KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 1 15~21 (2024)
https://doi.org/10.20909/kopast.2024.30.1.15

산채류의 미생물 안전성 증진을 위한 가식성 항균 코팅 개발 및 적용

최지은[1†] · 김봉선[2†] · 장윤지[1] · 배재우[2*]

[1]국민대학교 식품영양학과
[2]서울여자대학교 식품공학과

Development of an Antimicrobial Edible Coating to Improve Microbial Safety of Wild Vegetables

Jieun Choi[1†], Bong Sun Kim[2†], Yoonjee Chang[1], and Jaewoo Bai[2*]

[1]Department of Food and Nutrition, Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea
[2]Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 621, Hwarangro, Nowon-gu Seoul 01797, Republic of Korea

Abstract The edible coating system, consisting of gelatin and bacteriophages, has been developed to enhance the microbial safety of wild vegetables. Newly isolated *Escherichia coli* phage EP and *Staphylococcus aureus* phage SP were loaded into the gelatin coating solutions. The phages remained significantly stable for up to 3 days, respectively, and exhibited rapid antibacterial capacity within 2 h of coating application ($p < 0.05$). The developed coating was applied to bracken and exhibited antibacterial efficacy against *E. coli* and *S. aureus* within 6 h (1.9-log CFU/mL and 1.5-log CFU/mL). Furthermore, the coated bracken significantly prevented weight loss and maintained firmness for 10 days ($p < 0.05$). Consequently, gelatin-based edible coatings containing phages have the potential as an antibacterial packaging strategy.

Keywords edible coating, gelatin, bacteriophage, antibacterial, wild vegetable

서 론

최근 몇 년 동안 풍부한 영양소와 각종 생리활성 물질을 포함하고 있는 신선 채소류의 소비가 증가하였다[1]. 식용 가능한 산지 자생 식물을 통칭하는 산채류는 다양한 신선 채소류들 중에서도 가장 활발하게 소비되고 있는 식품 중 하나이다. 산채류는 미네랄과 식이섬유 등이 풍부하고 파이토케미컬과 같은 다양한 기능성 물질이 풍부하다[2]. 특히 고사리는 산채류 시장의 주요 신선 채소 중 하나이며 다양한 건강상의 이점을 가지고 있어 활발하게 유통이 이루어지고 있다[3]. 이렇듯 산채류의 장점으로 인해 소비와 생산이 증가함에 따라 안전하고 신선한 유통망 구축을 위한 연구가 추가적으로 필요하다[4]. 지금까지 신선 농식품의 살균 처리 방법은 물리적, 화학적 기반 기술이 대부분이다. 하지만 이런 방법은 신선 농산품의 경우 식품 품질저하로 인해 가열 등 물리적 살균처리가 권장되지 않으며, 소비자들의 부정적인 인식으로 인해 화학적 살균처리 또한 산채류에 적용하기 바람직하지 않다[2,5]. 이런 살균 방법은 식품 병원균을 효과적으로 제어하지 못하기 때문에 교차오염과 잔여 미생물로 인한 식중독이 발생할 위험이 있다[5]. 대표적인 식중독 균인 병원성 대장균 O157:H7과 황색포도상구균은 신선식품에서 공정 및 유통 시 잔여 미생물과 교차 감염으로 인한 안전성 문제가 지속적으로 제기되고 있어 고사리와 같은 산채류에서의 병원성 대장균 O157:H7과 황색포도상구균의 항균 연구가 필요하다[6,7]. 또한 최근 환경문제에 대한 관심이 급격히 증가함에 따라 친환경적인 식품 미생물 방제 연구가 필요한 것이 실정이다.

가식성 코팅은 효율적이고 친환경적이며 저렴한 비용으로 미생물 오염을 감소시키고 미생물의 생장을 억제할 수 있어 혁신적인 식품 품질 향상 기술로 기대되고 있다[8]. 또한 보관 및 유통 중 식품의 경도를 유지하고 수분의 손실을 지연시킬 수 있어 물리적 특성 및 영양소를 유지할 수 있다. 더불어 가식성 코팅에 다양한 항균 물질을 첨가했을

†Authors contributed equally
*Corresponding Author: Jaewoo Bai
Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 621, Hwarangro, Nowon-gu Seoul 01797, Republic of Korea
Tel: +82-970-5636, Fax: +82-970-5632
E-mail: jwbai@swu.ac.kr

시 화학적 고정화(chemical immobilization)와 혼입(incorporation) 등으로 인해 식품에 직접 적용할 때보다 안정적인 효과를 발휘할 수 있다[9]. 따라서 기능적 특성이 향상된 포장 기술을 도입하면 식품의 유통기한 연장과 안전성 향상을 기대할 수 있다[10]. 가식성 코팅은 주재료, 용매, 그리고 첨가물로 구성되어 비율에 따른 다양한 특성을 지니므로 식품에 적용하기에 물리적 특성이 적합해야 하며, 식품의 향미에 간섭하지 않는 관능적 특성이 요구된다[9]. 가식성 코팅의 주재료로는 천연 유래 다당류, 단백질, 지질과 같은 생체 고분자가 사용된다. 그 중 천연 고분자 물질인 젤라틴은 콜라겐을 부분적으로 가수분해하여 얻은 동물성 단백질로, 우수한 생체 적합성으로 인해 식품 산업에서 거품과 유제를 안정시키는 성분으로 널리 사용되었으며 대규모 생산을 통한 저렴한 유통이 가능하다[11]. 또한 젤라틴을 사용하여 제조된 필름은 유연하고 막 형성능이 뛰어나며, 투명하고 높은 기계적 성질을 가지고 있어 식품을 효과적으로 코팅할 수 있다[12]. 따라서 에센셜 오일과 추출물, 나노 고분자 물질 등 다양한 항균물질을 함유한 가식성 포장에 사용되고 있으며, 유용 물질의 식품적용 매개체로서 주목받고 있다[13,14,15]. 이러한 특성으로 인해 젤라틴 기반 가식성 필름에 항균제를 첨가하여 식품의 안전성을 높이는 연구가 제안되었다.

박테리오파지(파지)는 식품 포장을 비롯한 다양한 응용분야에서 생물학적 방제제 및 식품 보존제로서의 잠재력을 가지고 있다. 파지는 세균을 숙주로 삼는 바이러스로, 다양한 환경에 분포하고 있다[5]. 또한 식품의 향미에 영향을 미치지 않으며 높은 숙주 특이성을 가지므로 병원균만을 제어할 수 있다[16]. 따라서 최근 다양한 분야에서 항균제로서 사용되고 있으며 식품 산업 내 파지 사용은 식품의 오염을 제거하고 유통기한을 연장하여 식품 안전을 향상시키는 유망한 전략으로 여겨지고 있다[8]. 실제 FDA 승인을 받은 EcoShield™, SalmoFresh™, ListShield™ 등 다양한 파지 제품이 상용화되었으며, 건강상의 위험 없이 섭취가 가능함을 입증했다[12]. 이러한 점에서, 파지 기반의 항균 가식성 코팅제제의 개발은 성공적인 미생물 안전성 증진 전략이 될 수 있다. 최근 연구에서 파지는 수성 제형의 적용 또는 포장재 코팅 등 다양한 방식으로 식품 분야에 사용이 고려되고 있다[17].

본 연구에서는 천연 고분자 물질인 젤라틴에 병원성 대장균 O157:H7과 황색포도상구균을 숙주로 삼는 파지를 첨가하여 고사리의 미생물 안전성을 높이기 위한 항균 코팅 시스템을 개발하고자 하였다. 젤라틴 코팅액 내에서의 파지 안정성과 항균능을 확인하였으며, 실제 식품에서의 식품 유해균 제어능 및 다양한 품질 변화를 측정하여 산업 현장에서 사용되는 생물학적 방제제로서의 응용 가능성을 살펴보았다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서 사용된 젤라틴과 소르비톨, 그리고 agar는 대정화금(Siheung, Gyeonggi-do, Korea)에서 구매하였으며, tryptic soy broth (TSB)와 tryptic soy agar (TSA), luria-bertani (LB) broth는 MB cell (Seoul, Korea)에서 구매하였다. 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890를 숙주로 삼는 파지 EP와 황색포도상구균 ATCC 29213을 숙주로 삼는 파지 SP는 모두 환경 샘플에서 분리되었다.

2. 방법

2.1. 박테리오파지의 분리 및 정제

병원성 대장균 파지 (*E. coli* phage, EP)와 황색포도상구균 파지 (*S. aureus* phage, SP)는 선행 연구된 분리 정제 방법을 참고하여 분리하였다[18]. 간략하게, 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890과 황색포도상구균 ATCC 29213을 각각 LB와 TSB에 하룻밤 동안 배양한 다음 대수증식기에 도달한 균주를 환경 시료와 혼합하여 37°C에서 24시간 배양하였다. 배양액을 15,000×g에서 1분간 원심분리한 후 상등액을 0.45 μm의 Whatman™ PVDF 시린지 필터를 이용하여 제균하였다. 본 단계는 충분한 양의 파지 용해물을 얻기 위해 세 가지의 배양 용량(3, 50, 300 mL)으로 수행되었다. 처리한 용액은 10진 희석한 후 TSA agar에 플라크 시험법(plaque assay)을 수행하여 단일 집락을 확인하였다.

2.2. 코팅액의 제조

코팅액 제조에 사용되는 비커와 마그네틱 바, 증류수는 모두 사전에 121°C에서 15분간 멸균되었다. 증류수에 젤라틴(3%, w/w)과 소르비톨(1.5%, w/w)을 첨가한 후 90°C에서 30분 교반하여 증류수에 완전히 용해시켰다. 40°C로 온도를 낮춘 후 파지 EP와 SP PFU를 1:1로 첨가해 추가로 30분간 교반하여 코팅용액에 균일하게 분포되도록 제조하였다.

2.3. 코팅막 내 박테리오파지의 특성 평가

제조한 코팅용액을 직경 35 mm의 페트리 디쉬에 1 mL 분주하고 항온항습기(25°C, RH 50%)에서 24간동안 건조하여 필름을 제조하였다. 제조한 필름은 0, 3, 7, 15, 25, 35일마다 파지 생존성을 측정하였다. 보관된 필름을 멸균 증류수 10 mL에 200 rpm으로 30분간 완전히 용해시킨 후 TSA agar에 spot assay를 수행하였으며 37°C에서 24시간 배양 후 plaque 형성을 확인하여 필름 내 파지의 안정성을 검증하였다.

증류수 10 mL에 파지가 첨가된 젤라틴 필름을 넣고 30분간 완전히 용해시킨 후 multiplicity of infection (MOI)

이 1이 되도록 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890과 황색포도상구균 ATCC 29213을 접종하였다. 균이 접종된 용해물을 200 rpm의 25°C 배양기에서 배양하며 0, 2, 4, 6시간마다 균 수를 측정하였다. 균 수 측정은 각 시간마다 37°C에서 24시간동안 TSA에 배양하여 필름 내 파지의 항균력을 확인하였으며 동량의 phosphate buffer saline (PBS)와 단일 파지가 접종된 실험군이 대조군으로 사용되었다.

2.4. 항균 코팅액의 고사리 적용

항균 코팅액은 침지(dipping) 방법을 이용하여 고사리에 코팅하였다. 100±10 g의 고사리를 70% 에탄올에 1분간 침지한 후 멸균 증류수로 2차 세척하였으며, 30분간 UV에 조사하여 멸균하였다. 물기를 제거한 고사리에 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890과 황색포도상구균 ATCC 29213의 10^7 CFU/mL 균 액을 500 μL 분주한 후 무균 실험대에서 15분 건조하였다. 균을 접종한 고사리를 40°C 코팅액에 1분간 침지하여 코팅처리한 후 농산물 건조기(UDS-2511F; 유니크대성, Gyeonggi-do, Korea)에서 6분 동안 건조하였으며 이와 같은 과정을 총 3회 반복하였다. 코팅된 고사리는 항온항습기(25°C, 상대습도 50%)에서 6시간동안 보관되었으며 2시간 마다 균 수를 측정하였다.

항균 활성 평가를 위해 고사리를 pulsifier (Pulsifier II ®; Microgen Bioproducts Ltd., Camberley, UK)를 이용하여 고사리 100 g에 100 mL의 멸균 PBS 용액에 넣고 스토마커를(BNFKOREA, Gimpo, Gyeonggi-do, Korea) 이용해서 1분간 균질화 하였다. 균질화 시료 용액을 10진 희석하여 TSA에서 잔존 균 수를 계수하였고 대조군으로는 파지를 넣지 않은 gelatin 코팅용액을 사용하였다.

2.5. 코팅액을 적용한 고사리의 품질 변화 측정

코팅된 고사리는 외관, 무게, 그리고 물성 분석을 통해 품질의 변화를 측정하였다. 포토박스(DH-PTS-40; Daehan, Osan, Gyeonggi-do, Korea)를 사용하여 코팅된 고사리의 외관 변화를 확인하였다. 코팅 고사리는 10일간 항온항습기(25°C, 상대습도 50%)에서 보관되어 2일 간격으로 무게 및 경도의 변화를 측정하였다. 17±2 cm의 고사리를 선별하여 가운데 부분을 물성 분석기(UTA-500N; 연진, Seoul, Korea)를 사용하여 경도를 측정하였으며 크로스헤드 속도는 500 mm min^{-1}로 설정되었다. 모든 품질 변화 측정에서 대조군으로 비코팅 고사리가 사용되었다.

2.6. 통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 평균±표준편차로 나타냈고 각 실험 군 간의 유의성은 SPSS (Version 26, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)의 unpaired two-tailed *t* test를 실시하여 $p<0.05$ 값을 유의성 임계 값으로 사용해 통계처리 하였다.

결과 및 고찰

1. 코팅막 내 박테리오파지의 특성 평가

활성 포장 제형에서 파지의 높은 안정성은 식품 시스템에 적용하기 위해 고려되는 주요 사항이다. 10^7 PFU/film를 포함하는 파지 필름을 제조 후 35일간 보관하는 동안 파지 EP와 SP의 안정성을 Fig. 1에 나타냈다. 필름 내의 파지 EP와 SP는 보관 3일차까지 안정적으로 파지의 역가가 유지되었다. 그러나 두 파지 모두 보관 0일차와 비교하여 7일차부터 파지의 생존수가 통계적으로 유의하게 감소하였다. 또한 35일차에 EP와 SP가 각각 약 1.9-log PFU/mL와 1.4-log PFU/mL이 유의하게 감소하였다. 하지만 이런 연구 결과는 이전 연구 결과에서 6일간 보관된 키토산 기반 식용 코팅에 첨가된 VB_EcoMH2W 파지가 2-log PFU/mL 감소한 것과 비교하였을 때 젤라틴 코팅이 높은 안정성을 가지고 있음을 시사한다[8]. 이는 EP와 SP가 젤라틴 코팅액에 성공적으로 캡슐화되어 효과적으로 보존되고 있음을 나타낸다. 0일차부터 파지 SP의 초기 필름 함입 10^7 PFU/mL에 미치지 못하는 약 10^4 PFU/mL의 파지가 확인되었다.

초기 파지 수가 감소하는 이유로는 필름에 접종한 파지의 농도가 최적 조건이 아니거나 건조 시 파지의 변성 및 필름 구조에 따른 파지 방출 정도와 같은 다양한 원인에 의해 나타날 수 있다. 따라서 필름 내 최적 효율의 파지 농도를 확인하기 위해 필름에 다양한 농도의 파지를 접종하여 0일차에 필름 내 파지 수를 비교하고 최적 효율의 파지 농도를 확인할 필요가 있다. 또한 건조에 따른 바이러스 캡시드의 변성이 방출되는 파지의 역가에 영향을 미친 것

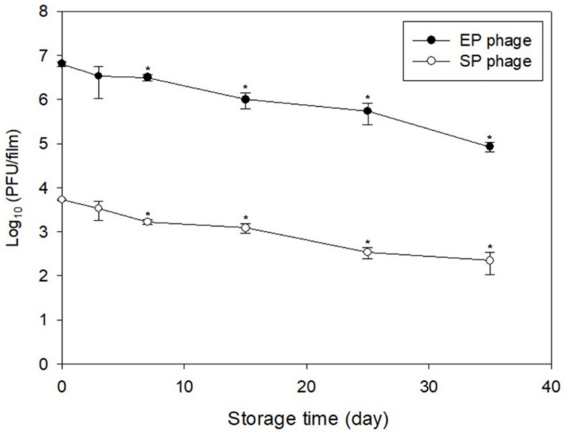

Fig. 1. Stability of the *E. coli* phage (EP) and *S. aureus* phage (SP) in the 3% gelatin film up to 35 days. *, a significant difference ($p<0.05$).

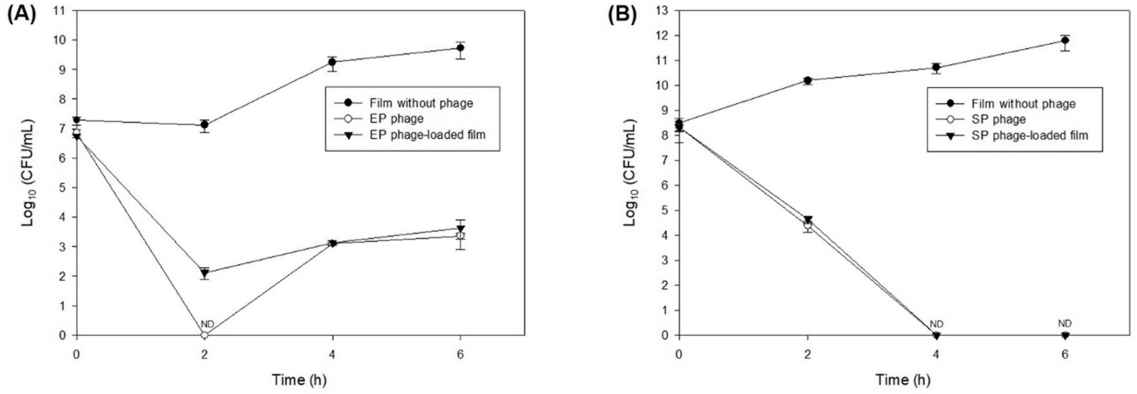

Fig. 2. Antibacterial activities of the phages (A) EP and (B) SP in 3% gelatin film up to 6 h. The detection limit of the assay was 100 PFU/mL. ND, not detected.

이라고 사료된다[19]. 그러나 건조로 인한 파지의 변성은 가소제의 함입으로 일부 제어할 수 있음이 밝혀졌다[12]. 또는 젤라틴의 미세구조가 파지의 방출을 제한하여 초기 함입 PFU 수를 달성하지 못하였을 수 있다[20]. 결과적으로 필름 내 파지 활성이 고분자 구조에 의해 영향을 받는다는 것을 보여준다. 이에 따라 필름에 다양한 농도의 파지

파지가 로딩된 필름은 빠른 살균 효과를 나타냈다. EP가 함입된 필름은 접종 2시간 후 4.6-log CFU/mL의 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890를 저해하였다. 6시간 보관 시 저항성 균의 생성으로 인해 균 재성장이 발생하였으나, 여전히 대조군과 비교하여 약 99.99999% (7-log CFU/mL)의 감소율을 보였다(Fig. 2A). SP가 함입된 필름은 접종 4시간 후 황색포도상구균 ATCC 29213을 검출 한계 이하까지 제어하였으며 6시간까지 유지되었다(Fig. 2B). 두 파지 필름은 파지만 단일 접종 실험 군과 비슷한 경향의 균 저해능을 보였으며 이러한 결과는 파지 EP와 SP의 항균활성이 용액 건조 단계 후에도 같은 수준으로 유지되므로 젤라틴 필름이 파지의 항균능력을 보존할 수 있음을 보여준다[12]. 따라서 본 연구에서 개발된 파지 필름은 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890와 황색포도상구균 ATCC 29213의 생육 제어를 위한 생물학적 방제제로서 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 항균 코팅액의 고사리 적용

실제 식품 모델에 대한 코팅의 미생물 감소 효과를 조사하기 위해 공정 단위의 오염된 고사리에 EP와 SP를 함유한 젤라틴 코팅을 적용하였다. 파지 젤라틴이 코팅된 고사리는 2시간부터 통계적으로 유의적으로 병원균을 감소시켰다(Fig. 3). 전반적으로 대조군은 시간이 지날수록 균 수가 증가하는 반면, 코팅 처리군은 균 수가 증가하지 않았다. 파지 코팅의 항균력은 6시간 동안 유지되었으며 고사리 표면의 병원성 대장균 O157:H7 ATCC 43890는 대조군의 8.5-log CFU/mL보다 2.0-log CFU/mL 낮은 6.5-log CFU/mL가 검출되어 미생물 생장이 억제되었다(Fig. 3A). 황색포도상구균 ATCC 29213은 6시간 후 7.2-log CFU/mL로 증가하였으나 코팅 처리한 고사리에서는 5.7-log CFU/mL

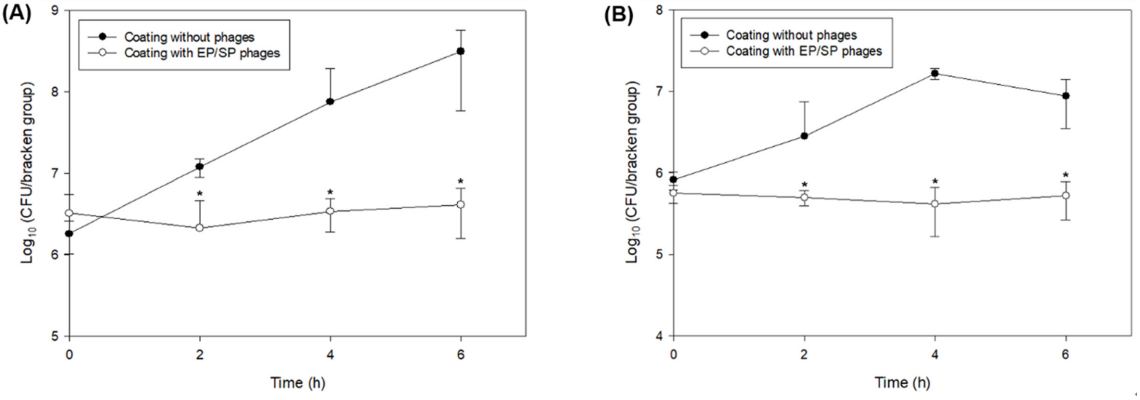

Fig. 3. Antibacterial activities of 3% gelatin coating with EP/SP (phages ratio of 1:1) and 3% gelatin coating without EP/SP in bracken. *, a significant difference ($p<0.05$).

가 검출되어 1.5-log CFU/mL가 감소하였다(Fig. 3B). 이러한 결과는 이전 연구와 같이 젤라틴에 파지를 적용하면 식품 표면에 파지를 고정하고 병원체의 성장을 제어할 수 있음을 보여준다[8]. 또한 이전 연구에서는 치즈에서 황색포도상구균에 대한 젤라틴-파지 필름의 효능을 평가했으며, 가식성 포장이 미생물 오염을 제어하기 위한 효과적인 접근 방식이라고 보고했다[8]. 더불어 젤라틴 코팅은 수분을 장기간 보존하여 표면의 건조를 방지하고 파지가 활동하기 좋은 환경을 구성할 수 있다[12]. 또한 수성 환경에서는 파지가 자유롭게 이동할 수 있으므로 빠르게 병원균을 감염시킬 수 있다[12]. 이러한 결과는 폴리비닐알코올에 파지 PBSE191을 첨가하여 달걀 껍질에서의 지속적인 항균 활성을 밝힌 연구에서도 보고되었다[21]. 따라서 본 연구에서 개발된 항균 코팅액이 실제 대량의 원물을 다루는 산업 현장에서 활용될 수 있음을 입증하였다.

3. 코팅액의 처리에 따른 고사리의 품질변화

항균 코팅액의 처리에 따른 고사리의 시각적인 외관평가를 진행하였다. 코팅액을 처리한 고사리는 대조군과 육안으로 구별할 수 없었으며, 색 변화와 건조 등의 두드러진 변화가 나타나지 않았다(Fig. 4). 또한 코팅 중 고사리 머리의 탈락 및 외관적인 손상이 일어나지 않았다. 따라서 코팅액 및 코팅처리가 고사리의 품질을 변화시키지 않음을 알 수 있었다.

대조군 및 코팅된 고사리의 시간에 따른 무게 감소의 변화는 Fig. 5A에 제시되었다. 보관 기간 동안 코팅 처리되지 않은 대조군은 지속적으로 무게 손실률이 증가하였다. 그러나 코팅된 고사리는 보관 8일차부터 대조군과 비교하여 유의미한 무게 감소 차이를 나타냈으며, 무게 손실률이 둔화되었다(p<0.05). 또한 10일차까지 지속적인 무게 감소 방지능을 보였다. 이는 코팅액의 도포가 저장 중 수증기 장벽과 물리적 장벽을 형성하여 무게 감소를 최소화할 수 있음을 나타낸다[22]. 이런 결과는 딸기에 젤라틴 코팅을 처리하여 품질 변화를 지연시킨 연구에서도 동일한 결과를 관찰할 수 있다[23].

식품의 경도 변화는 물리적 손상을 방지할 수 있어 저장성과 유통기한을 결정하는 요소이다[24]. 비처리군과 코팅처리군의 저장 중 경도 변화는 Fig. 5B에 제시되었다. 비처리군 및 코팅처리군 모두 저장 기간 동안 점진적으로 미세한 경도의 감소가 발생하였다. 0일차 대비 10일차에 각각

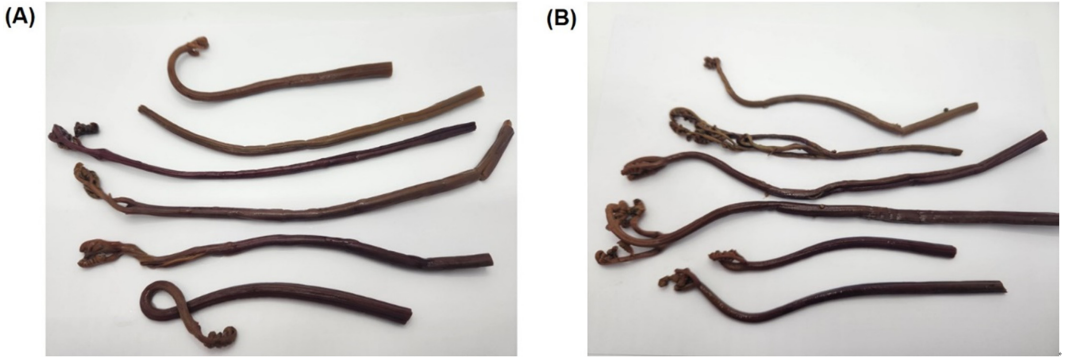

Fig. 4. Comparison of the appearances of brackens (A) uncoated and (B) coated with EP/SP.

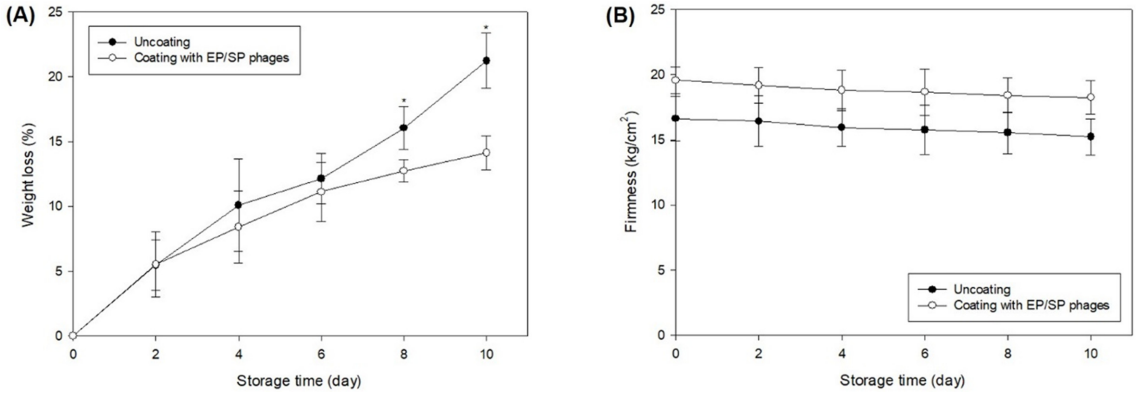

Fig. 5. Comparison of (A) weight loss and (B) firmness between uncoated and coated with EP/SP of brackens up to 10 days. *, a significant difference (p<0.05).

1.5 kg/cm^{2}와 1.3 kg/cm^{2}의 경도가 감소하여 비처리군이 비교적 넓은 감소폭을 보였으나 대조군과 실험군 모두 유의한 감소를 보이지 않았다(p<0.05). 이러한 결과는 코팅처리가 저장 중 고사리의 경도에 유의미한 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 파지가 함입된 항균 젤라틴 코팅은 고사리의 품질 변화 방지 및 유통기한을 연장하기 위한 활성 포장재로 사용될 수 있다.

결 론

산채류의 미생물 안전성을 확보하기 위해 젤라틴에 천연 항균소재인 파지를 함입하여 새로운 코팅제를 개발하였다. 이를 위해 병원성 대장균 O157:H7과 황색포도상구균을 특이적으로 용해하는 새로운 파지인 EP와 SP가 분리되었다. 두 파지는 젤라틴 코팅막 내에서 각각 3일까지 안정성을 유지하였으며 2시간부터 빠르게 항균 활성을 보이므로 생물학적인 방제제로서의 잠재력을 가지고 있었다. 또한 공정 단위의 고사리에 적용하였을 때 2시간 이내로 빠르게 병원균을 감소시켰으며 6시간까지 그 항균능을 유지하였다. 코팅 처리군의 외관평가 결과, 가시적인 손상이 일어나지 않았으며 보관 8일차부터 무게 감소율에 유의적인 차이가 나타났다. 결론적으로 본 연구에서 개발된 항균 코팅액은 산업 현장에서 적용 가능하며 산채류의 미생물 안전성을 증진할 수 있는 새로운 활성 포장재임을 입증하였다.

감사의 글

이 성과는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(No. 2021375A00-2323-BD02)의 지원을 받아 수행된 연구 입니다. 또한, 본 연구는 서울여자대학교 학술연구비의 지원을 받아 진행되었습니다(2024-0151).

참고문헌

1. Luna-Guevara, J.J., Arenas-Hernandez, M.M., Martínez de la Peña. C., Silva, J.L., Luna-Guevara. M,L. 2019. The role of pathogenic E. coli in fresh vegetables: Behavior, contamination factors, and preventive measures. Int. J. Microbiol. 2019.
2. Kang, J.H., Park, S.M., Kim, H.G., Son, H.J, Lee, K.Y., Kang, K-N., Park, J.T., Song, K.B. 2016. Combined treatment of aqueous chlorine dioxide, organic acid, and blanching for microbial decontamination of wild vegetables after harvest. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 45:277-283.
3. Cho, J., Yang, S., Yu, S., Kim, B., Jang, H., Chon, S., Park, Y., Heo, B. 2005. The actual distributing states of the fresh wild vegetables at five-day traditional markets in Jeonnam district. Korean J. Hortic. Sci. 23:396-401.
4. Choi, S-H., Kwon, S-C. 2016. A study on microbiological hazards in sterilization processing of pteridium aquilinum and platycodon grandiflorum. JKAIS. 17:646-653.
5. Lim, G-Y., Park, D.W., Lee, Y-D., Park, J-H. 2018. Isolation and characterization of bacteriophages for the control of shiga toxin-producing E. coli. Korean J. Food Sci. Technol. 50: 594-600.
6. Nguz, K., Shindano, J., Samapundo, S., Huyghebaert, A. 2005. Microbiological evaluation of fresh-cut organic vegetables produced in Zambia. Food Control. 16:623-628.
7. Truchado, P., Gómez-Galindo, M., Gil, M., Allende, A. 2023. Cross-contamination of Escherichia coli O157: H7 and Listeria monocytogenes in the viable but non-culturable (VBNC) state during washing of leafy greens and the revival during shelf-life. Food microbiol. 109:104155.
8. Amarillas, L., Lightbourn Rojas, L., Angulo Gaxiola, A.K., Basilio Heredia, J., González Robles, A., León?Félix, J. 2018. The antibacterial effect of chitosan?based edible coating incorporated with a lytic bacteriophage against Escherichia coli O157: H7 on the surface of tomatoes. J. Food Safety. 38:e12571.
9. Kim, S.Y., Min, S.C. 2017. Development of antimicrobial edible films and coatings: a review. Food Sci. Ind. 50:37-51.
10. Valdes, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A., Garrigós, M.C. 2017. State of the art of antimicrobial edible coatings for food packaging applications. Coatings. 7:56.
11. Li, N., Zhang, R., Yang, X., Lin, D. 2023. Bacterial cellulose nanofibers used as nanofillers improved the fresh keeping performance of gelatin based edible coating for fresh cut apples. J. Food Sci.
12. Weng, S., López, A., Sáez-Orviz, S., Marcet, I., García, P., Rendueles, M., Díaz, M. 2021. Effectiveness of bacteriophages incorporated in gelatine films against Staphylococcus aureus. Food Control. 121:107666.
13. Scartazzini, L., Tosati, J., Cortez, D., Rossi, M., Flôres, S., Hubinger, M., Di Luccio, M., Monteiro, A. 2019. Gelatin edible coatings with mint essential oil (Mentha arvensis): Film characterization and antifungal properties. J. Food Sci. Tech. 56:4045-4056.
14. Tkaczewska, J., Jamróz, E., Kasprzak, M., Zając, M., Pająk, P., Grzebieniarz, W., Nowak, N., Juszczak, L. 2023. Edible coatings based on a Furcellaran and gelatin extract with herb addition as an active packaging for carp fillets. Food Bioprocess Tech. 16:1009-1021.
15. Chen, J., Luo, L., Cen, C., Liu, Y., Li, H., Wang, Y. 2022. The nano antibacterial composite film carboxymethyl chitosan/gelatin/nano ZnO improves the mechanical strength of food packaging. Int. J. of Biol. Macromol. 220:462-471.
16. García-Anaya, M.C., Sepulveda, D.R., Rios-Velasco, C., Acosta-Muñiz, C.H. 2023. Incorporation of A511 bacteriophage in a whey protein isolate-based edible coating for the control of Listeria monocytogenes in Cheese. Food Packag. Shelf Life.37:101095.
17. Sezer, B., Tayyarcan, E.K., Boyaci, I.H. 2022. The use of bacteriophage-based edible coatings for the biocontrol of

Salmonella in strawberries. Food Control. 135:108812.
18. Choi, J., Chang, Y. 2023. Complete genome sequence of bacteriophage EO1, which infects both Escherichia coli O157: H7 and Shigella. Microbiol. Resour. Announc. e00177-00123
19. Huang, K., Nitin, N. 2019. Edible bacteriophage based antimicrobial coating on fish feed for enhanced treatment of bacterial infections in aquaculture industry. Aquaculture. 502:18-25.
20. Li, Y.X., Zhong, C., Zhang, H.Z., Zhao, Y.Y., Shu, M., Wu, G.P. 2022. Effectiveness of bacteriophage JN01 incorporated in gelatin film with protocatechuic acid on biocontrol of Escherichia coli O157: H7 in beef. Int. J. Food Sci. Tech. 57:3503-3514.
21. Kim, S., Chang, Y.. 2022. Anti-Salmonella polyvinyl alcohol coating containing a virulent phage PBSE191 and its application on chicken eggshell. Food Res. Int. 162:111971.
22. Choi, J., Lee, J-S., Han, J., Chang, Y. 2023. Development of gelatin–sodium caseinate high-oxygen-barrier film containing elderberry (Sambucus nigra L.) extract and its antioxidant capacity on pork. Food Bioscience. 53:102617.
23. Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, A., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M., Hassani Zerrouk, M. 2018. Gelatin-based edible coating combined with Mentha pulegium essential oil as bioactive packaging for strawberries. J. Food Quality. 2018.
24. Zhang, Y-L., Cui, Q-L., Wang, Y., Shi, F., Liu, Y-P., Liu, J-L., Nie, G-W. 2021. Effect of carboxymethyl chitosan-gelatin-based edible coatings on the quality and antioxidant properties of sweet cherry during postharvest storage. Sci. Hortic-amsterdam. 289:110462.