

오이 재배방법에 따른 과실 생육과 수확후 필름포장에 의한 품질 비교: 수확전 재배환경과 수확후 포장 처리에 따른 영향 분석 및 조절된 매개 모형을 이용한 모델링

이정수*

국립원예특작과학원

Growth and Postharvest Quality Characteristics of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) as Affected by Cultivation Method and Postharvest Film Packaging: Analysis of Preharvest and Postharvest Factors and Modeling via a Moderated Mediation Model

Jung-Soo Lee*

National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, WanJu, 58500, Korea

Abstract This study investigated the effects of cultivation method (open-field vs. greenhouse cultivation) and post-harvest film packaging on quality changes in cucumbers during storage at 10°C. At harvest, open-field-grown cucumbers had greater fruit weight and length, as well as higher firmness and chlorophyll content, whereas greenhouse-grown cucumbers had higher flesh moisture content. These results indicated that preharvest cultivation conditions affected fruit growth and initial quality characteristics. During storage, the effects of cultivation method on firmness and chlorophyll content persisted to some extent, whereas fresh weight loss was more strongly affected by film packaging, indicating that postharvest treatment could modify quality characteristics formed before harvest. Similarly, changes in moisture content during storage were more strongly affected by film packaging than by cultivation method, with greater changes observed in non-packaged cucumbers. Moderated mediation analysis showed that postharvest film packaging (P) moderated the pathway through which initial quality characteristics (H), formed by preharvest cultivation method (C), affected cumulative quality changes (Y, AUC) during storage. Based on these findings, this study proposes the concept of “Variation in quality and morphology across pre- and post-harvest stages,” termed SuHyoung Variation, to describe the continuous changes in quality characteristics initially formed before harvest as they are subsequently modified by postharvest factors such as packaging and storage conditions. In conclusion, these results demonstrate the importance of linking preharvest cultivation conditions with postharvest management to maintain cucumber quality and marketability during storage.

Keywords Cucumber, Storage temperature, Film packaging, Marketability

서 론

원예작물의 재배방법 등 수확전 요인을 고려한 수확후 처리에 의한 품질관리에 대한 검토가 요구되고 있다¹⁾. 오이는 노지재배뿐만 아니라 비닐하우스와 같은 시설재배로 통해

연중 생산되고 있으며²⁾, 국내에서는 수확후 상온에서 유통 관리되어 소비자에게 공급되고 있다³⁾. 오이의 유통은 수확 후 신선상태로 온도 관리 없이 출하되고 있어 수확후의 품질관리가 부족하여 상품성 저하에 대한 우려가 있을 뿐만 아니라⁴⁾ 수확전 요인에 따른 고려가 전무한 실정이다. 오이는 불량한 저장·유통 환경 하에서 과피의 색택 변화와 같은 품질 저하로 인해 문제가 발생되어 유통 중에 약 20% 정도 감모가 발생하는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 오이를 10~12°C에서 저장하는 것이 품질 유지에 효과적인 것으로 알려져 있으며²⁾, Park과 Kim⁵⁾은 MA 필름포장이 오이의 품질 유

*Corresponding Author: Jung-Soo Lee
National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, WanJu, 55365, Korea
Tel: +82-63-5346-6420
E-mail: ljs808@korea.kr

지에 효과적이라고 보고하였고, Lee 등⁶⁾은 원예작물 저장 시 포장의 효과에 따라 수확후 상품성이 따라 달라질 수 있다고 하였다. 오이는 다른 원예산물과 마찬가지로 수확후 관리 요건뿐 만 아니라 수확전 요인과 같은 다양한 요소에 의해 영향을 받을 수 있지만⁷⁾, 이에 대한 연구가 미비한 실정이다. 따라서 수확전 재배요인에 의해 형성된 품질 차이를 파악하고, 품질 특성이 수확 후 관리에 따라 변화 정도를 분석하여 수확 전·후 요인이 품질 변화에 미치는 관계를 규명할 필요가 있어, 재배방법에 의해 형성된 수확 시 품질 특성이 수확후 필름포장에 따라 저장 중 변화를 조사하고, 조절된 매개모형을 적용하여 수확 전·후 요인이 품질 변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구를 통해 수확 전 재배환경이 수확후 저장 품질 간에 미치는 인과관계를 구명함으로써, 향후 원예산물의 수확후 품질 유지 기술 개발을 위한 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1. 재배와 저장 방법

오이의 재배방식에 따른 생육 특성을 검토하고자, 실험 재료는 '베테랑'(해오름종묘, 한국)을 이용하였으며, 재배방법은 노지재배와 비닐하우스를 이용한 시설재배로 구분하였

다. Fig. 1과 같은 형태로 노지재배 오이는 홍천에서, 시설재배 오이는 천안의 비닐하우스에서 두께 0.15 mm의 PO (polyolefin) 필름으로 피복한 '농가보급형 온실 1-2W형' 연동형에서 같은 시기에 재배하여 수확한 것을 이용하였다. 수확한 오이는 저온 저장 중 필름 포장 여부에 따른 선도 유지 효과를 검토하고자, Fig. 2와 같이 플라스틱 용기(53 × 35 × 9 cm)에 4 kg을 선별하여 담았으며, 포장 방법은 필름 포장 여부에 따라 무포장과 유공 PE(Polyethylene, 두께: 20 μ m, 편향간격: 1 × 1 cm, Φ = 1 mm, 70 × 60 cm) 필름('습쉬는 저장비닐', 탑프레쉬, 한국)으로 구분하였다. 수확후 저장은 일반 매장에서 사용되는 쇼케이스형 냉장고(Zikor, Samsun Inc., Korea)에서 10 ± 1°C에서 하였다. 품질 변화의 시기별 기술을 위해 수확 직후(0일)를 초기, 7~14일을 중기, 21~28일을 후기로 구분하였다.

2. 생육조사

오이 과실 생육 조사는 농촌진흥청 조사기준표⁸⁾에 따라 과중·과고·과폭 등을 측정하였다.

3. 생체중량 변화

입고 시 초기 중량과 1주 간격으로 측정된 생체중량의 차이를 계산하여 생체중량 감소 정도를 백분율로 산출하였다.



Fig. 1. 'Veteran' cucumber grown under differnt cultural methods in Korea. (A) 'Veteran' cucumber on open field culture; (B) 'Veteran' cucumber on plastic house culture.



Fig. 2. Different packaging types of cucumber in plastic box with or without inner PE(polyethylene) film. (C) 'Veteran' cucumber in unpackaged plastic box; (D) 'Veteran' cucumber in plastic box with PE film packaging.

4. 경도

경도는 Lee 등⁹⁾의 방법을 참고하여 물성측정기(Texture analyzer TA.XT2, SMS, Godalming, UK)를 이용하였다. 오이 과피와 과육의 경도는 탐침법(probing)으로 직경 5 mm의 plunger를 이용하여 depression limit 25 mm, test speed 2 mm·sec⁻¹ 조건에서 측정하였다.

5. 수분 함량

오이를 1주 간격으로 과육 부분을 샘플링하여, 농촌진흥청 조사기준표⁸⁾에 따라 105°C 건조법에 의해 생체중과 건물중을 측정하여 수분함량을 백분율로 환산하여 나타내었다.

6. 가용성고형물(Solid soluble contents)

가용성고형물(SSC)은 농촌진흥청 조사기준표⁸⁾에 따라 과육 부위를 채취한 후 착즙하여 디지털당도계(PAL-1, Atago Co. LTD, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

7. 색상 변화

색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 오이 꼭지쪽의 상단 부위에서 색상차를 조사하였다. McGuire¹⁰⁾와 Cho 등¹¹⁾의 보고에 따라 색상차는 lightness*(명도), hunter a*(red-green)와 b*(yellow-blue)값을 측정하였으며, 측정된 값으로부터 hunter a*와 b*값을 이용하여 hue angle(°)값을 환산하였다. 계산 시에 $a^* > 0$ 이고 $b^* > 0$ 일 때 hue angle(°) = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ 식을, $a^* < 0$ 이고 $b^* > 0$ 일 때 hue angle(°) = $180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$ 식을 적용하여 산출하였다.

8. 총 엽록소 함량(Total chlorophyll Content)

Nagata¹²⁾의 방법을 참고하여, 시료 5 g을 80% 아세톤으로 추출 후 원심분리하여 spectrophotometer(Du-650, Bio Tek Instrument Inc., USA)를 이용하여 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하고, 총 엽록소 함량을 산출하였다.

9. 선도 및 외관의 변화

Jeong 등¹³⁾의 방법을 참고로 하여 외관의 선도 변화에 의한 상품성 지수를 5명의 평가원들이 1주 간격으로 오이의 색, 형태 변화, 신선도 등을 상등급에서 하등급까지 5단계를 두어 조사하였다. 평가 기준은 4점 = 매우 신선, 수확 당시와 유사; 3점 = 선도 약간 저하, 광택 비슷, 시장판매 가능; 2점 = 선도저하, 변색, 시장성 상실; 1점 = 연화 시작, 짓무름 및 부패시작; 0점 = 식용불가로 설정하였다. 상품성 평가와 함께 외관 변화를 촬영하였다.

10. 통계분석 및 모델링

재배와 수확후 저장 실험 처리 분석은 완전임의 5반복으로 통계 처리하였다. 재배방법에 따른 생육 특성 분석은 T-

test로 실시하였고, 수확후 특성은 분산분석(ANOVA)을 수행하였으며, 평균 간의 유의차 검증은 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의수준 $p < 0.05$ 에서 분석하였으며, 통계분석은 SAS(ver.9.2, SAS Inc., USA)를 이용하였다. 모델링을 위한 통계 기법과 분석은 수확전 재배환경이 수확시 초기 품질 특성을 경유하여 저장 중 누적 품질 변화량에 미치는 인과 경로를 구명하고, 수확후 포장 처리에 의한 저장 중의 선도유지 조절효과를 검증하고자 Hayes¹⁴⁾가 제안한 PROCESS Macro에 기반한 조절된 매개모형(Moderated Mediation Model)을 적용하였다. 실험 요인은 수확전 요인인 재배방법 2수준[노지재배(독립변수 C = 1), 시설재배(C = 0)]과 수확후 요인인 포장처리 2수준[필름포장 여부(조절변수 P = 1), 무포장(P = 0)]으로 설정하였다. 본 연구는 다수의 품질지표를 하나의 모형에 동시에 포함하는 복잡한 다중 지표 구조 대신에 선별된 주요 품질 지표(생체중량 감소율, 과피 경도, 총 엽록소 함량)별로 개별적으로 매개 분석을 수행하여 해석의 명확성을 확보하고자 하였다. 매개변수(H)는 포장 처리 전 수확 시점에서 측정한 품질 특성의 측정치로 설정하였으며, 종속변수(Y)는 28일간의 저장 기간 동안 발생하는 각 품질지표에서 나타난 변화 추이를 통합하여 정량화한 곡선하면적(Area Under the Curve, AUC)을 적용하여 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 생육

오이 재배방법에 따라 수확한 과실 생육 등에서 차이가 나타났다. 오이는 재배방식에 따라 과실의 생육뿐만 아니라 내부 품질 특성에서도 차이를 보여, 시설재배와 노지재배 간에 과중, 과고와 같은 외형적으로 보이는 형태적인 생육량 차이뿐만 아니라, 경도·수분함량·엽록소 함량 등 내부 조직 구성과 관련된 품질 특성에서도 차이를 확인할 수 있었다. 오이의 시설 또는 노지와 같이 재배방법을 달리하여 수확한 오이 생육은 Table 1과 같이 과중·과고 등의 외형적 생육과 경도나 수분함량 등의 조직 구성에서 유의차이를 보였다. ‘베테랑’ 오이의 생육에서 과중은 노지재배에서 247.9 g으로 시설재배의 194.8 g 보다 무거웠으며, 과고는 노지재배에서 25.1 cm로 시설재배의 22.5 cm보다 길게 나타나, 노지재배가 더 큰 것으로 나타났다. 생육 특성 외에도 내부 품질 지표인 경도, 수분함량, 엽록소 함량에서 유의차이를 보였다. 과피 경도뿐만 아니라 과육 경도에서도 유의적인 차이를 보였는데, 과피에서 노지재배 오이가 40.4 N인데 반해 시설은 33.7 N이었고, 과육은 노지재배 오이가 24.6 N으로 시설재배 오이의 22.2 N에 비해 높게 나타나, 노지재배 방식의 오이 과실 조직이 더 단단한 경향을 보였다. 과실의 표면 색도를 나타내는 L*, a* 및 b*값에서 재배방식 간에 통계

Table 1. Growth parameters of ‘Veteran’ cucumber as affected by cultural methods

Cultural method ¹⁾	Fruit			Soluble solids content (°Brix)	Fruit firmness (N)		Moisture content (%)	Fruit color			Hue angle (°)	Total chlorophyll (µg·mL ⁻¹)
	weight (g)	height (cm)	width (cm)		skin	flesh		L*	a*	b*		
Open field culture	247.9	25.1	37.1	2.9	40.4	24.6	95.8	59.2	-16.2	30.4	118.1	23.5
Plastic house culture	194.8	22.5	34.3	2.9	33.7	22.2	96.6	64.7	-15.7	29.4	117.6	11.4
T-test	*	**	NS	NS	*	*	*	NS	NS	NS	NS	*

¹⁾Refer to Fig. 1 for cultural method.

적인 유의차가 인정되지 않았는데, 명도를 나타내는 L*값은 노지재배가 59.2이고 시설재배가 64.7이었으며, 적색도를 나타내는 a*은 각각 -16.2와 -15.7, 황색도를 나타내는 b*은 각각 30.4와 29.4로 조사되었으며, hue angle에서 노지재배가 118.1°와 시설재배가 117.6°로 나타나, 재배방식 간에 색상에 따른 유의차이는 인정되지 않는 것으로 보였다. 총 엽록소 함량은 노지가 23.5 µg·mL⁻¹이었고 시설오이가 11.4 µg·mL⁻¹이며, 수분함량은 노지가 95.8%인데 시설이 96.6%으로, 수분함량을 제외한 정도, 총 엽록소 함량 등은 노지재배와 같은 생산 방식에서 높게 나타났다. 본 결과에서 재배방식에 따라 오이의 생육은 시설재배보다 노지재배가 다소 양적으로 크고 총 엽록소 함량 등이 높아, 과실 크기와 같은 외관적인 성상이 달라져 보였다. 본 연구에서 ‘베테랑’ 오이가 동일 품종임에도 불구하고 생육 및 품질 특성의 차이를 보인 것은 재배 환경의 차이에 따른 결과로 판단된다. Park¹⁵⁾, Ku 등¹⁶⁾, Kim 등¹⁷⁾, Lee 등¹⁸⁾과 Choi 등¹⁹⁾의 연구에 따르면, 시설재배는 노지에 비해 주간온도가 높은 반면에 노지재배는 시설보다 광환경이 약 30~40% 높은 것으로 보고되어 있어, Lee 등¹⁸⁾이 시설 조건에 따라 작물이 재배되는 환경에 따라 생육차이가 발생할 수 있음을 보여준 결과와 같이 재배 시 수확전 환경과 같은 가변적 요인 차이가 오이와 같은 원예작물의 생육과 품질 특성 형성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

2. 생체중량

수확후 저장 중의 오이 생체중량 감소율은 수확후 포장 여부에 따라 차이를 보였다. ‘베테랑’ 오이의 저장 중 생체중량 감소율은 저장 초기는 재배방법에 따른 영향이 일부 확인되었으나, 저장 기간이 경과함에 따라 수확후 포장처리의 영향이 더 크게 작용하는 것으로 나타났다. Fig. 3에서 ‘베테랑’ 오이를 10°C 저장 시, 생체중량 변화에서 수확후 저장 7일째 무포장한 시설재배 오이가 4.3%이고, 노지재배 오이가 2.8%의 생체중량 감소를 보였으며, 필름포장 처리에서 노지·시설재배 처리 간 차이가 거의 나타나지 않으며 약 0.3% 수준으로 유지되었다. Lee 등⁴⁾의 보고와 같이 수확후

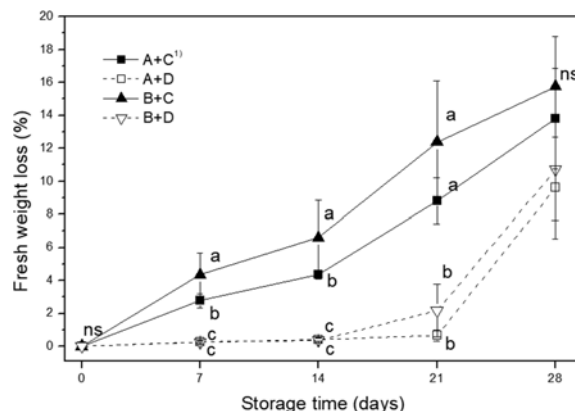


Fig. 3. Change in fresh weight loss of cucumber cultivar, ‘Veteran’ as affected by cultural method and film packaging at 10°C. a-cSmall letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. 1) Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

필름포장이 수분 증산을 억제하여 생체중량 변화를 감소시키는 효과가 있는 것으로 보이며, 수확전 재배방법에 따른 효과는 포장에 의해 더 크게 영향을 받아서 상쇄하는 것으로 보인다. ‘베테랑’ 오이 저장 21일째에 무포장 처리에서 8.8~12.4%의 생체중량 감소가 나타난 반면, 필름포장 처리에서 0.7~2.2% 수준으로 낮은 감소율을 보였으나, 저장 28일째에는 개체 간의 변이가 커져서 처리에 따른 일정한 경향을 명확히 판단하기 어려웠다. 오이 수확전 재배방법에 의해 형성된 특성이 저장 초기에도 영향을 미치지만, 포장과 같은 수확후 처리 요인이 저장이 진행될수록 품질 변화에 더 큰 영향을 미쳐 생체중량에 변화를 가져온 것으로 보인다. 농산물 저장 중의 생체중량 변화는 저장고 내 유니트쿨

리(unit cooler)에서 발생하는 공기의 증기압차로 인해 제습되면서 저장된 농산물의 수분손실로 인하여, 저장된 농산물의 생체중량 감소가 발생하는 것으로 알려져 있다^{20,21)}. 본 연구에서 생체중량 변화는 수확전 재배방법에 따른 초기 차이가 수확후 필름 포장처리로 인하여 수분손실을 억제하여 수확전 차이가 상쇄되어서, 수확후 품질 변화에 의한 차이를 막아주고 저장성을 개선하는 것으로 나타났다. 또한 생체중량 변화는 수확전 재배방법과 수확후 포장 여부에 따라 영향을 받았으나, 필름포장 처리는 재배방법에 관계없이 저장 초기 생체중량 감소율이 낮은 수준으로 유지되었으며, 저장 21일째에 무포장보다 생체중량 감소가 억제되어서, 저장 중 생체중량 변화는 수확전 재배방법보다 수확후 필름포장의 영향이 상대적으로 크게 작용한 것으로 판단된다. 오이의 수확전 재배방법은 수확 시 생체중을 결정하는 주요 요인이지만, 수확후 포장 처리에 의해 생체중 감소율이 크게 영향을 받는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 수확 시에 형성된 품질 특성이 수확후 포장과 같은 처리를 통해 저장 중 영향을 받아 변화될 수 있는 것을 보여주어 수확 전·후 관리기술을 연계하는 것이 저장 효율과 상품성을 유지하는 데 효과적인 것으로 판단된다.

3. 과피 경도

오이 과피의 경도는 수확전 재배방법의 영향이 저장 중 일정 기간 유지되는 것으로 나타났다. ‘베테랑’ 오이 과피 경도는 수확전 재배 환경에 의한 영향이 저장 초기부터 중기까지 유의미하게 유지되는 것으로 나타났으나, 경도는 필름 포장 여부에 따라 수확후에 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 본 연구 조사에서 ‘베테랑’ 오이 과피의 경도는 재배방법에 따라 다른 것으로 나타났으며, 수확후 저장 중에도 수확전 영향이 지속되고 있었다. Fig. 4에서 ‘베테랑’ 오이의 과피 경도는 재배방법에 따라 노지재배 오이가 수확 직후 40.4 N으로 시설재배의 33.7 N보다 높게 나타났으며, 저장 기간이 경과함에 따라 노지재배 오이는 저장 7일째에 포장과 무포장 처리가 39.6~37.7 N으로 감소하며 점진적으로 하락하는 경향을 보인 반면, 시설재배 오이는 포장과 무포장 처리가 32.4~32.5 N으로 수확 직후와 비슷한 수준을 나타내며, 개체 간 변동 속에 저장 초기에 대비하여 미미하게 상승하거나 일정 수준을 유지하는 양상을 보였다. 작물 경도 변화는 식물의 조직에서 과피 표면 수분의 증발로 생체중이 감소하고, 작물 내의 밀도 증가와 세포 간의 응집과 결합이 약해지면서 단단한 정도나 질감과 같은 특성이 변화하는 것으로 알려져 있다²²⁾. 본 조사를 통해 오이의 과피 경도는 수확후 포장 여부보다 수확전 재배방법에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 나타나서, 저장 기간 중 노지재배 ‘베테랑’ 오이는 과피 경도가 점진적으로 감소하는 경향을 보인 반면에, 시설재배 오이는 개체 간 변동은 있으나 저장

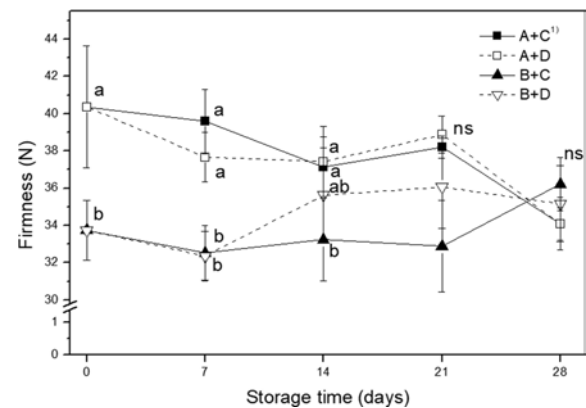


Fig. 4. Change in pericarp firmness of cucumber cultivar, ‘Veteran’ as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b}Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

초기와 유사한 수준을 유지하거나 일부 증가하는 상반된 양상을 보였는데, 수확후 포장 여부에 따른 경도 변화는 뚜렷한 차이가 없이 필름포장과 무포장 처리 모두 저장 중 유사한 변화 흐름을 나타냈다. 본 연구에서 ‘베테랑’ 오이의 과피 경도는 수확후 처리보다 수확전 재배환경에 의해 형성된 조직 특성의 영향을 더 크게 받는 것으로 보이며, 오이의 과피 경도는 수확전 재배환경에 의해 형성된 조직 특성 영향이 수확후에도 지속적으로 영향을 받아 품질 특성을 유지되는 것으로 생각되며, 수확후 포장 처리에 의한 영향은 다소 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

4. 과육 경도

오이 과육의 경도는 저장 중 감소하나, 저장 초에는 재배방법에 따라 차이를 다소 보였다. ‘베테랑’ 오이의 과육 경도는 수확 직후 노지재배에서 시설재배보다 높았으며, 저장 이 진행됨에 따라 노지재배 오이는 경도가 감소한 반면에 시설재배 오이는 상대적으로 유사한 수준을 유지하는 경향을 보여, 재배방법에 따라 저장 중 경도 변화 양상이 다르게 나타났다. Fig. 5에서 저장 동안 ‘베테랑’ 오이 과육의 경도는 재배방법별 무포장에서 노지재배 오이는 감소하고, 시설의 것은 비슷하게 유지되는 것으로 나타났으며, 수확후 필름 포장 여부에 따라 포장한 오이의 경우에 무포장보다 더 무른 것으로 보이며, 노지재배 오이의 경우에는 무포장보다

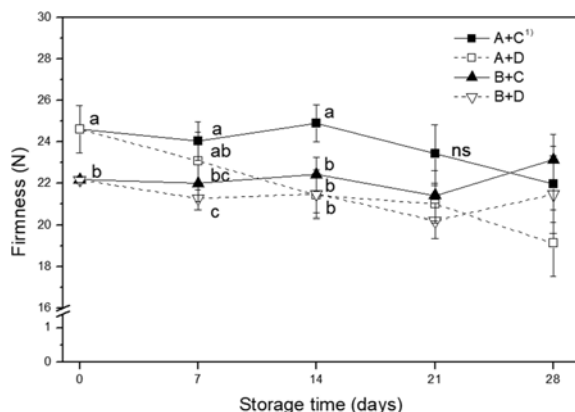


Fig. 5. Change in flesh firmness of the cucumber cultivar, 'Veteran' as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b} Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

필름포장에서 과육 경도 감소 폭이 다소 컸다. '베테랑' 오이 과육 경도는 수확 시 노지재배 오이가 24.6 N이며 시설재배 오이가 22.2 N으로 재배방법에 따른 저장 초기에 차이를 보였으며, 저장 7일째에는 노지재배 무포장 24.0 N이고 노지 포장 23.1 N, 시설 무포장 22.0 N, 시설 포장처리가 약 21~22 N 수준으로 감소하는 경향을 보여서, '베테랑' 오이 저장 기간이 경과함에 따라 개체 간 변이가 확대되며, 포장처리에서는 재배방법에 따른 초기 경도 차이가 점차 줄어들면서 수확전의 영향력이 약화되는 경향을 보였다. 일반적으로 필름포장은 내부의 높은 상대습도를 유지하여 증산을 억제하고 생체중 변화를 감소시키지만, 필름포장에 의해 형성되는 높은 상대습도와 변화된 가스 조성은 과실의 호흡과 에틸렌 대사뿐만 아니라 세포벽 분해효소 활성화에도 영향을 줄 수 있으며, 저장 중 조직의 연화 양상이 달라질 수 있는데^{23,24,25}, 본 연구에서는 필름포장에 의해 형성된 저장환경이 조직의 연화에 영향을 미쳐 경도 감소가 상대적으로 크게 나타나, 오이 포장 시 필름 기체투과 특성뿐만 아니라 저장 중 내부 습도 및 품종 특성 등에 의해 차이가 기인한 것으로 판단되며, 추가적인 생리적 기작에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구 조사에서 오이 과육의 경도는 수확전 재배방법에 의해 결정된 조직 치밀도가 영향을 미치지만, 수확후 필름 포장 여부에 의해서 저장시 포장과 같은 농산물의 미세환경이 과육 연화에 변수로 작용하는 것을 확인하였다. 오이 과육의 경도는 재배 특성에 따른 차이가 저

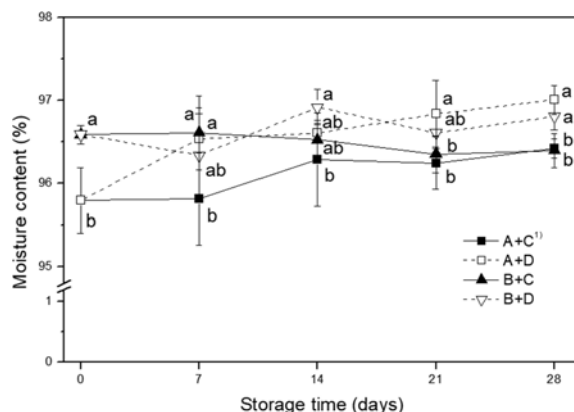


Fig. 6. Change in moisture content of cucumber cultivar, 'Veteran' as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b} Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

장이 진행 될수록 개체 간 변이가 확대되면서 수확전 영향력이 약화되는 경향을 나타냈다. 본 연구에서 오이 과피 경도는 수확전 재배환경에 의해 형성된 조직 특성이 수확후에도 유지되며, 주로 재배환경의 영향을 반영한 반면에 과육의 경도는 수확후 포장과 같은 저장환경의 영향을 상대적으로 크게 받아서 두 조직 간 저장 중 특성 변화 양상이 상이하게 나타나는 것으로 사료된다.

5. 수분 함량

오이는 재배 방법에 따른 수분함량이 저장 중 포장으로 인해 변화했다. '베테랑' 오이의 수분 함량은 수확 직후 재배 방법에 따라 차이를 보였으나, 저장 기간이 경과 중에 수확후 포장 처리가 수확전 요인보다 더 지배적인 영향을 미치며 초기 차이를 완화시키는 것으로 나타났다. Fig. 6에 나타난 바와 같이, 수확 직후 '베테랑' 오이의 수분 함량은 시설재배가 96.6%로 노지재배의 95.8%에 비해 높게 나타났으나, 저장이 진행됨에 따라 필름포장 처리에서는 수분함량이 비교적 높은 수준으로 유지되거나 소폭 증가하는 경향을 보인 반면에 무포장 처리에서는 상대적으로 낮은 수준을 유지하거나 감소하는 경향을 나타냈으며, 저장 28일째에는 필름포장 처리의 수분함량이 약 96.8~97.0%로 무포장 처리의 96.4%보다 높게 나타나서, 저장 후기로 갈수록 포장 여부에 따른 차이가 재배방법보다 더 크게 보였다. 오이 저장 시 수분 함량이 초기보다 높아지는 현상은 실제 물이 생기

는 것이 아니라 상대적인 비율 변화로 보이며, 수분함량 변화는 재배방법에 의해 형성된 초기 함량이 저장 중에는 포장여부에 의한 수분손실 억제 효과가 작용하여 더 큰 영향을 미쳐 함수량과 같은 가변적 성질 양상이 달라지는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 농산물의 품질이 수확 전 재배 조건에 의해 형성되는 초기 특성과 저장·유통 과정에서 수확 후 관리 요인이 복합적으로 작용하면서 지속적으로 변화함을 보여준다. 이에 본 연구에서 품질 변화 과정을 ‘수확 전·후 특성 형태 변화(Variation in Quality and Morphology across Pre- and Post-harvest Stages; 이하 수형변화)’라는 새로운 개념으로 제안하고자 한다. ‘수형변화’란 수확 전 요인(재배방법 등)에 의해 형성된 초기 품질 특성이 수확 후 요인(포장 처리 및 저장환경 등)의 영향을 받아 외형, 수분 상태, 대사활성 및 성분 변화가 연속적으로 진행되는 일련의 품질 변화 과정을 의미한다. 본 연구에서 수확 직후 시설재배와 노지재배 간 수분함량 차이가 재배방법의 영향을 반영하였으나, 저장 후기로 갈수록 필름포장이 수분손실을 억제하면서, 초기 차이가 점차 완화되는 현상이 대표적인 수형변화의 사례로 생각된다. 결과적으로 농산물의 최종 상품성은 수확전 형성된 품질에 의해 고정되는 것이 아니라, 수확후 관리기술과의 상호작용을 통해 지속적으로 변화하고 재형성되는 동적인 특성으로 이해할 필요가 있다. Lee²⁰⁾는 원예작물의 수확 시 수분 함량은 재배방법과 같이 수확전 요인에 의해서 차이가 나타난다는 보고와 같이, 본 연구에서도 오이는 수확후 포장을 통해 증산을 억제하여 생체중량 변화를 감소시키고, 과실 내 수분함량의 변화 양상이 달라지는 결과를 확인할 수 있었다.

6. 가용성고형물 (Soluble solid contents)

오이의 가용성고형물 함량은 수확 시 차이가 없었으나, 포장 여부에 따라 변화가 발생하였다. ‘베테랑’ 오이는 수확 시 재배방법에 따른 가용성고형물 함량의 차이가 나타나지 않았으나, 저장 기간이 경과함에 따라 감소하면서 수확후 포장 여부에 의해 변화 정도에 차이를 보였다. Fig. 7에서 오이 수확 시 가용성 고형물 함량이 노지와 시설 모두 2.9 °Brix로 재배방법에 따른 함량에 차이가 없었으나, 저장 7일째에 무포장구는 시설 2.0 °Brix 노지 2.1 °Brix로 감소한 반면에 필름 포장처리구는 시설 3.9 °Brix, 노지 3.3 °Brix로 상대적으로 높게 유지되어, 포장 여부에 따라 가용성고형물의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 가용성고형물의 함량이 저장 중 감소하는 것에 대해서 Choi 등²⁶⁾은 호흡과 같은 대사작용으로 인해 소모되어 감소하는 것으로 보았으며, Park와 Yoon²⁷⁾ 및 Choi 등²⁶⁾은 과일의 경우에 저장 후 전분의 당화현상으로 당도가 증가하여 가용성고형물의 함량이 높아지는 것으로 보았다. 오이는 비급등형 과채류로 분류되는데²⁸⁾, 저장 중 전분의 당화에 의한 당도 상승이 일어나지 않아,

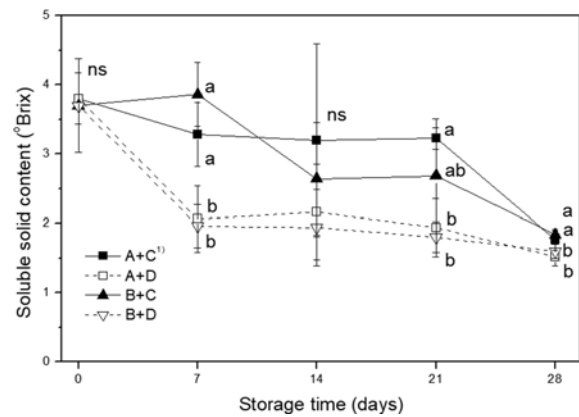


Fig. 7. Change in SSC(soluble solid content) of cucumber cultivar, ‘Veteran’ as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b}Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

오이와 같은 원예작물은 다른 변화 양상을 보이는 것으로 판단된다. 오이는 수확후 포장을 통한 호흡 억제와 수분 유지가 가용성고형물(SSC)을 보존하는데, 중요한 요인으로 작용하는 것으로 생각된다. 일부 과일에서 저장 중 전분 당화에 의해 당도가 증가하면서 가용성고형물 함량이 증가할 수 있다고 보고한 반면에, 비급등형 과채류인 오이²⁸⁾는 저장 중 당도 상승보다는 감소하는 것으로 나타나, 오이와 같은 원예작물은 저장 중 전분의 당화에 의한 당도 상승이 일어나지 않고, 다른 변화 양상을 대사 작용을 보이는 것으로 판단된다. 본 연구에서 저장 중 가용성고형물 함량이 감소하는 경향이 필름포장 처리에서 무포장 처리보다 상대적으로 높은 수준으로 유지되어, 수확후 포장에 의한 호흡 억제와 수분 유지가 가용성고형물 변화 정도에 영향을 미쳐 작용하는 것으로 생각된다. 이상의 결과에서 오이의 가용성 고형물 함량은 수확전 요인에 의한 영향보다 수확후 포장 여부에 의한 대사 지연 효과에 의해 유의미하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

7. 색상 변화

오이 저장 중 색상변화로 색도(hue angle)가 감소하고 포장 여부로 차이가 나타났다. 오이 저장 중 표면 색상 변화는 L^* , a^* , b^* 값을 측정하고, a^* 와 b^* 값으로부터 산출한 hue angle을 지표로 평가하였는데, 색도(hue angle)은 저장 기간이 경과함에 따라 모든 처리에서 감소하는 경향을 보여

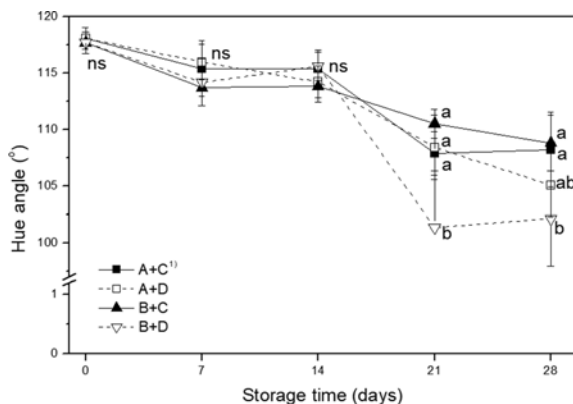


Fig. 8. Change in hue angle of cucumber cultivar, 'Veteran' as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b} Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

서, 저장 초기에는 재배방법 및 포장 여부에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 저장 후기에는 포장 처리에서 무포장 처리보다 색도(hue angle)이 낮게 나타나, 포장 여부에 따른 색상 변화의 차이가 뚜렷해졌는데, 이는 저장 후기로 갈수록 포장 처리에서 녹색도가 상대적으로 더 감소하고 황화가 더 진행되었음을 보였다. Cho 등¹¹⁾은 색도(hue angle) 값이 오이와 같은 원예작물에서 녹색 및 황화 정도를 나타내는 지표로, 높은 색도(hue angle) 값은 녹색에 가까운 색상을 나타내며, 값이 감소할수록 황화에 따른 색상변화가 진행되는 것으로 보고하였다. Fig. 8에서 '베테랑' 오이 색도(hue angle)는 저장 0~14일의 초기 및 중기까지는 재배방법 및 포장 여부에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으나, 저장 21일인 저장 후기부터 포장 여부에 따라 처리 간 차이가 나타나서, 무포장의 시설오이가 110.5°, 노지는 107.9°이었고, 포장한 노지오이가 108.4°에 시설이 101.4°으로, 무포장 처리가 포장 처리보다 높은 hue angle 값을 보였으며, 저장 28일째에 무포장한 시설오이가 108.8°, 노지가 108.2°이었고, 포장은 시설이 102.1°에 노지가 105.1°으로 수확 전 재배방법보다는 수확 후 포장여부에 따라 무포장이 포장보다 높은 경향을 보였으며, 저장 28일째에 저장 21일과 동일한 경향을 보여서, 포장 처리가 hue angle 값이 더 낮아서 황화 진행이 상대적으로 빠른 것으로 나타났다. 오이 저장 중 색도 변화는 감소하나, 저장 후기에 색도(hue angle)는 포장 여부에 따라 차이를 보여서, 포장 처리가 hue angle 값이

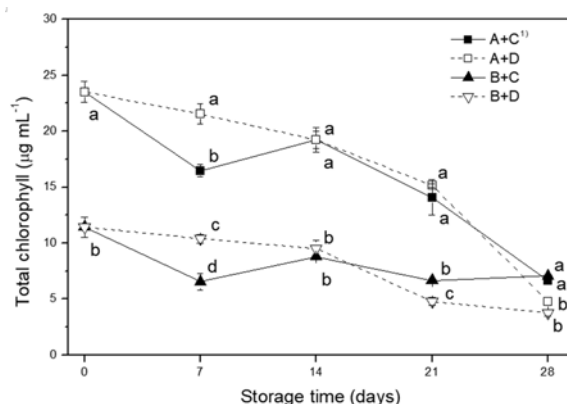


Fig. 9. Change in total chlorophyll content of cucumber cultivar, 'Veteran' as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ^{a-b} Small letters mean values with different superscript letters within storage times are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

더 낮으며 색상변화의 진행이 상대적으로 빠르게 나타난 것으로 보여서, 수확 후 포장에 의해 색상변화에 의한 황화가 더욱 상대적으로 빠르게 진행된 것으로 보인다. Fig. 9에서 '베테랑' 오이의 hue angle은 저장 0~14일까지 재배방법 및 포장 여부에 따른 유의한 차이를 보이지 않았으나, 저장 21일부터 포장 여부에 따른 차이가 나타나서, 저장 21일째 hue angle은 무포장 처리에서 시설재배 110.5°, 노지재배 107.9°였으며, 포장 처리에서는 각각 101.4°와 108.4°로 나타났다. 저장 28일째에 무포장 처리에서 시설재배 108.8°, 노지재배 108.2°로, 포장 처리의 102.1°와 105.1°보다 높은 경향을 보였다. 따라서 저장 후기의 hue angle 변화는 재배방법보다 수확 후 포장 여부에 따른 차이가 크게 나타났으며, 포장 처리에서 상대적으로 낮은 hue angle을 보여 황화가 더 빠르게 진행되는 경향을 보였다.

8. 총 엽록소 함량(Total chlorophyll content)

오이 저장 중 총 엽록소(total chlorophyll) 함량은 주로 수확 전 재배 방법에 영향을 받았다. 오이 저장 중 총 엽록소 함량은 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며, 수확 직후에는 재배방법에 따른 차이가 뚜렷하게 나타났으나, 총 엽록소 함량 감소 정도에서 차이를 보이면서 저장 종료 시에는 포장 여부에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig. 9에서 '베테랑' 오이의 수확 직후 총 엽록소 함량은 노지가 23.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이고 시설이 11.4 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이어서, 재배 방법에

따라 차이가 현저하였으나, 오이가 10°C에서 저장 동안하는 동안 총 엽록소 함량이 변화하는데, 저장 중 노지 재배는 시설 재배에 비해 엽록소 함량 감소 정도가 크게 나타나서, 저장 14일에 오이의 총 엽록소 함량은 노지의 포장 처리한 오이가 $21.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 으로 가장 높고, 무포장이 $16.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었으며, 시설의 포장 처리가 $10.4 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이고, 무포장이 $6.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 인 것으로 나타났으며, 저장 후기로 갈수록 재배 방법에 따른 초기 함량 격차는 점차 감소하는 경향을 보여 저장 종료 시점인 28일에는 재배 방법보다 포장 여부에 따라 차이를 보였다. Cho 등¹¹⁾은 필름포장이 작물의 chlorophyll 분해를 억제하여 색도 유지에 효과적이라고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 저장 초기 및 중기에는 일부 필름포장 처리에서 무포장 처리보다 총 엽록소 함량이 높게 유지되는 경향을 보였으나, 저장 후기로 갈수록 이러한 차이가 감소하였으며, 저장 종료 시점에는 오히려 필름포장 처리에서 무포장 처리보다 총 엽록소 함량이 낮게 나타났다. 따라서 본 연구에서 필름포장이 chlorophyll 분해를 지속적으로 억제하였다고 보기 어려우며, 총 엽록소 함량에 대한 포장 효과는 저장기간에 따라 다르게 나타난 것으로 판단된다. 오이 저장 중 색도(hue angle) 감소는 엽록소 함량 감소와 연관된 척도로^{29, 30)}, 본 연구 결과에서는 저장 후기로 갈수록 필름포장 처리에서 무포장 처리보다 총 엽록소 함량이 낮게 나타나 엽록소 분해가 상대적으로 더 진행된 것으로 판단된다. 이러한 경향은 필름포장 처리에서 hue angle 역시 무포장 처리보다 낮게 나타난 결과와 일치하며, 포장 처리에서 엽록소 감소와 함께 황화가 상대적으로 빠르게 진행되었음을 보여준다. 본 연구에서 오이 저장 중 총 엽록소(total chlorophyll) 함량은 저장 초기에는 노지와 시설재배와 같은 재배방법에 따른 차이가 컸지만, 저장 후기로 갈수록 노지 재배한 오이의 급격한 감소로 인해 재배 방법 간 격차는 줄어들고 포장 여부에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

9. 선도 및 외관의 변화

오이 저장기간에 따른 외관의 측정 지수는 감소하는데, 수확전 요인과 수확후 처리에 따른 유의차이는 보이지 않았다. 다만 재배방법에 따라서는 시설에서 재배한 오이가 노지보다, 포장여부에 따라서는 필름 포장한 것이 무포장보다 다소 높은 수치를 갖는 경향을 보였다. Fig. 10에서 오이 저장 7일까지는 수확전 재배방법이나 수확후 포장여부에 따른 차이를 확인할 수 없었으며, 저장 14일에 시설재배한 필름 포장 처리에서 지수가 3.6, 노지 포장이 3.2, 시설의 무포장이 2.8, 노지 무포장이 2.6으로 나타났지만, 처리 간 유의차이를 보이지는 않았다. 재배방법이나 포장 여부에 따른 저장 시 유의차이는 없었지만 외관 지수 3점을 상품성이 있는 것으로 간주하였을 때, 시설이나 노지 처리에서 필름으로 포장한 것이 상대적으로 높은 외관 지수를 유지하면서

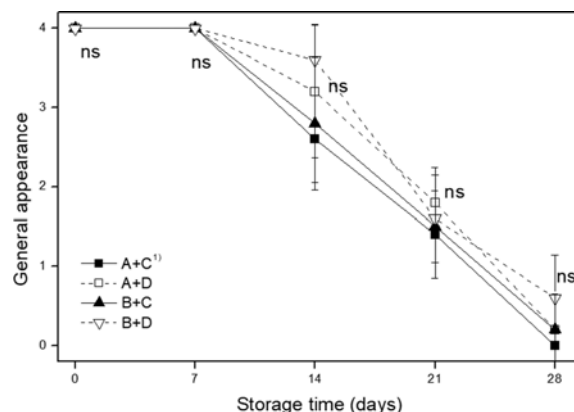


Fig. 10. Change in general appearance of cucumber cultivar, 'Veteran' as affected by cultural method and film packaging at 10°C. ns, not significant at $P \geq 0.05$. Data represent the mean $\pm$ SD of 5 replications. Some bars are not shown when masked by symbol. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

상품성 한계치인 3.0 이상을 유지한 반면에 무포장은 3.0 미만으로 하락하여, 유공 PE 필름포장은 저장 중 상품성을 유지하는데 유리한 것으로 판단되었다. Fig. 11에서와 같이 오이 저장 시 14일에 노지나 시설오이 무포장은 표면의 수분증발로 인해 표면이 주글거리며 마르는 건조 현상을 보여 포장 유무에 따른 외관상 차이가 가시화되었으며, 저장 21일에는 무포장 오이는 표면이 더욱 마르고 포장 경우의 노지오이는 표면에 과피반점(oedema)이 발생하고 끝부분에 짓무름 증상이 발생하였고 시설오이는 표면이 하얗게 변색이 되고 하부에 반점이 생겼으며, 28일에는 오이에서 곰팡이 발생으로 인한 부패와 함께 이전에 발생한 증상이 더욱 심화되는 것으로 나타났다. 오이 재배 방법에 따라 수확 시 과실 생육과 외관에서 차이를 보이며, 경도나 엽록소 함량 등은 수확후 지속적으로 영향을 미치나, 필름 포장 여부에 따라 생체중량, 수분함량, 가용성 고형물 함량(SSC) 등은 재배방법과 같은 수확전 요인이 상쇄하고 저장 시 수확후 처리에 따라 영향을 받아 차이를 나타냈는데, 오이 저장 중 선도 변화는 수확전 재배방법에 의해 형성된 초기 품질 상태를 기반으로 하지만, 저장 과정에서는 포장과 같은 수확 후 관리기술이 수분 손실, 대사 활성 및 색 변화 등에 영향을 미쳐 품질 유지와 상품성에 기여하는 것으로 보인다. 본 연구에서 오이의 생체중량, 수분함량 등 물성 성분을 정량적으로 측정한 품질 지표에서는 유의한 차이가 나타났으나, 선도에 따른 외관 지수에서 유의차를 확인하지 못하였는데, 생체중량·수분함량·SSC 등의 조사 지표들은 독립적인 개별



Fig. 11. Outside appearance of 'Veteran' by cultural method and film packaging at 10°C. ¹⁾Refer to Fig. 1 and Fig.2 for cultural method and film packaging types. ¹⁾Treatment combinations based on the cultural methods and film packaging types shown in Figs. 1 and 2 are as follows: A+C, open-field cultivation without film packaging; A+D, open-field cultivation with PE film packaging; B+C, greenhouse cultivation without film packaging; and B+D, greenhouse cultivation with PE film packaging.

변수들을 정량적으로 측정할 수 있지만, 외관 지수는 색상, 형태 변화, 신선도 등을 종합적으로 평가하는 주관적인 평가 지표로 평가원들이 주로 시각 판단에 기반해 점수를 부여하는 방식으로 일부 측정할 물리적 지표가 약화되어도, 다른 지표가 양호하면 전체 판단 지수가 상쇄되는 포괄적 특성을 가지는 것으로 판단되었다. 이번 연구에서 선도변화에 따른 외관 지수의 통계적인 유의차가 나타나지 않았다는 결과는 단순히 처리 간 차이가 없음을 의미하기보다는 평가 방법의 특성상 측정 방식을 고려하여 시각적 품질 변화를 종합적으로 반영한 결과로 해석하는 것이 타당하다고 본다. 따라서 오이 저장 중 선도 변화는 수확전 재배방법에 의해 형성된 초기 품질 상태를 기반으로 하되, 저장 과정에서는 포장과 같은 수확후 처리 요인이 수분 손실, 대사 활성 및 색 변화 등에 영향을 미쳐 품질 유지 및 상품성에 결정적인 역할을 하는 것으로 생각된다. 오이의 재배환경에 의해 결정된 수확전 품질 특성은 고정되거나 영속적인 것이 아니며, 수확후 유통 및 저장 기간의 경과에 따라 지속적으로 변화하는 동적인 것으로, 오이의 수확후 품질 변화는 개별 저장 시점의 단편적인 수치로 분리되는 것이 아니라, 이전 시점의 품질 상태가 다음 시점으로 연속적으로 연결되어 전이되고 유기적으로 누적되는 과정을 갖는 것으로 판단된다. 저장 과정에서 발생하는 외관 품질과 같은 시각적 변화와 내부 특성의 변화는 상호 작용하며 진행되는데, 이러한 내·외부 품질 지표 간의 상충 또는 보완 작용을 거쳐 상품성 변화로 표출되는 것으로 보인다. 본 연구에서 동일 품종의 작물에서도 재배방법에 따라 수확 시 형성되는 품질 특성과 저장 중 변화 양상이 서로 다르게 나타났다. 따라서 수확후 품질관리를 일률적으로 적용하기보다는 재배환경에 의해 형성된 초기 품질 특성을 고려한 맞춤형 관리 전략이 필요하다. 연구결과, 수확후 필름 포장과 같은 관리를 통해 수확전 재배적 요인에 의해 형성된 품질 차이를 개선하고 저장성을 유지할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 수확전

생산기술 시스템과 수확후 관리기술을 연계한 통합적이고 일관적인 품질관리 체계 구축의 필요성을 시사하였다. 따라서 원예작물의 체계적인 품질관리와 선도유지를 위해서 수확 전·후 요인의 상호작용과 복합적 관계를 고려한 관리방안을 지속적으로 모색할 필요가 있다.

10. AUC 기반 조절된 매개모형 분석

조절된 매개모형(Moderated Mediation Model)을 통한 오이의 재배방법 및 수확후 유공필름 포장이 저장 중 누적된 품질 변화(Area under the curve, AUC)에 미치는 복합적인 영향을 검증하고자 하였다. 본 연구에서 조절된 매개효과 모형을 적용하여 수확전 재배환경이 오이의 수확 시 품질 특성을 거쳐 저장 중 누적된 품질 변화량(AUC)에 미치는 인과적인 경로를 파악하고, 수확후 필름포장 여부가 유통과 저장 과정에서 생체중량, 경도, 엽록소 함량의 저하를 효과적으로 차단·제어하는 조절효과를 입증하고자 하였다. 기존 연구에서 주로 수확전 요인이 수확후 품질에 미치는 영향을 각 요인에 대해 상관분석이나 회귀식을 이용해 왔다^{31,32)}. 그러나 본 연구에서는 재배 방법이 수확 시 품질에 미치는 효과를 파악하고, 수확 시 품질이 포장처리에 따라 저장성에 미치는 영향 정도를 매개모형으로 분석하였다. Hayes¹⁴⁾가 보고한 매개모형(moderated mediation model)을 이용하여, 재배방법을 독립변수(independent variable), 포장처리 전에 측정한 수확 시 주요 품질특성을 매개변수(mediator), 저장기간별 품질 변화량을 통합한 곡선하면적(AUC)을 종속변수(dependent variable), 수확후 필름 포장 여부를 조절변수(moderator)로 설정하여, 재배방법에 따른 수확 시 품질특성이 저장 중 변화에 미치는 영향을 평가하고, 필름 포장여부가 저장 중 누적되는 품질 변화 특성으로 이어지는 조절효과를 검토하고자 하였다. 연구 모형의 전체적인 논리 구조는 재배방법(C) → 수확 시 주요 품질지표(H) → 저장 중 누적 품질 변화(Y, AUC)로 설정하여 영향을 파악하고자 하였다.

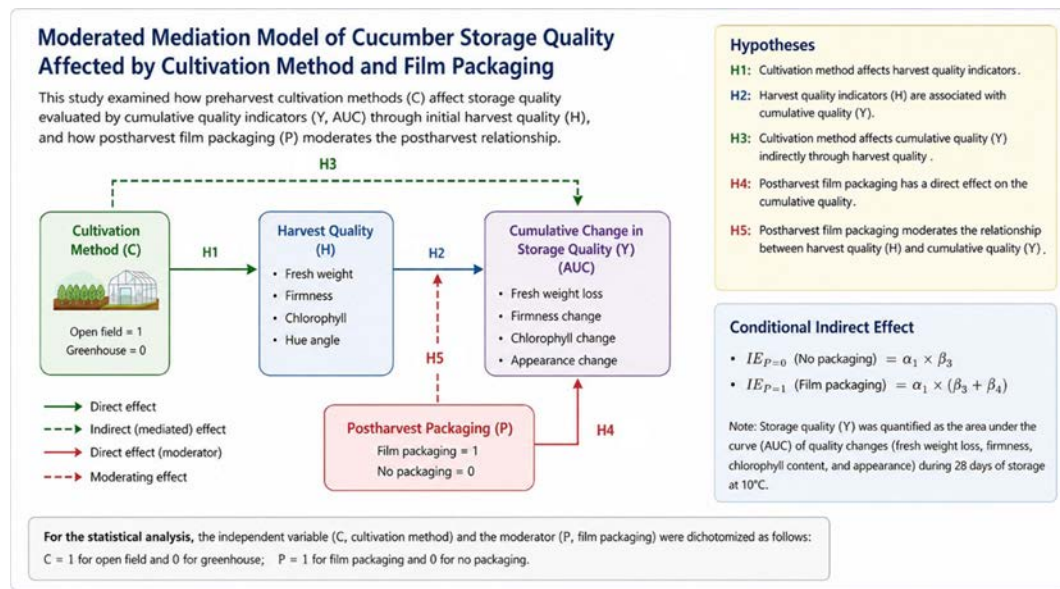


Fig. 12. Proposed moderated mediation model illustrating the relationships among cultivation method, harvest quality, postharvest film packaging, and cumulative storage quality expressed as area under the curve (AUC).

The following hypotheses guide the model:

H1: Cultivation method has a significant effect on the major indicators of harvest quality (α_1).

H2: Major indicators of harvest quality (H) are significantly associated with the cumulative quality change during storage (β_3).

H3: Cultivation method indirectly affects the cumulative quality change during storage (Y, AUC) through the major indicators of harvest quality ($\alpha_1 \times \beta_3$).

H4: Postharvest film packaging has a direct effect on the cumulative quality change during storage (β_2).

H5: Postharvest film packaging moderates the relationship between initial harvest quality (H) and cumulative quality change during storage (β_4).

Fig. 12에 나타난 바와 같이, 본 연구에서는 재배방법을 독립변수(C), 수확 시 주요 품질 특성을 매개변수(H), 저장 중 누적된 품질 변화량(AUC)을 종속변수(Y)로 논리 구조에 따라 설정하였다. 재배방법이 수확 시 선도를 경유하여 저장 중 누적 품질 저하에 미치는 매개경로(H1, H2, H3)를 검증하고, 수확후 필름포장 여부(P)가 미치는 저장 중 누적 품질변화(H4)에 대한 효과 및 수확 시 품질이 저장성에 미치는 영향을 제어하는 조절효과(H5)를 검증하고자 하였다.

이를 위하여 설정한 연구가설은 다음과 같다.

H1. 재배방법은 수확 시 주요 품질 특성(H)에 유의한 영향을 미친다(α_1).

H2. 수확후 주요 품질 특성(H)은 저장 중 해당 항목의 누적 품질 변화량(Y, AUC)에 영향을 미친다(β_3).

H3. 재배방법은 수확 시 주요 품질 특성(H)을 경유하여 저장 중 누적 품질 변화량(Y, AUC)에 간접적 효과를 가진다($\alpha_1 \times \beta_3$).

H4. 수확후 필름포장은 저장 중 누적 품질 변화(Y)에 직접적 효과를 가진다(β_2).

H5. 수확후 필름포장은 품질 특성(H)과 저장 중 누적 품질 변화량(Y)에 미치는 관계를 조절한다(β_4).

본 연구에서는 재배방법과 포장에 저장 중에 품질에까지

미치는 효과를 평가하기 위한 매개모형을 검증하기 위하여 Hayes (2013)의 PROCESS Macro에 기반한 조절된 매개모형(moderated mediation model)을 적용하였다. 사용된 모델식 모형은 선별된 주요한 품질 지표(생체중, 과피 경도, 총 엽록소 함량)로 개별적인 매개 분석을 수행하여, 수확 시 품질 특성이 저장 중 누적 품질 변화(AUC)에 미치는 영향이 수확 후 필름포장 여부에 따라 달라지는지를 평가하기 위해 Hayes(2013)의 PROCESS Macro Model을 적용하여, 복잡한 다중 지표의 상호 연관된 구조 모형 대신에 해석의 명확성을 확보하고, 포장 조건에 따른 조건부 간접효과를 검증하고자 하였다. 모형에서 매개경로의 후반부인 수확 시 품질 특성(H)에서 저장 중 누적 품질 변화량(Y, AUC)으로 이어지는 경로가 필름포장 여부(P)에 의해 조절되는 것으로 설정하였다. 모형에서 독립변수인 재배방법(C)은 노지재배(= 1), 시설재배(= 0)로 이분변수화하였고, 조절변수인 필름포장 여부(P)는 유공필름포장(= 1), 무포장(= 0)으로 설정하였다. 매개변수는 포장 처리 전 측정한 수확 시 주요 품질 특성에서 초기값을 H로 설정하였으며, 종속변수는 저장 기간 전체의 선도 저하 및 품질 변동 추이를 통합하여 정량화한 곡선하면적(Y, AUC)으로 설정하였다.

가설 H1(매개변수 형성)을 검증하고자, 재배방법이 수확

시 오이 품질 특성에 미치는 영향을 검정하기 위하여 다음과 같은 모형을 적용하였다.

$$H = \alpha_0 + \alpha_1 C + \varepsilon_1$$

여기서,

H: 수확 시 품질 특성을 나타내는 초기 측정값

C: 재배방법

α_1 : 재배방법이 초기 품질에 미치는 효과

이어서 가설 H2, H4, H5를 동시에 검증함으로써 재배방법, 수확 시 초기 품질과 수확후 포장처리가 저장 중 누적 품질 변화에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 저장 중 누적된 품질 변화량(Y, AUC)을 예측하고 수확후 유공필름에 의한 포장(P)의 직접적인 선도 유지 효과 및 조절효과를 검증하는 구조 모형식은 다음과 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 P + \beta_3 H + \beta_4 (H \times P) + \varepsilon_2$$

여기서,

Y: 저장 중 누적 품질 변화량(AUC),

P: 필름포장 여부

β_1 : 재배방법의 직접효과

β_2 : 포장처리의 직접효과

β_3 : 수확 시 품질이 저장 중 누적되는 품질 변화에 미치는 주효과

β_4 : 수확 시 품질과 포장처리 간 상호작용인 조절효과를 의미한다.

또한 가설 H3 검증(매개효과)으로 포장 처리에 따른 효과 및 조건부 간접효과 산출하고자, 수확후 유통 및 저장 과정에서 포장(P)의 적용 여부에 따라 재배방법이 최종 저장 품질(AUC)로 이어지는 매개 경로의 크기가 변화하는지 파악하고자 조건부 간접효과(conditional indirect effect)를 도출하였다.

$$\text{Conditional Indirect Effect} = \alpha_1 [\beta_3 + \beta_4 P]$$

여기서,

P=0: 무포장

P=1: 필름포장

따라서 각 포장여부의 조건(P)에 따른 간접효과는 다음과 같이 추정할 수 있다.

무포장 조건(P=0 대입):

$$\text{Indirect Effect}_{\text{No Packaging}} = \alpha_1 \times \beta_3$$

필름포장 조건(P=1 대입):

$$\text{Indirect Effect}_{\text{Film Packaging}} = \alpha_1 \times [\beta_3 + \beta_4]$$

본 조건부 간접효과와 비교를 통해, 수확전 재배환경(노지 및 시설)에 의해 형성된 오이의 초기 품질 특성이 수확 후 필름포장이라는 관리 기술의 도입 여부에 따라 저장 시 품질 특성(누적 품질 변화 궤적)에 미치는 파급 효과의 변화를 유추할 수 있다.

본 연구의 주요 품질 지표인 생체중량 감소율에 대한 조절된 매개모형을 분석한 결과, 반복측정으로 인한 오차의 상관성 문제를 각 개체별 28일간의 누적 곡선하면적(Y, AUC)으로 변환하여 모형의 통계적 적합성을 확보하고자 하였다. 재배방법에 따른 생체중량 감소율의 분석 결과, 수확 시 품질 특성(H)의 차이를 확인한 후, 수확후 포장 여부(P)에 따른 저장 중 생체중량 감소율의 누적 변화(AUC)를 검토하였다. 포장(P=1)을 적용한 조건에서의 간접효과($\alpha_1 \times [\beta_3 + \beta_4]$)는 무포장 조건(P=0, $\alpha_1 \times \beta_3$)에 비해 최종 누적된 생체중량 감소율(AUC)을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다. Fig. 3에서 저장 시점별 생체중량 감소율을 누적 품질 변화량(AUC)은 포장 여부에 따라 저장기간 동안 축적되는 생체중량 감소 정도에 뚜렷한 차이가 나타나서, 무포장 조건에서는 저장 초기부터 생체중량 감소가 지속적으로 누적된 반면에, 필름포장 조건에서는 저장 7~21일 동안 생체중량 감소 정도가 억제되어 전체 저장기간의 누적 품질 변화량이 상대적으로 작게 나타났는데, 이러한 차이는 개별 저장 시점에서 나타난 생체중량 감소율의 차이를 저장기간 전체에 걸쳐 누적하여 평가한 결과로, 필름포장 여부(P)가 수확 시 형성된 품질 특성(H)과 저장 중 누적 품질 변화(Y, AUC) 간의 관계에 영향을 미쳤음을 보여주었다. 오이 재배방법별 포장 여부에 따른 생체중량 감소율의 누적 변화(AUC)를 보면, 저장 28일 종료 시점에 노지재배 후 무포장 처리는 145.5이고, 시설재배 후 무포장은 220.6인데, 노지재배 후 필름포장처리는 42.8이고, 시설재배 후 필름 포장은 74.7로 재배방법의 차이보다는 포장에 의한 효과로 누적 품질 저하 곡선의 아래쪽 면적(AUC)을 대폭 축소시키는 원인이 되었다. 따라서 분석 결과, 수확전 재배방법(C)이 수확 시 초기 품질 특성(H)을 거쳐 저장 중 누적 품질 저하(Y)로 이어지는 경로에 수확후 필름포장(P) 처리가 저장기간(7~21일)에서 조절하는 것으로 나타나 가설 H5(조절효과) 및 조절된 매개효과를 지지하는 것으로 나타났다.

재배 및 수확후 저장 중 오이 표면의 경도 변화를 평가하고자, 필름포장 여부(P)에 따른 저장 28일간의 경도 누적 변화량(Y, AUC)을 분석하고자 하였다. 유공필름 포장을 적용한 조건(P=1, $\alpha_1 \times [\beta_3 + \beta_4]$)은 대조구인 무포장(P=0, α_1

$\times \beta_3$)과 비교하면, 저장기간 전반에 걸친 경도 저하(조직 연화)에 의한 누적 변화량(AUC)을 유의미하게 제어하는 것으로 확인할 수 있었다. Fig. 4의 저장 시점별 과피 경도 변화를 살펴보면, 수확 시에는 수확전 재배환경에 따라 노지재배 오이의 경도가 높게 나타났으나 저장기간이 경과함에 따라 처리별 경도 변화 양상이 서로 다르게 나타나서, 재배 환경에 따른 차이가 수확후 포장 여부의 영향을 받는 경향을 보였다. 저장 중 무포장 처리는 저장이 진행됨에 따라 전반적으로 경도가 저하되어 조직 연화가 누적되는 경향을 보인 반면, 필름포장은 수확 시의 경도가 비교적 유지되어 조직 연화의 진행이 억제되는 경향을 나타냈다. 저장 시 포장 여부에 따른 경도 변화는 저장기간 동안의 누적 품질 변화 면적(AUC)에 반영되어 필름포장은 경도 저하에 따른 누적 변화 면적을 축소시키는 요인으로 작용하였다. 포장한 오이에서 나타난 경도 유지 효과는 포장재에 의한 수분 증발 억제 및 가스 환경 조절에 기인한 것으로 판단된다. 저장 종료 시점인 28일에는 수확전 재배요인과 수확후 포장요인이 복합적으로 작용하면서 처리 간 경도 차이가 감소하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 저장기간 동안 나타난 경도 변화의 누적 양상은 수확 시 형성된 초기 경도 특성(H)이 저장 중 누적 품질 변화(Y, AUC)로 이어지는 과정에서 수확후 필름포장 여부(P)의 영향을 함께 고려할 필요가 있음을 보여주었다. 오이 재배방법별 포장 여부에 따른 표피 경도의 누적 변화(AUC)를 보면, 저장 28일 종료 시점 기준 노지재배 후 무포장 처리는 1065.1인 반면에 시설재배 후 무포장은 1005.3으로 나타났으며, 노지재배 후 필름 포장처리는 1058.4, 시설재배 후 필름 포장은 969.5를 보였으며, 무포장 상태에서 수분 증발로 인해 표피가 질겨지고 수축되는 현상을 나타내었으며, 포장 처리가 오이 고유의 조직감의 변화를 안정화하는 주요 요인으로 보인다. 따라서 포장에 의한 조건부 간접효과 검정은 단순히 저장 종료일(28일)의 단편적인 수치 비교에 국한되지 않고, 가설 5(조절효과) 및 조절된 매개모형을 입증하는 것으로 판단된다.

오이 저장 중 선도 저하의 주요 시각적 지표인 황화 현상을 평가하기 위하여, 포장 여부(P)에 따른 저장 28일간의 총 엽록소 함량 누적 변화량(Y, AUC)을 분석하였다. 조건부 간접효과를 검정한 결과, 포장을 적용한 조건($P=1, \alpha_1 \times [\beta_3 + \beta_4]$)은 무포장의 대조처리($P=0, \alpha_1 \times \beta_3$)에 비해 저장 과정에서 발생하는 엽록소 분해 및 감소에 따른 누적 변화량(AUC)을 유의미하게 억제하는 것으로 나타났다. Fig. 10의 저장 시점별 총 엽록소 함량 변화를 살펴보면, 수확 시에는 수확전 재배환경에 따라 노지재배 오이의 엽록소 함량이 시설재배보다 높게 나타났으며, 저장이 진행됨에 따라 모든 처리에서 전반적으로 엽록소 함량이 감소하는 경향을 보였으나, 변화 정도는 재배방법과 포장 여부에 따라 다르게 나타났다. 저장 초기에는 노지재배와 시설재배 모두 처

리에 따라 엽록소 함량의 감소 정도가 다르게 나타나서, 저장 중기까지는 노지재배 오이가 시설재배 오이보다 전반적으로 높은 엽록소 함량을 유지하였으며, 포장 여부에 따른 변화에서는 저장 초기부터 중기까지 필름포장 처리가 무포장 처리에 비해 엽록소 함량의 감소를 완화하는 경향을 보였으나, 변화 정도는 재배방법과 저장기간에 따라 다르게 나타났다. 저장 후기에는 모든 처리에서 엽록소 함량이 감소하면서 처리 간 격차가 전반적으로 좁아져서, 저장 종료 시점에도 처리 간에는 유의적인 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 오이 재배방법별 포장 여부에 따른 엽록소 함량의 누적 변화(AUC)를 살펴보면, 저장 28일 종료 시점 기준 노지재배 후 무포장 처리는 454.2인 반면 시설재배 후 무포장은 218.8로 나타났으며, 노지재배 후 필름 포장처리는 490.6, 시설재배 후 필름 포장은 226.4를 보였다. 따라서 시설재배 오이는 포장의 기여도가 제한적이었던 반면에 노지 오이에서는 포장 처리가 황화 현상을 억제하고 고유의 초록색을 보존하여 품질 유지 곡선의 아래쪽 면적(AUC)을 유의미하게 확장시킨 것으로 보여진다. Barth 등³³⁾과 Wang 등³⁴⁾은 포장재가 구축한 가스 조성(Modified Atmosphere)이 호흡률을 낮추고 엽록소 파괴 효소의 활성을 제어한다고 하였는데, 본 논문에서도 포장재가 엽록소에 대한 감소 곡선의 하단 누적 면적(AUC)을 축소시킨 요인으로 판단된다.

본 연구에서 적용한 조절된 매개모형 분석은 단일 저장 시점의 단편적 수치 비교를 넘어, 오이의 수확전 재배환경(C)에 의해 형성된 초기 품질 특성(H)이 저장 중 누적 품질 변화(Y, AUC)에 미치는 영향이 수확후 필름포장(P)에 의해 조절되었으며, 효과가 품질지표의 저장기간에 따라 다르게 나타났다. 오이 저장 7~21일 동안 필름포장에 의해 생체중량 변화를 억제하고 일부 경도 및 엽록소 함량의 변화를 조절하여 무포장보다 품질 변화가 적어, 오이 상품성은 수확전 재배환경과 수확후 관리의 상호작용의 연속적인 관계에 대해 고찰할 필요가 있을 보여주었다. 본 연구결과로 오이와 같은 원예작물에서 수확전 재배환경과 수확후 포장에 따른 영향을 조절된 매개효과 분석에 의해 상품성 유지를 설명할 수 있는 근거를 마련할 수 있었다.

요 약

오이 재배방법에 따라 저장 시 필름 포장의 영향을 규명하였다. 오이의 재배방법(노지 및 시설재배)에 따른 생육 특성과 수확후 필름 포장여부에 따라 저장(10°C) 시 생체중량이나 외관 등의 변화 특성을 조사하였다. 오이 수확 시 생육은 노지재배가 과중·과고에서 더 크고, 경도 및 엽록소 함량이 더 높은 것으로 나타났으며, 시설재배는 과육 내 수분 함량이 더 높았다. 오이 노지재배는 과중에서는 양적 생육이 더 큰 것을 이용하는 것으로 나타났으며, 외부 자연 환

경에 노출되어 재배됨에 따라 엽록소 함량이 높고 과피의 경도와 같은 내부구조가 더 단단한 것으로 나타났다. 이에 반해 시설재배는 수분함량이 높고 경도가 낮아 노지재배보다 다소 연약한 특성을 보였다. 오이 저장 중 경도나 엽록소 함량 등은 수확전 요인이 수확후에도 영향을 받아 지속적으로 노지재배의 것이 높은 것으로 나타났다. 그러나 생체중량 변화는 오이 저장 중에 재배방법에 의해 저장 시 차이를 보였지만 필름 포장에 따라 생체중 변화가 급감하여, 수확전 요인이 수확후 처리에 따라 영향을 받아 저장 특성이 달라짐을 관찰할 수 있었다. 수분함량에서도 수확 시 시설오이가 노지보다 높았으나 저장 후에는 재배방법보다는 필름에 의한 포장 여부에 차이를 보여서, 무포장이 높은 것으로 나타나, 수확전 요인이 상쇄하고 수확후 처리가 보다 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 경도나 엽록소 함량 등은 저장 시에도 재배방법에 따라 차이를 보여 수확전 요인이 지속적으로 영향을 미치는 것으로 보였다. 오이 재배방법에 따라 일부 측정 항목에서 영향이 저장 동안 차이가 나타나 수확전 요인이 저장까지 영향을 검토하였을 뿐만 아니라, 수확후 필름 포장을 통해 저장특성이 달라질 수 있음을 확인하여, 수확전 성질이 수확후 처리를 통해 특성을 개선할 수 있음을 규명하였다. 조절된 매개모형 분석을 통해 수확전 재배방법(C)이 형성한 품질(H)이 저장 중 누적 품질 저하(Y, AUC)로 이어지는 과정에서 수확후 포장(P) 처리가 효과적으로 제어·조절하여 상품성 유지에 효과적임을 입증하고자 하였다. 본 연구를 통해 수확전 요인이 수확후 처리를 통해 저장 특성이 변화하므로 향후 원예작물 저장에서 포장을 포함한 적극적인 수확후 관리를 통해 상품성 개선이 필요성을 밝혔다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원의 연구 사업인 ‘오이 등 과채류 대용량 active modified atmosphere 포장에 의한 선도 유지 기술 개발(PJ01387602)’의 일환으로 이루어졌다. 본 연구에 많은 지원과 협력을 해준 김지강 님, 호재조 님, 박종근 님에게 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. Lee, J.S., Choi, J.W., Chung, D.S., Lim, C.I., Seo, T.C., Do, G.L. and Chun, C. 2005. Effects of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars and cultivation methods on growth, quality and shelf-life. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(1):12-18.
2. RDA. 2021. Cucumber. Rural Development Administration, Waju, Korea.
3. RDA. 2013. Postharvest management of horticultural crops. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
4. Lee, J.S., Kim, G., Kim, H., Jeong, D., Choi, D.K., Chae, Y.R., Park, M.H., Jang, M.S. and Hong, Y.P. 2021. The effect of packaging and storage temperature on quality changes of ‘White Dadagi’ cucumber. *J. Korea Soc. Packag. Sci. & Tech.* 27(2): 115-121.
5. Park, H.W. and Kim, D.M. 2000. Effect of packaging films on quality of ‘Chuichung’ cucumbers during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29(2):248-251.
6. Lee, J.S., Chung, D.S., Choi, J.W., Cho, M.A., Lee, Y.S. and Chun, C.H. 2006. Effect of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. *Korean J. Food Preserv.* 13(1):8-12.
7. Park, K.W., Kang, H.M., Chiang, M.H. and Kwon, Y.S. 1995. Effects of soil moisture content according to irrigation methods in culture on storability of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *J. Bio-Environ. Control* 4(1):74-79.
8. RDA. 2003. Manual for agricultural investigation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
9. Lee, J.S., Chang, M.S. and Jeong, C.S. 2019. Changes in quality factors of ‘Honey One’ melon during storage at different temperature. *Hortic. Sci. Technol.* 38(2):249-262.
10. McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12):1254-1255.
11. Cho, M.A., Hong, Y.P., Choi, J.W., Won, Y.B. and Bae, D.H. 2009. Effect of packaging film and storage temperature on quality maintenance of broccoli. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(1):128-139.
12. Nagata, M. 2009. A simple spectrophotometric method for the estimation of β -carotene content in spinach acetone extract. *Bull. Natl. Inst. Veg. Tea Sci.* 8: 1-5.
13. Jeong, J.C., Woo, P.K. and Yoon, Y.Y. 1990. Influence of packaging with high-density polyethylene film on the quality of leaf lettuce during low temperature storage. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 31(3):219-225.
14. Hayes, A.F. 2022. Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach. Guilford Press, New York, USA.
15. Park, G.C. 1993. Standard model and characteristics of modernized greenhouse. *Protected Hortic.* 12(1):10-27.
16. Ku, K.H., Song, J.G. and Park, G.S. 1998. Characteristics on distribution of air temperature for watermelon cultivation in tunnel type greenhouse. *Protected Hortic.* 11(1):8-17.
17. Kim, H.C., Choi, J.H., Lee, S.W., Lee, J.H. and Bae, J.H. 2010. Change of internal temperature and humidity according to kind of covering materials in sweet pepper greenhouse. *J. Bio-Environ. Control* 19(1):1-5.
18. Lee, H.W., Kim, Y.S., Sim, S.Y., Lee, J.W. and Diop, S. 2013. Estimation of heat insulation and light transmission performance according to covering methods of plastic greenhouses. *J. Bio-Environ. Control* 22(3):270-278.
19. Choi, M.K., Yun, S.W., Kim, H.T., Lee, S.Y. and Yoon, Y.C. 2014. Field survey on the maintenance status of greenhouses in Korea. *Protected Hortic. Plant Fact.* 23(2):148-157.
20. Lee, J.S. 2021. Effect of cultivation method on growth and storage characteristics of kimchi cabbage cultivar ‘Chun

- Gwang' grown on semi-highland in summer. *J. Korea Soc. Packag. Sci. & Technol.* 27(1):25-33.
21. Kim, B.S., Kim, M.J., Kim, O.W. and Kim, G.H. 2001. Quality changes of winter Chinese cabbage by different packing and loading during cold storage. *J. Korean Soc. Postharvest Sci. Technol. Agric. Prod.* 8(1):30-36.
 22. Choi, S.G. and Rhee, C. 1995. Effects of freezing rate and storage temperature on the degree of retrogradation, texture and microstructure of cooked rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27(5):783-788.
 23. Lazan, H., Alid, Z.M. and Selamat, M.K. 1992. The underlying biochemistry of the effect of modified atmosphere and storage temperature on firmness decrease in papaya. *Physiological Basis of Postharvest Technologies.* 343: 141-147.
 24. Chang, E.H., Lee, J.S. and Kim, J.G. 2017. Cell wall degrading enzymes activity is altered by high carbon dioxide treatment in postharvest 'Mihong' peach fruit. *Sci. Hortic.* 225:399-407.
 25. Wang, F., Mi, S., Chitrakar, B., Li, J. and Wang, X. 2022. Effect of cold shock pretreatment combined with perforation-mediated passive modified atmosphere packaging on storage quality of cucumbers. *Foods* 11(9):1267.
 26. Choi, J.H., Lim, J.H., Jeong, M.C. and Kim, D.M. 2005. Effect of high CO₂ pre-treatment on quality of 'HiKawa Hakuho' peach fruit. *Korean J. Food Preserv.* 12(6):540-545.
 27. Park, Y.M. and Yoon, T.M. 2012. Postharvest 1-MCP treatment, storage method and shelf temperature on quality change of 'Gamhong' apples during export simulation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30(6):725-733.
 28. Wang, Y., Wang, Y., Ji, K., Dai, S., Hu, Y., Sun, L., Li, Q., Chen, P., Sun, Y., Duan, C., Wu, Y., Luo, H., Zhang, D., Guo, Y. and Leng, P. 2013. The role of abscisic acid in regulating cucumber fruit development and ripening and its transcriptional regulation. *Plant Physiol. Biochem.* 64:70-79.
 29. Tian, M.S., Downs, C.G., Lill, R.E. and King, G.A. 1994. A role for ethylene in broccoli senescence after harvest. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119(2):276-281.
 30. Cai, J.H., Cheng, S.C., Luo, F., Zhao, Y.B., Wei, B.D., Zhou, Q., Zhou, X. and Ji, S.J. 2019. Influence of ethylene on morphology and pigment changes in harvested broccoli. *Food Bioprocess Technol.* 12(5):883-897.
 31. Klieber, A., Lin, W.C. and Joliffe, P.A. 1993. Training systems affect canopy light exposure and shelf life of long English cucumber. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118(6):786-790.
 32. Koukounaras, A., Bantis, F., Karatolos, N., Melissas, C. and Vezyroglou, A. 2020. Influence of pre-harvest factors on postharvest quality of fresh-cut and baby leafy vegetables. *Agronomy* 10(2):172.
 33. Barth, M.M., Kerbel, E.L., Perry, A.K. and Schmidt, S.J. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *J. Food Sci.* 58(1): 140-143.
 34. Wang, H.W., Makino, Y., Inoue, J., Maejima, K., Funayama-Noguchi, S., Yamada, T. and Noguchi, K. 2017. Influence of a Modified Atmosphere on the Induction and Activity of Respiratory Enzymes in Broccoli Florets during the Early Stage of Postharvest Storage. *J. Agric. Food Chem.* 65(39): 8538-8543.

투고: 2026.07.21 / 심사완료: 2026.08.10 / 게재확정: 2026.08.20