

## Changes in the quality and secondary metabolites of kohlrabi during storage

Me Hea Park<sup>1</sup>, Jeong Min Seo<sup>1</sup>, Sun Ju Kim<sup>2</sup>, Won Bae Kim<sup>3</sup>, Jung Soo Lee<sup>1</sup>,  
Ji Weon Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Postharvest Research Team, National Institute of Horticultural and Herbal science, Suwon 440-706, Korea

<sup>2</sup>Department of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3</sup>Vegetable division, National Institute of Horticultural and Herbal science, Suwon 440-706, Korea

### 콜라비의 저장 중 품질 및 이차대사산물의 변화

박미희<sup>1</sup> · 서정민<sup>1</sup> · 김선주<sup>2</sup> · 김원배<sup>3</sup> · 이정수<sup>1</sup> · 최지원<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 저장유통연구팀, <sup>2</sup>충남대학교 생물환경화학과, <sup>3</sup>국립원예특작과학원 채소과

#### Abstract

To determine the optimal shelf life for maintaining the high quality of kohlrabi, the changes in the physiological and secondary metabolites of kohlrabi stems during storage were investigated. The results showed that the kohlrabi maintained its marketable quality for two weeks at room temperature and for two months in cold storage (4°C). Interestingly, the total phenol and flavonoid contents sharply declined along with the quality deterioration after two-week storage at room temperature. Moreover, insignificant changes in these compounds were observed for two months during the cold storage. The secondary metabolites of the kohlrabi were also influenced by its storage condition. The total phenol and total flavonoid contents of the kohlrabi significantly increased with the storage periods at low temperature, and significantly decreased with the storage periods at room temperature. In terms of the packaging, no significant difference in the total phenol content of the kohlrabi was found between the packaged and non-packaged types of storage. However, the flavonoid content of the packaged kohlrabi was higher than that of the non-packaged kohlrabi at the end of their storage. The content of glucosinolates, an anti-cancer ingredient was maintained during the storage, so the vegetables remained good sources of these compounds when stored in cold storage even for a long period. This study showed a close correlation between the secondary metabolites and the change in the quality of kohlrabi during storage. The results also suggested that secondary metabolites such as phenolics can be considered quality indicators of the shelf life of kohlrabi.

**Key words :** kohlrabi, phenolics, glucosinolates, storage

#### 서 론

최근 소비자들은 항산화 성분 등 기능성 성분이 고함유된 작물의 선호도가 높아져 기능성 도입채소에 대한 수요가 늘고 있는 추세이다. 소비자들이 작물의 상품성을 크기, 색상 등의 외관 뿐만 아니라 건강에 유익한 성분에 대한 관심이 증가되고 있다.

콜라비(Kohlrabi, *Brassica olerace* L. *gongulodes* group)

는 비타민 C, 섬유소가 풍부하고(1), 항암성분인 glucosinolates (GLSs) 함량이 높은 대표적인 웰빙 채소로 소비자들의 관심을 받고 있는 작물이다(2,3). 콜라비는 유럽지방이 주산지이며, 한국에서 제주도지방을 중심으로 재배되고 있으며, 점차 내륙지방에서도 재배가 시도되고 있다(2). 콜라비의 가식부위는 뿌리와 줄기사이의 지상부가 비대해서 생긴 부위로 조직감과 맛이 무와 비슷하여 무의 대체작목으로 여겨지고 있다(2,4). 콜라비는 주로 연 1작기로 재배하며, 가을에 정식하여 이듬해 1~2월초에 수확이 완료되어, 즉시 상운유통을 하는 경우와 공급기간을 연장하기 위하여 저온

\*Corresponding author. E-mail : jwcnpri@korea.kr  
Phone : 82-31-240-3664, Fax : 82-031-240-3668

저장을 하면서 유통을 한다(1). 저장수명은 콜라비의 잎을 제거하고 0°C, 95% 습도하에서 저장시 3개월까지 저장이 가능하고, 잎을 붙인 채로 저장시는 2주 이후에 부패가 발생한다(5). Escalona 등(6)의 보고에 의하면 장기저장을 할 경우, 필름 포장을 하여 0°C에 보존하는 것이 높은 품질이 유지 된다고 하였다. 콜라비 절편의 경우도 polyethylene (PE) 필름 포장시 가스 조성이 7% O<sub>2</sub>+9% CO<sub>2</sub>로 유지되어 2주 동안 상품성이 유지된다고 한다(7). 반면에, 콜라비를 포장하여 저장시의 기능성 성분의 변화에 대한 연구는 드물며, 품질변화와 함께 기능성 성분변화를 제시하는 연구가 거의 없다.

콜라비는 일반채소에 비해 비타민 C 등의 항산화 성분이 높은 것으로 알려져 있다. 작물내의 항산화 성분활성은 총 페놀 함량과 긍정적인 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 총 플라보노이드의 함량도 마찬가지로 항산화 효과와 연관성이 높은 것으로 알려져 있다(8). 콜라비의 총 페놀과 총 플라보노이드 함량의 변화를 측정하는 것은 항산화활성의 지표가 될 수 있으며, 수확 후 저장기간 동안 이들 성분의 함량변화를 측정하는 것은 중요한 품질 요인이다(9). 페놀 화합물은 항산화, 항돌연변이, 항심혈관질환 등 광범위한 생화학적 활성을 가지고 있다(10). 콜라비와 같은 배추과 작물에서의 페놀성분은 심장질환과 암에 대한 잠재적인 방어 역할로써 건강에 아주 중요한 성분으로 간주된다(11). 플라보노이드는 페놀화합물에 속하는 것으로 유행병학 연구에 의하면 플라보노이드의 높은 식이섭취와 심혈관질환 및 암발생 위험의 감소간의 높은 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌다(12). 따라서 콜라비를 예방과 건강한 영양제로써 섭취하기 위해서는 작물내의 페놀과 플라보노이드의 정보가 요구된다(13).

배추과 작물인 콜라비는 대표적인 항암성분인 GLSs를 풍부하게 함유하고 있다. GLSs는 myrosinase에 의한 많은 생리활성 물질로 가수분해되며, 이들 물질들이 인체의 방어기작과 다양한 생화학적 역할을 가진다(14,15). 식물체내 약 200가지의 개별 GLS가 있으며, 이 중 aliphatic와 aromatic glucosinolates가 높은 항암효과가 있는 것으로 알려져 있다(16). 콜라비의 총 GLSs의 함량은 무보다 낮은 것으로 나타났으나, 항암성분인 glucoraphanin은 무에 비해 높은 것으로 나타났다(2).

이들 2차대사산물의 함량은 식재료의 영양적인 측면에 대한 관심이 높아짐에 따라, 중요한 품질기준이 되고 있으며, 수확 후 처리를 통해 성분을 유지, 증진시키는 방법에 관한 연구가 촉진되고 있다(17). 콜라비의 경우 항암, 항산화 성분에 대한 선호도로 인해 수요가 증가하고 있으나 수확 후 저장 기간 동안의 성분변화에 대한 연구가 미흡하며, 이들 성분들이 외관 품질 유지에 미치는 영향에 대한 조사가 필요하다. 본 연구는 콜라비의 품질 뿐만 아니라 기능성 성분이 유지되는 적정 유통기간 설정을 위하여 콜라

비의 저장기간 동안의 품질 및 페놀, GLSs와 같은 이차대사산물의 변화를 구명하고 품질지표로서의 이들 성분의 역할을 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료 및 저장

콜라비는 2012년 제주도에서 2월에 수확 한 자색 콜라비 (Korist, Netherlands)를 약 2시간 항공으로 수송하여 70 km 떨어진 실험실까지 상온으로 이동되었다. 수확 직후 수송된 콜라비는 줄기 부분을 절단하고, 중량 약 700~900 g의 건전한 구를 선별하여 사용하였다. 선별된 콜라비는 0.5% NaOCl pH 6.7에 1 분간 침지하여 살균한 후 물기를 제거한 후 무포장 또는 0.05 mm 두께의 PE 필름으로 밀봉한 개체를 상온(20±2°C)에서 4주, 저온(4±1°C)에 12주 동안 저장하면서 주기적으로 품질과 이차대사산물을 측정하였다.

### 중량감소율, 당도와 경도, 색도, pH, 적정산도 측정

중량감소율은 동일한 개체를 측정하여 초기 중량에 대해 감소하는 중량을 백분율로 표시하였다. 당도는 착즙 후 당도계(Digital Refractometer PAL-1, Atago Co., Ltd, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 경도는 각 처리별로 5개체를 선별하여 1.5 cm 간격으로 자른 후 가운데 부분을 직경 5 mm의 탐침을 사용하여 속도는 2 mm/sec로 경도계(TA Plus, Lloyd Instruments Ltd., Fareham, Hampshire, UK)로 측정하였다. pH는 pH측정기(PHSPEAR, Eutech Instruments, Ayer Rajah Crescent, Singapore)을 사용하여 측정하였다. 콜라비의 색도 변화는 색차계(CR-400, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 동일한 개체의 6 부분을 체크해 둔 후 실험 기간 동안 동일 부위를 측정하였다. 적정산도는 착즙액 5 mL를 채취하여 자동산도적정기(Titroline easy; SCHOTT Instruments GmbH, Mainz, Germany)를 이용하여 0.1 N NaOH로 적정하여 구연산 함량으로 환산하여 표시하였다.

### 총 페놀 및 플라보노이드 함량 측정

총 페놀과 플라보노이드 함량 측정을 위한 콜라비 추출물의 조제는 동결건조 후 마쇄된 분말 200 mg을 4 mL의 80% 메탄올에 넣고 1시간동안 60°C에서 추출하였다. 총 페놀은 페놀화합물이 phosphomolybdate와 반응하여 청색을 나타내는 현상을 이용한 Folin-Denis법(18)을 변형하여 측정하였다. 96 well plate에 시료 50 µL와 2 N Folin-Ciocalteu pheonol reagent(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 50 µL를 첨가한 후 상온에서 3분 동안 반응시킨 후 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>포화용액 100 µL를 넣고 혼합하였다. 이 혼합액을 암상태에서 30분동안 반응시킨 후 micro plate

spectrophotometer(PowerWave HT: 200~999 nm, Biotek, Winooski, VT, USA)를 사용하여, 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀화합물은 gallic acid(Sigma Chemical Co.)를 사용하여 작성한 표준검량곡선으로부터 함량을 계산하였다.

총 플라보노이드 함량은 Marinova 등(13)의 방법을 변형하여 측정하였다. 96 well plate에 시료 20  $\mu$ L, 증류수 100  $\mu$ L, 5% NaOH<sub>2</sub>용액 10  $\mu$ L를 순차적으로 넣고 6분간 반응 후 10% AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O(Sigma Chemical Co.) 20  $\mu$ L를 넣고 5분간 반응시켜 주었다. 마지막으로 1 M NaOH 40  $\mu$ L를 넣은 후 micro plate spectrophotometer(PowerWave HT: 200~999 nm Biotek, Winooski, VT, USA)을 사용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. Catechin(Sigma Chemical Co.)을 사용하여 작성한 표준검량곡선에 의해 총 플라보노이드 함량을 계산하였다.

### 총 glucosinolate 함량 분석

콜라비의 GLSs 추출법은 Kim 등(19)의 방법에 의해 수행하였다. 동결건조 후 마쇄된 분말시료 100 mg을 70%(v/v)

methanol(1.5 mL)에 넣고 균질화 시켰다. 혼합액을 항온수조(70°C)에서 5분간 배양한 후, 원심분리(12,000 rpm, 10 min, 4°C)한 후에 상층액을 취하였다. GLSs 추출물인 상층액을 Sepadex DEAE-A25(GE, Healthcare Biosciences, Ltd., Bjorkghan, Sweden)에 증류수와 0.5 M sodium acetate를 넣어 활성화된 이온교환컬럼에 통과시켰다. 추출물이 빠져나가면 초순수 증류수 2 mL을 넣고 arylsulfatase solution 75  $\mu$ L을 넣은 후, 16시간 동안 상온에 정치하였다. 정치 후, 2.0 mL튜브에 0.5 mL 증류수로 3회 용출 한 다음 0.45  $\mu$ m hydrophilic PTFE millipore 필터로 여과하여 HPLC 분석용 시료로 사용하였다.

GLSs 정량분석은 HPLC(Agilent Technologies 1200, Palo Alto, CA, USA)로 Inertsil ODS-3 column을 사용하였다. 이동상으로 용매는 100% 물(A)과 100% acetonitrile(B)를 사용하였으며 유속은 0.2 mL/min, 검출파장은 227 nm, 주입량은 10  $\mu$ L, 컬럼온도는 40°C를 유지하였다. Gradient 조건은 최초 18분까지 용매 24%까지 변화시키고 32분까지는 용매 B를 24% 조건으로 유지시킨 후, 32.1분까지 7%로 다시 변화시킨 후 40분까지 7%를 유지하여 개별 GLS을 분석하였다.

**Table 1. Changes in firmness, soluble solids content (SSC), pH, titratable acidity (TA) of kohlrabi stem at the beginning, the end of storage at room temperature (RT) and during the storage at 4°C with or without PE film package**

Treatments	Storage period (days)	Firmness (N)	Color (L)	SSC ( <sup>o</sup> Brix)	pH	TA
	Initial	55.48±10.56 <sup>1)</sup>	25.00±0.51	9.90±0.26	6.40±0.01	0.45±0.02
RT	7	55.73±7.55 <sup>2)</sup>	23.75±0.44 <sup>a</sup>	10.64±0.55 <sup>b</sup>	6.07±0.03 <sup>ab</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>
	14	56.11±7.91 <sup>a</sup>	23.40±0.46 <sup>a</sup>	10.46±0.62 <sup>b</sup>	6.14±0.11 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>ab</sup>
	21	52.69±7.56 <sup>a</sup>	23.37±0.6 <sup>a</sup>	10.80±0.26 <sup>b</sup>	5.92±0.02 <sup>b</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>
	28	52.69±2.53 <sup>a</sup>	23.79±0.5 <sup>a</sup>	12.44±0.22 <sup>a</sup>	5.92±0.02 <sup>b</sup>	0.15±0.00 <sup>b</sup>
	7	54.71±7.91 <sup>a</sup>	24.13±0.63 <sup>ab</sup>	9.72±0.17 <sup>a</sup>	6.24±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>b</sup>
	14	54.94±7.55 <sup>a</sup>	24.14±0.71 <sup>ab</sup>	9.18±0.70 <sup>a</sup>	6.31±0.03 <sup>a</sup>	0.12±0.00 <sup>b</sup>
	21	56.31±8.00 <sup>a</sup>	23.73±0.72 <sup>b</sup>	9.76±0.34 <sup>a</sup>	6.16±0.01 <sup>b</sup>	0.18±0.00 <sup>a</sup>
	28	58.37±8.32 <sup>a</sup>	24.65±0.65 <sup>a</sup>	10.54±0.40 <sup>a</sup>	6.26±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.00 <sup>b</sup>
4°C	7	55.86±7.78 <sup>a</sup>	24.91±0.72 <sup>b</sup>	9.82±0.30 <sup>c</sup>	6.22±0.09 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>
	14	54.02±7.32 <sup>a</sup>	23.48±0.77 <sup>bc</sup>	9.04±0.48 <sup>c</sup>	6.09±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.00 <sup>b</sup>
	21	53.15±2.55 <sup>a</sup>	24.50±0.61 <sup>ab</sup>	9.44±0.44 <sup>c</sup>	5.92±0.01 <sup>b</sup>	0.14±0.00 <sup>b</sup>
	28	54.74±7.79 <sup>a</sup>	24.56±0.67 <sup>ab</sup>	10.50±0.31 <sup>bc</sup>	5.95±0.01 <sup>b</sup>	0.15±0.00 <sup>b</sup>
	56	56.36±7.68 <sup>a</sup>	23.14±0.53 <sup>c</sup>	11.94±0.50 <sup>ab</sup>	6.15±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	84	52.85±7.36 <sup>a</sup>	19.63±0.81 <sup>d</sup>	12.50±0.90 <sup>a</sup>	5.91±0.02 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	7	55.60±7.61 <sup>a</sup>	24.19±0.56 <sup>a</sup>	9.46±0.3 <sup>9a</sup>	6.14±0.01 <sup>c</sup>	0.13±0.00 <sup>6d</sup>
	14	54.53±7.49 <sup>a</sup>	22.41±0.56 <sup>b</sup>	9.26±0.31 <sup>a</sup>	6.14±0.01 <sup>c</sup>	0.12±0.00 <sup>d</sup>
Package	21	54.81±7.20 <sup>a</sup>	23.17±0.5 <sup>ab</sup>	10.56±0.15 <sup>a</sup>	6.04±0.01 <sup>d</sup>	0.15±0.02 <sup>bcd</sup>
	28	58.66±8.07 <sup>a</sup>	22.83±0.75 <sup>b</sup>	10.48±0.27 <sup>a</sup>	6.08±0.02 <sup>cd</sup>	0.15±0.01 <sup>bc</sup>
	56	57.33±7.79 <sup>a</sup>	22.88±0.59 <sup>b</sup>	10.10±0.65 <sup>a</sup>	6.37±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>ab</sup>
	84	58.38±8.38 <sup>a</sup>	19.46±0.84 <sup>c</sup>	10.68±0.76 <sup>a</sup>	6.25±0.06 <sup>b</sup>	0.19±0.00 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Values are means±standard errors of five replicates.

<sup>2)</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, p<0.05.

### 통계분석

콜라비의 품질 특성 중 중량감소율, 경도, 당도, pH와 적정 산도(TA)는 5반복씩 조사하여 평균값을 구한 후 표준 오차(standard error, SE)로 나타내었다. 콜라비의 총 페놀과 총 플라보노이드, GLSs 함량은 정량분석을 위하여 균질화된 시료를 사용하여 5반복으로 분석하였으며, 처리별 평균 함량은 평균과 표준오차(SE)로 표시하였다. 처리간의 유의성 검정은 SAS 9.2 프로그램(SAS Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, Duncan's multiple range test(DMRT)를 하여 5% 수준에서 검정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 콜라비 수확 후 저장기간 동안의 품질변화

제주에서 수확된 콜라비를 수송하여 상온과 저온에서 무포장, 포장(0.05 mm PE 밀봉포장)상태로 저장하면서 품질 변화를 조사하였다. 그 결과, 콜라비의 중량감소율은 저장 28일동안 상온 무포장에서 12%, 0.05 mm PE 밀봉포장에서 1.3%, 저온 무포장에서 4.2%, 0.05 mm PE 밀봉포장에서 0.9%로 나타났다(Fig.1). 따라서 콜라비의 저장시 상온 저장보다는 저온저장이 무포장보다는 0.05 mm PE 밀봉포장 하는 것이 중량손실을 적게 하는 관리법으로 판단된다. 콜라비의 상온저장시 당도는 초기값 9.90 °Brix에서 저장기간이 지남에 따라 후숙이 진행되면서 증가하여, 저장 28일째에 무포장은 12.44 °Brix, 포장처리구 10.54 °Brix로 무포장이 포장처리구보다 높게 유지되었다. 이는 상온저장에서 무포장의 경우는 포장처리구에 비하여 저장기간이 지남에 따라 수분손실이 높아 당도가 높아진 것으로 보인다(Table 1). 또한 상온저장 2주후부터 부패와 출엽현상이 나타났다.

(data not shown). 콜라비의 상온저장시 무포장의 경우, 중량 감소율이 높고, 기능성 성분 또한 감소하는 경향을 보여 상품성이 유지되는 적정 유통기간은 2주이내로 판단된다 (Table 1). 상온 포장처리구의 경우는 무포장에 비해 중량감소율이 낮고 기능성 성분의 보존율이 높으나, 저장 후기로 갈수록 포장재내 다습으로 인한 부패가 발생하였다.

저온저장시에 콜라비의 경도는 무포장의 경우, 저장기간이 지날수록 낮아지는데 비하여 0.05 mm PE 밀봉포장의 경우는 초기값을 유지하였다. 콜라비의 저온저장시 무포장, 포장처리구에 관계없이 저장기간 56일 이후 초기값에 비하여 색도 L값은 유의적으로 급격히 낮아졌으며 당도는 12.50~10.68 °Brix로 높아지는 경향이 나타났다. 적정산도는 저온 저장 기간동안 유의적으로 높아졌다(Table 1). 반면에 단기 저온저장 56일 이내의 경우 콜라비의 경도, 당도, pH와 색도의 변화가 거의 없이 초기값이 유지되었다. 이는 콜라비가 저온 4°C에서 낮은 대사작용을 가지는 것을 나타내며 콜라비를 0°C, 습도 95%에 저장시 낮은 대사작용이 유지되어 SSC, PH와 TA가 2달간 변화가 없이 유지되었다는 Escalona 등(20)의 보고와 일치하는 결과이다. 이상의 결과로부터 콜라비를 저온저장시 수확당시와 동일한 상품성과 기능성 성분이 유지되는 저온저장기간은 60일 이내로 판단된다.

#### 콜라비 수확 후 저장기간 동안의 2차대사 산물의 변화 총 페놀 함량 변화

콜라비의 저장기간 중의 이차대사산물의 변화를 조사하기 위하여 총 페놀 함량을 조사하였다. Marinova 등(13)의 연구에 의하면 콜라비의 총 페놀 함량은 생체중 100 g당 44.9 mg gallic acid equivalents(GAE)이며 본 연구에서는 콜라비의 총 페놀함량의 초기값(수확 후 익일째)은 건물

**Table 2. Changes in contents of total phenolics in kohlrabi stems at the beginning and during storage at room temperature and 4°C with or without PE film package**

Treatments		Storage period (days)						
		Initial	7	4	21	28	56	84
RT	Non-package		101.69±17.21 <sup>aA2)</sup>	85.23±12.82 <sup>aAB</sup>	66.15±4.89 <sup>bAB</sup>	54.62±11.06 <sup>bB</sup>		
	Package	80.77±4.62 <sup>1)</sup>	97.66±11.18 <sup>aA</sup>	80.92±13.56 <sup>aAB</sup>	65.54±4.37 <sup>bB</sup>	56.92±5.38 <sup>bB</sup>		
4°C	Non-package		106.08±4.79 <sup>aAB</sup>	97.41±7.65 <sup>aAB</sup>	97.77±9.63 <sup>aAB</sup>	81.57±2.73 <sup>aB</sup>	111.46±3.61 <sup>aAB</sup>	114.92±6.61 <sup>aA</sup>
	Package		107.73±4.63 <sup>aAB</sup>	103.19±6.55 <sup>aBC</sup>	88.69±4.78 <sup>aCD</sup>	86.51±5.13 <sup>aD</sup>	118.08±7.48 <sup>aAB</sup>	121.08±3.66 <sup>aA</sup>
	Temp		NS <sup>3)</sup>	NS	*	**	-	-
	Package		NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Temp*Package		NS	NS	NS	NS	-	-

<sup>1)</sup> Values are means±standard errors of five replicates.

<sup>2)</sup> Means in a column with different lower case letters or in the same raw for same type of samples with different upper case letters were significantly different by Duncan's multiple range test, p<0.05. Lower case letters relate to comparisons of the influence of different storage temperature and package within each storage day. Upper case letters relate to comparison of the effect of storage days, within each treatment.

<sup>3)</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* : no significant or significant at p<0.05, 0.01, or 0.001 respectively.

**Table 3. Changes in contents of total flavonoids in kohlrabi stems at the beginning and during storage at room temperature and 4°C with or without PE film package**

Treatments		Storage period (days)						
		Initial	7	14	21	28	56	84
RT	Non-package		20.46±1.32 <sup>aA2)</sup>	21.89±1.96 <sup>aA</sup>	16.36±0.88 <sup>bB</sup>	14.74±0.70 <sup>cB</sup>		
	Package	18.66±0.76 <sup>1)</sup>	18.66±2.89 <sup>aA</sup>	16.72±2.04 <sup>aA</sup>	16.59±1.27 <sup>bA</sup>	16.24±0.91 <sup>bcA</sup>		
4°C	Non-package		21.89±0.63 <sup>abc</sup>	20.05±1.79 <sup>abc</sup>	21.89±1.45 <sup>abc</sup>	18.43±1.20 <sup>abc</sup>	22.68±0.34 <sup>ab</sup>	28.35±0.58 <sup>aA</sup>
	Package		22.82±1.65 <sup>abAB</sup>	20.97±0.55 <sup>abAB</sup>	23.51±1.00 <sup>abAB</sup>	20.50±1.39 <sup>ab</sup>	22.95±1.37 <sup>abAB</sup>	24.43±0.70 <sup>ba</sup>
Temp			NS <sup>3)</sup>	NS	***	**	-	-
Package			NS	NS	NS	NS	NS	*
Temp*Package			NS	NS	NS	NS	-	-

<sup>1)</sup>Values are means±standard errors of five replicates.

<sup>2)</sup>Means in a column with different lower case letters or in the same row for same type of samples with different upper case letters were significantly different by Duncan's multiple range test,  $p < 0.05$ . Lower case letters relate to comparisons of the influence of different storage temperature and package within each storage day. Upper case letters relate to comparison of the effect of storage days, within each treatment.

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\* : no significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001 respectively.

중 100 g당 80.77 mg GAE로 나타났다. 콜라비를 상온에서 무포장으로 저장할 경우 총 페놀의 함량은 저장초기 7일째 101.69 mg GAE/100 g에서 저장후기인 28일째는 54.62 mg GAE/100 g 으로 저장 기간이 지남에 따라 낮아지는 경향을 보였으며, 포장, 무포장 처리간의 유의한 차이는 없었다. 특히, 부패가 발생하기 시작한 상온 저장 2주째부터, 급격한 함량의 변화가 나타났다(Table 2). 페놀화합물은 *skimate pathway*를 거쳐 생성되며, 이 과정에서 *carbohydrate metabolism*이 매개체로 사용되며, *phenylalanine ammonialyase (PAL)*에 의해 합성된다. PAL은 페놀화합물과 연관된 주요 품질 인자들과 관계가 있으며, 작물의 수확 후 저장조건과 가공에 의해 활성이 영향을 받는다(21). 본 연구에서 상온 저장 2주후부터 나타나는 급격한 페놀함량의 감소는 부패에 의한 세포의 붕괴 또는 이들 효소의 파괴에 의해 페놀함량이 저해된 것으로 판단된다. 반면에 같은 저장기간인 28일째의 저온저장의 경우 총 페놀의 함량은 무포장은 81.57 mg GAE/100 g, 포장처리구는 86.51 mg GAE/100 g 으로 모두 상온저장에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 또한 저온저장 84일째 경우, 무포장은 114.92 mg GAE/100 g, 포장처리구는 121.08 mg GAE/100 g으로 초기값보다 높아지는 경향을 보였으나 처리간의 유의한 차이는 없었다(Table 3). 이는 장기간 저온저장에 따른 저온 스트레스에 의한 방어기작으로 콜라비의 페놀 성분이 증가한 것으로 보인다. 저온저장은 작물과 저장온도에 따라 작물의 페놀함량과 품질에 긍정적 또는 부정적 영향을 미친다. 안토시아닌을 함유한 붉은 색 식물은 저온저장에 의해 안토시아닌의 함량이 증가한다고 보고되었으며(22), 저온에 민감한 고추의 경우 저온저장(1~6°C)에 의한 저온장해 및 스트레스에 의해 PAL이 유도된다고 밝혀졌다(23). 본 연구에서는 외관 품질과 페놀 함량의 변화 간의 높은 상관관계가 나타났다.

Carbanaro 등(24)은 식재료에서 페놀화합물의 존재는 항산화력과 항균력에 특히 중요한 것으로 보고하였다. 즉, 콜라비의 페놀 등의 항산화 성분은 식재료로 섭취시 인체 건강에도 유익한 뿐만 아니라, 작물 자체의 저장력 증진에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 비슷한 연구결과로써, 베리류의 저장기간 동안 높은 외관지수는 높은 총 플라보노이드와 페놀 함량과 항산화 활성과 관련이 있다고 보고되었다(25).

#### 총 플라보노이드 함량 변화

콜라비의 총 플라보노이드 함량은 품종과 재배지역에 따라 차이가 나며, 불가리아산 콜라비의 생체중 100 g당 8.9 mg catechin equivalents(CE)로 보고되었다(13). 본 연구에 사용된 한국산 자색 콜라비의 총 플라보노이드 함량은 건물중 100 g 당 18.66 mg CE으로 나타났다. 콜라비의 저장기간 동안의 총 플라보노이드 함량의 변화를 조사한 결과 상온저장 28일째, 무포장은 14.74 mg CE/100 g, 0.05 mm PE 밀봉포장구는 16.24 mg CE/100 g 로 저장기간이 지남에 따라 유의적으로 감소하였다. 같은 기간인 저온저장 28일째의 플라보노이드 함량을 비교하면, 무포장은 18.43 mg CE/100 g, 포장처리구는 20.50 mg CE/100 g 로 상온저장시의 플라보노이드의 함량보다 유의적으로 높은 값을 유지하는 것으로 나타났으며, 동일한 저장온도 내에서의 플라보노이드 함량은 0.05 mm PE 밀봉포장구가 무포장에 비하여 높게 나타났다(Table 3). 따라서 포장하여 저온에 저장하는 것이 콜라비의 플라보노이드 함량 유지에 유리한 것으로 판단된다.

#### Glucosinolates 함량 변화

콜라비의 GLSs 함량은 형태와 부위에 따라 다르게 나타

나고, 자색콜라비의 경우 과피보다 과육이 4배가 더 높다 (3). 본 연구에서는 껍질과 생체부분을 포함한 자색 콜라비의 GLSs 함량을 조사한 결과, 총 GLSs 함량은 초기값이  $6.91 \mu\text{mol/g}$ 으로 나타났다. 수확 후 저장기간 동안의 GLSs의 함량은 상온저장 28일째 무포장은  $7.75 \mu\text{mol/g}$ , 0.05 mm PE 밀봉포장구는  $7.59 \mu\text{mol/g}$ 으로 저장기간동안 변화가 크지 않았으며, 포장 유무에 따른 처리간에도 유의적인 차이가 없었다. 저온저장의 경우도, 저장말기인 84일째 무포장은  $6.84 \mu\text{mol/g}$ , 0.05 mm PE 밀봉포장구는  $6.18 \mu\text{mol/g}$ 로써 GLSs 함량에 있어서 처리간 유의적인 차이는 없으므로 나타났으며, 저장기간 동안 변화가 적었다(Table 4). Force 등(26)은 콜라비를 저온 저장시 GLSs의 변화가 매우 적다고 보고하였다. 본 연구에서는 저장온도 간의 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 콜라비의 총 GLSs의 함량은 무의 내부보다 12.4배, 외부보다는 28.5배로 낮고 항암성분인 glucoraphanin은 무에 비해 더 높은 것으로 보고 되었다(2). 본 연구에서 glucoraphanin은 초기값은  $0.58 \mu\text{mol/g}$ 로 Choi 등(2)이 보고한  $0.25 \mu\text{mol/g}$ 보다는 높게 나타났으며, 상온저장 28일동안  $0.60\sim 0.75 \mu\text{mol/g}$ 로 초기값을 유지하였다. 반면에 저온 저장일 경우 장기간 저장시 glucoraphanin의 함량이 낮아지는 경향이 나타났으며 포장처리 한 것이 무포장에 비하여 감소폭이 적게 나타났다(data not shown). 콜라비를  $2^\circ\text{C}$ 에서 5개월간 장기 저장기간 동안 GLSs의 가수분해 산물이며 배추과 작물의 향미의 주성분인 isothiocyanates의 함량은 거의 변화가 없는 것으로 보고되었다(27). 저장기간동안 저온과 고습과 같은 적절한 저장조건 하에서는 채소작물에서의 GLSs 함량이 유지되거나 증진되며 이는 세포간극이 잘 보존되어 GLSs이 myrosinase와 접촉이 불가능하여 성분 분해를 방지하기 때문인 것으로 알려

졌다(28). 본 연구에서는 포장처리 한 것이 수분유지 효과가 높아서 총 GLSs의 함량 변화에서는 무포장과 유의적인 차이가 없었지만 저장기간 동안 개별 GLS성분을 유지하는 것에는 효과적인 것으로 보인다.

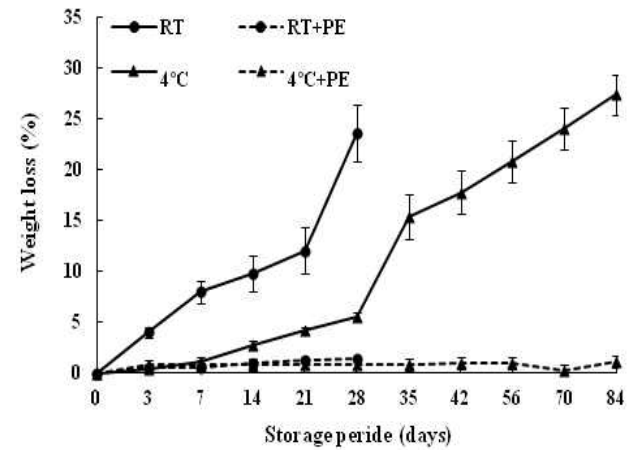


Fig. 1. Changes in weight loss rate of kohlrabi during storage at room temperature and  $4^\circ\text{C}$  with or without PE film.

Vertical lines represent standard error of the mean (n=5).

## 요 약

콜라비의 저장기간 동안 품질이 유지되는 적정 유통기간 설정을 위해, 2차대사산물 및 생리적 변화를 조사하였다. 그 결과, 콜라비를 상온에 저장할 경우, 저장 2주후부터 부패가 발생하기 시작함과 더불어 총 페놀 및 플라보노이드 함량 또한 급격한 감소를 보였다. 반면에 저온저장의 경우,

Table 4. Changes in contents of total glucosinolates in kohlrabi stems at the beginning and during storage at room temperature and  $4^\circ\text{C}$  with or without PE film package

Treatments		Storage period (days)						
		Initial	7	14	21	28	56	84
RT	Non-package		$7.51 \pm 1.34^{aA2)}$	$6.63 \pm 0.93^{aA}$	$9.92 \pm 4.49^{aA}$	$7.75 \pm 2.79^{aA}$		
	Package	$6.91 \pm 0.48^{1)}$	$5.45 \pm 1.06^{aA}$	$7.08 \pm 0.70^{aA}$	$7.07 \pm 0.90^{aA}$	$7.59 \pm 2.81^{aA}$		
$4^\circ\text{C}$	Non-package		$7.70 \pm 0.64^{aA}$	$6.65 \pm 1.15^{aA}$	$6.65 \pm 0.88^{aA}$	$7.90 \pm 1.71^{aA}$	$6.93 \pm 0.51^{aA}$	$6.84 \pm 1.73^{aA}$
	Package		$7.50 \pm 1.38^{aA}$	$5.67 \pm 1.39^{aA}$	$5.46 \pm 1.08^{aA}$	$5.10 \pm 0.50^{aA}$	$7.24 \pm 1.72^{aA}$	$6.18 \pm 0.52^{aA}$
Temp			NS	NS	NS	NS	-	-
Package			NS	NS	NS	NS	NS	NS
Temp*Package			NS	NS	NS	NS	-	-

<sup>1)</sup>Values are means±standard errors of five replicates

<sup>2)</sup>Means in a column with different lower case letters or in the same raw for same type of samples with different upper case letters were significantly different by Duncan's multiple range test,  $p < 0.05$ . Lower case letters relate to comparisons of the influence of different storage temperature and package within each storage day. Upper case letters relate to comparison of the effect of storage days, within each treatment.

<sup>3)</sup>NS, \*, \*\*, \*\*\* : no significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001 respectively.

저장 2개월간 품질의 변화가 거의 없고 기능성 성분도 초기 값을 유지하거나 높은 값을 유지하였다. 콜라비의 총 페놀 함량과 플라보노이드 함량은 저온저장으로 증가하였고, 상온저장 기간 동안 감소하였다. 또한 포장처리에 관하여, 콜라비의 페놀함량은 저장기간동안 포장처리 유무에 따른 유의적인 차이가 없었으나, 플라보노이드 함량은 0.05 mm PE 필름 밀봉시 이들 성분의 변화가 적은 것으로 나타나, 콜라비를 포장하여 저장하는 것이 플라보노이드 함량 보존에 유효한 것으로 나타났다. 향암 성분으로 알려진 glucosinolate는 저장 기간 동안 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나, 콜라비가 장기 저온저장동안 이들 유용한 성분을 유지하는 것으로 보인다. 본 연구에서 콜라비의 저장기간 동안 2차대 사산물과 외관 품질변화는 밀접한 상관관계가 나타났다. 이러한 결과로부터, 페놀화합물과 같은 2차대사물질이 콜라비의 저장수명 구명을 위한 품질 지표로서 검토될 수 있을 것으로 제시한다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 기관 고유연구사업(과제번호: PJ00859401)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

1. Cha SS, Lee MY, Lee JJ (2013) Comparison of physicochemical composition of kohlrabi flesh and peel. *Korean J Food Preserv*, 20, 88-96
2. Choi SH, Ryu DK, Park S, Ahn KG, Lim YP, An G (2010) Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. gongylodes) and radish (*Raphanus sativus*). *Korean J Hortic Sci*, 28, 469-475
3. Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, Uddin MR, Park NI, Kim SJ, Park SU (2012) Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. gongylodes). *J Agric Food Chem*, 60, 8111-8116
4. Grubben GJH (2004) Vegetables. In: Plant resources of tropical Africa 2. PROTA, Wageningen, Netherlands, p 532-534
5. Hardenburg RE, Watada AE, Yang CY (1990) The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agriculture Handbook*, 66, USDA, Agricultural Research Service, Washington, USA, p 130
6. Escalona VH, Aguayo E, Artes F (2007a) Extending the shelf life of kohlrabi stems by modified atmosphere packaging. *J Food Sci*, 4, 308-313
7. Escalona VH, Aguayo E, Artes F (2007b) Quality Changes of fresh cut kohlrabi sticks under modified atmosphere packaging. *J Food Sci*, 72, 303-307
8. Sun J, Chu YF, Wu XZ, Liu RH (2002) Antioxidant and anti proliferative activities of common fruits. *J Agric Food Chem*, 50, 7449 - 7454
9. Erkan M, Wang SY, Wang CY (2008) Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol Technol*, 48, 163-171
10. Nakamura Y, Watanabe S, Miyake N, Kohno H, Osawa T (2003) Dihydrochalcones: evaluation as novel radical scavenging antioxidants. *J Agric Food Chem*, 51, 3309-3312
11. Cartea ME, Francisco M, Soengas P, Velasco P (2010) Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*, 16, 251-280
12. Cook NC, Samman S (1996) Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *J Nutr Biochem*, 7, 66-76
13. Marinova D, Rivarova F, Atanassova M (2005) Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *J Univ Chemi Technol and Metallurgy*, 40, 255-260
14. Al-Gendy AA, El-Gindi OD, Hafez AS, Ateya AM (2010) Glucosinolates, volatile constituents and biological activities of *Erysimum corinthium* Boiss. (*Brassicaceae*). *Food Chem*, 118, 519-524
15. Björkman M, Klingen I, Birch AN, Bones AM, Bruce TJ, Johansen TJ, Meadow R, Mølmann J, Seljasen R, Smart LE, Stewart D (2011) Phytochemicals of *Brassicaceae* in plant protection and human health - influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochem*, 72, 538-556
16. Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P (2001) The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56, 5-51
17. Ayala-Zavala JF, Wang SY, Wang CY, González-Aguilar GA (2004) Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Sci Technol*, 37, 687-695
18. Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phophomolybdic-posphotungstic acid reagents. *Am J Enol Viticult*, 16, 144-158

19. Kim SJ, Matsuo T, Watanabe M, Watanabe Y (2002) Effect of nitrogen and sulphur application on glucosinolate content in vegetable turnip rape (*Brassica rapa* L.). *Soil Sci Plant Nutr*, 48, 43-49
20. Escalona VH, Aguayo E, Artes F (2006) Metabolic activity and quality changes of whole and fresh-cut kohlrabi (*Brassica oleracea* L. gongylodes group) stored under controlled atmospheres. *Postharvest Biol Technol*, 41, 181-190
21. Tomás-Barberán FA, Espin JC (2001) Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J Sci Food Agr*, 81, 853-876
22. Gil MI, Holcroft DM, Kader AA (1997) Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *J Agric Food Chem*, 45, 1662-1667
23. Kozukue N, Ogata K (1972) Physiological and chemical studies of chilling injury in pepper fruits. *J Food Sci*, 37, 708-711
24. Carbonaro M, Mattera M, Nicoli S, Bergamo P, Cappelloni M (2002) Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach, *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.). *J Agric Food Chem*, 50, 5458-5462
25. Shin YJ, Ryu JA, Liu RH, Nock JF, Watkins CB (2008) Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biol Technol*, 49, 201 - 209
26. Force LE, O'Hare TJ, Wong LS, Irving DE (2007) Impact of cold storage on glucosinolate levels in seed-sprouts of broccoli, rocket, white radish and kohlrabi. *Postharvest Biol Technol*, 44, 175-178
27. Gawęda M, Nizioł-Łukaszewska Z (2011) Quality of kohlrabi stems (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.) kept in cold storage. *Folia Hort*, 23, 107-110
28. Jones RB, Faragher JD, Winkler S (2006) A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli *Brassica oleracea* var *italica*) heads. *Postharvest Biol Technol*, 41, 1-8

---

(접수 2014년 7월 11일 수정 2014년 8월 16일 채택 2014년 9월 4일)