo, N.H. 2018. Nielsen Korea Trends in the Domestic Fresh Food Market in Korea. etoday. <https://www.etoday.co.kr/news/view/1674337>
- KOSTAT. 2019. Employment Survey by Region: Current Status of Single-person Households (2015-2018). <http://kosis.kr/>
- BGF retail. 2019. CU, 초특가 반값 과일 판매. <http://www.bgfretail.com/>
- Hobson GE. 1981. Enzymes and texture changes during ripening. In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (eds). Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables. London, UK. Academic Press. pp. 123-124.
- Zhang, H., Zheng, X., Yu, T. 2007. Biological control of postharvest diseases of peach with *Cryptococcus laurentii*. *Journal of Food Control*. 18(4): 287-291.
- Fan, Q., and Tian, S.P. 2000. Postharvest biological control of *Rhizopus* rot of nectarine fruits by *Pichia membranefaciens*. *Journal of Plant Disease*. 84(11): 1212-1216.
- Pitt, J.I., Hocking, A.D. 2009. *Fungi and Food Spoilage*. Boston. New York. Springer. 519: 388.
- Kwon, J.H., Kang, D.W., Ha, J.S., Kim, J.W. and Kwak, Y.S. 2012. Soft rot on peach caused by *Rhizopus oryzae* in Korea. *The Korean Journal of Mycology*. 40(1): 65-68.
- Shim, W.B., Kim, J.S., Kim, K.Y., Yun, J.C. and Chung, D.H. 2013. Investigation of Microbiological Contamination Levels in Peach farms to Establish Good Agricultural Practices(GAP) Model Based on Hazard Control. *Journal of Agriculture & Life Science*. 47(5): 61-71.
- Noh, J.H. 2001. Evaluation of mineral properties for improving value added of domestic zeolite. *J. Miner. soc. Korea (Mineral & Industry)*. 14(1):1-17.
- Nam, S.H. and Boo, S.H. 2013. Photocatalytic Activity of ZnO Nanoparticles and Their Stability in Water Solvent. *Journal of the Korean Vacuum Society*. 22(3): 138-143.
- Zaloff M. 2002. Antimicrobial peptides of multicellular organisms. *Nature*. 415 : 389-395.
- ASTM E2149-10. 2010. Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions. ASTM International. West Conshohocken. PA. www.astm.org
- Farzana, R., Iqra, P., Shafaq, F., Sumaira, S., Zakia, K., Hunaiza, T. and Husna, M. 2017. Antimicrobial Behavior of Zinc Oxide Nanoparticles and β -Lactam Antibiotics against Pathogenic Bacteria. *Archives of clinical microbiology*. 8(4): 57.
- Gao, X., Chen, Y., Chen, Z., Xue, Z., Jia, Y., Ma, Q., Zhang, M. and Chen, H. 2019. Identification and antimicrobial activity evaluation of three peptides from laba garlic and the related mechanism. *Journal of Food Function*. 10: 4486-4496.
- Do, Y.W., 2007. A Study on the Photodegradation of Air Pollutants Using High Efficiency Photoreactive System. Master Dissertation. Soonchunhyang University, Asan.
- Nakatsuji, T. and Gallo R.L., 2012. Antimicrobial peptides: old molecules with new ideas. *Journal of Invest Dermatol*. 132: 887-895.
- Das, R.K., Brar, S.K. and Verma M. 2015. Effects of Different Matallic Nanoparticles on Germination and Morphology of the Fungus *Rhizopus oryzae* 1526 and Changes in the Production of Fumaric Acid. *BioNanoScience*. 5(4): 217-226.
- de Lira Mota, K.S., de Oliveira Lima, F., de Oliveira, W.A., Lima, I.O. and de Oliveira Lima, E. 2012. Antifungal Activity of *Thymus vulgaris* L. Essential Oil and Its Constituent Phytochemicals against *Rhizopus oryzae*: Interaction with ergosterol. *Molecules*. 17(12): 11418-14433.
- Ziani, K., Fernandez-Pan, I., Royo, M. and Maté, J.I. 2009. Antifungal activity of films and solutions based on chitosan against typical seed fungi. *Journal of Food Hydrocolloids*. 23(8): 2309-2314.
- Baltzer, S.A. and Brown, M.H. 2011. Antimicrobial Peptides – Promising Alternatives to Conventional Antibiotics. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 20(4): 228-235.
- Gulmine, J.V., Janissek, P.R., Heise, H.M., and Akcelrud, L. 2002. Polyethylene characterization by FTIR. *Journal of Polymer Testing*. 21(5): 557-563.
- Rajandas, H., Parimannan, S., Sathasivam, K., Ravichandran, M., and Yin, L. S. 2012. A novel FTIR-ATR spectroscopy based technique for the estimation of low-density polyethylene biodegradation. *Journal of Polymer Testing*. 31(8): 1094-1099.
- Toledo, R.R., Santoyo, V.R., Sánchez, C.D.M. and Rosales, M.M. 2018. Effect of aluminum precursor on physicochemical properties of Al₂O₃ by hydrolysis/precipitation method. *Journal of Nova Scientia*. 10(1): 83-99.
- Sakthisabarimoorathi, A., Dhas, S.A.M.B. and Jose, M. 2018. Electrical impedance spectroscopic investigations of monodispersed SiO₂ nanospheres. *Journal of Superlattices and Microstructures*. 113. 271-282.
- Khan, S.H., Suriyaprabha, R., Pathak, B. and Fulekar, M.H. 2015. Photocatalytic degradation of organophosphate pesticides (Chlorpyrifos) using synthesized zinc oxide nanoparticle by membrane filtration reactor under UV irradiation. *Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology*. 1(1): 23-27.
- Yang, J. and He, W. 2012. Synthesis of lauryl grafted sodium alginate and optimization of the reaction conditions. *International Journal of biological macromolecules*. 50(2): 428-431.
- Sistla, Y.S., and Khanna, A. 2015. CO₂ Absorption Studies in Amino Acid-Anion Based Ionic Liquids. *Journal of Chemical Engineering* 273: 268-276.
- Dias, R.C.M., Góes, A.M., Serakides, R., Ayres, E. and Oréface, R.L. 2010. Porous Biodegradable Polyurethane Nanocomposites: Preparation, Characterization, and Biocompatibility Tests. *Journal of Materials Research*. 13(2): 211-218.

30. Lee, W.S. and Ko, S.H. 2018. A Study on the Functionality and Stability of LDPE-Nano ZnO Composite Film. *The Korean Journal of Packaging Science and Technology*. 24(1): 27-34.
31. Reddy, K. M., Feris, K., Bell, J., Wingett, D. G., Hanley, C., and Punnoose, A. 2007. Selective toxicity of zinc oxide nanoparticles to prokaryotic and eukaryotic systems. *Applied Physics Letters*. 90(21): 213902.
32. Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M., and York, D. 2007. Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *Journal of Nanoparticle Research*. 9(3): 479-489.
33. Pollini, M., Russo, M., Licciulli, A., Sannino, A., and Maffezzoli, A. 2009. Characterization of antibacterial silver coated yarns. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 20(11): 2361-2366.
34. Higuera, L., López-Carballo, G., Hernández-Muñoz, P., Gavara, R., and Rollini, M. 2013. Development of a novel antimicrobial film based on chitosan with LAE (ethyl- α -dodecanoyl-L-arginate) and its application to fresh chicken. *International Journal of Food Microbiology*. 165(3): 339-345.

투고: 2021.03.16 / 심사완료: 2021.04.09 / 게재확정: 2021.4.26