저장조건에 따른 콜라비의 이화학적 특성 및 생리활성 변화

허수형¹ · 부경환² · 한상헌³ · 박성수⁴ · 김창숙^{1,2}

¹제주대학교 생명공학부, ²제주대학교 아열대·열대 생물유전자은행센터
³제주대학교 생물산업학부, ⁴제주대학교 식품영양학과

Changes in Physicochemical Properties and Biological Activities of Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) according to Storage Conditions

Su Hyeong Heo¹, Kyung-Hwan Boo², Sang-Heon Han³, Sung-Soo Park⁴, and Chang Sook Kim^{1,2}

¹Faculty of Biotechnology, ²Tropical Organism Gene Bank, ³Faculty of Bioscience & Industry, and ⁴Department of Food Science and Nutrition, Jeju National University

ABSTRACT This study was conducted to investigate the changes in the physicochemical properties and biological activities of kohlrabi according to the storage conditions. The kohlrabi was packed with or without polypropylene (PP) film or wrap, and stored at room temperature for 20 days prior to analysis. The reduction in the kohlrabi weight on the 20th day of storage was 20.9% when in an unpacked state, and 7.1% and 3.6% in PP film and wrap packages, respectively. However, the polyphenol, flavonoid, vitamin C, and glucosinolates content were not significantly affected by packaging conditions, although it varied with storage period. Sugar content (Brix) increased with the storage period. Total polyphenol content decreased by 5~41% compared to the initial value according to the storage period. The content of the five flavonoids decreased by approximately 18% on the second day of storage and decreased rapidly to about 60% after the 5th day. The vitamin C content decreased significantly to 39~49% compared to the control group from the 10th day. Total glucosinolates content tended to increase with the storage period. In addition, the DPPH radical scavenging activity decreased from the second day and decreased by 47~49% on the 20th day, while the anti-inflammatory effect of the kohlrabi extract on lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells was not significantly changed depending on the storage period. These results showed that the physicochemical properties of kohlrabi stored at room temperature significantly changed from the 10th day when the external quality changes occur. Specifically, the results indicated that antioxidant activity decreases due to the decrease in the content of antioxidant-related substances depending on the storage period.

Key words: antioxidation, kohlrabi, physicochemical characteristics, storage conditions

서 론

최근 코로나 19를 포함한 다양한 사회 환경의 급격한 변화로 간편한 식생활을 추구하는 경향이 높아져서 전처리 또는 가공과정을 거친 가정간편식(HMR; Home Meal Replacement)을 찾는 소비자들이 증가하는 추세이다. 가정간편식은 식품소재의 신선함과 사용할 때에 편의성을 제공하는 제품군으로서 크게 4가지 형태로 분류하고 있다(Kim 등, 2017). 또한, HMR 유형의 가공과일 및 채소류 식품의 소비가 증가함에 따라 이들 제품의 신선도를 유지하는 최적의 유통기술

과 가정간편식에 이용되는 원료 농산물의 품질 및 기능성에 대한 관심도 지속적으로 늘어나고 있다. 특히, 항암, 항산화 성분 등의 기능성을 갖는 식재료에 관심이 많아서 콜라비, 방울양배추, 비트, 브로콜리 등과 같은 외국에서 도입된 채소류의 수요가 늘어나고 있다. 이는 HMR에 활용되는 원료 농산물의 외형적 품질뿐만 아니라 건강에 도움을 주는 기능성 성분에 대한 관심이 증가하고 있음을 의미하는 것이다.

콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongylodes*)는 양귀비목(*Papaveaceae*) 배추과(*Brassicaceae*)에 속하는 2년생 채소로, 품종은 아시아군과 서유럽군으로 나누어지고 있다.

Received 4 March 2021; Revised 30 March 2021; Accepted 4 May 2021

Corresponding author: Chang Sook Kim, Faculty of Biotechnology, Jeju National University, 102, Jejudaehak-ro, Jeju-si, Jeju 63243, Korea, E-mail: cskim1225@jeju.ac.kr

Author information: Su Hyeong Heo (Graduate student), Kyung Hwan Boo (Professor), Sang-Heon Han (Professor), Sung-Soo Park (Professor), Chang Sook Kim (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

콜라비는 일반채소에 비해 열량이 낮고 수분과 식이섬유가 풍부하여 다이어트에 좋다고 알려져 있을 뿐만 아니라 항산화 성분과 비타민 C를 비롯해 항암 성분인 glucosinolates 함량이 높은 웰빙 채소로 인식되면서 소비자들의 수요가 계속 증가하고 있다(Choi 등, 2010; Park 등, 2012; Cha 등, 2013). 이에 최근에는 제주지역에서 주로 재배가 되었던 콜라비가 전국적으로 확산되고 있다.

일반적으로 콜라비는 11월부터 이듬해 3월까지 수확을 하며, 대부분 수확 후 즉시 상온 유통하거나 공급기간을 연장하기 위해 저온저장($0\sim4^{\circ}\text{C}$)을 하면서 상온 유통 판매를 하고 있다(Cha와 Lee, 2013). 콜라비의 저장 수명은 잎을 제거하여 0°C , 95% 습도 조건에 저장하면 3개월까지도 저장이 가능하나 잎을 붙인 상태에서는 2주 이후에 부패가 일어난다고 알려져 있고(Toivonen과 Forney, 2016), 장기저장을 할 경우에는 필름 포장을 하여 0°C 에 보존하는 것이 높은 품질이 유지된다고 보고하고 있다(Escalona 등, 2007a). 또한, 콜라비 절편인 경우에는 PE(polyethylene) 필름 포장 시 가스 조성이 이루어져 2주 동안은 품질 특성이 유지된다고 보고하고 있다(Escalona 등, 2007b). 더불어 콜라비를 $30\ \mu\text{m}$ OPP(oriented polypropylene) 필름에 OTR(oxygen transmission rate)을 $3,000\ \text{mL/m}^2/\text{d/atm}$ 으로 조성된 필름을 사용하여 저장할 경우에는 비타민 C 함량 변화가 거의 없다는 연구(Park 등, 2014a)와 콜라비를 상온에 저장할 경우 2주 후부터 총 페놀 및 플라보노이드 함량이 급격히 감소하지만 저온저장의 경우는 2개월까지 품질 변화가 거의 없었다는 보고도 있다(Park 등, 2014b). 그럼에도 불구하고 소비자들에게 인기가 높은 콜라비가 상온 유통과정에서 일어나는 유효성분과 기능성 변화에 대한 세부적인 정보는 부족한 실정이다. 특히, 국내에서는 일반적으로 콜라비를 수확 후 생산지의 저온저장고($0\pm2^{\circ}\text{C}$)에 보관하면서 수급 조절을 하고 있어서, 저온저장 이후 상온 상태에서의 콜라비의 이화학적 특성 변화에 대한 연구는 거의 전무하다. 이에 소비시장 현장의 유통환경이 콜라비의 품질 특성 및 기능성 영양성분 변화에 미치는 영향에 대한 조사가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 콜라비를 저온저장 후 상온 유통 시에 발생할 수 있는 품질 특성 변화를 비롯하여 비타민 C 등의 유효성분 및 항산화 활성 등의 생리활성 변화를 조사하여 콜라비의 최적 유통기간 설정과 콜라비 기능성 성분의 안전한 보존 및 사용에 필요한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 자색 콜라비(purple kohlrabi)는 2020년 2월 제주특별자치도 제주시 애월읍에서 수확하여 저장고($0\pm2^{\circ}\text{C}$)에 1주일간 저장 중인 것 중 신선하고 외관에 상처가 없으며 크기와 모양이 유사한 것들로, 중량은 약 500~600 g 정도인 것을 사용하였다.

저장 전처리 및 건조분말 제조

콜라비는 무포장을 기본으로 농산물 포장용 PP(polypropylene) 필름 포장재(30 mm, $250\times310\ \text{mm}$, 구멍 2개, 야채야, Hanam, Korea)와 식품 포장용 크린 랩(LLD-PE)을 사용하여 한 개체씩 밀봉 포장하였으며, 처리된 각각의 콜라비는 상온($20\pm2^{\circ}\text{C}$)에 20일 동안 저장하면서 주기적으로 품질 및 이화학적 특성 변화를 조사하였다. 조건별 처리된 콜라비는 절단한 후 곧바로 동결건조기(DK/coolSAFE 55-4, Labogene, Lillerød, Denmark)를 이용하여 건조시킨 후 마쇄하여 분말형태로 제조한 다음 -20°C 에 보관하면서 유효성분 분석 등에 이용하였다.

품질 특성(중량 감소율, 당도, pH) 측정

중량 감소율은 동일한 개체를 주기적으로 측정하여 초기 중량에 대해 감소하는 중량을 백분율로 나타내었다. 당도는 착즙 후 당도계(PAL-BX ACID181, ATAGO Co., Ltd., Fukaya-shi, Japan)로 측정하여 Brix로 나타내었다. pH는 pH/conductivity meter(A470 SevenExcellence™, Inti Inc., Chwerzenbach, Switzerland)를 사용하여 측정하였다.

유효성분 분석

총 폴리페놀 함량: 콜라비 건조분말 1 g에 70% 에탄올 10 mL를 첨가한 후 상온에서 1시간씩 3회 교반하여 추출하였다. 추출액을 회전감압농축기(rotary evaporator, Laborata 4000 Heidolph, Schwabach, Germany)로 농축한 후 dimethyl sulfoxide 2.5 mL로 용해하였으며, 일부를 10배 희석하여 총 폴리페놀 함량 측정에 사용하였다. 총 폴리페놀 함량 측정은 Folin과 Denis(1912) 방법을 참고하여 Kang 등(2020)의 실험방법에 따랐다. 추출액 100 μL 를 증류수 400 μL 와 혼합한 다음 1 N Folin-Ciocalteu 시약 200 μL 를 가하여 혼합한 후 암소에서 3분간 반응시켰다. 여기에 10% Na_2CO_3 용액 300 μL 를 가하여 혼합한 후 암소에서 30분간 반응시켰다. 반응액을 96-well plate에 200 μL 씩 옮긴 후 microplate spectrophotometer(Thermo scientific, Middlesex County, MA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 quercetin을 사용하여 농도별 표준용액에 대한 흡광도로 표준 검량선을 작성한 후 폴리페놀 함량을 구하였으며, 총 페놀 함량은 $\mu\text{g quercetin equivalent}(\mu\text{g QE/g DW})$ 로 표기하였다.

HPLC를 이용한 플라보노이드 분석: 콜라비 분말시료에서 플라보노이드 추출 및 분석은 Han 등(2019)의 방법을 참고하였다. 1 g 시료에 80% 에탄올 30 mL를 가하여 60°C 에서 10시간 동안 교반 추출한 후 원심분리(13,000 rpm, 10 min)하였다. 원심분리된 상등액은 회전감압농축기를 이용하여 완전히 농축시킨 다음 HPLC용 메탄올 2 mL에 용해하고 $0.45\ \mu\text{m}$ 필터로 여과한 후 사용하였다. 플라보노이드 성분 분석은 UV/VIS 검출기의 280 nm의 HPLC(LC-10AD VP, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하였으며, Luna C₁₈

컬럼(100 Å, 250×46 mm, Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 사용하였다. 컬럼 온도 40°C 조건에서 이동상은 0.5% acetic acid를 첨가한 acetonitrile(A)과 0.5% acetic acid를 첨가한 3차 증류수(B)로 구성하였고, 유속은 분당 1 mL였다. A와 B 용액의 농도 구배 프로그램은 0~14분 사이에 20% A, 14~33분 사이에 40% A, 33~38분 사이에 70% A, 47~60분 사이에 20% A로 구성하였다. 각 플라보노이드의 함량은 표준물질의 피크 면적과 해당 물질과의 검량선을 통해 계산하였으며, 표준물질은 rutin, narirutin, naringin, nobiletin, tangeretin으로 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

Vitamin C 분석: 콜라비의 비타민 C 함량은 Rizzolo 등(1984)의 방법에 따라 HPLC로 분석하였다. 콜라비 분말시료 2 g에 10% metaphosphoric acid(HPO₃) 용액 10 mL를 가하여 10분간 현탁시킨 후 5% HPO₃ 10 mL를 가하여 균질하였다. 균질화된 시료에 5% HPO₃를 이용하여 100 mL로 정량화한 후 원심분리(3,000 rpm, 10 min)하였다. 상등액을 수거하여 0.2 µm syringe filter로 여과한 후 비타민 C 분석에 사용하였다. 비타민 C 정량분석은 HPLC(e2695, Waters Co., Milford, MA, USA)를 이용하였으며 Jasco-pack Fine Sil-NH₂ 컬럼(3.9×300 mm, 10 µm)으로 분리하였다. 이동상은 0.05 M KH₂PO₄:acetonitrile(60:40)을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min, 검출파장은 254 nm, 주입량은 10 µL, 컬럼 온도는 30°C를 유지하였다. 표준물질은 ascorbic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하였으며, 시료의 비타민 C 함량은 표준물질의 농도에 따른 피크의 면적을 이용하여 정량 분석하였다.

총 glucosinolates 분석: 총 glucosinolates 함량은 Mawlong 등(2017)의 방법에 따라 측정하였다. 콜라비 동결건조 분말 0.1 g에 80% 메탄올 1 mL를 가하여 70°C에서 15분간 추출을 3회 반복하였다. 추출된 시료를 3,000 rpm에서 4분 동안 원심분리 후 상등액만 취해 2배 희석하여 분석에 사용하였다. 희석된 시료 100 µL에 3차 증류수 0.3 mL와 2 mM sodium tetrachloropalladate(58.5 mg sodium tetrachloropalladate + 170 µL concentrated HCl + 100 mL D.W) 3 mL를 가하여 실온에서 1시간 반응시킨 후 425 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 glucosinolates 함량은 표준물질 sinigrin을 사용하여 농도별 표준용액에 대한 흡광도로 표준 검량선을 작성한 후 산출하였으며, µg sinigrin equivalent(µg SE/g DW)로 표기하였다.

생리활성 측정

항산화 활성: 항산화 활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)와 ABTS[(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)] 라디칼 소거 활성의 두 가지 방법으로 측정하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 Blois(1958)의 방법에 따라 측정하였고, ABTS 라디칼 소거 활성은 Re 등(1999)의 방법에 따라 측정하였다. 항산화 활성 분석용 콜라비 추출액은 총 폴리페놀 추출 과정과 동일한 방법으로 제조하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성은 추출액을 3배 희석한 시료 40 µL에 0.3 mM DPPH 용액 160 µL를 가하여 혼합하고 암소에서 30분간 반응시킨 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다. ABTS 라디칼 소거 활성 측정에 사용한 ABTS 용액은 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 14시간 동안 암실에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 734 nm의 흡광도 값이 0.7±0.02 범위가 되도록 조절하여 사용하였다. ABTS 라디칼 소거 활성은 추출액을 10배 희석한 시료 10 µL를 96-well plate에 옮기고 ABTS 용액 190 µL와 혼합한 후, 암실에서 30분간 반응시킨 다음 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료의 DPPH 또는 ABTS 라디칼 소거 활성은 아래 식에 의해 계산하여 백분율(%)로 나타내었다.

$$\text{DPPH 또는 ABTS 라디칼 소거 활성(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

항염증 활성 측정

세포배양 및 세포독성 측정: 대식세포 계열(murine macrophage cell line)인 RAW 264.7 세포는 American Type Culture Collection(ATCC, Manassas, VA, USA)에서 구입하여 10% fetal bovine serum(FBS)과 penicillin-streptomycin 100 units/mL(SAFC, Brooklyn, Australia)가 함유된 DMEM 배지(DIBCO, Grand Island, NY, USA)를 사용하여 37°C, 5% CO₂ 항온기에서 배양하였으며, 3일 간격으로 계대배양을 시행하였다. 콜라비 추출물의 RAW 264.7 세포에 대한 세포독성은 3-[4,5-dimethylthiazole-2-yl]-2,5-diphenyl-tetrazolium bromide(MTT) 환원 방법을 이용하여 측정하였다(Chung 등, 2005).

Nitric oxide(NO) 생성 억제 활성 측정: Kang 등(2020)의 방법에 따라 RAW 264.7 세포를 10% FBS가 첨가된 DMEM 배지를 이용하여 2.5×10⁵ cells/mL로 조절한 후 48-well plate에 접종하고, 콜라비 추출물 시료와 lipopolysaccharide(LPS; 1 µg/mL)를 동시에 처리하여 24시간 배양하였다. 생성된 NO양은 Griess 시약[1%(W/V) sulfanilamide, 0.1%(w/v) naphthylethylenediamine in 2.5%(v/v) phosphoric acid]을 이용하여 세포배양 중에 존재하는 NO₂⁻의 형태로 측정하였다. 세포배양 상등액 100 µL와 Griess 시약 100 µL를 혼합하여 96-well plate에서 10분 동안 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 생성된 NO의 양은 2-amino-4-methylpyridine을 standard로 비교하였다.

통계분석

실험 결과는 3~5회 반복하여 평균±표준편차(mean±SD)로 나타냈으며, 각 실험군 간의 유의성은 통계분석용 소프트웨어 IBM SPSS Statistics 20(New York, NY, USA)을 이용하여 일원분산분석(one-way ANOVA) 및 최소유의

차검증(LDS)을 통해 $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$ 수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

콜라비의 품질 변화

농장에서 수확 후 저온저장고($0\pm 2^{\circ}\text{C}$)에 1주일 동안 저장 하였던 콜라비를 대상으로 무포장, PP 필름 및 랩 포장을 한 다음 상온에 저장하면서 품질 변화를 조사하였다. 콜라비의 중량 감소율은 20일 저장 동안 무포장 상태에서 20.9%, PP 필름 및 랩 포장에서 각각 7.1% 및 3.7%로 나타났다 (Table 1). 따라서 콜라비를 상온 유통하는 경우에도 무포장 상태보다는 PP 필름 또는 랩 포장이 중량 감소를 최소화하는 관리법이라 여겨진다. 콜라비의 당도는 초기값 8.3 Brix에서 저장기간에 따라 증가하여 20일 경과 후에는 무포장에서는 13.3 Brix, PP 필름 및 랩 포장인 경우에는 각각 12.6 및 10.0 Brix로 무포장 상태가 포장 상태보다 높은 당도값을 보였는데, 이는 상온 저장기간이 늘어날수록 수분 손실이 높아져 당도값이 높게 나타난 것으로 보인다. 한편, 무포장 또는 포장 콜라비의 pH 변화는 10일까지 거의 변화가 없었으나 20일차에는 초기값 pH 6.39에 비해 약 15~29% 낮게 나타났는데, 이는 콜라비의 대사작용과 연관되어 pH값이 떨어진 것으로 여겨진다. 상온저장 10일째부터는 일부 콜라비 개체에서 부패와 출엽 현상이 부분적으로 일어났었다(자료 미제시). 이 결과들은 콜라비의 상온저장 시 상품성이 유지되는 적정 유통기간이 2주 이내라고 제시한 Park 등(2014b)의 연구 결과와 비슷하였다. 궁극적으로 상온에서 콜라비를 유통 판매하는 경우 10일 전후까지는 수확 상태의 물리적 품질 특성을 어느 정도 유지하지만, 그 이후부터는 대사과정의 변화가 일어나기 시작하여 20일째부터는 품질 변화가 크게 일어날 수 있음을 제시하고 있다.

콜라비의 유효성분 변화

식물체에 존재하는 2차 대사산물인 페놀성 화합물과 플

라보노이드는 다양한 유도체들을 갖고 있으며, 이들 폴리페놀 화합물은 충치 예방, 항암 활성, 고혈압 억제 등의 기능뿐만 아니라 우수한 항산화 활성을 보유한 강력한 항산화 물질로 잘 알려져 있다(Sun 등, 2002; Pandey와 Rizvi, 2009). 이에 콜라비의 저장기간에 따른 항산화 관련 물질들의 변화를 조사하고, 나아가서 생리활성과의 연관성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 일차적으로 콜라비의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 콜라비 추출물의 총 폴리페놀 함량은 초기값 $780\text{ }\mu\text{g QE/g DW}$ 에서 저장조건에 따라 약 5~41% 범위로 감소하는 경향을 보였으나, 무포장과 포장처리 간의 유의적 차이는 나타나지 않았다. 이 결과는 농장에서 곧바로 수확한 콜라비를 대상으로 저장기간에 따른 총 페놀 함량을 조사한 Park 등(2014b)의 연구 결과와 비슷하였다. 한편, 콜라비의 주요 플라보노이드의 조성을 조사한 결과, rutin 및 tangeretin이 각각 59%와 33%로 가장 높게 나타났다. 저장조건에 따른 5종의 플라보노이드 함량 변화는 무포장과 포장처리 간에 큰 차이가 없었으나, 저장기간에 따라서는 2일째에 약 17~18% 감소하였고 5일째 이후에는 약 59~60%로 크게 감소하는 것으로 나타났다(Table 2).

일반적으로 과일과 채소의 수확 후 관리조건은 비타민 C 함량 보존에 중요한 요소로 온도가 높고 저장기간이 길수록 비타민 C 함량은 급격히 줄어든다고 보고하고 있다(Lee와 Kader, 2000). 또한 MA(modified atmosphere) 포장은 무포장에 비해 L-ascorbic acid에서 dehydroascorbic acid로 전환을 지연시켜 ascorbic acid 함량을 유지해 주는 것으로 알려져 있으며, MA 포장 내의 산소 농도가 높을수록 비타민 C 함량 감소도 크다고 보고하고 있다(Howard와 Hernandez-brenes, 1998). 이를 토대로 상온의 저장조건에 따른 콜라비의 비타민 C 함량 변화를 조사하였다(Fig. 1). 비타민 C 함량은 5일째인 경우 무포장 상태에서는 변화가 없었으나 포장 상태에서는 약 25~40% 범위로 감소하였으며, 10일째부터는 무포장과 포장처리 모든 시료에서 약 39~49% 수준으로 감소하였다. 비타민 C 함량 감소율은 저장기간이

Table 1. Changes in physiological quality of kohlrabi during storage at room temperature with or without PP film and wrap package

Treatment	Storage period (days)	Weight loss (%)	Brix	pH
	0	—	8.31±0.05	6.39±0.01
Non-package	5	6.10±0.69	14.30±0.05***	6.20±0.02***
	10	8.41±1.34	12.31±0.03***	6.54±0.01***
	20	20.94±1.36	13.32±0.05***	5.19±0.01***
PP film-package	5	1.54±0.92	13.62±0.05***	6.22±0.02
	10	2.08±2.08	12.05±0.00***	6.56±0.02
	20	7.14±1.76	12.62±0.05***	5.46±0.26***
Wrap-package	5	1.75±1.34	12.63±0.05***	6.30±0.00
	10	1.16±0.46	13.02±0.00***	6.45±0.01
	20	3.69±1.31	10.04±0.10*	4.57±0.31***

Data were expressed as mean±SD for five tests.

A significant difference was determined by one-way ANOVA with LSD test.

* $P<0.05$, *** $P<0.001$; compared with control (0 day sample).

Table 2. Total polyphenol and flavonoid contents in kohlrabi during storage at room temperature with or without PP film and wrap package

Storage form	Storage period (day)	Total phenols ($\mu\text{g QE/g DW}$)	Flavonoid ($\mu\text{g/g DW}$)					
			Rutin	Nobiletin	Naringin	Tangeretin	Narirutin	Total
Non-package	0	780.56 $\pm$ 19.57	338.56 $\pm$ 9.13	0.68 $\pm$ 0.47	2.02 $\pm$ 2.72	190.59 $\pm$ 1.69	40.81 $\pm$ 17.92	572.66 $\pm$ 45
	2	659.26 $\pm$ 28.95***	277.88 $\pm$ 8.79	1.76 $\pm$ 2.65	1.11 $\pm$ 1.23	191.40 $\pm$ 1.56	1.79 $\pm$ 0.52	473.94 $\pm$ 15.10***
	5	718.28 $\pm$ 5.44**	283.83 $\pm$ 14.85	1.21 $\pm$ 1.48	1.02 $\pm$ 1.30	190.28 $\pm$ 2.26	0.73 $\pm$ 0.41	230.90 $\pm$ 10.4***
	10	495.08 $\pm$ 5.89***	135.62 $\pm$ 0.62	0.33 $\pm$ 0.32	0.21 $\pm$ 0.03	95.15 $\pm$ 0.15	0.73 $\pm$ 0.07	232.04 $\pm$ 1.68***
	20	538.90 $\pm$ 13.75***	133.33 $\pm$ 0.54	ND ¹⁾	0.61 $\pm$ 0.26	94.69 $\pm$ 0.02	ND	228.63 $\pm$ 0.83***
PP-film package	2	695.78 $\pm$ 33.73**	281.48 $\pm$ 7.44	0.37 $\pm$ 0.21	1.01 $\pm$ 0.21	189.90 $\pm$ 0.19	2.15 $\pm$ 0.42	474.91 $\pm$ 8.80*
	5	698.40 $\pm$ 59.81*	123.36 $\pm$ 15.22	ND	0.10 $\pm$ 0.02	94.41 $\pm$ 0.37	7.49 $\pm$ 12.72	226.70 $\pm$ 0.50***
	10	591.47 $\pm$ 18.95***	134.67 $\pm$ 0.99	0.15 $\pm$ 0.06	0.25 $\pm$ 0.40	94.59 $\pm$ 0.04	5.27 $\pm$ 4.46	234.93 $\pm$ 9.19***
	20	657.26 $\pm$ 27.40***	132.45 $\pm$ 0.47	ND	1.44 $\pm$ 0.42	94.63 $\pm$ 0.06	ND	228.53 $\pm$ 0.95***
Wrap-package	2	599.09 $\pm$ 29.44***	269.02 $\pm$ 4.81	0.16 $\pm$ 0.12	0.43 $\pm$ 0.63	193.04 $\pm$ 7.92	2.51 $\pm$ 0.88	465.16 $\pm$ 15.02***
	5	740.37 $\pm$ 72.09	138.01 $\pm$ 3.85	0.43 $\pm$ 0.34	0.21 $\pm$ 0.14	94.54 $\pm$ 0.50	0.925 $\pm$ 0.73	234.10 $\pm$ 5.60***
	10	459.69 $\pm$ 10.81***	136.67 $\pm$ 5.54	0.08 $\pm$ 0.11	0.25 $\pm$ 1.5	95.12 $\pm$ 0.22	1.61 $\pm$ 1.23	233.69 $\pm$ 8.19***
	20	613.28 $\pm$ 52.09***	134.49 $\pm$ 1.78	0.14 $\pm$ 0.05	0.47 $\pm$ 0.06	94.55 $\pm$ 0.02	0.47 $\pm$ 0.06	230.38 $\pm$ 14.52***

¹⁾ND: not detected.Data were expressed as mean $\pm$ SD for three tests. A significant difference was determined by one-way ANOVA with LSD test. * P <0.05, ** P <0.01, *** P <0.001; compared with control (0 day sample).

길수록, 무포장보다는 PP 필름 및 랩 포장인 경우가 상대적으로 증가하였는데, 이는 포장 상태의 콜라비 내부 온도가 무포장 상태보다는 상대적으로 높아서 나타난 결과로 사료된다. 즉, 비타민 C 함량 감소는 저장기간 동안 온도 상승에 따라 oxidase에 의해 ascorbic acid의 분해가 쉽기 때문이라는 연구 결과(Thomas와 Oke, 1980)를 고려하면, 밀봉 포장재의 내부 온도가 상대적으로 높아서 콜라비의 비타민 C 분해 과정에 영향을 미칠 수 있으리라 추측되나, 향후 추가실험이 필요할 것으로 여겨진다.

배추, 브로콜리 및 콜라비 등과 같은 십자화과 채소에 풍부하게 함유된 glucosinolates(GLSs)는 유황 함유 β -D-glucoside로, myrosinase 효소 작용에 의해 isothiocyanate, nitrile 및 thiocyanate와 같은 생리활성 물질로 가수분해되

어 다양한 약리적, 생리적 활성을 나타낸다(Al-Gendy 등, 2010; Barba 등, 2016). 콜라비를 포함한 십자화과 채소의 GLSs 함량은 품종, 재배조건, 수확시기, 기후 등과 같은 요인들에 의해 영향을 받을 뿐만 아니라 저장 및 가공조건에 따라서도 GLSs 함량 변화가 일어난다(Rosa 등, 1996; Kushad 등, 1999; Hwang, 2019). Fig. 2는 저장기간 및 포장 형태에 따른 총 GLSs 함량 변화를 보여주고 있다. 콜라비의 총 GLSs 함량은 19.7 $\mu\text{mol/g}$ 으로 Park 등(2014b)이 보고한 6.91 $\mu\text{mol/g}$ 보다는 높게 나타났다. 무포장 저장기간 20 일째에는 25.4 $\mu\text{mol/g}$ 으로 초기값에 비해 약 28% 증가하였으며, 포장 콜라비의 경우에는 초기값 대비 약 67~80% 범위로 증가하는 경향을 보였다. Park 등(2014b)은 콜라비를 상온에 무포장 상태로 3주, 4주 저장 시 GLSs 함량이 초기

Fig. 1. Vitamin C contents in kohlrabi during storage at room temperature with or without PP film and wrap package. Data were expressed as mean $\pm$ SD for three tests. A significant difference was determined by one-way ANOVA with LSD test. *** P <0.001; compared with control (0 day sample). **Fig. 2.** Total glucosinolates contents in kohlrabi during storage at room temperature with or without PP film and wrap package. Data were expressed as mean $\pm$ SD for three tests. A significant difference was determined by one-way ANOVA with LSD test. *** P <0.001; compared with control (0 day sample).

Fig. 3. DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity in kohlrabi during storage at room temperature with or without PP film and wrap package. Data were expressed as mean±SD for three tests. A significant difference was determined by one-way ANOVA with LSD test. * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$; compared with control (0 day sample).

값 대비 각각 43%와 12% 증가하였으나, PE 포장 시에는 4주 동안 초기값을 유지하였다고 보고하고 있다. 무포장 상태의 콜라비인 경우에는 비슷한 결과를 보인 반면 랩과 PE 포장에서는 서로 다른 경향을 보여, 향후 저장조건에 따른 glucosinolates의 각 성분 변화에 대한 연구는 지속되어야 할 것으로 여겨진다.

콜라비의 생리활성 변화

항산화 활성: 저장조건에 따른 콜라비 에탄올 추출물의 항산화 활성을 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능으로 각각 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 저장기간에 따라 무포장 및 포장 콜라비 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성을 비교한 결과, 2일째부터는 대조구에 비하여 전체적으로 약 42% 범위로 감소하였으나 무포장과 포장처리 시료 간에 유의적 차이는 나타나지 않았다. ABTS 역시 DPPH와 마찬가지로 천연물질의 항산화 활성을 검증하기 위해 많이 이용되는 방법으로 알려져 있어 콜라비 에탄올 추출물을 대상으로 ABTS 라디칼 소거 활성을 측정하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 추출물 1% 농도에서 ABTS 라디칼 소거 활성은 DPPH 라디칼 소거 활성에 비하여 높게 나타났다. 이는 DPPH 라디칼과는 다르게 ABTS 라디칼은 극성물질 및 비극성물질 모두와 반응하여 소거되며, ABTS 라디칼과 잘 반응하는 항산화 물질이 DPPH와는 전혀 반응하지 않을 수도 있다는 보고(Re 등, 1999)와 부합하는 결과라 사료된다. Fig. 3에서 보듯이 DPPH 라디칼 소거 활성은 2일째부터 포장조건에 무관하게 약 40~42%로 감소하였고, 20일째는 약 47~49%로 감소율이 높아졌다. ABTS 라디칼 소거 활성을 기준으로 할 경우, 저장기간에 따라 항산화 활성은 10일째부터 19~26% 범위로 감소하는 경향을 보였으며, 무포장 및 포장처리 간의 차이는 크게 나타나지 않았다. 채소 및 과일에 들어있는 생리활성 물질과 항산화 성분은 저장조건에 따라 변화하는 것으로 알려져 있는데, 대부분 냉동조건에서 항산화 성분의 보존율이 가장 높고, 온도와 저장기간이 증가할수록 비타민 C

등의 항산화 성분의 손실률은 높다고 보고하고 있다(Kevers 등, 2007; Llorach 등, 2008). 또한, 수확 후 후숙 과정에 따라라도 유효성분의 함량 변화가 생긴다고 알려져 있다(Choi 등, 2013). 이상의 결과는 Table 2에 나타난 바와 같이 저장기간에 따른 콜라비의 총 페놀 및 플라보노이드 함량 감소가 항산화 활성 감소에 반영되어 나타난 것으로 여겨진다.

NO 생성억제 효과: 콜라비 메탄올 추출물이 세포 내에서 NO 생성에 미치는 영향을 LPS로 자극된 RAW 264.7 세포에서 조사하였다(Fig. 4). 이를 위해 먼저 콜라비 추출물의 RAW 264.7 세포에 대한 세포독성을 MTT assay로 확인하였다. 콜라비 추출물을 각각 300, 500, 1,000 µg/mL 농도로 처리하여 세포 생존율을 측정한 결과, 500 µg/mL 농도 이하에서는 모든 시료에서 90% 이상의 세포 생존율을 보여 RAW 264.7 세포에 대한 독성이 나타나지 않음을 확인하였다(Fig. 4). Fig. 4에서 보는 바와 같이 각각의 처리구별 콜라비 메탄올 추출물의 NO 생성 억제능은 약 16~20% 수준으로 나타났으며, 저장조건에 따른 유의적 차이는 나타나지 않았다. 이는 콜라비 메탄올 추출물 400 µg/mL 농도에서 약 37%의 NO 생성 억제 효과를 얻은 Yoon(2014)의 결과보다는 낮았다. 또한, Yi 등(2017)은 콜라비의 핵산 및 에틸아세테이트 분획물에서는 약 90% 이상의 NO 생성을 억제하나, 70% 에탄올 추출물에서는 효과가 나타나지 않았다고 보고하고 있다. 이를 근거로 하면 NO 억제능이 뛰어난 활성 성분은 에틸아세테이트 등의 용매 분획물에 포함되어 있을 것으로 예상되어 항염증 활성을 유도하는 물질의 세부적인 변화를 조사하기 위해서는 비극성 유기용매 분획물을 대상으로 평가해야 할 것으로 여겨진다.

이상의 결과는 저장기간에 따라 콜라비의 폴리페놀, 플라보노이드 및 비타민 C 등의 항산화 물질 감소가 항산화 활성 감소를 초래하고 있다고 여겨지며, 항산화 활성은 상온 저장 2일째부터 감소하기 시작하여 10일째부터는 감소율이 높아지고 있음을 제시한다. 궁극적으로 본 연구의 결과는 콜라비

Fig. 4. Inhibitory effects of the kohlrabi methanol extracts on cell viability and NO production in LPS-stimulated RAW 264.7 cells. The production of NO was assayed in the culture medium of cells treated with LPS (1 $\mu\text{g/mL}$) for 24 h in the presence of kohlrabi methanol extracts (500 $\mu\text{g/mL}$). Data were expressed as mean $\pm$ SD for three tests.

를 저온저장 후 상온 유통 시에 품질관리와 유효성분 분리 및 활용화 연구에 중요한 기초 자료가 될 것이며, HMR 등의 식자재 개발에 적용 가능성이 높다고 사료된다. 향후 저장온도의 미세한 차이 및 MA 등의 포장조건하에서 유효성분 변화에 대한 연구는 지속되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 저온저장 중인 콜라비를 상온 유통 시의 품질, 유효성분 및 생리활성 변화를 조사하여 최적 유통기간 설정과 기능성 활용에 필요한 정보를 제공하고자 하였다. 저온(0°C)에 1주일간 저장하였던 콜라비를 무포장, PP 필름 및 랩으로 각각 밀봉 포장한 후 상온(20°C)에 저장하면서 기간에 따른 이화학적 특성 변화를 조사하였다. 중량 감소율은 저장 20일째에 무포장이 20.9%, PP 필름 및 랩 포장에서는 각각 7.1%와 3.6%로 나타나서 랩 포장이 상대적으로 중량 감소를 최소화하였다. 당도(Brix)는 포장 상태와 무관하게 저장기간에 따라 증가하였으며, pH는 초기에는 변화가 없었으나 20일째에는 약 15~29% 감소하였다. 총 폴리페놀 함량은 저장기간에 따라 초기값 대비 약 5~41% 감소하였다. 특히, rutin 등 5종의 플라보노이드는 저장 2일째에 약 18% 감소하였고 5일째 이후에는 약 60%로 급격히 감소하였다. 비타민 C 함량은 10일째부터 초기값에 비하여 약 39~49%로 크게 감소하였다. 함유 성분으로 알려진 총 glucosinolates는 저장기간에 따라 증가하는 경향을 보여 20일째에는 무포장인 경우 약 28%, 포장 상태에서는 약 67~80% 증가하였다. 저장기간에 따른 콜라비의 DPPH 라디칼 소거능은 2일째부터 감소하기 시작하여 20일째는 약 47~49% 감소하였는데, 이는 플라보노이드 함량 변화와 연관되어 나타났다. 반면에 ABTS 소거능은 5일째까지 초기값을 유지하였으나 10일째 이후부터는 19~26% 범위로 감소하였다. LPS로 자극된 RAW 264.7 세포에서 저장조건에 따른 콜라비 추출물의 항염증 효과를 측정된 결과, 저장조건에 따른

유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과는 콜라비를 저온저장 후 상온 유통할 경우 외관의 품질 변화가 발생하는 저장 10일째부터 이화학적 변화가 크게 일어나며, 항산화 관련 물질의 감소로 항산화 활성이 감소하고 있음을 보여주고 있다. 향후 포장 유형에 따른 콜라비의 생리활성 변화에 대한 연구는 계속 진행되어야 할 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ01496201)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Al-Gendy AA, El-Gindi OD, Hafez AS, Ateya AM. Glucosinolates, volatile constituents and biological activities of *Erysimum corinthium* Boiss. (Brassicaceae). Food Chem. 2010. 118: 519-524.
- Barba FJ, Nikmaram N, Roohinejad S, Khelifa A, Zhu Z, Koubaa M. Bioavailability of glucosinolates and their breakdown products: impact of processing. Front Nutr. 2016. 3:24. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00024>
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature. 1958. 181:1199-1200.
- Cha SS, Lee JJ. Quality properties and storage characteristics of hamburger patty added with purple Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). J Korean Soc Food Sci Nutr. 2013. 42:1994-2003.
- Cha SS, Lee MY, Lee JJ. Comparison of physicochemical composition of kohlrabi flesh and peel. Korean J Food Preseve. 2013. 20:88-96.
- Choi HG, Kang NJ, Moon BY, Kwon JK, Rho IR, Park KS, et al. Changes in fruit quality and antioxidant activity depending on ripening levels, storage temperature, and storage periods in strawberry cultivars. Korean J Hort Sci Technol. 2013. 31:194-202.
- Choi SH, Ryu DK, Park S, Ahn KG, Lim YP, An G. Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). Korean J Hort Sci Technol. 2010. 28:469-475.

- Chung MJ, Walker PA, Brown RW, Hogstrand C. ZINC-mediated gene expression offers protection against H₂O₂-induced cytotoxicity. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2005. 205:225-236.
- Escalona VH, Aguayo E, Artes F. Extending the shelf life of kohlrabi stems by modified atmosphere packaging. *J Food Sci*. 2007a. 4:308-313.
- Escalona VH, Aguayo E, Artes F. Quality changes of fresh-cut kohlrabi sticks under modified atmosphere packaging. *J Food Sci*. 2007b. 72:303-307.
- Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem*. 1912. 12:239-249.
- Han SH, Kang SB, Moon YJ, Moon BW. Changes in fruit quality, antioxidant activity, and flavonoid content with limited irrigation after full bloom of early-maturing 'Harye' satsuma mandarin in a plastic greenhouse. *Korean J Hort Sci Technol*. 2019. 37:10-19.
- Howard LR, Hernandez-brenes C. Antioxidant content and market quality of jalapeno pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packing. *J Food Qual*. 1998. 21:317-327.
- Hwang ES. Effect of cooking methods on bioactive compounds contents and antioxidant activities of brussels sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2019. 48:1061-1069.
- Kang SM, Lee C, Jeong DH, Kim JW, Boo KH, Kim JH, et al. Evaluation of biological activities of *Sargassum horneri* fermented by microorganisms. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2020. 49:1194-1201.
- Kevers C, Falkowski M, Tabart J, Defraigne JO, Dommes J, Pincemail J. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *J Agric Food Chem*. 2007. 55:8596-8603.
- Kim TK, Choi HD, Kim YB, Jeon KH, Choi YS. Home meal replacement status and technology trends. *Food Industry and Nutrition*. 2017. 22(1):1-7.
- Kushad MM, Brown AF, Kurilich AC, Juvik JA, Klein BP, Wallig MA, et al. Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica oleracea*. *J Agric Food Chem*. 1999. 47:1541-1548.
- Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol Technol*. 2000. 20:207-200.
- Llorach R, Martínez-Sánchez A, Tomás-Barberán FA, Gil MI, Ferreres F. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chem*. 2008. 108:1028-1038.
- Mawlong I, Kumar MSS, Gurung B, Singh KH, Singh D. A simple spectrophotometric methods for estimating total glucosinolates in mustard de-oiled cake. *Int J Food Prop*. 2017. 20:3274-3281.
- Pandey KB, Rizvi SI. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev*. 2009. 2:270-278.
- Park MH, Choi JW, Kim YB, Kim MH, Won HY, Shin SY, et al. Effect of modified atmosphere packaging on postharvest quality of kohlrabi. *Korean J Hort Sci Technol*. 2014a. 32:655-665.
- 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*. 2014b. 21:601-608.
- Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, et al. Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). *J Agric Food Chem*. 2012. 60:8111-8116.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical action decolorization assay. *Free Radic Biol Med*. 1999. 26:1231-1237.
- Rizzolo A, Forni E, Polesello A. HPLC assay of ascorbic acid in fresh and processed fruit and vegetables. *Food Chem*. 1984. 14:189-199.
- Rosa EAS, Heaney RK, Portas CAM, Fenwick GR. Changes in glucosinolate concentration in *Brassica* crops (*Boleracea* and *Bnapus*) throughout growing seasons. *J Sci Food Agric*. 1996. 71:237-244.
- Sun J, Chu YF, Wu X, Liu RH. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J Agric Food Chem*. 2002. 50:7449-7454.
- Thomas P, Oke MS. Technical note: Vitamin C content and distribution in mangoes during ripening. *Int J Food Sci Technol*. 1980. 15:669-672.
- Toivonen PMA, Forney C. Kohlrabi. In: Gross KC, Wang CY, Saltveit M, editors. *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. USAD Handbook No. 66. United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA. 2016. p 377.
- Yi MR, Kang CH, Bu HJ. Antioxidant and anti-inflammatory activity of extracts from kohlrabi (*Brassica Oleracea* var. *Gonglodes*). *J Korean Oil Chem Soc*. 2017. 34:189-202.
- Yoon MH. Anti-diabetic and anti-inflammatory activities of *Bassica oleracea* var. *gongylodes* red cultivar. Master's thesis. Pukyong National University, Busan, Korea. 2014.