

Glucosinolate and isothiocyanate contents according to processing of Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)

Miran Jang, Gun-Hee Kim*

Plant Resources Research Institute Duksung Women's University, Seoul 01369, Korea

배추의 가공에 따른 glucosinolates 및 isothiocyanates 함량 변화

장미란 · 김진희*

덕성여자대학교 식물자원연구소

Abstract

This study examined the total glucosinolate (GSL) and isothiocyanate (ITC) contents according to different processing conditions; fresh Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*), salted Kimchi cabbage and kimchi (storage temperature 4°C and 20°C) using two different cultivars (Bomatnorang and Chunkwang). Four GSL peaks representing gluconapin, glucobrassicinapin, glucobrassicin and 4-methoxyglucobrassicin were detected in Kimchi cabbage by HPLC and HPLC/MS analysis. The total GSL contents of fresh Kimchi cabbage of Bomatnorang and Chunkwang were 21.37±1.06 µg/g dry weight (DW) and 20.96±3.33 µg/g DW, respectively. After salting, the total GSL contents of salted Kimchi cabbage decreased by 39% and 52% in Bomatnorang and Chunkwang, respectively. Finally, the total GSL contents of kimchi after storage at 20°C decreased by 83% and 56% in Bomatnorang and Chunkwang, respectively. The extracted ITC contents were analyzed by GC/MS. Three ITC peaks were detected in Kimchi cabbage representing 2-phenylethyl ITC, 3-butenyl ITC and 4-pentenyl ITC. The 2-phenylethyl ITC levels increased during the salting process but this generally fell during storage at 20°C as kimchi. The 3-butenyl ITC levels of Kimchi cabbage according to processing decreased rapidly due to salting and then decreased slowly during storage as kimchi. The 4-pentenyl ITC of Kimchi cabbage was lost during the salting process. The results for the change in GSL and ITC contents during the kimchi making process will be used in the food industry.

Key words : Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*), salted Kimchi cabbage, kimchi, glucosinolates, isothiocyanates

서 론

배추, 무, 양배추 및 브로콜리 등과 같은 십자화과 채소에 는 황과 질소가 함유된 2차대사산물인 glucosinolate(GSL) 가 포함되어있는데 GSL는 결사슬 R기의 종류에 따라 120 종 이상이 보고되고 있다(Fig. 1). GSL와 myrosinase는 식물 체내에서 다른 구획으로 나누어져 존재하다가 병원균 및

곤충 등의 외부 침입 또는 수확과정이나 조리중에서 식물체의 조직이 상처를 받으면 GSL은 myrosinase와 직접 접촉함 으로서 가수분해 되어 thiohydroxamate-O-sulfonate와 같은 aglycone 중간체를 형성하였다가 즉시 isothiocyanate(ITC), nitrile, thiocyanate와 glucose로 분해된다(Fig. 1)(1,2). 십자 화과 채소는 강한 독특한 향이 나는데 이것은 GSL과 그 분해산물인 ITC와 관련이 있는데, 특히 맵고 아린 맛은 ITC와 더욱 관련이 있다(3,4). ITC는 병원성 세균, 부패 세균 및 곰팡이에 대한 항균활성을 나타내며 곤충에 대한 살충작 용을 하는 것으로 알려져 있다(4,5). 또한 종양의 크기를 감소시켜주며, 종양의 발생을 지연시키는 등의 항암효과가 보고되었으며(6), 암세포의 자가사멸(apoptosis) 및 세포주 기 조절을 통하여 암을 예방하는 것으로 알려져있다(7).

*Corresponding author. E-mail : ghkim@duksung.ac.kr
Phone : 82-2-901-8496, Fax : 82-2-901-8661
Received 19 December 2016; Revised 7 February 2017;
Accepted 8 June 2017.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

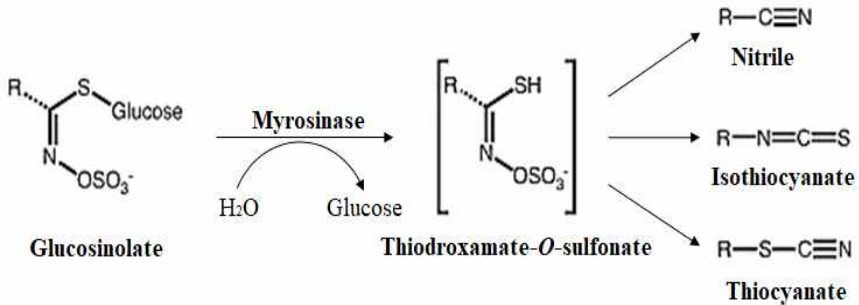


Fig. 1. Enzyme-catalyzed hydrolysis of GSL and their structural formula.

따라서 세계적으로 십자화과 채소의 가치가 제조명받고 있으며, 국내에서는 항암효과가 뛰어난 기능성 배추 형질 전환체의 개발 연구가 활발히 진행되고 있다(8).

배추는 십자화과에 속하는 두해살이 잎줄기채소로, 한국, 중국, 일본 등에서 널리 재배 및 소비되고 있다(9,10). 배추는 생으로 섭취하기도 하지만 신선한 상태로 장기간 보관하기 어렵기 때문에 다양한 김치 형태로 가공하여 섭취되고 있다(11). 배추의 품질은 품종, 재배 및 저장 조건 등의 영향을 받으며 이는 김치 제조 시 품질에도 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(9-11). 김치의 주된 재료는 배추이고, 김치 제조과정 중 절임과정은 김치의 품질에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 보고되어 있다(10). 배추와 소금물이 접촉하면 배추 표피의 세포막의 주성분인 펙틴이 펙틴분해효소에 의하여 가수분해 되면서 세포막이 파괴되는데, 이러한 작용을 통해 수용성 물질인 비타민 C, 당, GSL을 포함한 황 함유 물질, 유리아미노산 등이 배추의 섬유질로부터 빠져 나온다(10,11). 또한 절임시간 및 소금물의 농도가 증가할수록 myrosinase 활성이 점차로 감소하며 절임에 사용한 소금의 농도가 증가할수록 효소활성은 더 많이 감소한다(9,10). 또한 김치의 숙성 및 발효과정의 저장 온도로 인하여 GSL 함량이 달라지는 것으로 보고되고 있다(11,13).

배추의 품종 및 재배환경 또는 김치의 절임공정 및 저장 조건에 따라서 품질평가와 더불어 총 GSL 함량 연구는 다양하게 이루어져있으나, 배추의 가공 상태에 따른 ITC의 함량 연구는 상대적으로 부족한 실정이며, 특히 GSL 및 ITC의 정성 및 정량 분석은 미비하다. 본 연구에서는 주요 봄배추 품종인 봄맛노랑 및 춘광을 이용하여 품종에 따른 GSL 및 ITC의 함량을 비교하였으며, 생배추를 절임배추 및 김치로 제조하여 저장함에 따라 GSL 및 ITC의 함량 변화추이를 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서는 봄맛노랑과 춘광 2품종의 봄배추 및 배추를 이용한 절임배추와 김치를 CJ 제일제당에서 제공받아 사용하였다. 두 품종의 배추는 2013년 3월에 강원도 영월의 CJ 제일제당 계약포장 노지에 파종하여 관행재배법에 따라 재배 후 6월에 수확하였다. 배추는 수확 후 무작위로 선택하여 24시간 안에 소금에 절인 후 김치로 제조하였으며, 4℃와 20℃에서 각각 1주 동안 저장한 것을 실험에 사용하였다. 절임공정 및 김치 제조 방법은 CJ 제일제당의 시중 유통 김치의 제조방법과 동일하다.

시 약

GSL 추출 및 분석을 위해 사용된 desulfuro효소인 aryl sulfatase, 외부표준물질로 사용한 sinigrin 및 컬럼 충전물인 DEAE-Sephadex A-25는 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St Louis, MO, USA)에서 구입하였으며, 이동상용매로 사용한 acetonitrile은 HPLC 분석 등급으로 J.T. Baker(Phillipsburg, NJ, USA)에서 구입하였다. 또한 ITC 추출에 사용된 dichloromethane은 J.T. Baker에서 구입하였고, 표준물질로 사용된 3-butenyl isothiocyanate, 4-pentenyl isothiocyanate 및 2-phenylethyl isothiocyanate는 Kasei(Tokyo, Japan)에서 구입한 것을 실험에 사용하였다.

GSL 추출 및 함량분석

배추의 GSL 함량은 국제표준화기구(ISO)의 공인된 방법으로 분석하였다. 동결건조 시킨 배추, 절임배추 및 김치 분말 70 mg에 70%의 에탄올을 첨가하여 진동한 후 5분간 물중탕(70℃)하여 조(crude) GSL을 추출하고 4℃에서 20분간 13,000 ×g에서 원심분리 하였다. 1 mL blue tip으로 미니 컬럼을 만들어 H⁺ 형태로 활성화시킨 DEAE-Sephadex A-25를 충전 후 원심분리한 시료의 상층액을 loading 한 후

75 µL의 aryl sulfatase(28.7 unit) 용액을 loading 하였다. 실온에서 over night 방치하면서 desulfate 시켰다. 증류수 0.5 mL를 3회 반복하여 loading 하면서 desulfo GSL를 분리해냈다. 분리한 desulfo GSL는 HPLC(Dionex, Sunnyvale, CA, USA)로 분석하였다. HPLC 분석을 통해 얻은 주요 peak에 대한 mass spectrum을 MS spectrometer(Thermo scientific, Waltham, MA, USA)로 분석하여 분자량을 확인하고 GSL임을 확인하였다. HPLC 및 HPLC/MS분석법은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. HPLC and HPLC/MS condition

HPLC Condition	
Instrument	Dionex system
Column	Inertsil ODS-2(C18) Column (4.6 mm×250 mm; GL Science, Tokyo, Japan)
Solvent	A: Deionised water B: 20% acetonitriles 0-8 min increased 1-99% B 18-29 min kept 99% B 29-32 min decreased 99-1% B 32-40 min kept 1% B
Column temperature	35 °C
Flow rate	1 mL/min
Injection volume	20 µL
Mass system	
Polarity	ESI ⁺
Capillary temperature	275
Voltage	Pray: 5 kV and capillary: 15 V
Mass scan range (m/z)	100-600

ITC 추출 및 함량분석

배추의 ITC의 추출은 Al-Gendy와 Lochwood(14)의 자연적인 자가분해(natural autolysis)방법을 수정하여 사용하였다. GSL이 존재하는 배추, 절임배추 및 김치 시료의 건조 파우더 2 g을 증류수 20 mL와 섞어 자가분해가 일어나도록 실온에서 24시간 방치하였다. 그 이후 dichloromethane 5 mL를 첨가한 후 30분 동안 교반시켜준 후 3,500 rpm에서 5분간 원심분리 하였다. 원심분리 후 dichloromethane 층만을 취하여 질소가스를 이용하여 0.5 mL까지 농축하여 GC/MS 분석을 하였다. GC/MS분석법은 You 등(15)의 분석법을 참고하였으며 Table 2에 나타내었다. 표준물질 2-penylethyl ITC, 3-butenyl ITC 및 4-pentenyl ITC는 배추 추출물과 머무름 시간을 비교 분석하여 확인하였으며, MS 분석을 통하여 분자량을 확인하여 정성분석 하였다.

통계처리

본 연구에서 모든 분석은 5회 반복하였으며, 얻어진 모든 측정값은 평균값과 표준편차로 나타내었다. 각 평균값 간

의 차이에 대한 유의성은 SPSS program(ver. 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 ANOVA를 실시하고, Duncan's multiple range test로 각 군의 평균 차이에 대한 사후 검정을 하였으며, 통계적 유의성을 5% 수준에서 분석하였다.

Table 2. GC/MS condition

GC/MS Condition	
Instrument	Agilent 6890N JMS-600W Mass spectrometer
Column	HP-5MS Column (30 mm×0.25 mm×0.25 µL)
Injector temperature	250 °C
Detector temperature	280 °C
Oven temperature	50 °C 2 min 50-280 °C (5/min) 280 °C 2min
Ionization voltage	70 eV
Carrier gas	He

결과 및 고찰

배추 가공에 따른 GSL 함량

본 연구에서 사용한 배추는 봄맛노랑과 춘광 두 가지 품종으로 동일한 시기에 같은 장소에서 동일한 조건으로 재배하는 등 재배조건을 통제하여 품종 간 비교하였다. 봄맛노랑 및 춘광 신선배추의 GSL 함량을 HPLC 및 HPLC/MS를 통하여 분석한 결과, 두 품종 모두 총 4가지의 주요 피크를 획득하였으며 분자량 확인 결과 sinigrin, gluconapin, glucobrassicinapin 및 4-methoxyglucobrassicin 으로 확인되었다(Table 3). 봄맛노랑에는 4-methoxyglucobrassicin (9.57±0.42 µg/g dry weight, DW) > gluconapin(7.59±0.16 µg/g DW) > sinigrin(2.60±0.17 µg/g DW) > glucobrassicinapin (1.61±0.31 µg/g DW) 순서로 함유되어있었으며, 춘광에는 4-methoxyglucobrassicin(12.46±1.99 µg/g DW) > gluconapin (4.90±0.62 µg/g DW) > glucobrassicinapin(2.44±0.25 µg/g DW) > sinigrin(1.16±0.47 µg/g DW) 순서로 함유되어있어

Table 3. Individual glucosinolate contents of fresh Kimchi cabbages
(µg/g dry weight)

Glucosinolates	Cultivars	
	Bomatnorang	Chunkwang
Sinigrin	2.60±0.17 ¹⁾	1.16±0.47
Gluconapin	7.59±0.16	4.90±0.62
Glucobrassicinapin	1.61±0.31	2.44±0.25
4-Methoxyglucobrassicin	9.57±0.42	12.46±1.99

¹⁾Means±SD (n=5).

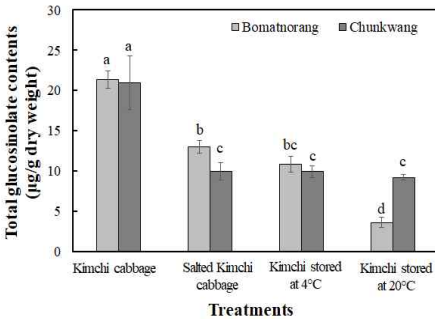


Fig. 2. Change in total glucosinolate levels at different processing conditions of Kimchi cabbage.

Values represent the mean±SD (n=5). Means with different letters above a bar are significantly different at p<0.05.

품종 간에 차이가 있었으나 총 GSL 함량은 통계적 차이가 없었다(Table 3, Fig. 2). Hwang 등(16)의 보고에 의하면 배추에 함유된 GSL 중 4-methoxyglucobrassicin이 가장 함량이 높았으며 이는 본 연구와 유사한 결과이다.

신선배추를 염수에 절인 절임배추의 GSL 함량은 Table 4에 나타내었다. 두 품종 모두 sinigrin은 절임과정 후에 소멸되었으며, 4-methoxyglucobrassicin은 봄맛노랑에서 4.16±0.35 µg/g DW, 춘광에서 7.19±0.83 µg/g DW로 확인되어 신선배추에 비하여 각각 56.5%, 42.3% 감소되었다. 한편 gluconapin과 glucobrassicinapin의 함량은 비교적 절임공정에 따라 크게 변화하지 않았다. 이처럼 GSL이 절임과정 후 함량이 감소한 것은 절임과정 중에 염수에 빠져나갔기 때문으로 판단된다. 절임공정에 따라 배추의 총 GSL 함량은 봄맛노랑은 39.0%, 춘광은 52.5% 감소하였다. Tyagi 등(17)에 따르면 mustard cake의 총 GSL 함량은 수침시간에 영향을 받아 수침시간이 증가할수록 GSL가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 배추가 염수에 접촉하면 배추 표피 세포막의 주성분인 펙틴이 펙틴분해효소에 의해 가수분해되면서 세포막이 파괴되는데 이때 수용성 물질인 비타민 C, 당, GSL을 포함한 황 함유물질 및 유리아미노산 등이 섬유

Table 4. Individual glucosinolate contents of salted Kimchi cabbages

Glucosinolates	Cultivars	
	Bomatorang	Chunkwang
Sinigrin	ND ¹⁾	ND
Gluconapin	7.49±0.18 ²⁾	3.13±0.11
Glucobrassicinapin	1.37±0.22	1.17±0.17
4-Methoxyglucobrassicin	4.16±0.35	7.19±0.83

¹⁾No detection.

²⁾Means±SD (n=5).

질로부터 빠져나온다(9,12). Hwang(9)의 연구에 따르면 절임시간 및 절임에 사용하는 소금의 농도가 증가할수록 총 GSL 함량이 감소하였다. 배추의 절임공정에 따른 GSL의 함량 감소의 첫 번째 원인은 GSL가 삼투압 또는 펙틴분해에 의한 세포막 파괴로 인하여 염수에 용출되기 때문이다. 이 기작은 품종에 따라 조직의 차이가 있어 소금이 세포 안으로 확산되는 정도가 달라지게 된다(9,10). 따라서 품종에 따라 동일조건에서의 절임과정 일지라도 GSL의 함량 차이에 영향을 준다(10). GSL의 함량 감소의 두 번째 이유는 세포막이 파괴되면서 세포내의 myrosinase가 GSL에 작용하여 GSL가 가수분해되기 때문이다. Hwang(9)은 절임 과정 중 myrosinase에 의하여 GSL가 분해되어 총 GSL 함량이 감소하는 것으로 분석하였지만 myrosinase도 염수에 의해 활성이 감소되며 저장 중 대부분의 활성이 소실된다는 연구결과에 따라 배추의 절임과정에서 GSL의 함량 감소의 주요한 원인은 삼투압 및 펙틴분해에 의한 세포막 파괴로 인한 용출 때문인 것으로 사료된다(18,19).

배추를 김치로 가공하여 각각 4°C와 20°C에 1주일 저장한 후 GSL 함량을 분석하였다(Table 5-6). 김치로 제조하여 4°C에서 저온 숙성하였을 때 두 품종 모두 gluconapin과 glucobrassicinapin의 함량은 크게 변화하지 않았다. 하지만 4-methoxyglucobrassicin은 봄맛노랑에서 2.37±0.73 µg/g DW, 춘광에서 3.11±0.33 µg/g DW로 확인되어 절임배추에 비하여 각각 43.0%, 56.8% 감소되었다. 20°C에서 숙성하였

Table 5. Individual glucosinolate contents of kimchi stored at 4°C

Glucosinolates	Cultivars	
	Bomatorang	Chunkwang
Sinigrin	ND ¹⁾	ND
Gluconapin	7.20±0.20 ²⁾	4.14±0.25
Glucobrassicinapin	1.31±0.05	2.71±0.14
4-Methoxyglucobrassicin	2.37±0.73	3.11±0.33

¹⁾No detection.

²⁾Means±SD (n=5).

Table 6. Individual glucosinolate contents of kimchi stored at 20°C

Glucosinolates	Cultivars	
	Bomatorang	Chunkwang
Sinigrin	ND ¹⁾	ND
Gluconapin	3.33±0.47 ²⁾	2.92±0.16
Glucobrassicinapin	ND	ND
4-Methoxyglucobrassicin	0.32±0.19	1.68±0.18

¹⁾No detection.

²⁾Means±SD (n=5).

을 때는 *sinigrin*과 더불어 *glucobrassicinapin*도 검출되지 않았다. 또한 *glucounapin*이 봄맛노랑에서 $3.33 \pm 0.47 \mu\text{g/g DW}$, 춘광에서 $2.92 \pm 0.16 \mu\text{g/g DW}$ 로 확인되어 4°C 저장배추에 비하여 각각 53.8%, 29.5% 감소되었으며, 4-methoxyglucobrassicin은 봄맛노랑에서 $0.32 \pm 0.19 \mu\text{g/g DW}$, 춘광에서 $1.68 \pm 0.18 \mu\text{g/g DW}$ 로 확인되어 4°C 저장배추에 비하여 각각 86.6%, 46.0% 감소되었다. 이는 숙성과정에서 *GSL*의 분해가 가속되는 것을 나타낸다. *Jung* 등(11)은 저장온도가 높을수록 저장 초기에 총 *GSL* 함량이 급격히 감소한다고 보고하여 본 연구결과와 유사하다. 배추를 절이는 과정이나 김치로 제조하여 4°C에 저장하였을 때 4-methoxyglucobrassicin의 함량은 지속적으로 감소되었으나 *glucounapin*과 *glucobrassicinapin*의 함량은 크게 감소하지 않았으므로 비교적 절임 공정에 안정한 것으로 사료된다. 다만, 20°C에 저장하여 숙성 및 발효가 진행되는 동안에 분해되는 것으로 나타나 고온에서의 저장 안정성은 다른 *GSL*과 비슷하게 감소하는 것으로 판단된다. 이처럼 *GSL*의 종류에 따라 분해되는 정도가 달라진다. 총 *GSL* 함량으로 봤을 때 절임 과정 중 크게 감소하며, 숙성 과정 중에 크게 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 절임이나 숙성 과정 중 품종에 따른 변화 차이가 있는 것은 품종에 따라 패턴이나 세포벽 등의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다.

배추 가공에 따른 ITC 함량

배추를 가공 상태에 따른 ITC의 함량을 GC/MS로 분석한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 봄맛노랑 및 춘광 두 시료에서 2-phenylethyl ITC, 3-butenyl ITC, 4-pentenyl ITC가 확인되었다. 이는 *Hong*과 *Kim*(13)의 연구와 일치하였다. 하지만 *Hong*과 *Kim*(13)의 연구에 사용된 신선배추에는 이들 ITC의 함량 순서가 4-pentenyl ITC > 3-butenyl ITC > 2-phenylethyl ITC 라고 보고하였는데 본 연구에서는 봄맛노랑은 3-butenyl ITC > 2-phenylethyl ITC > 4-pentenyl ITC 순서로 분석되었으며(Fig. 3A), 춘광은 3-butenyl ITC > 4-pentenyl ITC > 2-phenylethyl ITC의 순서로 분석되었다(Fig. 3B). 이는 품종에 따른 ITC의 함량 차이로 여겨진다. 2-Phenylethyl ITC는 봄맛노랑 및 춘광 두 시료에 대하여 절임 후 증가하였다가 김치로 가공하여 저장하는 과정에 소실되는 것으로 나타났으며, 20°C로 저장하였을 때 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 3-Butenyl ITC의 경우 절임공정에 의해 감소되었다가 저장과정 중에는 소실되지 않는 것으로 확인되었으며, 4-pentenyl ITC는 신선배추 상태에서 확인되었다가 가공처리에 의하여 완전히 소실되었다. 배추의 ITC의 함량 조사 결과 품종에 따라 ITC 함량에 차이가 있었으나, 동일한 가공조건에서 ITC의 함량 변화 경향은 일치하였다. *Chun* 등(18)의 연구 결과 들산 갓 김치의 발효 기일이 늘어남에 따라 ITC의 함량이 감소하는 경향을 보였다. 또한 *Hong*과 *Kim*(13)의 연구에서 배추김치를 제조하여 저

장하였을 때 ITC 함량은 저장 1일째에 증가하였다가 이후 급속하게 감소하며, 5일 이후에는 완전히 소실되었다. 이는 저장 초기에 *myrosinase*의 활성이 완전히 소실되기 전에 *GSL*과 반응하여 분해산물인 ITC를 생성하였다가 저장일수가 증가하면서 *myrosinase*가 활성을 잃게 되면서 ITC의 생성이 줄어드는 것으로 예측된다. *Park* 등(19)은 갓 김치 숙성 중 *myrosinase* 활성은 20°C에서 3일 이상 저장하였을 때 급격히 감소하여 4일 이후에는 50% 이상의 활성을 손실하고 10일 후에는 거의 활성이 없었다고 보고하고 있다. 이는 ITC 생성이 기질과 효소와의 반응에 의한 것으로 숙성 중 기질 및 효소활성의 감소가 ITC의 감소 원인으로 판단된다(18). *Foo* 등(20)은 자연 상태의 pH에서는 *GSL*가 *myrosinase*에 의하여 주로 ITC로 전환이 되지만 산성의 조건에서는 nitrile이 주요 분해산물로 생성된다고 보고하였다. 한편 *Kim* 등(21)은 청각을 김치로 제조하였을 때 ITC 함량의 감소 원인이 ITC가 염수로 용출되었기 때문으로 예측하였으나, ITC는 휘발성 물질로서 물에는 잘 용해되지

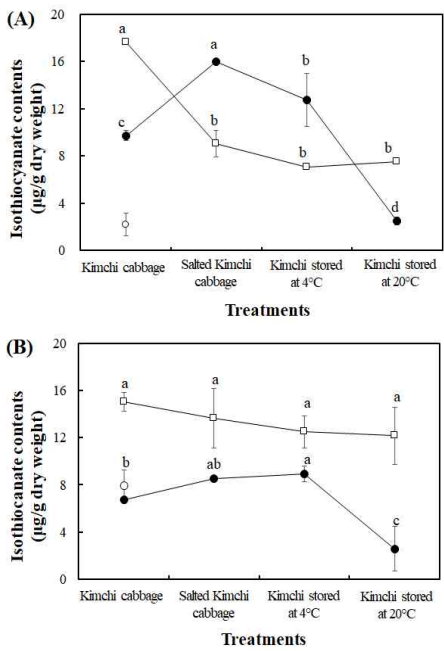


Fig. 3. Change in isothiocyanate levels at different processing of Kimchi cabbage.

(A), Bomatorang; (B), Chungwang.
 ●, 2-phenylethyl ITC; □, 3-butenyl ITC; ○, 4-pentenyl ITC.
 Values represent the mean±SD (n=5). Means with different letters above a bar are significantly different at p<0.05.

않는 지용성 물질이므로 염수 및 김치의 양념수에 용출되어 소실되기 보다는 저장 중 다른 화학성분으로 변화하였거나 휘발되어 소실되었을 것으로 판단된다(22). GSL 및 ITC 함량은 배추의 물리적 특성인 경도(firmness, hardness)에 영향을 받아 가공됨에 따라 함량의 변화에 영향을 받을 것이며, 배추 조직의 밀도에 영향을 주는 펙틴 및 셀룰로오스의 함량과도 연관이 있을 것으로 예상된다. Lee 등(23)의 연구에 의하면 펙틴분해효소인 pectinesterase는 펙틴이 펙틴산으로 분해되었을 때 Ca 및 Mg 이온과 가교결합을 하도록 유도하여 식물 세포막을 견고하게 하는 작용을 한다고 보고하여 무기질 함량 연구 또한 병행될 경우 배추 조직의 물리·화학적 특성에 의한 GSL 및 ITC의 함량 변화의 인과 관계를 확인 할 수 있을 것이다. 또한, 기질(GSL)과 효소(myrosinase) 반응을 통한 분해산물(ITC)의 합성에 대한 연구를 위하여 myrosinase 활성 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 두 품종 배추(봄맛노랑 및 춘광)의 가공조건(신선배추, 절임배추, 4℃ 저장 김치 및 20℃ 저장 김치)에 따른 GSL 및 ITC의 정성·정량 분석을 하였다. HPLC와 HPLC/MS분석 결과 봄맛노랑 및 춘광 배추에는 4종류의 GSL(sinigrin, gluconapin, glucobrassicapin, 4-methoxyglucobrassicin)가 확인되었다. 신선배추의 총 GSL 함량은 봄맛노랑, 21.37±1.06 µg/g DW, 춘광; 20.96±3.33 µg/g DW에서 절임공정을 거쳐 봄맛노랑, 춘광이 각각 39%, 52% 감소하였다. 또한 김치로 가공하여 20℃에 저장하였을 때 신선배추 대비 봄맛노랑, 춘광이 각각 83%, 56% 감소하여 GSL의 함량은 절임공정 및 숙성과정에서 크게 소실되는 것으로 나타났다. 또한 GC/MS분석 결과 봄맛노랑 및 춘광 배추에는 3종류의 ITC(2-phenylethyl ITC, 3-butenyl ITC, 4-pentenyl ITC)가 확인되었다. 2-Phenylethyl ITC는 봄맛노랑, 춘광에서 절임공정에 의하여 증가하였다가 20℃에 저장하며 숙성되는 동안 다량 소실되었다. 3-Butenyl ITC는 절임공정에서부터 감소하는 경향을 나타냈으며, 김치로 저장하는 동안에는 크게 감소하지 않았다. 4-Pentenyl ITC는 신선배추에서만 발견되었다가 가공처리에 의해 완전히 소실되어 관찰되지 않았다. 본 연구는 향후 산업체에서 배추 가공식품의 기초자료로서 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 덕성여자대학교 2016년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었으며, 시료로 사용된 배추, 절임배추 및 김치

를 제공해주신 CJ 제일제당에 감사드립니다.

References

- Kim CR, Lim YS, Lee SW, Kim SJ (2011) Identification and quantification of glucosinolates in rocket salad(*Eruca sativa*). CNU J Agric Sci, 38, 285-294
- Fenwick GR, Heaney RK, Mullin WJ (1983) Glucosinolates and their break down products in food and food plants. Crit Rev Food Sci Nutr, 18, 123-201
- Bennett RN, Mellon FA, Botting NP, Eagles J, Rosa EA, Williamson G (2002) Identification of the major glucosinolate (4-mercaptobutyl glucosinolate) in leaves of *Eruca sativa* L. (salad rocket). Phytochemistry, 61, 25-30
- Jang M, Hong E, Kim GH (2010) Evaluation of antibacterial activity of 3-butenyl, 4-pentenyl, 2-phenylethyl, and benzyl isothiocyanate in *Brassica* Vegetables. J Food Sci, 75, M412-M416
- Bennet RN, Wallsgrove RM (1994) Secondary metabolites in plant defence mechanisms. New Phytol, 127, 617 - 633
- Fahey JW, Zhang Y, Talalay P (1997) Broccoli sprouts: an exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. Proc Natl Acad Sci USA, 94, 10367-10372
- Smith TK, Mithen R, Johnson IT (2003) Effects of brassica vegetable juice on the induction of apoptosis and aberrant crypt foci in rat colonic mucosal crypts in vivo. Carcinogenesis, 24, 491-495
- Park JH, Lee SJ, Kim BR, Woo ET, Lee JS, Han EH, Lee YH, Park YD (2011) Isolation of myrosinase and glutathione s-transferase genes and transformation of these genes to develop phenylethyl isothiocyanate enriching Chinese cabbage. Kor J Hort Sci Technol, 29, 623-632
- Hwang ES (2010) Changes in Myrosinase activity and total glucosinolate levels in Korean Chinese Cabbages by salting conditions. Korean J Food Cookery Sci, 26, 104-109
- Kim MK, Hong EY, Kim GH (2010) Change of total glucosinolates Level according to Processing Treatments in Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*) from Different Harvest Seasons. Kor J Hort Sci Technol, 28, 593-599
- Jung JI, Hong EY, Kim MK, Jung JW, Oh JY, Kwon MS, Lee KP, Kim GH (2009) Changes in total glucosinolates levels and physico-chemical properties of

- kimchi using Korean Chinese Cabbage of harvest time according to various storage conditions. Korean J Food Preserv, 16, 612-617
12. Shim YH, Ah GJ, Yoo CH (2003) Characterization of salted Chinese cabbage in relation to salt content, temperature and time. Korean J Soc Food Cookery Sci, 19, 210-215
 13. Hong EY, Kim GH (2006) Changes in isothiocyanate levels in Korean Chinese cabbage leaves during kimchi storage. Food Sci Biotechnol, 15, 688-693
 14. Al-Gendy AA, Lockwood GB (2003) GC - MS analysis of volatile hydrolysis products from glucosinolates in *Farsetia aegyptia* var. *ovalis*. Flavour Fragrance J, 18, 148-152
 15. You Y, Wu Y, Mao J, Zou L, Liu S (2008) Screening of Chinese brassica species for anti-cancer sulforaphane and erucin. Afr J Biotechnol, 7, 147-152
 16. Hwang ES, Hong EY, Kim GH (2012) Determination of bioactive compounds and anti-cancer effect from extracts of Korean Cabbage and Cabbage. Korean J Food Nutr, 25, 259-265
 17. Tyagi AK (2002) Influence of water soaking of mustard cake on glucosinolates (thioglucosinolates) in foods and Feeds. Animl Feed Sci Technol, 99, 215-219
 18. Chun SS, Choi OJ, Cho YS, Park SK, Park JR (1995) Changes in pungent components of Dolsan leaf mustard kimchi during fermentation. J Korean Soc Food Nutr, 24, 54-59
 19. Park JR, Park SK, Cho YS, Chun SS (1994) Purification and characterization of myrosinase in Dolsan leaf mustard (*Brassica juncea*) and changes in myrosinase activity during fermentation of leaf mustard kimchi. J Korean Soc Food Cult, 9, 137-142
 20. Foo HL, Gronning LM, Goodenough L, Bones AM, Danielsen B, Whiting DA, Rossiter JT (2000) Purification and characterization of epithiospecifier protein from *Brassica napus*: enzymic intra molecular sulfur addition within alkenyl thiohydroximates derived from alkenyl glucosinolate hydrolysis. FEBS Lett, 468, 243-246
 21. Kim HR, Cho KJ, Kim JS, Lee IS (2006) Quality changes of mustard leaf (*dolsangat*) kimchi during low temperature storage. Korean J Food Sci Technol, 38, 609-614
 22. Pyo YH, Kim JS, Hahn YS (2000) Volatile compounds of mustard leaf (*Brassica juncea*) kimchi and their changes during fermentation. Korean J Food Sci Technol, 32, 56-61
 23. Lee KH, Kuack HS, Jung JW, Lee EJ, Jeong DM, Kang KY, Chae KI, Yun SH, Jang MR, Cho SD, Kim GH, Oh JY (2013) Comparison of the quality characteristics between spring cultivars of Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). Korean J Food Preserv, 20, 182-190