



Research Article

Effects of packaging method and root trimming on quality of green onion (*Allium fistulosum* L.) during storage

대파(*Allium fistulosum* L.)의 포장 방법과 뿌리 손질이 저장 중 품질에 미치는 영향

Ji Weon Choi^{1†*}, MiAe Cho^{2†}, Ki-Sik Jung³, Jae Han Cho¹, Ji Hyun Lee¹, Sooyeon Lim¹
최지원^{1†*} · 조미애^{2†} · 정기식³ · 조재한¹ · 이지현¹ · 임수연¹

¹Postharvest Technology Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

²Cheonsu Mountain Medicinal Herb Research Association, Seongnam 13637, Korea

³Yeonggwang Agricultural Technology Center, Yeonggwang 57031, Korea

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과, ²천수산약초연구회, ³영광군농업기술센터

Abstract This study investigated the effect of packaging method and root trimming on quality of green onions during storage. Two packaging methods (tied with string, S or packaged with film bag, FP) and two root trimming states (attaching the roots without trimming, AR or cutting the roots leaving about 5 mm, CR) were treated after harvest. Then, the green onions stored at 20°C for 8 days and 1°C for 6 weeks to investigate changes in quality. When stored at 20°C, the differences in marketability between S and FP were minimal, while when stored at 1°C, the marketability of the FP remained higher than that of S. The leaf color change in CR progressed faster than in the AR treatment group, leading to faster quality deterioration. The occurrence of weight loss, browning, and softening of stems progressed as the storage period elapsed. However, except weight loss, they were at a level that did not affect marketability within the marketability limit period determined by color change and wiltig of leaves. The allicin and quercetin contents of stems increased in the early stages when quality deteriorated after harvest but decreased as quality deterioration became more severe.

Keywords green onion, storage temperature, film packaging, root trimming, freshness



OPEN ACCESS

Citation: Choi JW, Cho MA, Jung KS, Cho JH, Lee JH, Lim S. Effects of packaging method and root trimming on quality of green onion (*Allium fistulosum* L.) during storage. Food Sci. Preserv., 31(3), 433-443 (2024)

Received: March 01, 2024
Revised: May 15, 2024
Accepted: May 16, 2024

†These authors contributed equally to this study.

***Corresponding author**

Ji Weon Choi
Tel: +82-63-238-6521
E-mail: jwcnpri@korea.kr

Copyright © 2024 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

대파(*Allium fistulosum* L.)는 백합과에 속하는 다년생 초본식물로 중국, 일본, 한국에서 가장 많이 생산되고, 고추, 마늘과 더불어 조미채소로 소비되는 엽채류이다(Puspita 등, 2022). 명칭은 나라별로 다양한데, 독일은 Welshche 지역에서 유래한 welsh onion으로, 중국에서는 콩(cong)으로, 영어권과 스페인어권 나라에서는 Japanese bunching onion, Spanish onion, two-bladed onion, spring onion, green bunching onion, scallion, green trail, Chinese small onion으로, 일본에서는 네기(negi), 한국에서는 파(pa)로 불리우며(Inden과 Asahira, 1990), 상용적으로는 Japanese leek 또는 Asian leek이라고 불리우기도 한다. 대파의 재배 면적과 생산량은 매년 불안정한 추세를 반복하고 있으며, 경기, 전남, 강원 지역이 전체 생산면적의 약 80%를 점유하고 있는데, 겨울은 전남, 봄은 경기, 여름은 강원이 주력 산지로 형성되어 있다. 수확 및 출하는 추위가 먼저 시작되는 중부지방에서 시작하여 남부지방으로 이어 수확되며, 중부지방에서는 김장철에 수확이 종료되고, 영호남 지방은 이듬해 2-4월까지 월동 출하되고 있다(Cha 등, 2008). 좀 더 세밀하게는 12월에서 다음 해 5월까지의 전남 진

도, 신안, 영광 지역에서 월동대파가 출하되며, 5월 중순-7월 하순까지는 경기 포천, 고양, 남양주, 파주 등에도 하우스대파와 노지대파가, 7월 하순-11월 말까지는 강원지역에서 고랭지대파가 출하되고 있다. 김장철인 10월-11월 가을대파는 전국적으로 출하된다.

대파 잎에는 비타민 A와 C, 카로티노이드, 기타 미량 성분(Cha 등, 2008), 휘발성 화합물 등(Koo, 2005) 생리활성 물질을 함유하고 있다. *Allium* 속에 함유된 유기 황 화합물은 효소 반응을 통해 *Allium* 속의 주요 향미 화합물인 thiosulfates를 형성하며, 이후 다양한 방향성 물질로 전환된다(Singh 등, 2020). 함유된 glutathione으로부터 생성된 allin(S-allyl-L-cysteine sulfoxide, ACSO)은 allyl sulfenic acid를 거쳐 allicin(diallyl thiosulfinate)으로 전환되며, 이 allicin이 pyruvic acid와 작용하여 DAS(diallyl sulfide), DADS(diallyl disulfide), DATS(Diallyl trisulfide) 등 다양한 황화합물 및 카르보닐 화합물을 형성하여 독특한 향기성분과 매운맛을 발생한다. Thiosulfates는 항균, 항산화, 항암 등 다양한 효능을 가져 건강 및 질병 예방에 중요한 역할을 하는데, *Allium* 속 중 마늘에서 주로 보고되어 있다. 대파 특유의 냄새인 allicin 성분은 비타민 B₁을 활성화하여 특정 병원균에 대해 강력한 살균력을 나타내며, 건위, 살균, 이뇨, 발한, 정장, 구충, 거담 등의 효과가 있다고 알려져 있다(Acharya 등, 2023). 대파의 효능으로는 항암, 항산화, 항균, 항비만, 항염증, 항당뇨, 항천식, 항혈전, 혈소판 응집 억제, 항고지혈증 및 고혈압 완화(Aoyama과 Yamamoto, 2007), 숙취 해소 및 그람 음성균에 관한 항균활성(Han과 Kim, 2017)이 보고되어 있다. 이러한 대파의 생리활성 작용에 가장 큰 영향을 미치는 성분은 flavonoids로 알려져 있다. Flavonoids는 식물에 함유된 천연 항산화제이며, flavonoid 하위 클래스의 하나인 flavonol에 속하는 quercetin 성분은 대파에 많이 함유되어 지질 과산화를 방지하여 다양한 퇴행성 질환을 예방하는 것으로 보고되었다(Acharya 등, 2023).

대파의 호흡율은 20°C에서 약 60-110 mg CO₂ · kg⁻¹ h⁻¹로 높아(Toshiyuki 등, 1997), 품질 변화가 빠르게 진행되나, 다른 원예 산물들과 비교 시 낮음-중간 정도의 호흡율을 보인다(Adamicki, 1968). 에틸렌 발생량도 20°C에서 1.0-1.8 nL · kg⁻¹ h⁻¹(Lwin 등, 2013), 또는 0.1-1.0 mL · kg⁻¹ h⁻¹(Hong과 Kim, 2004)로 매우 낮으나, 에틸렌에 대한 민감성은 높다(Hong과 Kim, 2004; Lwin 등, 2013). 이는 대파에 적절한 수확 후 관리기술이 도입되면 저장 가능성이 높아질 수 있다는 것을 의미한다. 대파는 수분 손실이 빠르게 진행되고 부패하기 쉬워 수확 후 부적합한 환경에 노출 시 유통 수명이 매우 빠르게 감소한다. 특히 대파의 잎은 클로로필이 분해되면서 황화가 진행되는데, 이는 대파 수확 후 손실의 주 요인이다(Dissanayake 등, 2008; Dissanayake 등, 2009). 대파의 저장 수명은 0°C에서 2-3주, 5°C에서 1주(Dissanayake 등, 2008; Hong 등, 2000)이며, CA 조성

(Dissanayake 등, 2009; Hong 등, 2000; Toshiyuki 등, 1997)은 잎의 녹색을 유지하여 유통수명을 연장한다. 수확 후 신선도 유지 방법으로 수확 계절 및 저장온도(5, 10, 20°C)별 품질변화(Han 등, 2016; Ibaraki 등, 1997), CA 및 열처리(Hong 등, 2000), MA 필름포장(Ibaraki 등, 1999; Ibaraki 등, 2000), cold shock(Lwin과 Srilaong, 2014) 등이 보고되어 있다. 그러나 신선도 대파의 수확 후 유통 수명을 연장하기 위한 현장 적용 수확 후 관리기술에 관한 보고는 미미하다.

본 실험에서는 여름철로 접어드는 6월 수확한 대파를 이용하여 생산 및 유통 현장에서 사용하고 있는 포장 방법과 뿌리 다듬기 여부가 저장 및 유통 중 품질변화에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

대파(*Allium fistulosum* L. var. 'Manchugildong')는 2023년 6월 1일 영광군 백수읍에서 생산되어 겉잎 제거와 탈피 등을 거친 후 곧은 형태를 가지며 균일하고 깨끗하게 정선한 대파를 구입한 즉시 전북 완주군 국립원예특작과학원 실험실로 이동한 후 꺾이거나 상처나지 않은 건전한 대파를 선별하여 실험에 이용하였다.

2.2. 전처리 및 저장 조건

본 실험에서는 주 요인으로 대파 유통 현장에서 사용하고 있는 대표적인 포장 방법인 끈묶음(bundle of green onions tied with string, S)과 필름포장(film packaging, FP) 방법을 비교하여 처리하였고, 세부요인으로 포장 방법별로 뿌리를 다듬지 않고 그대로 부착한 처리구(attached roots without trimming, AR)와 뿌리를 다듬어 5 mm 정도 남기고 자른 처리구(cut roots, CR)를 두었다(Fig. 1). 끈묶음은 500 g 단위로 40 cm 길이의 철심이 든 종이끈 1개로 연백부 중간 부위를 묶었으며, 필름포장은 36 µm 두께의 LDPE(low density polyethylen)로 된 천공 필름 봉지(지름 0.5 cm 구멍 6개/면, 20×72 cm)를 사용하였다. 소포장한 후 20묶음씩 통기공이 있는 골판지상자(830×272×211 cm)에 10 kg씩 담은 대파를 상온 유통을 가정하여 20±0.76°C, 상대습도 91±8.7%인 상온저장고에 8일간, 그리고 장기 저장 온도로 1±0.7°C, 상대습도 78±7.0%인 저온저장고에 6주간 저장하면서 품질 변화를 조사하였다. 상온 및 저온저장 시 저장고 내 상대습도는 별도의 가습 방법을 사용하지 않고 저장한 상대습도이다. 이때 대파를 넣은 골판지 상자 내부의 상대습도는 상온저장 시 초기 약 66%에서 저장 한 시간 반 경과 시 약 95%로 올라갔고, 19시간 경과 시 99% 도달하였으며 그 이후 저장기간 동안 포화습도로 유지되었고, 저온저장 시에는 초

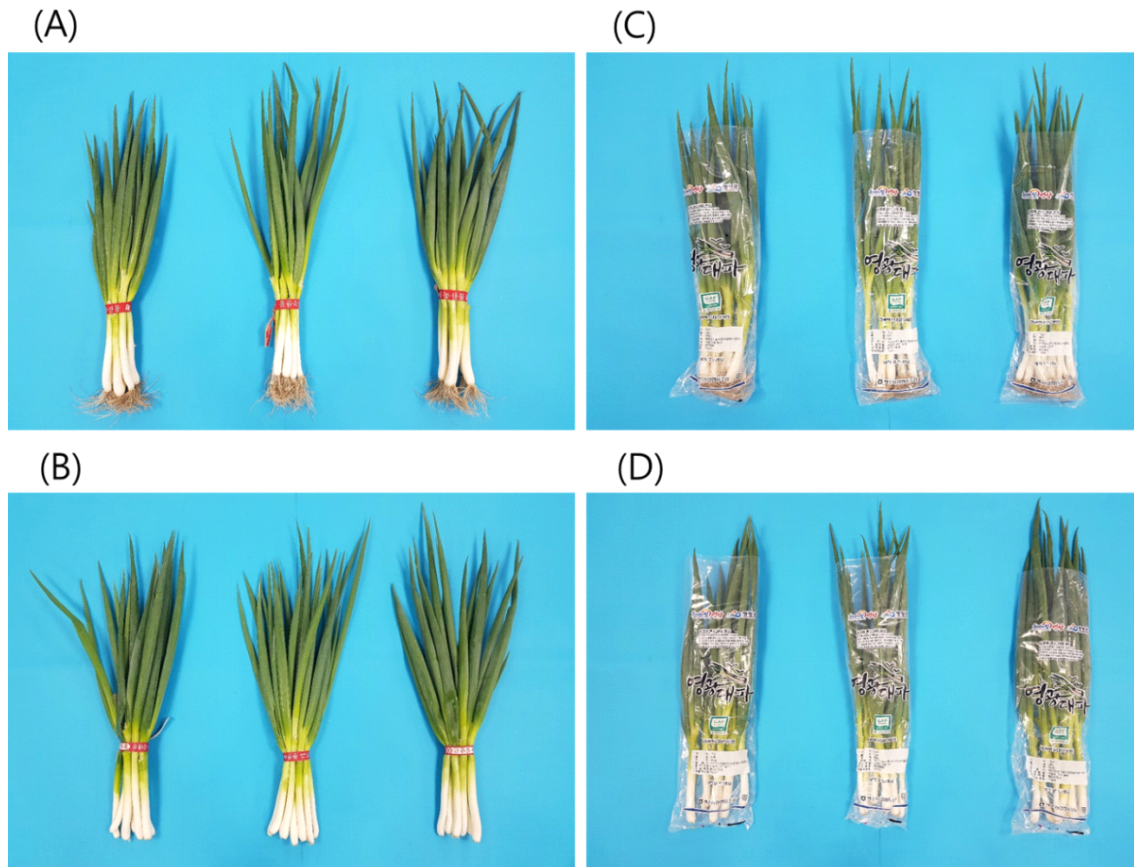


Fig. 1. Packaging methods and root trimming of green onions. (A), S-AR; (B), S-CR; (C), FP-RA; (D), FP-CR. S means bundle a string in the middle part of green onion, FP means film (20×72 cm) packaging with 36 μ m LDPE with 6 pore/side, AR means attached roots without trimming, and CR means cut roots leaving 5 mm.

기 약 86%에서 저장 한 시간 경과 후 약 95%에 도달하였다가 5시간 경과시부터 99%에 도달하였고, 그 이후 저장기간 동안 포화습도로 유지되었다.

2.3. 저장 중 시료의 품질 조사

대파 뿌리 손질 여부 및 포장 방법별 포장 후 20°C 상온저장 처리구는 2일 간격으로 8일 동안, 1°C 저온저장 처리구는 1주일 간격으로 6주 동안 품질을 조사하였다.

2.3.1. 중량감소를 측정

중량감소율은 각 처리별로 상온저장 시에는 1일 경과 시마다 5반복으로, 저온저장 시에는 1주일 간격으로 5반복으로 측정하여 저장초기 중량에 대한 중량 감소량을 백분율로 환산하였다.

2.3.2. 색도 측정

연백부 색도와 잎 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta

Corp, Osaka, Japan)를 이용하여, 백판으로 영점을 보정한 후 경반부에서 연백부쪽으로 10 cm 지점의 CIE L*(lightness), a*(red- green)와 b*(yellow-blue)값을 측정하였다.

2.3.3. 경도 측정

연백부 경도는 경반부에서 연백부 쪽으로 10 cm 지점을 측정하였다. Texture Analyzer(TA XT2, SMS, Surrey, UK)를 이용하여 지름 3 mm probe를 2.0 mm/s의 속도로 10 mm 깊이까지 관입한 투과력을 측정한 후 최대값을 Newton(N)으로 표현하였다.

2.3.4. 가용성 고형물 함량 측정

연백부의 가용성 고형물 함량은 경반부에서 연백부 10 cm 지점까지 취하여 착즙하여 디지털굴절당도계(PAL1, Atago, Japan)로 조사한 후 °Bx로 표시하였다. 연백부의 당도는 녹색부의 색도는 맨 바깥쪽 잎 끝에서 10 cm 아래 지점을 측정하였고, 잎 전체가 황화 시에는 측정하지 않았다.

2.3.5. Allicin 함량 분석

대파 연백부에 함유된 allicin 함량은 UV-Vis spectrophotometer 법(Han 등, 1995)을 기초로 Miron 등(1998), Wang 등(2020), 그리고 Zhou 등(2015)의 방법으로 수정하여 정량하였다. 동결 건조한 대파의 연백부 미세 분말 0.3 g을 150 mL의 차갑게 냉각시킨 증류수에 넣어 1분간 잘 혼합하여 실온에 5분간 둔 후 즉시 10,000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 2-4°C의 냉장고에 보관하면서 추출 후 24시간 이내에 분석을 완료하였다. 상등액 0.1 mL에 2 mM L-cysteine(Sigma-Aldrich, Taufkirchen, Germany) 용액 0.24 mL를 넣어 vortex하여 실온에 10분간 둔 후 0.6 mL(pH 7.5)의 50 mM HEPES buffer(Sigma-Aldrich)를 첨가하고, 50 mM HEPES buffer로 조제한 0.4 mM DTNB[5,5'-dithio-bis(2-nitrobenzoic acid)](Sigma-Aldrich) 0.2 mL를 첨가하여 vortex 한 후, 27°C에서 10분간 반응시켰다. 반응액 300 mL를 취하여 96 well plate에 넣은 후 UV-spectrophotometer(EPOCH 2, BioTek, Vermont, USA)를 이용하여 412 nm에서 흡광도를 측정하였다. Allicin의 함량은 다음과 같이 구하였다.

$$C_{\text{allicin}} \text{ (mmol / mL)} = (\Delta A_{412} \times \beta) / (2 \times 14,150)$$

ΔA_{412} : $A_0 - A$

β : The dilution of L-cysteine

14,150: The molar extinction coefficient (E) of allicin in water

A_0 : The absorbance reading of water

A: The absorbance reading of allicin

2.3.6. Quercetin 함량 분석

Quercetin의 함량은 Feng과 Liu(2011)의 방법을 기본으로 하여 Smith 등(2003)의 방법을 참고하여 수정하여 분석하였다. 동결 분말화한 대파 연백부 시료 1 g을 80% ethanol(Supelco, Munich, Germany) 10 mL에 넣고 24시간 동안 shaker를 이용하여 30 rpm의 속력으로 흔들어 주면서 추출한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 취하였다. 0.2 μm membrane filter로 여과하여 분석할 때까지 -52°C 냉동고에 보관하였다. 분석 시 해동하여 0.6 mL의 추출물을 80% ethanol로 5:1(v/v)로 희석하여 총 3 mL로 만든 후 UV spectrophotometer(EPOCH 2, BioTek)를 이용하여 362 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 물질로 quercetin(APEX BIO, Houston, USA)를 이용하여 표준곡선을 구하여 함량을 계산하였다.

2.4. 통계분석

완전임의배치 요인분석 실험 설계에 의거하여, 데이터는 평

균값을 구한 후 표준오차(standard error, SE)로 나타내었다. 데이터는 SAS 통계프로그램(version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)법과 Duncan의 다중비교법을 활용하여 각각의 요인 효과와 전체 처리효과를 구분하여 유의차를 검정하였다. 본 실험은 저장온도별(상온, 1°C) 저장 시 각각 2요인(Trt1, 끈묂음 및 MA packaging; Trt2, 뿌리 무손질 및 뿌리 다듬기)으로 18개 변수(저장 기간 중 품질특성)를 그룹화하여 요인분석을 하였으며, 그룹화된 변수들로 포장 방법과 뿌리 다듬기 여부에 대한 평균간 다중비교를 하였다. 18개 변수 중 중량감소율은 5반복으로, 그 외 변수들은 3반복으로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저장 중 중량감소율

대파를 골판지 상자에 넣어 20°C 상온에 8일 동안 저장하면서 중량감소율을 조사한 결과, 저장 8일째 필름포장한 대파가 끈묂음 처리한 대파에 비해 중량감소율이 약 8.3-9.2% 감소하여 필름포장이 시들음을 억제하는 효과를 보였다(Fig. 2). 1°C 저온저장 6주째 중량감소율은 필름포장처리구가 끈묂음처리구에 비해 약 11% 낮았고, 뿌리 다듬기 여부에 따라서는 저장 6주째 다듬기한 처리구가 다듬기 하지 않은 처리구에 비해 끈묂음의 경우 1.2%, 필름포장의 경우 1.1% 낮아 뿌리를 손질하지 않고 저장한 대파의 수분손실이 약간 높았다. 본 실험에서 끈묂음과 포장필름한 대파를 통기구가 있는 골판지 상자에 넣어 저장하였는데, 이 때 사용한 필름이 36 μm 두께의 LDPE 재질의 천공 필름 봉지(지름 0.5 cm 구멍 6개/면, 20×72 cm)로 구멍이 커서 투기성을 조절하지 못하는 필름조건으로 MA 효과를 발휘하지 못했을 것이라고 예측할 수 있지만, 골판지 상자 겹포장 효과와 합쳐져 시들음은 충분히 억제하는 것으로 나타났다. 상온저장 3일째 중량감소율은 끈묂음 처리구에서 약 5.2-5.4%, 필름포장처리구에서는 약 1.6%였으며, 1°C 저온저장 5주째에는 끈묂음처리구에서 약 26.5-28.0%, 필름포장처리구에서는 약 17.0-18.0%의 중량감소율을 보였다.

엽채류의 수확 후 상품성 한계기간을 수분손실율을 고려하여 결정 시 시금치는 3% 이내, 브로콜리는 4%, 상추는 3-5%, 양배추는 6%, 배추는 7-10%로 보고되어 있는데(Bartz와 Brecht, 2002), 대파는 본 실험에서 1°C 저장 3주째 약 13%, 저장 5주째 약 27-28%의 중량감소율을 보였으나, 품질 저하 속도는 다른 채소들에 비해 느려서 저장 5주째까지 상품성을 유지하였다.

3.2. 저장 중 색도 변화

대파는 저장기간이 경과함에 따라 연백부의 명도 변화는 큰 유의차를 보이지 않았고, a*는 약간 감소하며, b*는 약간 증가

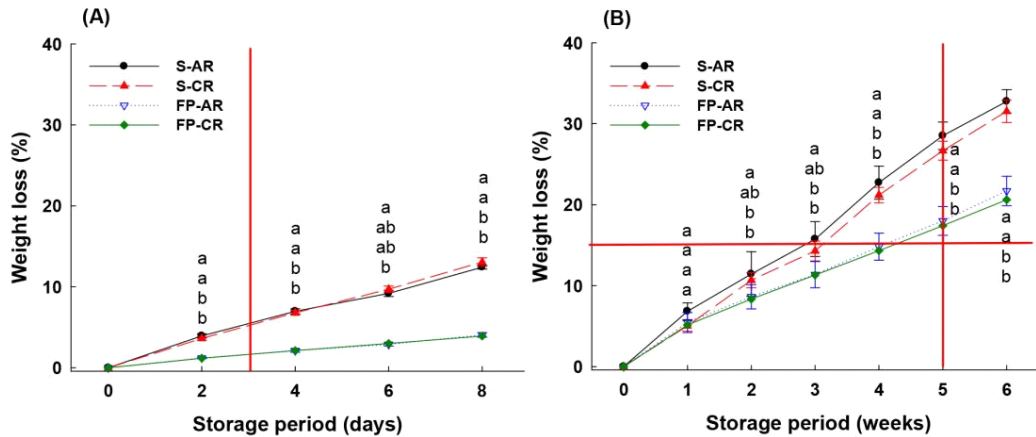


Fig. 2. Weight loss of the green onions stored at 20°C for 8 days (A) and 1°C for 6 weeks (B) according to the packaging method and root trimming. S, bundle a string in the middle part of green onion; FP, film (20×72 cm) packaging with 36 μm LDPE with Φ 0.5 cm 6 pore/side; AR, attached roots without trimming; CR, cut roots leaving 5 mm. The red lines represent the marketability limit baseline. Values are means \pm SE (n=5). Different superscript letters (^{a-b}) indicate significance ($p < 0.05$) between samples. The vertical line in graph A indicates that the marketability limit period was over due to yellowing and wilting of leaves before significant weight loss occurs.

하는 경향을 보인 반면(데이터 미제시) 잎 부분은 명도, a*값과 b*값은 저장기간이 경과함에 따라 급격히 증가하였다(Fig. 3). 상온저장 중 대파 잎의 색도 중 L*값과 b*값은 저장 2일에서 4일이 경과하면서 급격히 높아졌고, a*값은 저장 4일에서 6일째 경과하면서 급격히 증가하였다. 처리구별로 잎부분의 색도 변화를 비교하면 S-CR의 색도가 다른 처리구에 비해 급격한 색변화를 보였고, S-AR의 색변화가 가장 느리게 진행되었다. 저온저장 대파는 저장 6주째까지 CIE L*, a*, b*값이 상온저장에 비해 안정적으로 유지되었고, 저장 6주째 처리구별로는 S-CR의 색도 a*값이 다른 처리구에 비해 유의적으로 낮아지고 b*값은 높아져, 끈뭉음의 경우 뿌리 다듬기 처리는 무손질 처리구에 비해 상품성을 떨어뜨리는 것으로 나타났다. Ibaraki 등 (1997)은 대파 동일품종을 봄, 여름, 가을 그리고 겨울철에 각각 수확하여 상온 및 15°C에 저장하면서 품질 특성을 조사한 결과, 여름철 수확하여 상온에 저장한 대파는 저장 6일째부터 ascorbic acid 함량이 유의적으로 감소하고, 잎 끝의 시들음 증가하여 좋은 품질을 유지하지 못한 반면, 여름철 수확한 대파를 15°C에 저장 시 품질 유지에 보다 안정적이었는데, 이는 호흡율과 상관관계를 가지며 호흡율이 낮을수록 품질 안전성이 높다고 하였다. 본 실험에서 상온저장 대파가 저온저장 대파에 비해 색도변화가 급격히 발생하여 황화 및 갈변되었고, 특히 뿌리를 다듬은 처리구에서 색변화가 빠르게 일어났는데, 이는 상온과 뿌리 다듬기가 호흡율을 높여 품질 변화를 빠르게 일으켰다는 것을 의미한다.

저장 중 중량감소율(Fig. 2)과 색도 변화(Fig. 3)를 토대로 상온에서의 저장유통수명은 약 3일, 저온저장시에는 약 5주로 결정할 수 있다.

잎의 시들음 및 황화는 수분 손실과 정의 상관관계를 가지고, 저온은 에틸렌 생합성 및 잎의 황화와 부의 상관관계를 가진다는 보고(Mohamed과 Atrass, 2016)와 비교 시 본 실험에서도 상온저장보다 저온저장 시 잎의 색변화와 시들음이 느리게 진행되어 이 결과와 일치하게 해석되지만, 포장방법 및 뿌리 다듬기 여부에 따른 처리구별로 비교 시에는 필름 포장에 의한 수분 손실 억제효과보다 뿌리 다듬기 여부가 시들음과 황화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 뿌리 다듬기로 인한 기계적 상처 또는 압상으로 에틸렌 발생이 더 많았던 것으로 추론할 수 있다.

채소 저장 시 수분 손실은 부적합한 상대습도 조건에서 발생하고, 수분 함량의 감소는 잎의 클로로필 함량의 감소 및 종합 선도지수와 밀접한 상관관계를 가지는데(Puspita 등, 2022), 본 실험에서 저장기간 동안 박스 내의 상대습도는 포화습도를 이루었으나 상온저장고의 상대습도는 $91 \pm 8.7\%$, 저온저장고의 상대습도는 $78 \pm 7.0\%$ 로 채소의 적정 저장 습도인 95-95%보다 낮아 이로 인한 중량손실이 컸으며, 이는 저장 중 색변화(Fig. 3)가 중량감소에 의한 수분함량의 감소(Fig. 2)에 비례하여 급격히 증가한 것으로 나타났다. 본 실험에서 조성된 상대습도는 별도의 가습 방법을 사용하지 않았을 때의 상대습도로 향후 대파 저장 시 가습으로 저장고 내 습도를 올려준다면 저장기간이 더 연장될 가능성이 있다.

3.3. 포장방법, 뿌리 다듬기 처리 및 그 교호작용이 품질 요인에 미치는 영향

Table 1에는 포장방법, 뿌리 다듬기 여부 및 그 교호작용

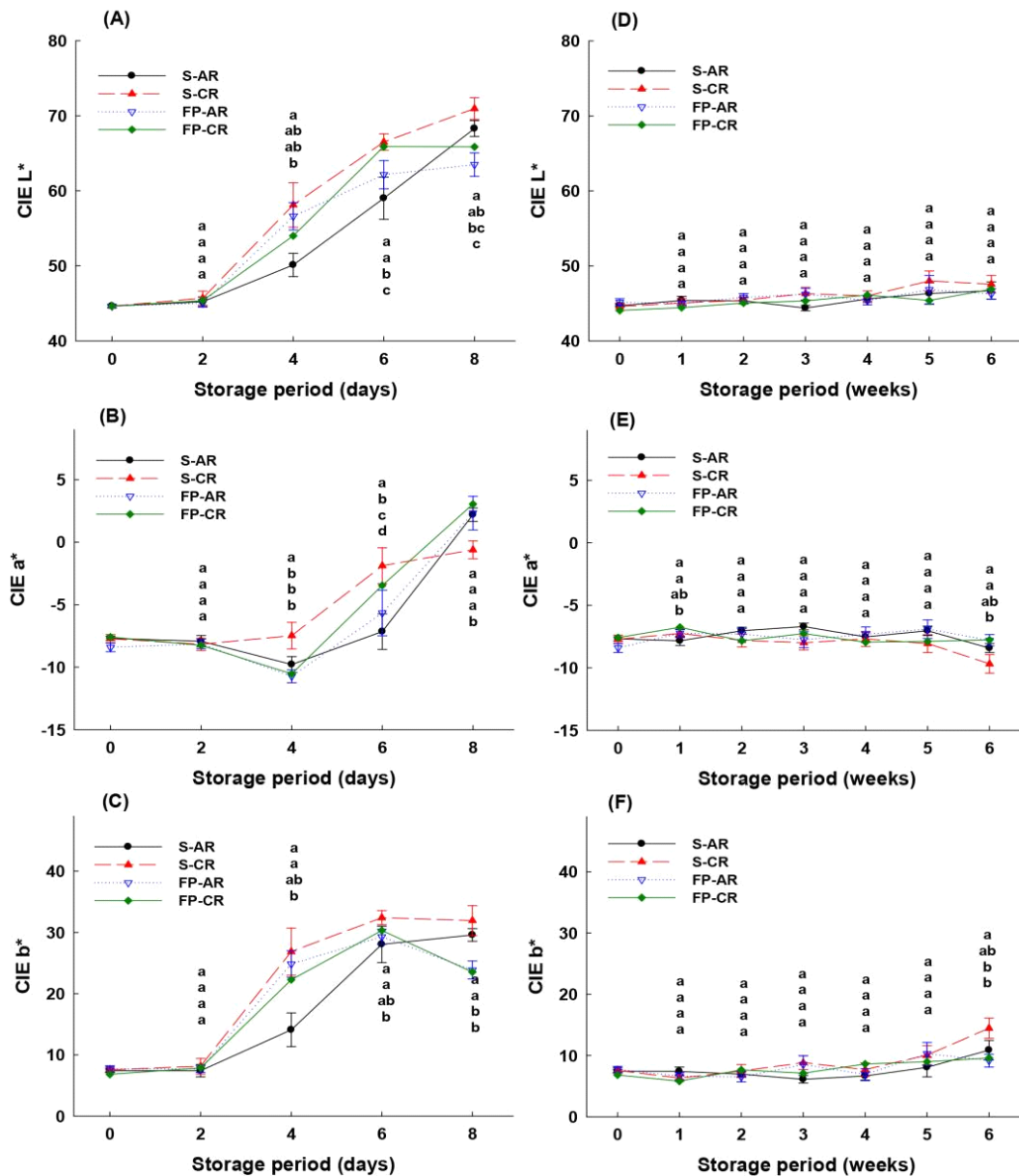


Fig. 3. Color changes (CIE L*, a*, b*) of leaves in green onions stored at 20°C for 8 days (A, B, and C) and 1°C for 6 weeks (D, E, and F) according to the packaging method and root trimming. S, bundle a string in the middle part of green onion; FP, film (20×72 cm) packaging with 36 μm LDPE with Φ 0.5 cm 6 pore/side; AR, attached roots without trimming; CR, cut roots leaving 5 mm. Values are means±SE (n=3). Different superscript letters (^{a-d}) indicate significance (p<0.05) between samples.

(interaction)이 각각의 품질 요인에 미치는 영향에 대한 유의차를 나타내었다. 포장방법, 즉 끈묶음처리 또는 필름포장 방법은 20°C 저장 시 증량감소에 가장 큰 영향을 미쳤고, 1°C 저장시에는 증량감소율, 뿌리색, 굵음현상 및 당도에 영향을 미친 것으로 나타났다. 뿌리 다듬기 처리는 20°C 저장 시 뿌리색에 가장 큰 영향을 미쳤고, 잎과 줄기의 b*값에 영향을 미쳤으며, 1°C 저장 시에는 잎의 a*값에 유의한 영향을 미쳤다. 포장방법

과 뿌리 다듬기 처리의 교호작용은 20°C 저장 시 연백부의 정도에 유의적인 영향을 미친 것 이외에 다른 품질요인에는 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 이 결과를 저장 중 품질 요인별 변화값과 비교하면 필름포장은 20°C 및 1°C 저장 중 증량감소를 유의하게 줄였고, 1°C 저장 말기 뿌리 갈변 및 연화를 증가시켰으며, 대의 굵음현상을 증가시켰음을 의미한다. 뿌리 다듬기는 20°C 저장시 대파 뿌리의 갈변과 연화를 유의적으로 증가

Table 1. Significant differences on quality characteristics depending on packaging method (Trt 1) and root trimming (Trt 2) in green onions during storage period at 20°C or 1°C

Storage temp. (°C)	Treatment and packaging	Weight loss	Root color	Curve	Color			Firmness	SSC ¹⁾
					Leaf a*	Leaf b*	Stem b*		
20	Trt 1	****							
	Trt 2		****			*	*		
	Trt 1×Trt 2							**	
1	Trt 1	****	***	**				*	
	Trt 2				*				
	Trt 1×Trt 2								

Trt 1 Packaging method; bundle a string in the middle part of green onion (S) and film (20×72 cm) packaging with 36 µm LDPE with ϕ 0.5 cm 6 pore/side (FP). Trt 2 Root trimming; attached roots without trimming (AR) and cut roots leaving 5 mm (CR).

¹⁾SSC means soluble solid contents.

NS, *, **, ***, **** Nonsignificant or significant at $p < 0.05$, 0.01, 0.001 or 0.0001, respectively.

시켰고, 저장 8일째 잎의 a*값 증가에 기여하였지만, 절단 부위의 뿌리색의 갈변과 연화 정도가 상품성 이내의 범위를 보였고, 잎의 a*값의 증가는 20°C에서의 저장기간 한계기인 3일 이후에 나타나 상품성 한계기 결정에는 영향을 미치지 않았다. 신선 농산물 저장 및 유통 시 미생물학적 위해요소 관리는 안전성 및 품질 유지를 위해 중요하며(Choi 등, 2019), 수확 후 탈피, 다듬기, 단무기, 포장 등 전 과정에서 흙이 묻어 있는 대파의 뿌리 부착 여부는 이어지는 저장 및 유통 중 부패와 연관될 수 있는데, 본 실험에서는 상온 및 저온저장 시 뿌리 부착 여부에 따른 부패의 차이는 발생하지 않았다.

한편, 대파 수확 후 시들음, 황화와 부패, 잎과 뿌리의 신장, 줄기 굵음이 저장 품질에 가장 큰 영향을 미치는 품질 특성이라는 보고(Mohamed과 Atrass, 2016)에 근거하여 본 실험에서 줄기굵음 발생 지수를 조사한 결과, 20°C 상온저장 시에는 4일이 경과하면서, 저온저장 시에는 5주가 경과하면서 모든 처리구에서 줄기 굵음 현상이 관찰되었다. 상온 및 저온저장 모두 필름 포장 처리구에서 끈뭍음 처리구에 비해 더 심하게 줄기굵음이 진행되어(데이터 미제시) 포장 필름 내부의 포화습도가 잎줄기의 신장에 영향을 미친 것으로 보인다. 단지 줄기굵음 현상은 증량감소와 색변화로 인해 상품성이 하락한 이후에 나타나, 상품성 한계기간에는 영향을 미치지 않았다.

3.4. 대파 저장 중 연백부에 함유된 allicin 및 quercetin 함량

대파는 주요 조미채소의 하나로 allicin, flavononids, vitamins 및 기타 유기황화합물들이 높게 함유되어 있다(Acharya 등, 2023). Allicin은 대파의 매운 맛과 풍미를 나타내는 성분 중

하나이고(Wang 등, 2020), quercetin은 flavonoids 계열의 강력한 항산화 성분으로 *Allium* 속에 많이 함유된 것으로 알려져 있다(Leighton 등, 1992). 본 실험에서 수확 직후 연백부의 allicin 함량은 7.73 µmol/g DW였다가 20°C 저장 2일과 4일째에는 증가하였으며 저장 6일째 감소하였다(Fig. 4). 끈뭍음 처리구들은 저장 2일째 최대함량을 보였다가 감소하였는데, 이때 뿌리 다듬기 유무에는 영향을 받지 않은 반면, 포장필름처리구는 이 변화 속도를 지연시켜 필름포장-뿌리 다듬기한 처리구는 3일째 함량이 최대값을 보였다가 감소하였고, 필름포장-뿌리 무손질 처리구는 저장말기까지 함량을 유지하였다. 1°C 저장 시에는 저장 6주째, 뿌리 다듬기한 처리구들에서 알리신 함량이 증가하는 경향을 보였고, 그 외의 처리구들에서는 저장말기까지 어느 정도 함량이 유지되었다. 연백부의 quercetin 함량은 수확 직후 144.83 mg/kg DW였다가 상온저장 2일째 뿌리 다듬기한 처리구들에서 무손질 처리구들보다 높았고, 저장기간이 경과하면서 끈뭍음 처리구들에서는 그 함량이 유지된 반면 필름포장 처리구들에서는 함량이 급격히 감소하였다. 1°C 저장 시 저장 2주째까지 quercetin 함량이 증가하였다가 4주째 필름포장-뿌리 다듬기한 처리구를 제외한 다른 처리구들에서는 감소하였다가 저장 6주째 모든 처리구들에서 증가하였다(Fig. 4). 저장 4주째까지의 함량변화는 상온저장 시와 유사한 경향으로 볼 수 있으며, 이후 6주째 증가하는 이유에 대해서는 이후 보다 자세한 연구가 필요하다.

대파 수확 후 상온저장 시 일수가 경과함에 따라 증량 감소나 황화가 진행되는데, allicin과 quercetin 함량도 저장 4일째까지는 약간 증가하였다가 품질의 열화가 심해지면서 함량이 감소하는 것으로 보인다. 단지 정량 분석을 위한 시료 채취 시 가식부위를 채취하였기에 함량의 차이는 크지 않았던 것으로

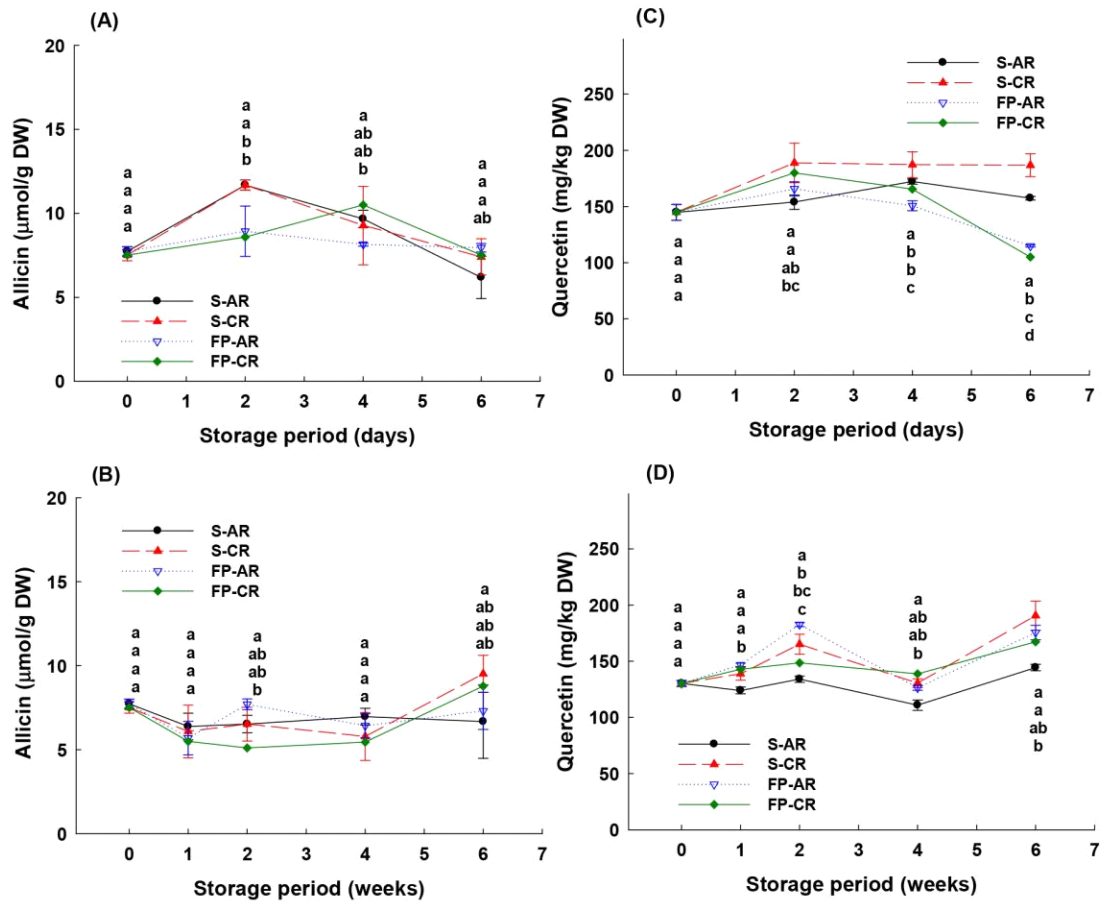


Fig. 4. Allicin and quercetin contents of stem in green onions stored at 20°C for 8 days (A, C) and 1°C for 6 weeks (B, D), according to the packaging method and root trimming. S, bundle a string in the middle part of green onion; FP, film (20×72 cm) packaging with 36 μm LDPE with ϕ 0.5 cm 6 pore/side; AR, attached roots without trimming; CR, cut roots leaving 5 mm. Values are means±SE (n=3). Different superscript letters (^{a-d}) indicate significance (p<0.05) between samples.

보인다.

3.5. 대파의 저장 중 품질에 대한 저장 온도, 뿌리 다듬기 및 필름포장의 영향

신선 농산물의 수확 후 호흡작용, 에틸렌 발생 및 에틸렌에 대한 민감도는 산물의 저장 및 유통 수명을 결정짓는 중요한 요인이다. 이들 작용은 품목 및 품종, 재배 조건, 수확시기, 온도, 기체 환경, 물리적 상해 정도 등 다양한 요인에 따라 달라지며, 수확 후 호흡률 증가와 에틸렌 발생의 증가는 품질의 저하를 일으키며, 위해 및 부패 미생물 증식과 더불어 저장 및 유통 수명 단축을 가져온다. 본 실험에서는 대파의 저장 중 상품성 유지를 위한 조건으로 먼저 저장 온도의 중요성을 확인할 수 있었다. 온도는 호흡속도 및 호흡량을 결정하는 가장 중요한 요인으로, Cha 등(2008)은 11월 수확한 대파를 5°C 저장 시 호흡률이 10.05 mL/h/kg, 20°C 저장 시 32.77 mL/h/kg으로 20°C

저장이 5°C 저장 시보다 약 3.3배 높았으며, 12월 및 1월에 수확한 대파의 호흡률은 20°C 저장 시 5°C 저장 시보다 약 2배 높았다고 하였다. 그리고 대파 잎의 색도 L*과 b* 값이 20°C 저장 시 5°C 저장 시보다 빠르게 증가하였고, 위조현상도 저장 온도가 높아짐에 따라 더 빠르게 진행되었다고 하였다. 본 실험에서도 저장온도는 저장 수명을 연장하기 위한 중요한 요인이었으며, 저장온도에 따라 대파의 잎 부분의 L*, a*, 그리고 b*값의 변화 속도가 달랐는데, 20°C 저장 시에는 저장 4일째부터 L*과 b*값이 급격히 증가하였고, a*값은 저장 6일째 급격히 증가하였으나, 1°C 저장 시에는 저장 6주째 b*값이 살짝 증가한 것을 제외하고는 큰 변화를 보이지 않았다. 이로 인해 상품성 유지기간은 1°C 처리구들은 약 5주째까지, 20°C 처리구들은 약 3일째까지였다.

Choi 등(2020)은 신선 농산물 관리분야에 있어 특히 동향을 보고하였는데, 특히 포장과 저장이 수확 후 관리 기술의 중요한

두 가지 분야이며 수출과 관련한 중요성이 부각되고 있다고 하였다. 필름 포장의 장점인 수분 손실 억제 효과 및 포장재에 의한 완충작용으로 압상이나 흔들림에 의한 기계적 상처 방지 등 효과와 더불어 필름포장의 약점인 이취 발생, 그리고 기체조성과 산물 주변의 온도의 상호작용에 따라 상품성에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다. 본 실험에서는 상온 및 저온저장 시 모두 필름포장 처리가 수분 손실을 유의하게 억제하였다. 저온저장 시 필름 포장이 신선도 유지에 보다 효과적이었으나, 상온저장 시에는 필름포장 여부와 관계없이 잎의 색변화와 중량감소에 의한 시들음이 빠르게 진행하여 상품성을 떨어뜨리는 주요인이 되었다. 뿌리 다듬기 여부에 따른 품질에 대한 영향 측면에서는 뿌리를 다듬는 과정에서 압상 발생 또는 뿌리 부착 미생물로 인한 부패 속도의 차이를 유발할 수 있다는 가정을 할 수 있는데, 본 실험에서는 뿌리를 그대로 둔 채로 저장하는 것이 신선도 유지에 보다 낫다는 결과를 고려하면 뿌리 다듬기 과정이 추가됨으로써 대파에 미치는 물리적인 상해가 저장성에 부의 영향을 미친 것으로 추론할 수 있다.

대파는 조미채소나 한약재로도 사용되는데, 대파 맛성분인 allicin과 기능성분인 quercetin 함량 변화를 관찰한 결과 수확 후 품질이 저하되는 초기에는 allicin과 quercetin 함량이 증가하다가 품질의 열화 정도가 심하여 상품성 한계를 벗어날 정도일 때는 함량이 초기값보다 감소하는 경향을 보였다. Allin을 포함한 마늘 등 *Allium* 속은 조직이 손상되면 액포 효소인 allinase가 allin을 포함한 세포질 ACSO를 빠르게 가수분해시켜 thiosulfates를 형성하여 이로 인해 맛과 냄새에 독특한 풍미가 발생한다. 마늘에서는 allicin(diallyl thiosulfate)이 전체 thiosulfates의 약 70%를 차지하며, 신선 마늘에서 발견되는 주요 생리 활성 화합물로 여겨지고 있다. Park 등(2014)은 콜라비의 glucosinolates의 함량이 상온저장 동안 초기값을 유지하였고, 배추과 작물의 향미 주성분이자 glucosinolates의 가수분해 산물인 isothiocyanates 함량은 저온저장 기간 동안 거의 변화가 없었다고 하였으며, 이는 세포간극이 잘 보존되어 글루코시드의 결합을 끊는 myrosinase와 접촉이 불가능하여 성분 분해를 방지하기 때문이라고 하였다. 이 해석은 대파에 함유된 allin이 잘 보존된 세포간극으로 인해 액포에 존재하는 분해 효소와의 접촉이 불가능하여 이후의 대사 경로를 억제하여 함량에 영향을 미칠 수 있음을 설명할 수 있다. 대파는 저장기간이 경과함에 따라 겉껍질부터 품질 저하가 일어나며, 품질이 저하된 겉껍질과 아직 신선도를 유지하고 있는 속부분이 있는데, 가식부위의 allicin과 quercetin 함량은 품질 저하가 일어나는 초기까지는 증가하다가 품질이 완전히 열화되었을 때 함량이 감소하였다. 이는 품질이 저하된 대파일지라도 가식할 수 있는 속부분의 allin과 quercetin 함량은 일정기간 유지된다는 의미이므로 소비자나 건조대파를 조제하는 경우 장점이 될 수 있다.

대파의 열화된 겉껍질과 가식할 수 있는 속부분의 기능성분 차이에 대해서는 추후 세밀한 분석이 필요하다.

4. 요약

대파 저장 중 품질에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 잎의 색도변화와 수분손실에 의한 시들음이었다. 상온저장 중 대파 잎의 색도 중 L*값과 b*값은 저장 2일에서 4일이 경과하면서 급격히 높아졌고, a*값은 저장 4일에서 6일이 경과하면서 급격히 증가하였으며, 잎의 황화 및 시들음 지수도 상온저장 2일이 경과하면서 급격히 증가하였다. 저온저장 시에는 색도가 안정적으로 유지되어 저장 5주째까지는 상품성 이내의 색도를 보였다. 처리구별로는 저장기간이 경과함에 따라 CR의 잎 변화가 AR처리구에 비해 빠르게 진행되었다. 줄기의 색변화 및 경도도 AR에서 보다 높게 유지되었다. 대파 줄기의 갈변 및 연화도 저장 기간경과에 따라 진행되었으나 잎의 색도변화 속력보다는 느려서 상품성 한계기간 이내에서는 상품성에 영향을 미치지 않는 수준이었다. 줄기 구부러짐은 현상은 상온 및 저온저장 말기 끈뭉음 처리구들보다 포장필름 처리구들에서 유의하게 높았다. 상온저장 시에는 끈뭉음과 필름포장 방법 처리들 간의 신선도의 차이가 미미한 반면, 1°C 저온저장 시에는 필름포장 처리구의 선도가 높게 유지되었다. 상온 및 저온저장 모두 뿌리를 다듬지 않은 채 유통하는 것이 유통수명을 연장할 수 있었다. 이화학적 품질 요인 및 외관 품질 평가를 총괄하였을 때 상온저장 시 저장유통수명은 약 3일, 저온저장 시에는 약 5주였다. 대파 연백부에 함유된 allicin과 quercetin 함량은 수확 후 품질 저하가 시작되는 초기에는 증가하다가 열화가 심해지면서 감소하였다.

Funding

The research was funded by Rural Development Administration, Republic of Korea.

Acknowledgements

This study was supported by the “Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01715402) Rural Development Administration, Republic of Korea.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Choi JW, Lim S. Methodology: Choi JW,

Cho MA, Jung KS. Formal analysis: Choi JW, Jung KS. Validation: Cho JH, Lee JH. Writing - original draft: Choi JW. Writing - review & editing: Choi JW, Cho MA.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Ji Weon Choi (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-1929-4697>

MiAe Cho (First author)

<https://orcid.org/0009-0007-1711-1873>

Ki-Sik Jung

<https://orcid.org/0009-0002-8715-3175>

Jae Han Cho

<https://orcid.org/0009-0009-3830-1881>

Ji Hyun Lee

<https://orcid.org/0000-0002-9139-5444>

Sooyeon Lim

<https://orcid.org/0000-0002-8929-3377>

References

- Acharya B, Mohini C, Hemant S, Deepika S, Ankita K, Ashwani K, Vedpriya A. Phytochemistry, pharmacology, and medicinal aspects of *Allium fistulosum* L.: A narrative review. *J App Pharm Sci*, 13, 107-118 (2023)
- Aoyama S, Yamamoto Y. Antioxidant activity and flavonoid content of welsh onion (*Allium fistulosum*) and the effect of thermal treatment. *Food Sci Technol Res*, 13, 67-72 (2007)
- Bartz JA, Brecht JK. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. 2nd ed, CRC Press, Boca Raton, USA, p 1-6 (2002)
- Cha HS, Youn AR, Kim SH, Jeong JW, Kim BS. Quality analysis of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) as influenced by storage temperature and harvesting period. *Korean J Food Sci Technol*, 40, 1-7 (2008)
- Choi JW, Choi HJ, Kim JG, Lee JH, Kim CK, Shin IS, Hong YP. Review of postharvest management to expand the export of fresh perilla leaves. *Korean J Food Preserv*, 26, 730-739 (2019)
- Choi JW, Kim SY, Lim SY, Choi HJ, Yang HJ, Shin IS. Patent prospects and trends in post-harvest management technology of fresh agricultural products. *Korean J Food Preserv*, 27, 423-432 (2020)
- Dissanayake PK, Yaguchi S, Shigyo M, Yamauchi N. Postharvest chlorophyll degradation in Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). *Fresh Produce*, 4, 123-127 (2009)
- Dissanayake PK, Yamauchi N, Shigyo M. Chlorophyll degradation and resulting catabolite formation in stored Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). *J Sci Food Agric*, 88, 1981-1986 (2008)
- Feng X, Liu W. Variation of quercetin content in different tissues of welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *Afr J Agric Res*, 6, 5675-5679 (2011)
- Han C, Ji Y, Li M, Li X, Jin P, Zheng Y. Influence of wounding intensity and storage temperature on quality and antioxidant activity of fresh-cut welsh onions. *Sci Hortic*, 212, 203-209 (2016)
- Han IH, Kim JH. Antioxidant and physiological activities of water and ethanol extracts of diverse parts of welsh onion. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 46, 426-434 (2017)
- Han J, Lawson L, Han G, Han P. Spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfates. *Anal Biochem*, 225, 157-160 (1995)
- Hong G, Peiser G, Cantwell MI. Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. *Postharvest Biol Technol*, 20, 53-61 (2000)
- Hong SI, Kim DM. The effect of packaging treatment on the storage quality of minimally processed bunched onions. *Int J Food Sci Technol*, 39, 1033-1041 (2004)
- Ibaraki T, Ikeda H, Ohta H. Effects of several atmospheres composition on keeping quality of welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *Food Preserv Sci*, 23, 3-7 (1997)
- Ibaraki T, Ikeda H, Ohta H. Effect of polypropylene film packaging and storage temperature on chemical components and quality stability of welsh onion. *Food Sci Technol Res*, 5, 93-96 (1999)
- Ibaraki T, Ishii T, Ikematsu E, Ikeda H, Ohta H. Modified atmosphere packaging of cut welsh onion: Effect of micro-perforated polypropylene film packaging on chemical components and quality stability of the vegetable. *Food Sci Technol Res*, 6, 126-129 (2000)
- Inden H, Asahira T. *Japanese Bunching Onion (Allium fistulosum L.)*, Onions and Allied Crops: Volume III: Biochemistry, Food Sciences, and Minor Crops. CRC Press, Boca Raton, p 159-178 (1990)
- Koo BS. Flavor characteristics according to parts of raw materials on *Allium fistulosum* L. seasoning oil. *Korean J Food Preserv*, 12, 465-469 (2005)
- Leighton T, Ginther C, Fluss L, Harter WK, Cansado J, Notario V. Molecular characterization of quercetin and quercetin glycosides in *Allium* vegetables their effects on malignant cell transformatino, Univ of Missouri Columbia, 16, 220-238 (1992)
- Lwin WW, Srilaong V. Maintaining the quality of bunching onion (*Allium fistulosum*) by cold shock treatment and

- packaging. J Agric Res, 1, 36-57 (2014)
- Lwin W, Srilaong V, Kanlayanarat S, Pongprasert N, Uthairatanakij A. Effects of different exposure times of 1-MCP on the quality of bunching onions (*Allium fistulosum*). Agric Sci J, 44, 269-272 (2013)
- Miron T, Rabinkov A, Mirelman D, Weiner L, Wilchek M. A spectrophotometric assay for allicin and alliinase (alliin lyase) activity: Reaction of 2-nitro-5-thiobenzoate with thiosulfinates. Anal Biochem, 265, 317-325 (1998)
- Mohamed OO, Atress AS. Effect of some pre and postharvest treatment on quality and storability of green onion. Egypt Agric Res, 94, 689-706 (2016)
- Park MH, Seo JM, Kim SJ, Kim WB, Lee JS, Choi JW. Changes in the quality and secondary metabolites of kohlrabi during storage. Korean J Food Preserv, 21, 601-608 (2014)
- Puspita DW, Prihastanti E, Suedy SWA, Subagio A. Analysis effect of nano chitosan coating on the quality of shallot bulbs (*Allium ascalonicum* L. var. Bauji). J Biodjati, 7, 75-85 (2022)
- Singh P, Mahajaj V, Shabeer TP A, Banerjee K, jadhav MR, Kumar P, Gopal J. Comparative evaluation of different *Allium* accessions for allicin and other allyl thiosulphinates. Ind Crops Prod, 147, 112215 (2020)
- Smith C, Lombard KA, Peffley EB, Liu W. Genetic analysis of quercetin in onion (*Allium cepa* L.) 'Lady Raider'. Texas J Agric Nat Resour, 16, 24-28 (2003)
- Toshiyuki I, Hironobu I, Hideaki O. Effect of harvest season on respiration rate, chemical components and quality stability in welsh onion (*Allium fistulosum* L.). Food Preserv Sci, 23, 77-82 (1997)
- Wang Y, Deng C, Cota-Ruiz K, Peralta-Videa JR, Sun Y, Rowat S, Tan W, Reves A, Hernandez-Viezcas JA, Niu G, Li C, Gardea-Torresdey JL. Improvement of nutrient elements and allicin content in green onion (*Allium fistulosum*) plants exposed to CuO nanoparticles. Sci Total Environ, 725, 138387 (2020)
- Zhou CL, Hu XY, Chao C, Li H, Zhang SY, Yan XM, Yang FM, Li QH. Quantitation of allicin in garlic-based products: comparisons among spectrophotometry, GC and HPLC. Adv J Food Sci Technol, 9, 269-277 (2015)