



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주단지무와 관동여름무의  
생육시기별 유용성분 변화

濟州大學校 大學院

食品工學科

文 愛 景

2015年 8月

# 제주단지무와 관동여름무의 생육시기별 유용성분 변화

指導教授 高 榮 煥

文 愛 景

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2015年 8月

文愛景의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長           宋 官 禎           印

委 員           朴 晟 秀           印

委 員           高 榮 煥           印

濟州大學校 大學院

2015年 8月

Changes in Functional Metabolites at Different  
Growth Stages of Danji radish and Gwandongsummer  
radish

Ae Kyoung Moon  
(Supervised by professor Young Hwan Ko)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Master of Engineering

2015. 08.

This thesis has been examined and approved.

Kwan-Jeong Song, Thesis director, Professor of Bioscience and Industry

Sung-Soo Park, Professor of Food Science & Nutrition

Young Hwan Ko Professor of Food Bioengineering

August 2015

Department of Food Science and Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Tables	6
List of Figures	7
Abstract	1
I. 서론	3
II. 재료 및 방법	7
1. 생육 특성 조사	7
2. 실험 재료	7
3. 분석용 시료 조제	7
4. 유용성분 분석	8
1) Ally isothiocyanate 분석	8
2) Sulforaphane 분석	10
3) Myrosinase 활성	10
4) 총 폴리페놀함량 분석	12
5) 총 플라보노이드 함량 분석	12
6) 무기성분 분석	13
5. 항산화 및 항균 활성	13
1) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical 소거능	13
2) 2,2'-azino-bis 3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid radical 소거능	14
3) 항균 활성	14
6. 통계분석	14

III. 결과 및 고찰	15
1. 생육 특성	15
2. 유용성분 분석	18
1) Ally isothiocyanate 함량 변화	18
2) Sulforaphane 함량	26
3) Myrosinase 활성 변화	28
4) 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량 변화	29
5) 무기성분 함량 변화	31
3. 항산화 및 항균 활성	33
1) 항산화 활성 변화	33
2) 항균 활성 변화	35
요 약	37
IV. 참고문헌	39

## List of Tables

Table 1.	Conditions for qualitative analysis of AITC by gas chromatography/mass spectrometer . . . . .	9
Table 2.	Conditions for quantitative analysis of AITC by gas chromatography . . . . .	9
Table 3.	Growth characteristics of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	11
Table 4.	Conditions for analysis of sulforaphane by high performance liquid chromatography . . . . .	16
Table 5.	Changes in mineral contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	32
Table 6.	Growth inhibition zone showing antibacterial activities of Danji radish and Gwandongsummer radish extracts . . . . .	36

## List of Figures

Figure 1.	Calibration curve for AITC determination by gas chromatography . . . . .	10
Figure 2.	Calibration curve for sulforaphane determination by high performance liquid chromatography . . . . .	11
Figure 3.	Shapes of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	17
Figure 4.	GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of AITC standard solution . . . . .	19
Figure 5.	GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Danji radish roots . . . . .	20
Figure 6.	GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Danji radish leaves . . . . .	21
Figure 7.	GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Gwandongsummer radish roots . . . . .	22
Figure 8.	GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Gwandongsummer radish leaves . . . . .	23
Figure 9.	Changes in allyl isothiocyanate contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	24
Figure 10.	HPLC chromatograms of sulforaphane standard (top), Danji radish (middle) and Gwandongsummer radish(bottom) samples . . . . .	25
Figure 11.	Sulforaphane contents in radish samples . . . . .	27
Figure 12.	Changes in myrosinase activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	27



Figure 13. Changes in total polyphenol contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	30
Figure 14. Changes in total flavonoid contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . .	30
Figure 15. Changes in DPPH radical scavenging activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . . . . . . .	34
Figure 16. Changes in ABTS radical scavenging activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time . . . . . . . . . .	34

## Abstract

Functional metabolites were screened in native species of radish at different growth stages to broaden consumer market. Both Danji radish and Gwandongsummer radish were harvested periodically in 80, 100, 120, 150 and 180 days after sowing. Their roots and leaves were investigated for allyl isothiocyanate(AITC), sulforaphane, total polyphenol compounds(TPC), total flavonoid compounds(TFC), minerals, antioxidative activity, myrosinase activity, and antibacterial activity.

Danji radish produced 2~5 fold more leaves than Gwandongsummer radish. The highest amount of leaves 902 g/radish was obtained at 100 days' cultivation. The contents of AITC showed differences according to harvest time and species. The maximum levels were 0.94mg/g in roots of Danji radish and 1.02mg/g in leaves of Danji radish harvested in 100 days after sowing. Meanwhile, Gwandongsummer radish that were harvested contained only 0.69mg/g in roots and 0.72mg/g in leaves. The contents of sulforaphane were also higher in Danji radish roots (12.6ppm) and leaves (7.31ppm) than in Gwandongsummer radish roots (6.46ppm) and leaves (6.34ppm). The enzyme myrosinase which catalyzes AITC production through hydrolysis of glucosinolate was detected 30~42 unit in leaves of Danji radish which was higher than 20~23 unit in leaves of Gwandongsummer radish. Above 300 ppm of both TPC and TFC were contained in radish leaves, and leaves had more TPC and TFC than roots. The leaves of Danji at 100 days' cultivation showed the highest contents. Macro-mineral contents in radish were K>Ca>Mg>P in descending order. Among those, potassium content with 2~4% was 10 times higher than that of any other mineral. Iron (Fe) out of four micro-elements(B, Zn, Fe and Cu) showed the richest content 498.70ppm in leaves of Danji radish, whereas leaves of Gwandongsummer radish had only 116.90ppm of iron. The antioxidative activity of radish was investigated indirectly by measuring radical-scavenging activity. The radical-scavenging activities of Danji radish were 42.32% for 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl and 57.47% for 2,2'-azino-bis

3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid, respectively, compared with Trolox. Extracts of radish showed considerable antibacterial activity. Among those the extract from Danji roots had the strongest activity.

This study suggests that Danji radish is more valuable and suitable as leave sources than Gwandongsummer radish, and it has high potential as functional food material.

## 1. 서론

무(*Raphanus sativus* L)는 우리나라의 대표 채소 중의 하나이다. 중국에서 이미 기원전 1,100년경에서 400년경에 걸쳐 편찬된 『이아(爾雅)』에 무가 재배되었던 기록이 있고, 우리나라는 삼국시대에 중국에서 도입된 후, 고려시대에 재배가 보편화되었던 것으로 추정된다(Ku 등 2006).

무의 품종에 따라 비대한 지하부 뿌리(괴근)와 지상부 엽채(무청)를 함께 식용으로 사용하기도 하고, 뿌리만 또는 무청만 식용하기도 한다. 중국을 통해 들어온 재래종(조선무)은 김치, 깍두기, 무말랭이 등으로 주로 생산 소비되며, 중국에서 일본을 거쳐 들어온 일본무 계통은 주로 단무지로, 유럽을 통해 들어온 샐러드용 무는 주로 샐러드로 이용된다(Lee 등 2013). 무의 성분 함량은 수분 약 93%, 조단백질 1%, 주로 포도당 형태의 당질 3%, 비타민 C 19~39 mg% 내외를 함유하고 있다. 그 외에도 무의 조직에는 섬유소와 펙틴질, 각종 무기질과 소화효소인 amylase 등이 있고, methyl mercaptane이나 mustard oil과 같은 특유의 방향성분을 지니고 있다(Huh 등 2003). 무는 깍두기, 김치, 찜무, 단무지, 국, 찜, 조림, 무말랭이, 생선회 받침용, 시래기 등 다양한 용도로 이용되는 식재료로 우리 식생활에서 매우 중요한 부분을 차지하고 있다(Jung 등 2014). 민간요법과 고전문헌을 보면 내복근이라 하여 소화 촉진과 어패류 또는 면류의 중독해소에 효과가 있고, 그 종자를 내복자라 하여 혈담, 천식 및 늑간 신경통 등에 쓰인다고 전해오고 있다(Jung 등 1998).

제주지역은 청정하고 온난한 자연환경에 적합한 월동무 주산지로서 2013년 4,696ha로 전국 무 재배면적의 24%를 차지하고 있으며, 생산량 301,779톤, 조수입 1,087억원으로, 도내 월동채소 작물 중 1위 작목이다(Jeju 2014).

특히 국내에서 공급되는 무 중에서 12월부터 다음해 5월까지 겨울철 신선채소의 주 공급 지역으로 경제적·산업적 중요성이 매우 크다고 할 수 있다. 또한 제주산 무는 수확을 하지 않은 노지상태에서 월동하기 때문에 저장에 따른 추가 비용이 소요되지 않아 다른 지역 가을무와는 차별화되어 있는 것이 특징이다.

제주지역에는 오래전부터 ‘단지무’ (*Raphanus sativus* L. var. *hortensis* Baker f. *gigantissimus* Makino)라는 재래종이 재배되어 왔으며, 1913년 작물통계에 등재된 것으로 보아 조선시대부터 상당한 면적이 재배되었던 것으로 추정하고 있다. 새로운 무 품종이 개발되고 상업적인 재배가 시작되면서 재래 ‘단

지무’는 자취를 감추고 텃밭 채소용으로 그 명맥을 유지하여 왔다(Lee 등 2008). 제주 재래종 ‘단지무’에 대한 현재까지의 연구 보고에 따르면 ‘단지무’는 제주 재래종으로 십자화과에 속하는 일년생식물로 초세가 강하고 엽육이 두꺼우며 짙은 녹색을 띠고 근형은 원형 또는 타원형으로 조직이 치밀하며 당도가 높고, 추대 및 바람들이가 늦고 근중이 8~15kg 정도로 생태형은 만생종에 속하며(Kim 등 1991), 과거 60년대 무 F<sub>1</sub> 품종이 보급되기 전에는 제주 재래종인 ‘단지무’가 식용 또는 동물의 사료용으로 재배되었고(Cho 등, 2000), ‘단지무’ 식품 이용실태 조사에서 국거리용으로 우거지국, 된장국, 전통요리에서 제주몸국(겨울철 모자반 대용으로 이용), 깍두기 등의 김치재료로 활용되는 것으로 조사(Lee 등 2002)되었다. 또한 현대인의 입맛에 맞는 ‘단지무’의 상품개발 가능성을 조사한 결과, 깍두기를 담을 경우 질감이 아삭아삭하고 씹는 맛이 좋았다고 하였으며(Lee 등, 2002), 제주산 월동무의 수확 시기별 비타민 C 함량이 11월 수확 보다 3월에 수확하였을 때 2배 이상의 함량을 보였으며, 항산화활성은 3월에 수확한 것이 11월에 수확한 무보다 1.3-1.4배 활성이 높아 월동무보다 기능성이 우수하다고(Kim 등, 2013) 보고되었다.

제주 월동무(*Raphanus sativus* L.)는 노지상태에서 월동할 수 있다는 장점 때문에 2000년 이후 재배면적이 증가하면서 생산과잉 문제로 가격 등락이 심하고 생산량 조절을 위하여 산지폐기 등이 지역현안 문제로 대두되어 왔는데, 최근 무청 및 무말랭이 등 다양한 가공 농산물의 수요가 증가하면서 소비자 용도에 맞는 품종재배와 계획생산이 필요하게 되었다. 이러한 측면에서 ‘단지무’는 초세가 강하고 엽육이 두꺼워 지상부 생육이 왕성하며, 순백색의 근형은 원형으로 조직이 치밀하여 건물함량이 높고 저온에 강한 특징을 갖고 있다(Lee 등 2008). 특히 ‘단지무’는 생태형이 만생종에 속하기 때문에 3~4월까지 지상부 잎이 신선하게 유지되는 장점을 갖고 있어서 무청이나 무말랭이 가공에 적합한 품종이고 재래종의 이용측면에서도 매우 유용한 자원으로써 생산과 가공 이용을 충분히 검토하여 제주의 특화작물로 발전 가능성이 높다고 할 수 있다. 그러나 ‘단지무’에 관한 연구로는 재배특성(Lee 등 2008), 이용실태조사(Lee 등 2002), 가공이용 특성 조사(Kim 등, 2013) 등에 대한 연구가 대부분이며 유용성분 및 항산화, 항균 등 기능성 물질에 관한 연구는 부족한 실정이다. 또한 무시레기는 건물량 중 35% 이상의 식이섬유, 20% 내외의 단백질과 철분, 칼슘 등으로 구성되어 있으며(Ku 등 2006), 최근에 무시레기의 에탄올 추출물이 폐암

세포 억제 효과가 있고(Yim 등 2004), 기타 생리활성(Ku 등 2008) 등을 가진다는 연구결과가 보고되면서 새로운 기능성 물질을 가진 연구 대상으로써 가능성을 시사하고 있어 ‘단지무’ 무청에 대한 연구가 요구되고 있다. 따라서 ‘단지무’를 지역 특산품으로 유지 발전시키기 위해서는 식품 과학적 성분특성, 유용물질 탐색, 건강식품 개발 등 산업화 이용기술 연구가 요구되고 있다.

십자화과 채소에 널리 포함된 glucosinolates는 황(sulfur)을 함유하고 있으며, 휘발성이 강한 독특한 매운 향기를 부여하며(Fenwick 등 1983), Cabbage, Broccoli, Brussels sprouts 및 cauliflower 등과 같은 십자화과 채소에서 현재까지 약 100여종이 확인되었으며, 그 중 30여종이 생리적인 활성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Fahey 등 2001, Shim 등 1992). 손상되지 않은 채소에서 glucosinolate는 비활성인 상태로 존재하지만, 조리나 가공 과정 등 채소 조직을 손상시키면 조직내에 존재하는 myrosinase (thioglycoside glucohydrolase, EC 3.2.3.1)라는 효소의 작용에 의하여 isothiocyanate, nitrile 및 thiocyanate와 같은 분해산물을 형성하고(Choi 등 2009), 이들 분해산물이 십자화과 채소 특유의 자극적인 냄새 및 쓴맛 등을 낸다고 보고되고 있다(Fenwick 등 1983, Getahun 등 1999)

십자화과 채소에 함유되어 있는 주요 glucosinolates 성분은 glucobrassicinapin, glucoraphanin, gluconapin 및 sinigrin 등이며, 이들은 채소에 존재하는 myrosinase에 의해 가수분해되어 각각 indole-3-carbinol, sulforaphane, butenyl isothiocyanate 및 allyl isothiocyanate로 전환된다. 십자화과 채소의 항암 및 항산화효과는 glucosinolates의 분해산물인 isothiocyanates, sulforaphane 등에 의한 것으로 알려져 있다(Talalay 등 1989, Zhang 등 1994). Isothiocyanates는 주로 무독화효소의 활성을 증가시키고, 세포예정사(apoptosis) 및 세포주기 억제 기전을 통하여 암을 예방하는 것으로 밝혀져 있고(Hwang 등 2010, Smith 등 2003), 인체 폐암 세포의 증식을 억제 시키는 작용이 있는 것으로도 보고되고 있다(Yim 등 2004).

Sulforaphane은 강력한 항산화 효과를 가지고 있으며, sulforaphane에 의한 항산화 효소의 발현 유도는 산화적 손상에 의한 유전자 변형을 막아준다고 보고되어 있다. 십자화과 채소의 종류에 따라 함유되어 있는 주요 glucosinolate의 종류, 함량 및 이들의 가수분해 물질이 각각 다르게 나타나고 있다.

현대인의 건강에 대한 관심이 늘어나고 삶의 질에 대한 인식 변화와 더불어 노화 억제에 영향을 미치는 기능성 식품과 폴리페놀류와 같은 천연 항산화 물

질에 대한 관심이 급증하고 있다. 식품 중의 페놀 화합물은 다양한 구조와 분자량을 가지고 있으며, 특히 phenolic hydroxyl기는 단백질 등의 거대분자들과 결합하는 성질이 있어 자유라디칼 소거 능력뿐만 아니라 활성산소 및 질소종의 반응을 억제하는 다양한 생리작용과 효능을 가진다(Park & Kim 1992). 플라보노이드는 식물의 주요 2차 대사산물 중 하나로 자외선 차단, 식물의 수분을 위한 곤충 유인 등 외부환경에 적응하는데 이로운 역할을 한다. 특히 플라보노이드는 항산화 효과가 우수한 것으로 알려져 노화방지와 생활습관 질병예방에 유용한 건강기능식품소재로 각광받고 있다. 하지만 플라보노이드의 생체이용률은 매우 낮으며 이러한 플라보노이드 흡수과정에 관한 생물학적 기전은 최근에 조금씩 밝혀지기 시작하고 있다(Han 등 2013). 이러한 이유로 천연항산화 물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

무청 추출물의 항균, 항산화 항혈전 활성에 관한 연구에서 무청이 다양한 항세균 활성물질을 포함함을 확인하였으며, 항산화 활성 평가 결과에서도 우수한 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical 소거능, 2,2'-azino-bis 3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid 소거능, nitrite 소거능 및 환원력을 확인하였다(Lee 등 2013)

따라서 제주지역에서 오래전부터 재배되어온 재래 '단지무'와 '관동여름무'의 괴근과 무청의 수확시기별 유용성분을 분석하고, 항산화 활성 및 항균 활성을 탐색하여 식품소재로의 차별성과 우수성을 구명함으로써 제주지역 특화 작물로 육성하기 위한 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 생육 특성 조사

2013. 9월 ~ 2014. 3월 기간에 서귀포시 성산읍 고성리 포장에서 ‘단지무’와 ‘관동여름무’ 품종을 재배하였고 수확시기(파종 후 80일; 11월 21일, 100일; 12월 11일, 120일; 1월 2일, 150일; 2월 2일, 180일; 3월 2일)에 따라 시료 10주씩을 무작위 방법으로 채취하여 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA 2012)에 의해 생육 특성 조사를 실시하였다.

### 2. 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 생육 특성 조사에 사용된 시료를 사용하여 ‘단지무’ 괴근과 무청, ‘관동여름무’ 괴근과 무청으로 분류하여 선별, 세척 후 시료의 균질성을 떨 수 있도록 괴근은 10개의 시료에서 각각 가로로 1/8씩 잘라내어 한꺼번에 잘게 다진 후 일부분을 시료로 채취하였으며, 무청은 10개의 시료에서 각각 5장씩을 골라 혼합 후 잘게 다져 일부분을 시료로 채취하여 성분 변화가 최소화 되도록  $-70^{\circ}\text{C}$  에서 급속 동결하여 72시간동안 진공동결건조(Illshin, PVTFD10, Korea) 하였다. 동결건조 후 미분쇄한 ‘단지무’와 ‘관동여름무’ 시료는 밀봉하여 냉장보관하면서 분석에 사용하였다.

### 3. 분석용 시료 조제

추출용매는 메탄올( $\text{CH}_3\text{OH}$ )과 아세톤( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ) 혼합용매(1:1)를 사용하였다. 동결건조 시료 5g에 추출용매 50ml를 추출용기에 넣은 후 실온에서 300rpm으로 20시간 동안 교반 시킨 다음, 원심분리(7,000 rpm, 10분,  $20^{\circ}\text{C}$ )하여 상층액을 여과시킨 것을 추출물로 사용하였다.



#### 4. 유용성분 분석

##### 1) Ally isothiocyanate 분석

무 추출물 0.5ml 에 증류수 2ml 를 첨가하고 1분 동안 2,500rpm으로 진탕시킨 후 헥산( $C_6H_{14}$ ) 6ml 를 가하여 용매분획을 실시한 다음 상등액인 헥산층을 분석용 검액으로 사용하였다. Ally isothiocyanate(AITC) 성분의 정성적 확인은 gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS) (QP2010 Ultra, Shimadzu, Japan)를 이용하였으며, 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 그리고 AITC의 함량은 GC(HP 5890, Hewlett Packard, USA)로 분석 검액을 측정하였으며, 분석조건은 Table 2와 같다. 표준용액은 헥산으로 10~1000ppm을 조제하였으며, 시료와 동일조건에서 분석한 다음, Figure 1과 같이 검량선을 작성하여 정량하였다. AITC의 표준품은 Sigma 회사 제품을 사용하였다.

Table 1. Conditions for qualitative analysis of AITC by gas chromatography/mass spectrometer

Parameters	Conditions
Column	HP DB-5MS (30m×0.25mm, 0.25 $\mu$ m)
Oven temperature	50°C(constant)
Injection temperature	160°C
Interface temperature	250°C
Injection mode	Splitless
Column flow rate	Carrier gas N <sub>2</sub> , 2ml/min
Ionization voltage	70 eV
Ion source temperature	200°C
Molecular range	25 ~ 500 m/z

Table 2. Conditions for quantitative analysis of AITC by gas chromatography

Parameters	Conditions
Column	HP iNNOWAX capillary(30m×0.25mm, 0.4 $\mu$ m)
Dedector	FID(Flame ionization detector)
Injection temperature	160°C
Detector temperature	250°C
Oven temperature	50°C → 10°C/min. → 100°C
Column flow rate	Carrier gas He, 1.2ml/min

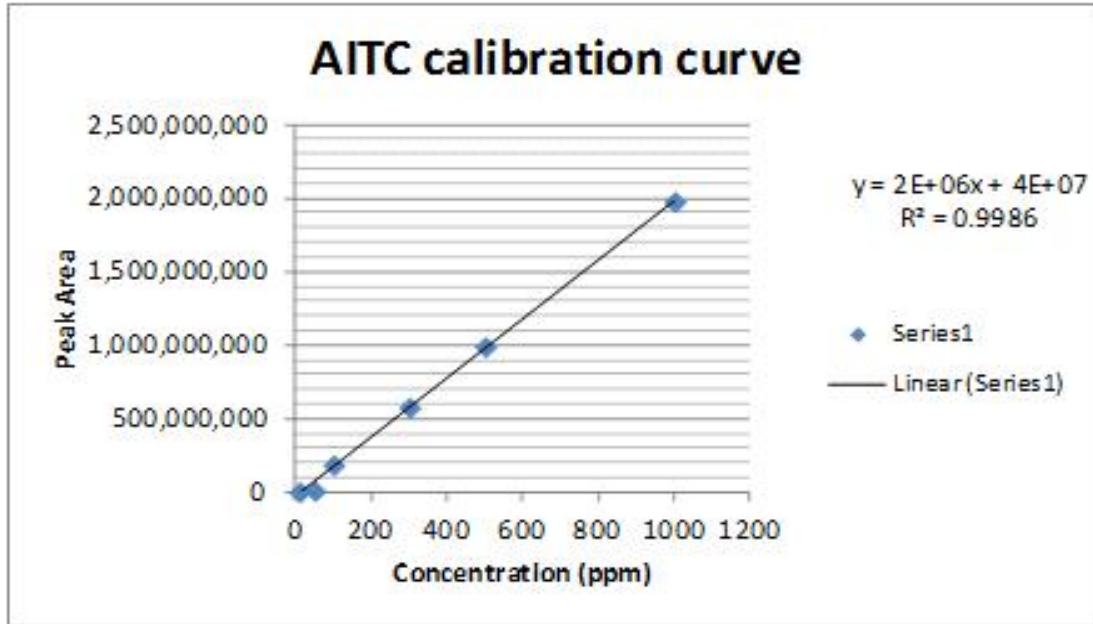


Figure 1. Calibration curve for AITC determination by gas chromatography.

## 2) Sulforaphane 분석

동결건조한 시료 1g에 70% 에탄올( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ )을 가하여 4시간 동안 초음파로 추출하고 여과한 후, 감압 농축한 추출물을 정량적으로 취하여 70% 메탄올로 분석조건에 알맞게 희석한 다음,  $0.2\mu\text{m}$  membrane filter로 정밀 여과한 것을 high performance liquid chromatography (HPLC) 분석용 검액으로 사용하였다. 분석 기기는 HPLC(e2695, Waters, USA)를 이용하였으며, 분석조건은 Table 3에 나타내었다. 표준용액은 70% 메탄올로 6.25~200ppm 농도로 조제하였고, 시료와 동일조건에서 분석한 다음, Figure 2와 같이 검량선을 작성하여 정량하였다. Sulforaphane의 표준품은 Sigma회사 제품을 사용하였다.

Table 3. Conditions for analysis of sulforaphane by high performance liquid chromatography

Parameters	Conditions
Column	Waters Sunfire C18(4.6×150mm, 5 $\mu$ m)
Dedector	PDA 2998(Photodiode array detector)
Injection volume	10 $\mu$ l
Flow rate	1ml/min.
Mobile phase(A%/B%) - A : Water - B : Acetonitrile	Gradient : 85/15(initial) $\rightarrow$ 50/50(16min.) $\rightarrow$ 50/50(18min.) $\rightarrow$ 0/100(19min.) $\rightarrow$ 0/100(29min.) $\rightarrow$ 85/15(30min.) $\rightarrow$ 85/15(45min.)

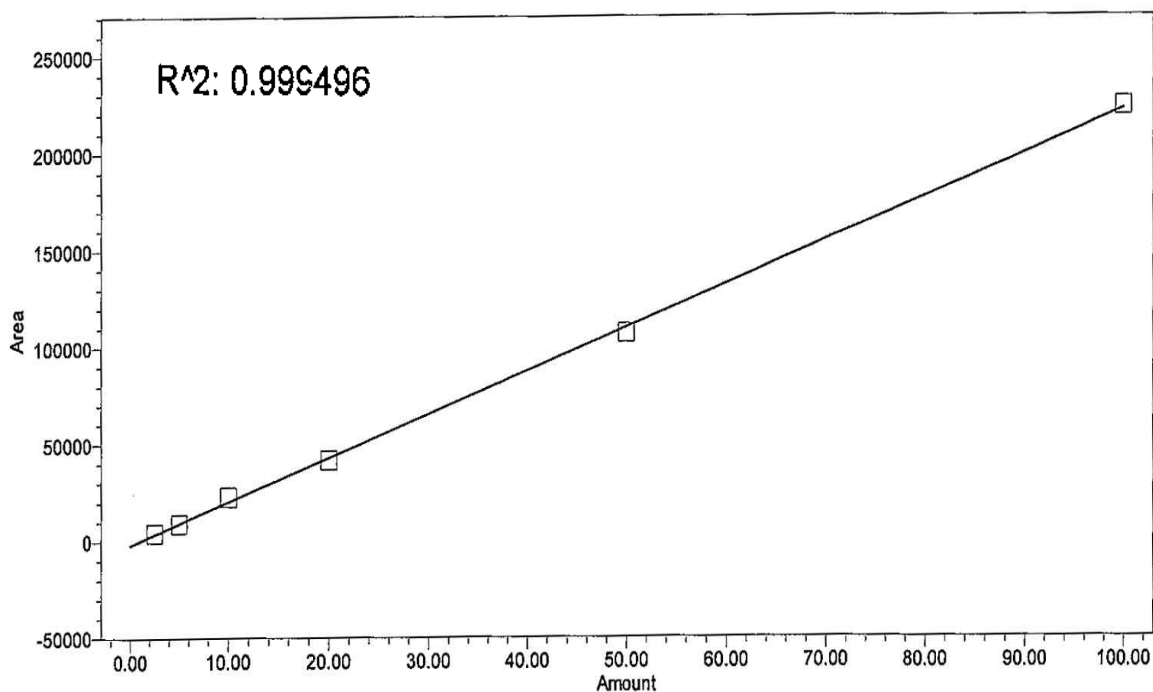


Figure 2. Calibration curve for sulforaphane determination by high performance liquid chromatography.

### 3) Myrosinase 활성

Sinigrin을 myrosinase의 기질로 사용하였으며, 효소의 활성은 유리당을 측정하는 Summer's dinitrosalicylic acid법을 변형하여 사용하였다(Sim 등 1993). 동결건조하여 분쇄한 분말 시료 0.5g에 60mM 인산염완충액(phosphate buffer, pH 6.5) 40ml을 넣고 2시간 진탕시킨 후에 원심분리(3,600rpm, 10min, 10°C) 하여 얻은 상등액을 효소액으로 사용하였다. 효소액 100 $\mu$ l, 10mM L-ascorbic acid 100 $\mu$ l, 3.4mM sinigrin 100 $\mu$ l 및 인산염완충액 100 $\mu$ l를 각각 섞고 증류수로 최종 부피를 1ml로 조절하여 반응시켰다. 37°C에서 10분간 반응시킨 후, 반응액을 dinitrosalicylic acid 시약 1ml와 섞어서 끓는 물에서 5분간 발색시킨 후 냉각시켜 530nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구와 시료간의 흡광도 차이를 효소의 활성으로 환산하였고, 효소활성 1unit는 반응시간 1분 동안에 기질을 가수분해시켜 1nmole의 glucose를 생성시키는 효소의 양으로 정의하였다.

### 4) 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 (total polyphenol compounds, TPC) 함량은 Du 등(2009)이 제시한 방법에 따라서 Folin-Ciocalteu 시약을 사용하여 무의 추출물을 분석하였다. 증류수를 사용하여 추출물을 50배 희석(v/v)하였다. 희석된 추출액 1ml을 Folin-Ciocalteu 시약 1ml(1:1)와 혼합시킨 다음 4분 동안 상온에서 반응시켰다. 7.5% 탄산나트륨( $\text{NaCO}_3$ ) 0.8ml을 첨가하고 2시간 동안 암실에서 정치시킨 후 765nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질은 에탄올에 용해시킨 gallic acid를 사용하였다. 분석기기는 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu Corporation, Japan)를 사용하였으며, 표준용액의 검량식은 아래와 같다.

$$Y = 9.779x + 0.025 \quad (R^2 = 0.999)$$

## 5) 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 (total flavonoid compounds, TFC) 함량 분석은 Ozsoy 등 (2008)이 제시한 방법에 준하여 실시하였다. 추출물 시료액 0.25ml에 물 1.25ml을 첨가한 후 5% 아질산나트륨( $\text{NaNO}_2$ ) 75 $\mu\text{l}$ 를 혼합하였다. 혼합액을 항온처리한 다음 10% 염화알루미늄( $\text{AlCl}_3$ ) 150 $\mu\text{l}$ , 1M 수산화나트륨( $\text{NaOH}$ ) 0.5ml, 증류수 0.275ml을 첨가하여 균질화 시킨 후 510nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 catechin을 사용하였으며, 분석기기는 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu Corporation, Japan)를 이용하였으며, 표준용액의 검량식은 아래와 같다.

$$y = 0.000357 x + 0.011 \quad (R^2 = 0.9965)$$

## 6) 무기성분 분석

시료의 일반성분은 식품공전법과 A.O.A.C법에 준하여 수분함량은 상압가열건조법(105 $^{\circ}\text{C}$ ), 무기성분은 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )과 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ )로 분해하는 습식법으로 유기물을 분해시킨 다음 정용하여 0.2 $\mu\text{m}$  membrane filter(Millipore, USA)로 여과시킨 것을 ICP 발광분석기(Optima 5300DV, Perkin elmer, Germany)로 분석하였다.

## 5. 항산화 및 항균 활성

### 1) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical 소거능

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH) radical 소거능은 Kenny등(2013)의 방법을 참조하여 검정하였다. DPPH 시약을 에탄올에 용해하여 60 $\mu\text{M}$ 의 DPPH용액을 제조하였다. 추출물 시료액 0.1mL에 60 $\mu\text{M}$  DPPH 용액 3.9ml을 혼합한 후 1분 동안 진탕 혼합하고 알루미늄 포일로 빛을 차단시켜 암실에서 30분 동안 정치한 다음 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu Corporation, Japan)로 517nm에서 흡광도를 측정 하였으며, 표준 대조물질로 Trolox (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid)를 사용하였다. DPPH radical 소거 활성(%)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$[1 - (As/Ac)] \times 100\%$$

( As : 추출물의 흡광도, Ac : blank의 흡광도 )

## 2) 2,2'-azino-bis 3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid radical 소거능

2,2'-azino-bis 3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid(ABTS) radical 소거능의 측정 은 Cai 등 (2006)가 제시한 방법으로 검정하였으며, ABTS radical 시약은 7mM ABTS 용액과 2.45mM 과황산칼륨( $K_2S_2O_8$ ) 용액을 동량 혼합하여 상온하 암실에서 12~16시간 반응시켜 조제하였다. 각각의 추출물 시료액 및 blank(에탄올) 용액 0.1ml에 ABTS radical 시약 3.9ml를 혼합한 다음 진탕하여 6분 동안 상온하 암실에서 반응시킨 다음 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu Corporation, Japan)로 734nm에서 흡광도를 측정 하였으며, 표준 대조물질로 Trolox를 사용하였다. ABTS radical 소거 활성(%)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$[1 - (As/Ac)] \times 100\%$$

( As : 추출물의 흡광도, Ac : blank의 흡광도 )

## 3) 항균 활성

무 추출물의 항균활성은 Manivannan 등(2011)의 방법에 따라 조사하였다. 식품에서 유래하는 4종의 병원균을 선정하여 2종의 Gram 음성 세균 (*Escherichia coli* ATCC25922, *Salmonella typhimurium* KCCM11862)과 2종의 Gram 양성 세균(*Staphylococcus aureus* ATCC6538p와 *Bacillus cereus* ATCC13061)을 한국미생물보존센터(KCCM)에서 분양 받아 사용하였다. Paper disc( $\varnothing$ 10mm, Advantec)를 40 $\mu$ l 추출물에 침지 후 배지 플레이트의 중앙에 위치시키고, 37 $^{\circ}$ C에서 24시간 동안 배양시켰을 때, 각각의 추출물 시료액이 미생물의 생육을 저해하여 생긴 생육저지환의 직경(mm)을 측정하였다.

## 6. 통계분석

각각의 시료는 3반복으로 분석하였으며, 분석결과는 Microsoft Office Excel 2010으로 그 평균값과 표준편차(SD, standard deviation)를 구하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 생육특성

수확시기에 따른 생육특성을 검토하기 위하여 파종 후 80일, 100일, 120일, 150일, 180일 시기에 ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 근중, 엽중, 엽수, 엽장, 무청의 수분함량의 변화를 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. ‘단지무’는 ‘관동여름무’보다 엽중이 높게 나타났으며 그 중에서도 파종 후 100일에 수확하였을 때에 주당 902g으로 가장 많은 엽중을 나타내었고, 이후부터는 점차 감소하는 경향을 보이다가 2월 이후에는 급격히 감소되었다. 무청의 수분 함량도 ‘단지무’가 ‘관동여름무’보다 높게 나타났으며, 수확시기와 상관없이 엽중, 엽수, 엽장은 ‘단지무’가 ‘관동여름무’에 비하여 높게 나타나, ‘단지무’의 무청 생산성이 ‘관동여름무’보다 2~5배 정도 높은 것으로 평가되었다.

2월 이후 수확할 경우에 ‘관동여름무’ 무청은 대부분 황화엽이 발생하였으나, ‘단지무’ 무청은 생육이 우수하고 하엽도 시드는 증상이 없었다. ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 생육시기별 모습은 Figure 3과 같다.



Table 4. Growth characteristics of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time

Cultivation time (days)	Root weight (g)		Leave weight (g)		Leave number (number)		Leave length (cm)		Moisture content (%)	
	Danji radish	Gwandong -summer radish	Danji radish	Gwandong -summer radish	Danji radish	Gwandong -summer radish	Danji radish	Gwandong -summer radish	Danji radish	Gwandong -summer radish
80	344±73.3	1,511±127.5	899±248.9	379±59.3	23±4.24	25±2.67	55±4.76	42±4.12	92.9±0.008	91.6±0.015
100	1,195±170.5	1,627±225.1	902±223.1	428±63.1	30±1.93	28±2.20	55±4.95	45±8.07	90.9±0.009	86.6±0.065
120	1,408±286.1	2,012±238.7	800±219.8	287±76.3	31±5.71	24±5.49	54±5.71	42±3.99	89.9±0.026	89.7±0.026
150	2,182±496.5	2,369±453.0	630±113.9	125±29.8	42±7.04	27±4.67	53±6.49	34±5.09	88.1±0.008	85.5±0.016
180	1,825±344.6	2,234±420.9	372±78.5	74±21.5	49±4.27	25±7.30	40±7.17	19±5.27	89.2±0.009	87.9±0.013

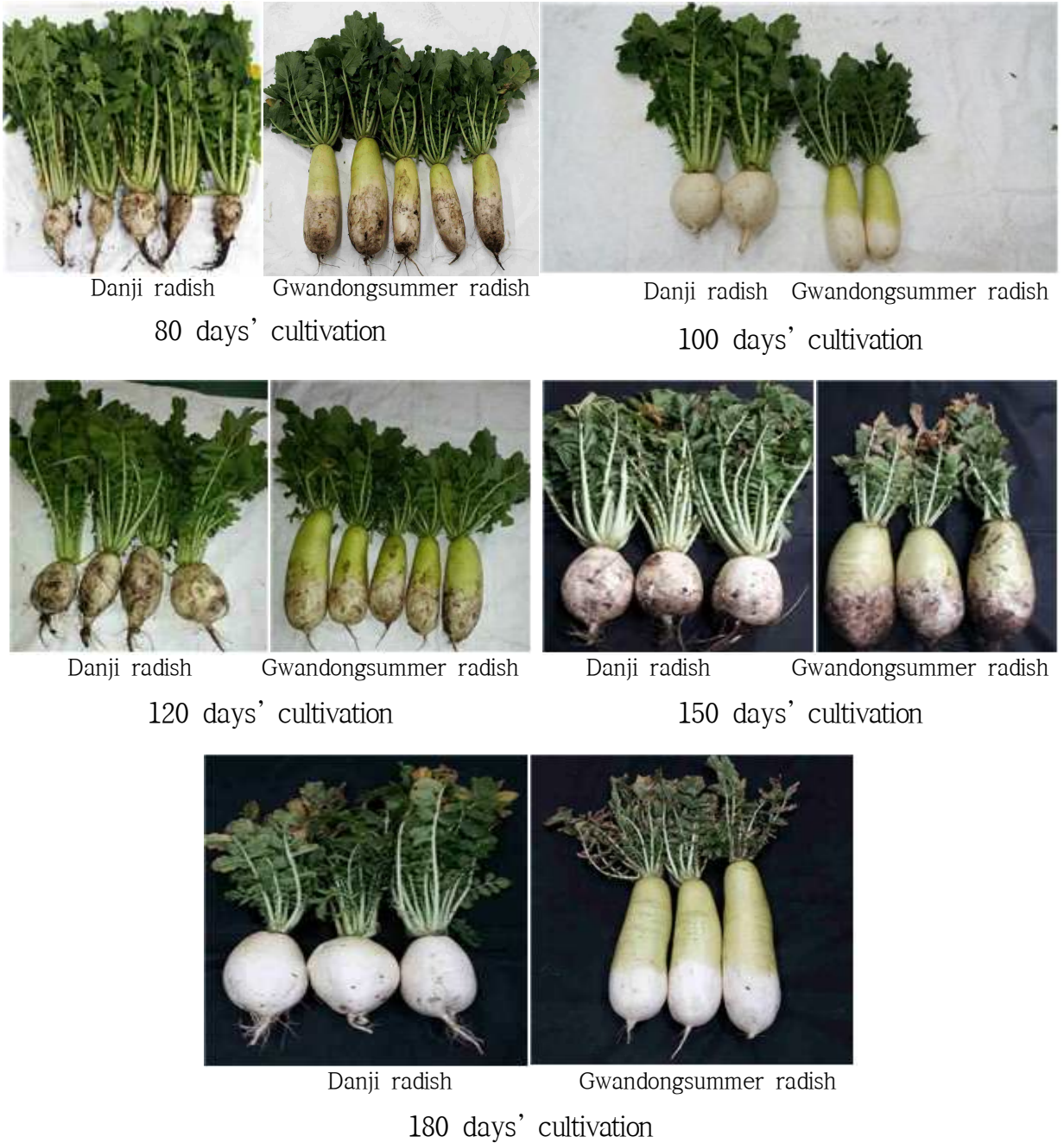


Figure 3. Shapes of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

## 2. 유용성분 분석

### 1) Ally isothiocyanate 함량 변화

수확시기를 달리하여 채취한 ‘단지무’ 및 ‘관동여름무’의 괴근과 무청에 ally isothiocyanate(AITC) 성분의 존재 여부를 정성적으로 확인하기 위하여 표준 용액 및 대표적인 시료에 대하여 GC/MS로 분석한 크로마토그램과 질량스펙트럼을 Figure 4~8에 나타내었다.

대표적인 시료 추출물의 GC/MS 분석패턴은 Figure 5~8에 보는 바와 같이 Figure 4의 AITC 표준품의 분석 패턴과 동일하여 ‘단지무’와 ‘관동여름무’에 AITC 성분이 존재한다는 것을 확인하였다. 즉, 모든 시료 추출물의 크로마토그램에 AITC에 해당되는 머무름 시간(retention time) 4.734분에 해당하는 피크가 나타났다. 그리고 질량 스펙트럼에서도 AITC 성분이 지니는 특징적인 fragment인 41m/z, 72m/z, 99m/z의 분포비율이 시료 추출물과 표준용액이 같은 양상으로 나타났다.

수확시기를 달리하였을 때에 ‘단지무’와 ‘관동여름무’ 시료 중의 AITC 성분을 분석한 결과는 Figure 9에서와 같이 수확시기에 따라 함량 차이가 있었다.

AITC 함량은 파종 후 100일경에 수확하였을 때에 ‘단지무’의 괴근에 0.94mg/g, 무청에는 1.02mg/g으로 수확시기 중 가장 높았으며, 같은 시기의 ‘관동여름무’의 괴근에 0.69mg/g, 무청에는 0.72mg/g 보다 높았다. 100일 이후에는 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 근의 비대에 의한 영향일 것으로 생각된다.

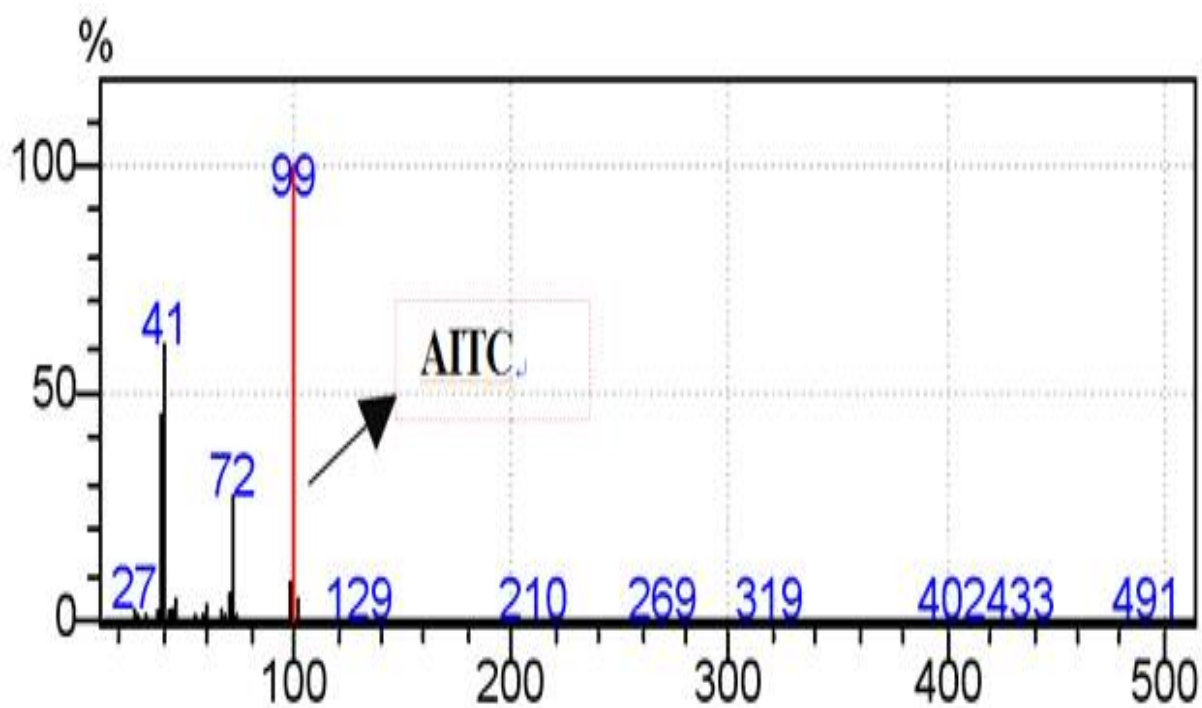
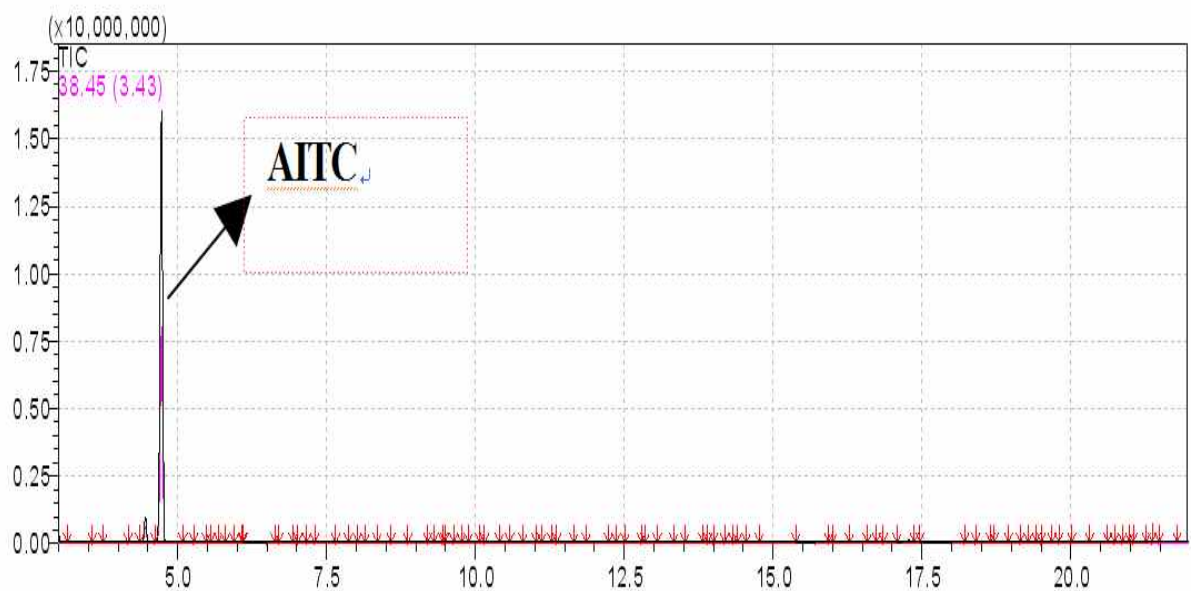


Figure 4. GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of AITC standard solution.

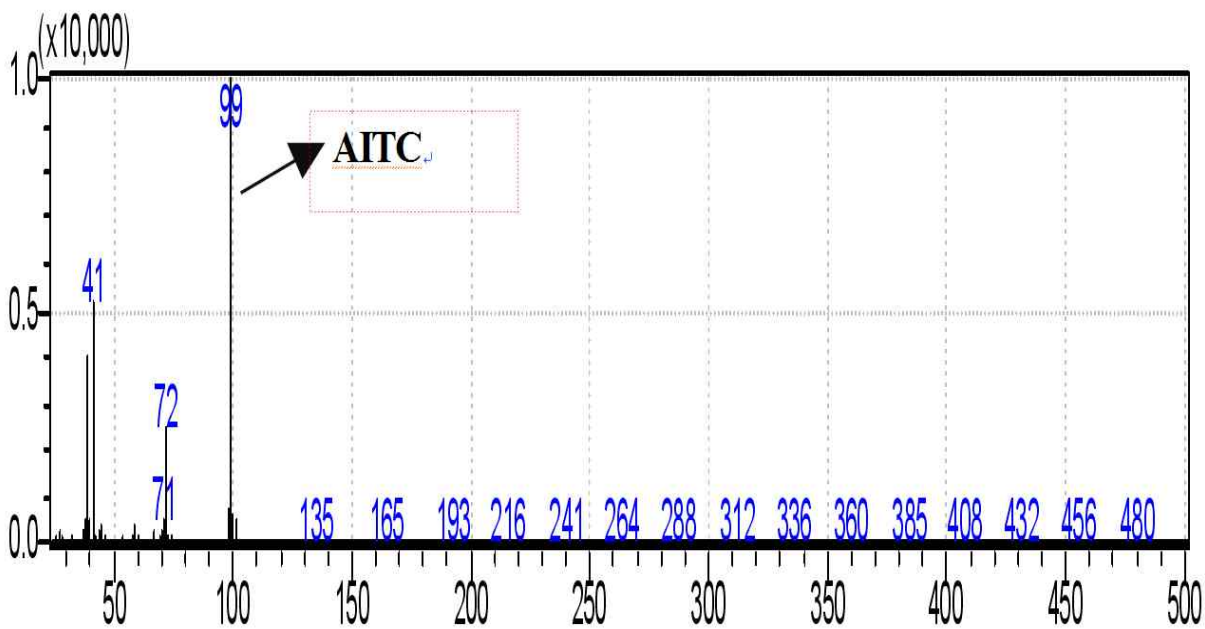
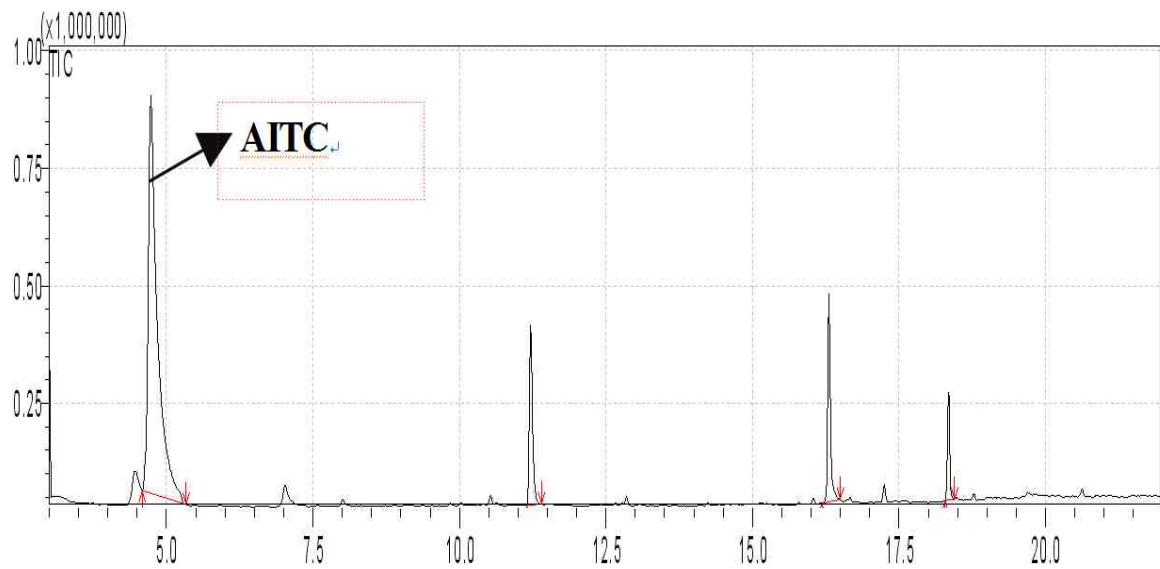


Figure 5. GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Danji radish roots.

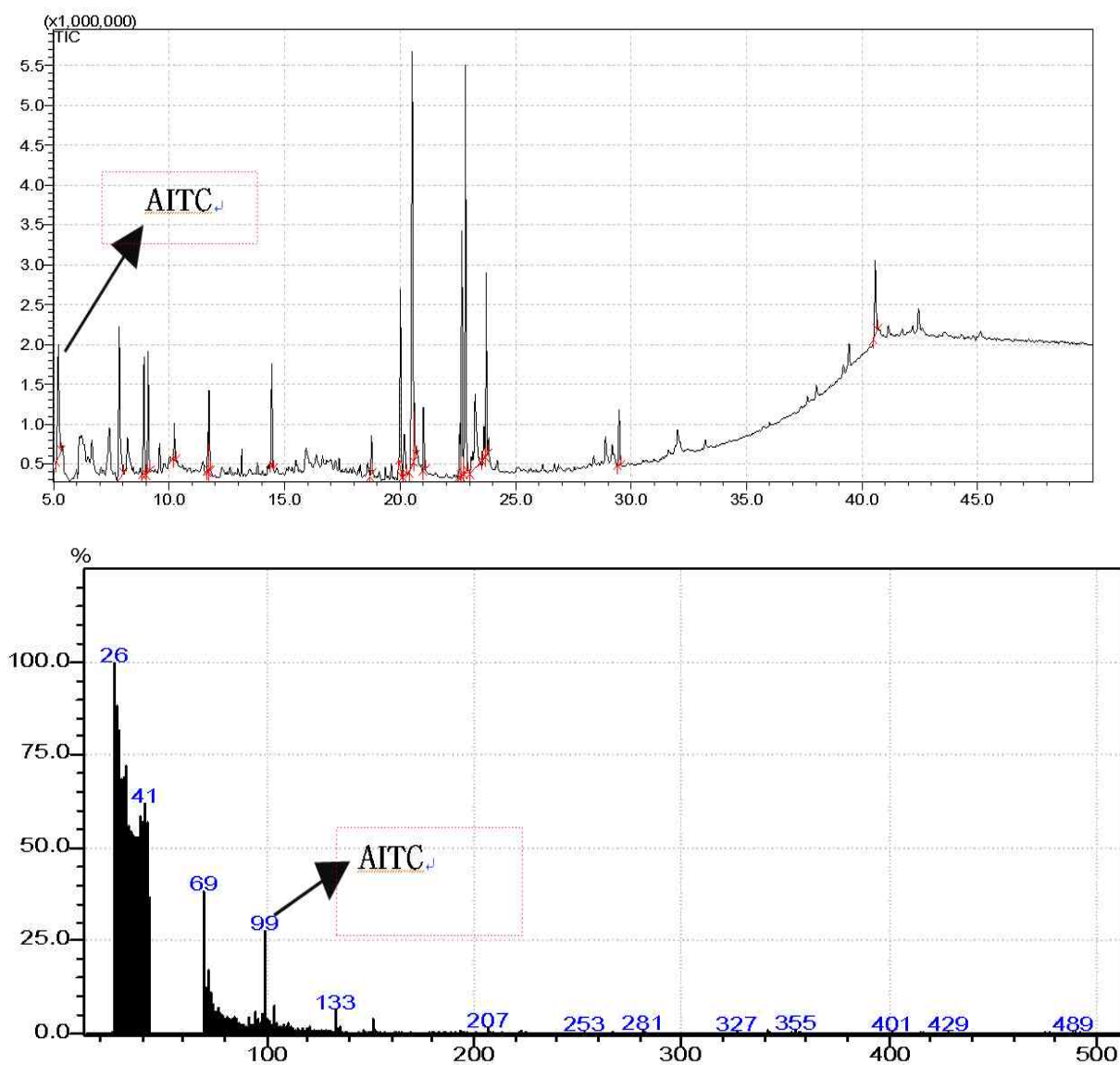


Figure 6. GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Danji radish leaves.

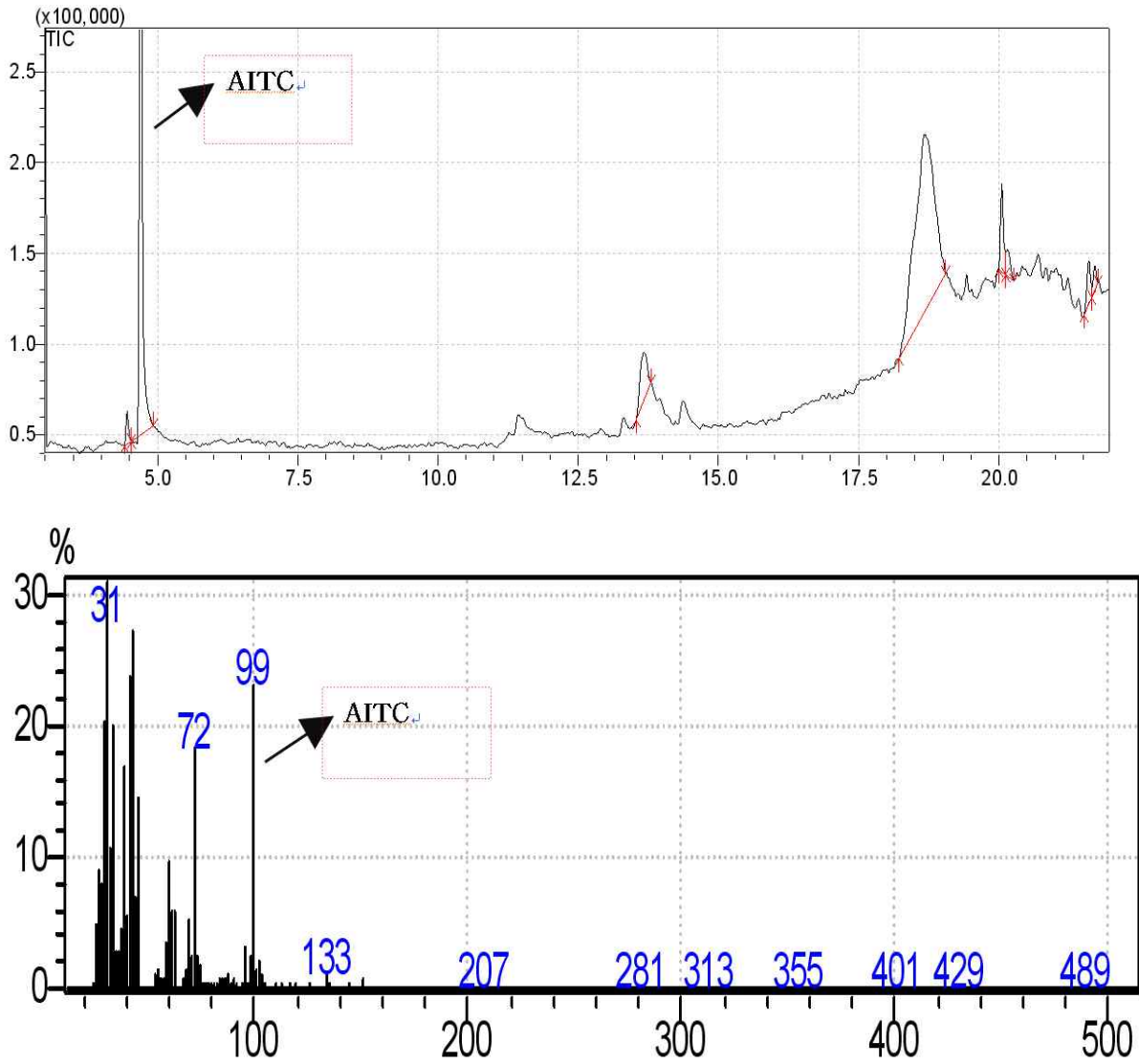


Figure 7. GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Gwandongsummer radish roots.



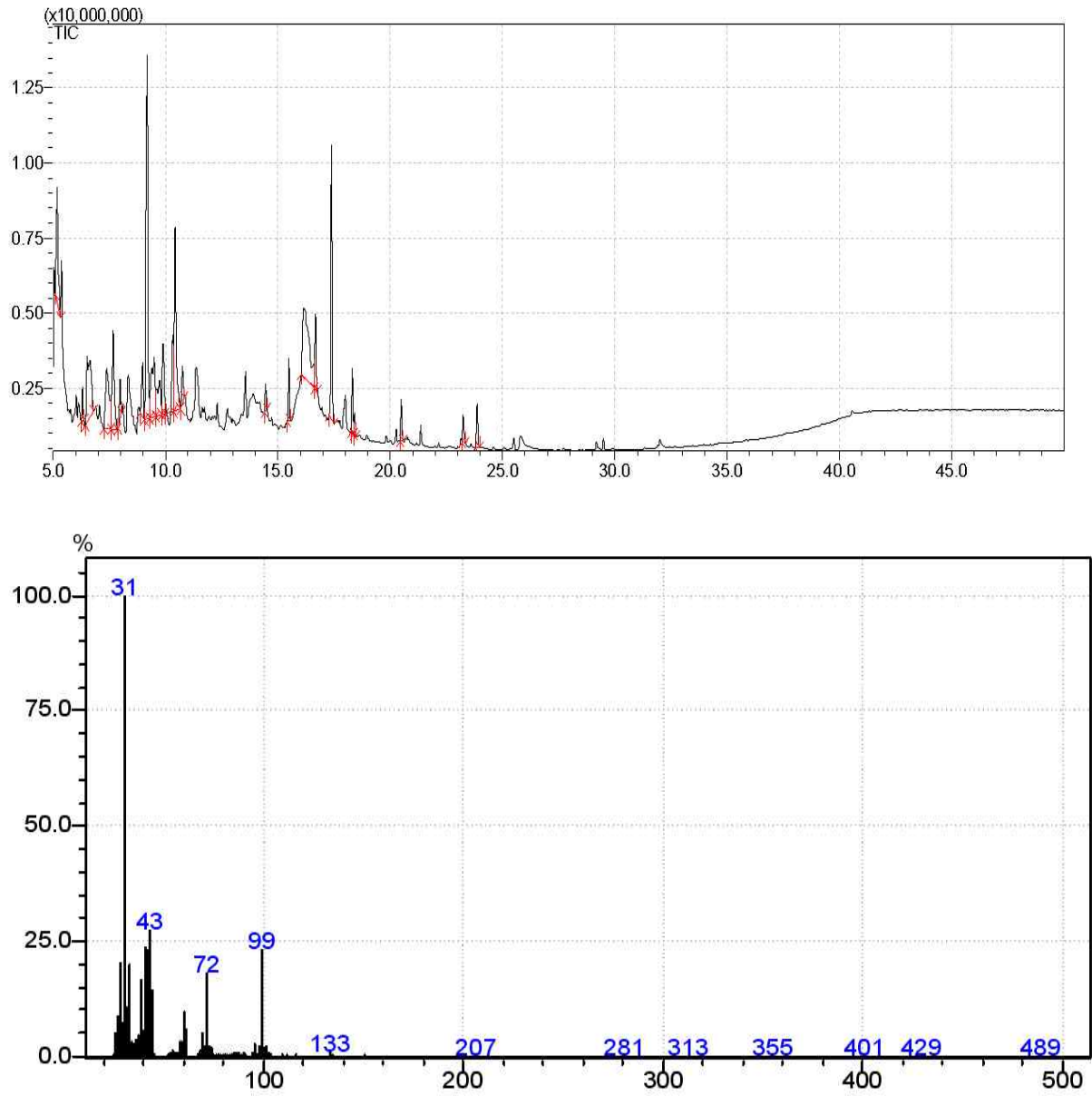


Figure 8. GC/MS chromatogram (top) and mass spectrum (bottom) of extracts of Gwandongsummer radish leaves.



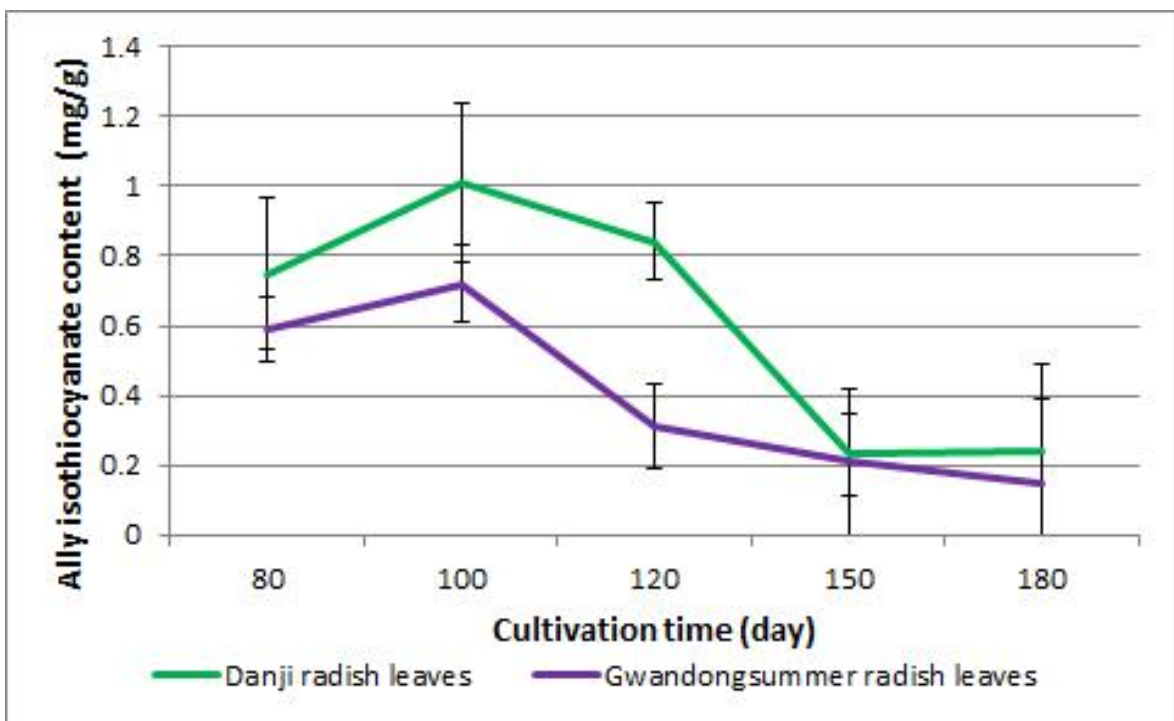
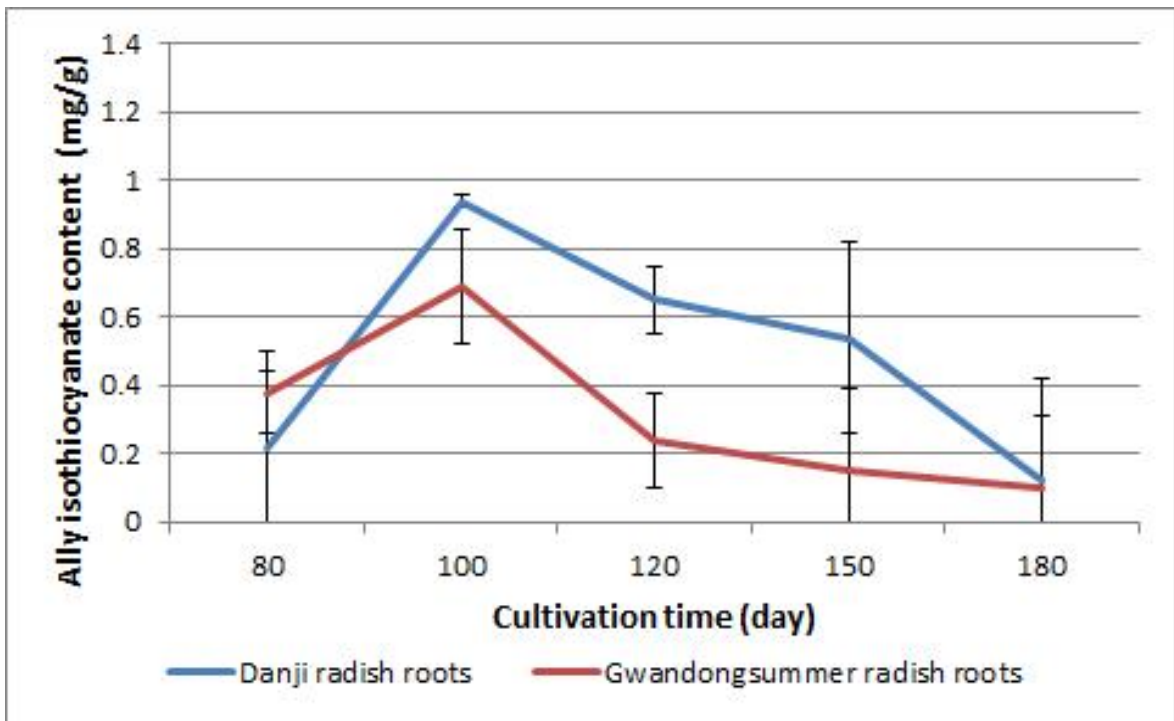


Figure 9. Changes in ally isothiocyanate contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time. Top, roots; Bottom, leaves.

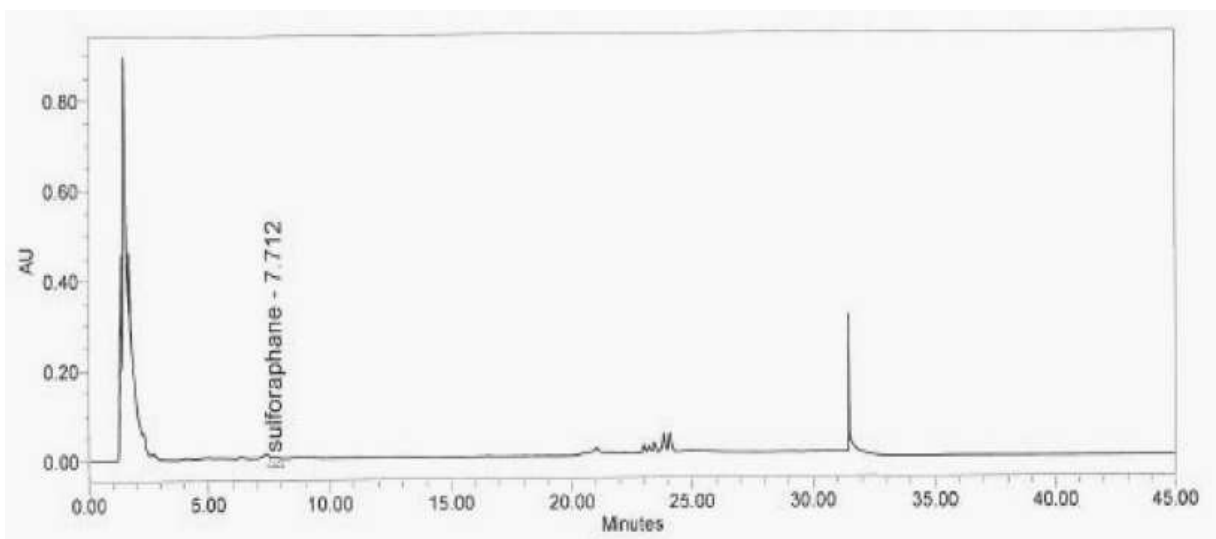
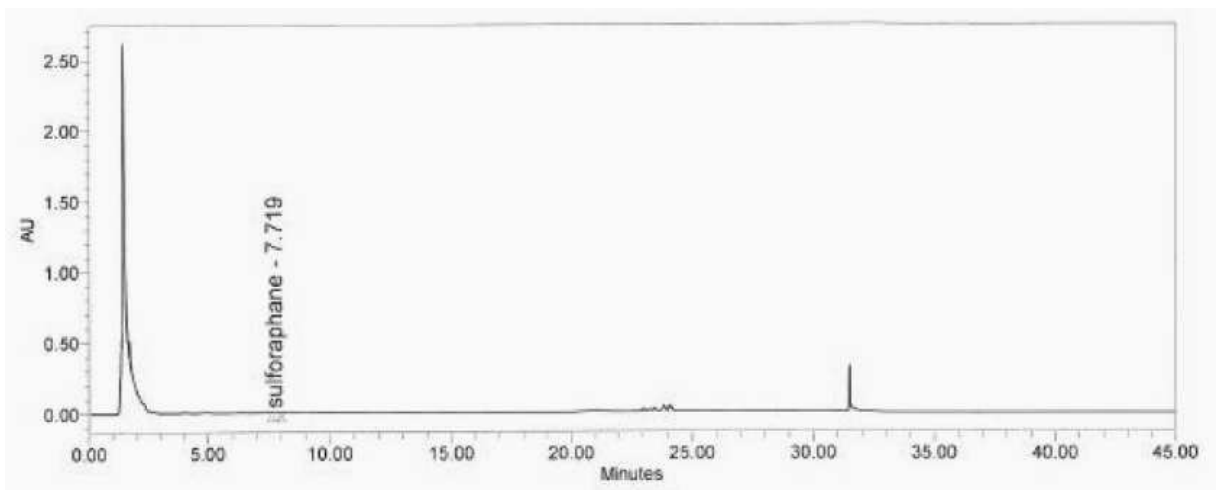
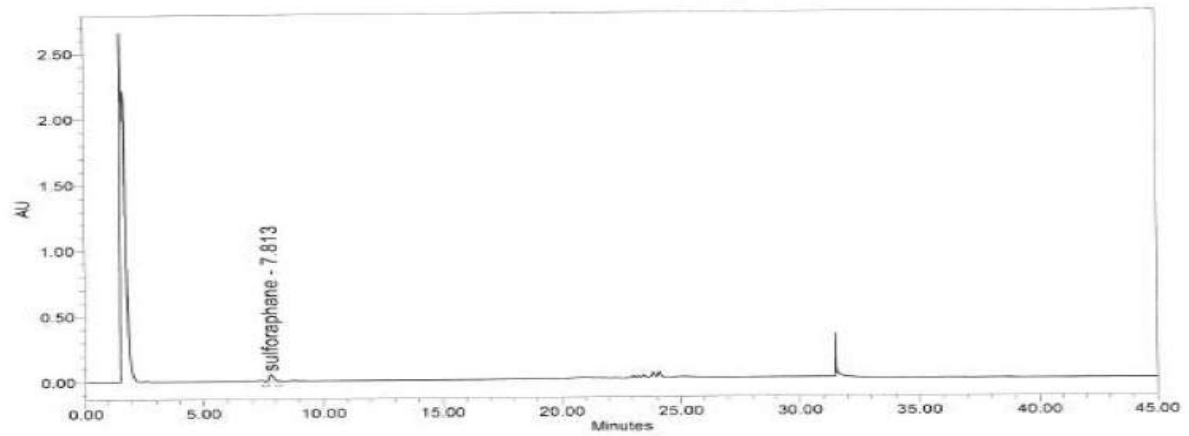


Figure 10. HPLC chromatograms of sulforaphane standard (top), Danji radish (middle) and Gwandongsummer radish(bottom) samples.

## 2) Sulforaphane 함량 변화

Sulforaphane은 종양의 크기와 발생을 감소시키고, 종양의 발생을 지연시켜준다(Zhang 등 1994, Fahey 등 1997).

‘단지무’와 ‘관동여름무’를 괴근과 무청 부위로 구별하여 동결건조한 시료에 대하여 sulforaphane 성분을 분석한 결과는 Figure 10와 11에 나타내었다. Sulforaphane 표준용액 및 대표적인 시료의 HPLC 크로마토그램은 Figure 10와 같으며, 머무름 시간(RT)은 7.719분~7.895분 범위에서 검출되었다. 제주재래 ‘단지무’ 및 ‘관동여름무’의 괴근에 함유된 sulforaphane 양은 각각 12.6ppm, 6.46ppm였으며, 무청에서는 ‘단지무’가 7.31ppm, ‘관동여름무’가 6.34ppm이었다(Figure 11). 대체로 sulforaphane 함량은 ‘단지무’가 ‘관동여름무’보다 높게 나타났으며, 무청 보다는 괴근 부위에 함유량이 많았다.

Choi등(2009)의 연구 결과에서 십자화과 채소로 알려져 있는 무의 sulforaphane 함량은 평균 20.27  $\mu\text{g/g}$ 이 함유되었으며, 재래종 무보다 갯무에서 줄기의 sulforaphane 함량이 약 2배 정도 높게 나타났다. 또한 Kim 등(1977)이 순무 15.4~23.1 ppm, 무청 14.6 ppm, 무 5.5~8.8 ppm으로 보고한 것과 비교하였을 때 십자화과 채소의 sulforaphane 함량은 다소 차이가 났으며, 이것은 시료의 구입 장소나 재배 지역에 따른 차이로 추측된다(Kim 등 1997). 한편 구조가 비슷하지만 이중 결합을 가지고 있는 sulforaphene은 브로콜리에 다량 함유되어 있는 sulforaphane에 비하여 1.3-1.5배 높은 항돌연변이 활성을 가지고 있는 것으로 보고되기도 하였다(Shishu 등 2009).

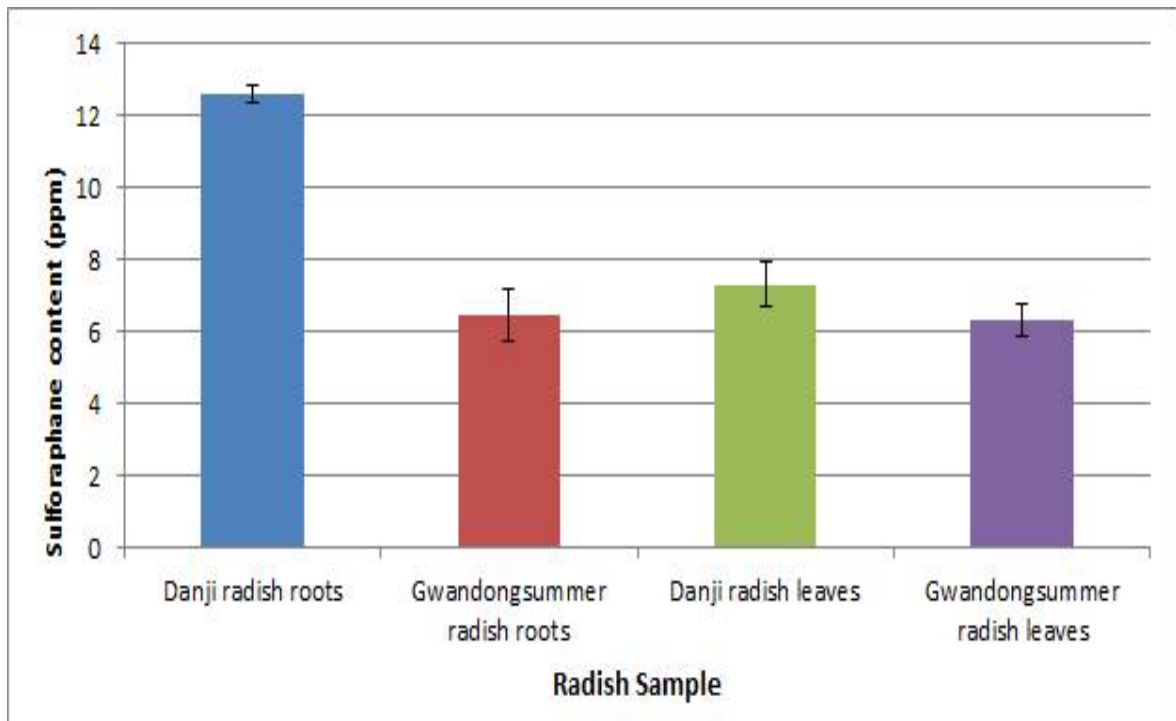


Figure 11. Sulforaphane contents in radish samples.

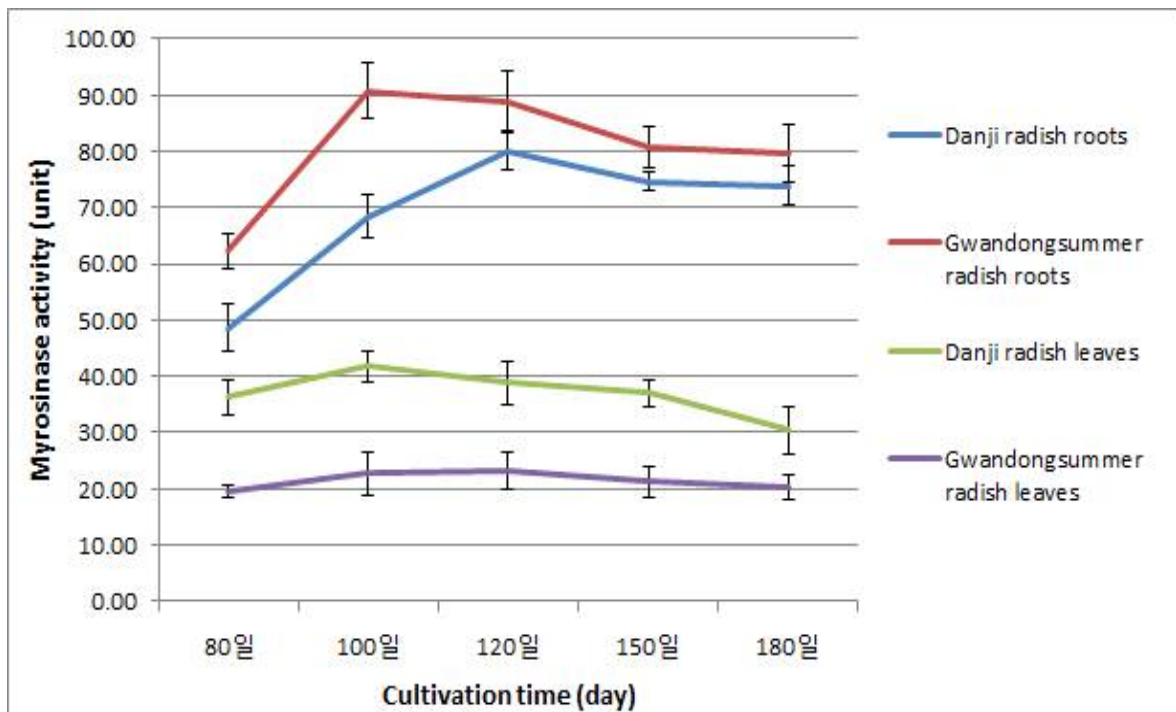


Figure 12. Changes in myrosinase activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

### 3) Myrosinase 활성 변화

Myrosinase는 식물체 중의 S-glucosidic bond를 가수분해하는 효소로서 glucosinolate를 가수분해하여, isocyanate와 nitriles, thiocyanate, hydroxynitrile 및 epithionitrile 등을 생성하는 것으로 보고되었다(Sim 등 1993).

무에 함유되어 있는 glucosinolate의 일종인 sinigrin에 myrosinase가 작용하여 무의 매운맛 성분인 allyl isothiocyanate가 생성되고, allyl isothiocyanate는 강한 향균성, 항충성 및 항선충성 뿐만 아니라 발암물질 해독 및 체외배출을 촉진시켜 발암물질에 대한 방어기능을 한다고 알려져 있다(Kim 등 2007). 따라서 myrosinase 활성이 높거나, 이 효소의 가수분해 작용으로 생성되는 allyl isothiocyanate 함량이 높은 무는 상품가치가 높을 것으로 사료되었다. 무를 기능성 소재로 활용하고자 myrosinase 활성을 측정한 결과, ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 수확시기별 myrosinase 활성은 Figure 12에서와 같이 파종 후 100일 경에 ‘관동여름무’의 myrosinase 활성이 90.64 unit으로 다른 시료에 대하여 가장 높은 값을 나타내었다. ‘단지무’의 myrosinase 활성은 파종 후 120일에 80.06unit으로 ‘관동여름무’보다 낮게 나타났으며 ‘단지무’ 무청의 myrosinase 활성은 30.44~41.82unit으로 수확시기에 상관없이 ‘관동여름무’ 무청의 19.50~23.10unit 보다 높게 나타나 ‘단지무’ 무청의 활용 가능성이 높은 것으로 추정된다. 한편 Kim 등(1989)의 보고에 의하면 무의 껍질 부위가 속 부위에 비하여 myrosinase 활성이 약 10배 정도 높은 것으로 나타나므로 무의 매운맛 성분을 이용하거나 기능성을 활용한 조리 가공시에는 껍질을 제거하지 않는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

#### 4) 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량 변화

폴리페놀 화합물은 벤젠고리의 탄소에 phenolic hydroxyl(-OH)기가 결합되어 있는 물질이다. 페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물의 하나로서 다양한 구조와 분자량을 가진다. 페놀 화합물은 -OH기를 통한 수소공여와 페놀 고리 구조의 공명 안정화에 의해 항산화 활성을 가지며 항암 및 항균효과 등의 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있다(Xu 등 2007). 또한 플라보노이드는 식물의 주요 2차 대사산물 중 하나로 자외선 차단, 식물이 수분을 위한 곤충 유인 등 외부환경에 적응하는데 이로운 역할을 한다. 특히 플라보노이드는 항산화 효과가 우수한 것으로 알려져 노화 방지와 생활습관 질병예방에 유용하다고 하였다(Han 등 2013).

수확시기에 따른 ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 부위별 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 변화를 분석한 결과는 Figure 12와 13에 나타내었다. 대체적으로 ‘단지무’와 ‘관동여름무’에는 생체조절기능에 관여하는 폴리페놀과 플라보노이드 물질을 함유하고 있어, 식품소재로 가치가 높다고 사료되었다. 그리고 폴리페놀과 플라보노이드 성분은 수확시기보다 품종과 부위에 따른 함량 차이가 크다는 특성을 보였으며, 특히, 100일 경과할 때에 수확한 ‘단지무’ 무청이 가장 많은 함량을 나타내었다.

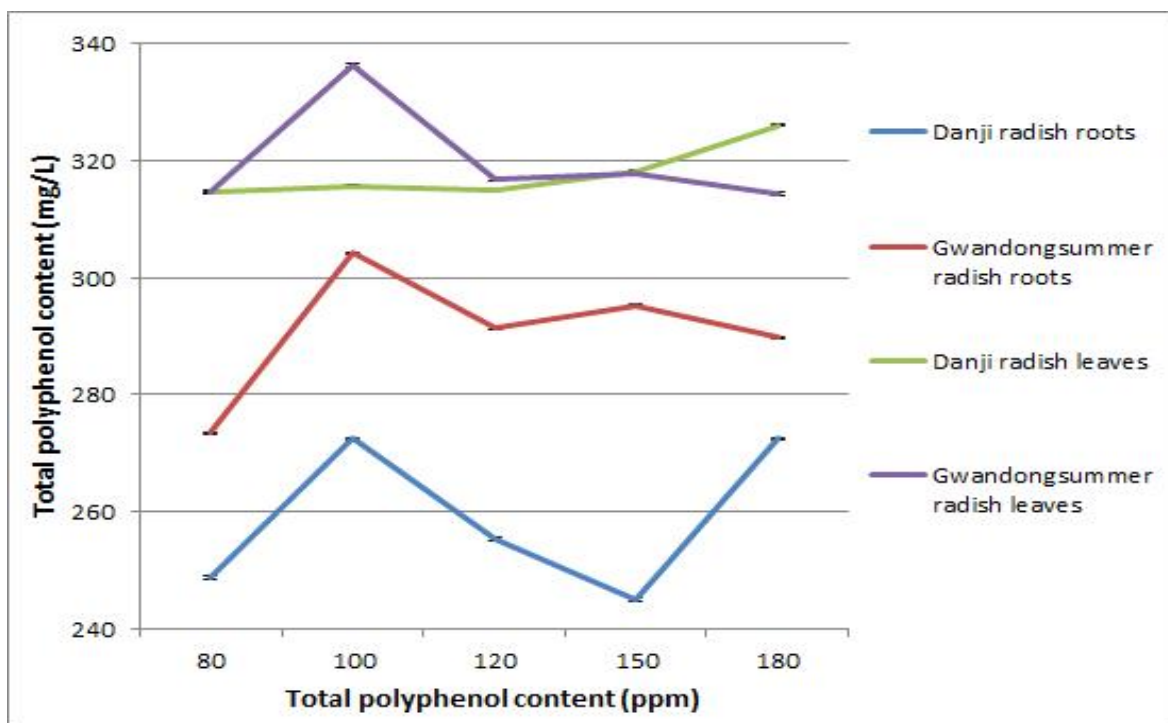


Figure 13. Changes in total polyphenol contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

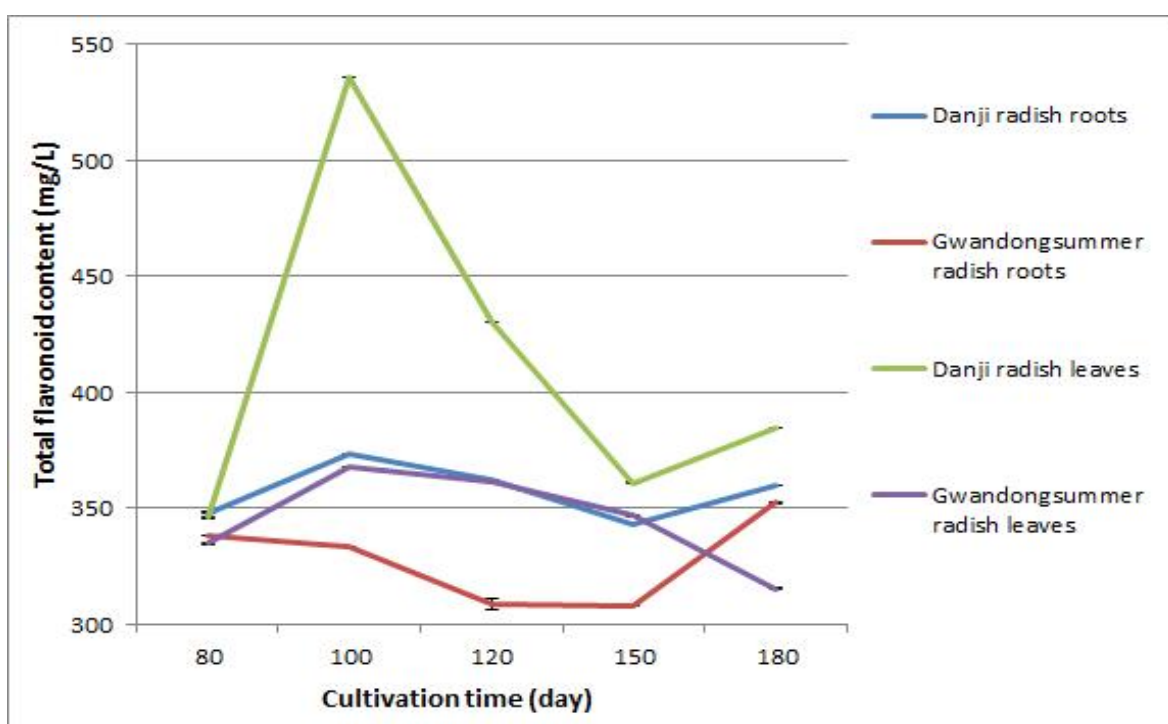


Figure 14. Changes in total flavonoid contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

## 5) 무기성분 함량 변화

‘단지무’와 ‘관동여름무’의 수확시기에 따른 무기성분의 함량 변화를 Table 5에 나타내었다. ‘단지무’와 ‘관동여름무’ 모두 칼륨이 가장 많이 함유되어 있었으며, K>Ca>Mg 순으로 함량이 높게 나타났다. 칼륨의 함량은 과종 후 80일째 ‘단지무’ 무청에서 4.53%로 가장 높게 나타났으며 식품성분표(2006)에 제시된 무말랭이 100g당 2200mg과 비교시 높은편이다. 칼륨은 세포내액의 주된 양이온으로 체액의 삼투압과 수분균형을 조절하고, 산과 염기의 균형에 관여하여 칼륨의 섭취는 고혈압의 예방과 치료에 효과적이다(Lee 등 2013)

‘단지무’와 ‘관동여름무’의 K의 함량은 수확시기가 길어질수록 점차 감소하는 경향이었으며, ‘단지무’ 무청이 과종 후 80일 수확시기에 K의 함량이 4.53%로 ‘관동여름무’ 보다 높게 나타났다. Ca, Mg, B, Fe는 괴근보다 무청에 많이 함유되어 있는 경향이었으며, 특히 Fe은 ‘단지무’ 무청에서 함유량이 높게 나타났고, 수확시기가 길어질수록 함유량이 증가하여 과종 후 180일에는 498.70ppm으로 ‘관동여름무’ 무청의 116.90ppm보다 4배 이상 함유되어 있었다.



Table 5. Changes in mineral contents of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

Minerals	Cultivation time (days)	Roots		Leaves	
		Danji radish	Gwandongsummer radish	Danji radish	Gwandongsummer radish
K (%)	80	3.38±0.011	2.79±0.013	4.53±0.024	3.31±0.061
	100	3.56±0.029	2.67±0.026	3.55±0.007	2.51±0.025
	120	3.10±0.025	2.83±0.0029	2.42±0.046	2.79±0.039
	150	2.69±0.019	2.27±0.019	2.33±0.043	1.39±0.036
	180	2.52±0.017	2.45±0.049	2.52±0.012	2.18±0.038
Ca (%)	80	0.33±0.002	0.39±0.005	1.27±0.010	1.71±0.016
	100	0.33±0.013	0.45±0.019	1.40±0.019	1.66±0.017
	120	0.28±0.010	0.36±0.025	2.22±0.011	1.75±0.029
	150	0.31±0.002	0.36±0.004	1.78±0.005	2.04±0.011
	180	0.31±0.004	0.41±0.020	1.76±0.024	2.18±0.070
Mg (%)	80	0.37±0.007	0.42±0.007	0.60±0.013	0.83±0.005
	100	0.34±0.015	0.24±0.007	0.48±0.004	0.67±0.008
	120	0.29±0.018	0.26±0.024	0.61±0.024	0.60±0.010
	150	0.37±0.004	0.32±0.006	0.72±0.018	0.67±0.017
	180	0.30±0.010	0.26±0.014	0.59±0.024	0.46±0.019
B (ppm)	80	16.00±0.87	18.50±1.48	27.90±0.54	25.95±1.23
	100	16.65±0.31	14.70±0.23	21.85±0.44	21.45±0.18
	120	16.45±0.13	15.90±0.26	22.20±0.13	31.35±0.26
	150	18.85±0.26	14.45±0.35	24.45±0.09	28.50±0.31
	180	17.05±0.15	15.85±0.18	24.30±0.22	19.50±0.22
Fe (ppm)	80	52.15±0.18	44.05±0.13	134.90±0.38	192.20±0.13
	100	35.55±0.26	45.85±0.17	120.50±0.54	116.15±0.13
	120	32.25±0.23	45.75±0.53	196.95±0.43	127.05±0.49
	150	40.20±0.80	39.70±0.28	245.40±0.61	121.55±0.35
	180	51.85±0.70	36.35±0.39	498.70±0.33	116.90±0.93

### 3. 항산화 및 항균 활성

#### 1) 항산화 활성 변화

자유라디칼(free radical)은 생물학적 손상의 주요 요인으로 잘 알려져 있는데, DPPH는 일종의 radical 화합물로 천연 항산화제의 자유라디칼 소거 활성을 평가하는데 보편적으로 사용되고 있다(Kang 등 2009). DPPH는 전자(또는 다른 radical)를 받아들여 발색단을 소실하면서 노란색으로 변하는 특성을 보이며, 515nm에서 최대 흡광도를 보여준다. 추출물 시료액과의 반응에 의한 흡광도의 변화는 자유라디칼 소거능력을 나타내며, 이 값으로부터 항산화활성을 평가할 수 있다.

그리고 ABTS는 전자 공여체로 활성산소에 의한 산화 반응을 통해 blue-green 양이온인 ABTS<sup>+</sup>를 생성하며, ABTS 양이온 radical의 흡광도는 734 nm에서 최대치를 나타낸다. ABTS 양이온은 항산화 화합물과 반응성이 강하여 이들 화합물과 만나면, 중성의 ABTS로 돌아가서 무색으로 변한다. 이러한 흡광도의 변화는 자유라디칼 소거능력을 반영하여, 항산화활성의 평가에 사용된다.

수확시기에 따른 ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 DPPH radical 소거활성을 검정한 결과는 Figure 15에 나타내었으며, 표준 대조물질인 Trolox의 활성 값과 비교한 결과, 파종 후 100일경에 수확한 ‘단지무’ 무청(49.39%)의 항산화 활성이 양호하였다.

‘단지무’와 ‘관동여름무’의 수확시기를 달리하면서 ABTS radical 소거능을 검정한 결과는 Figure 16에 나타내었으며, 표준 대조물질인 Trolox의 활성 값과 비교했을 때 파종 후 100일 경에 수확한 ‘단지무’ 시료에서 높은 항산화 활성(57.47%)을 나타내었다.

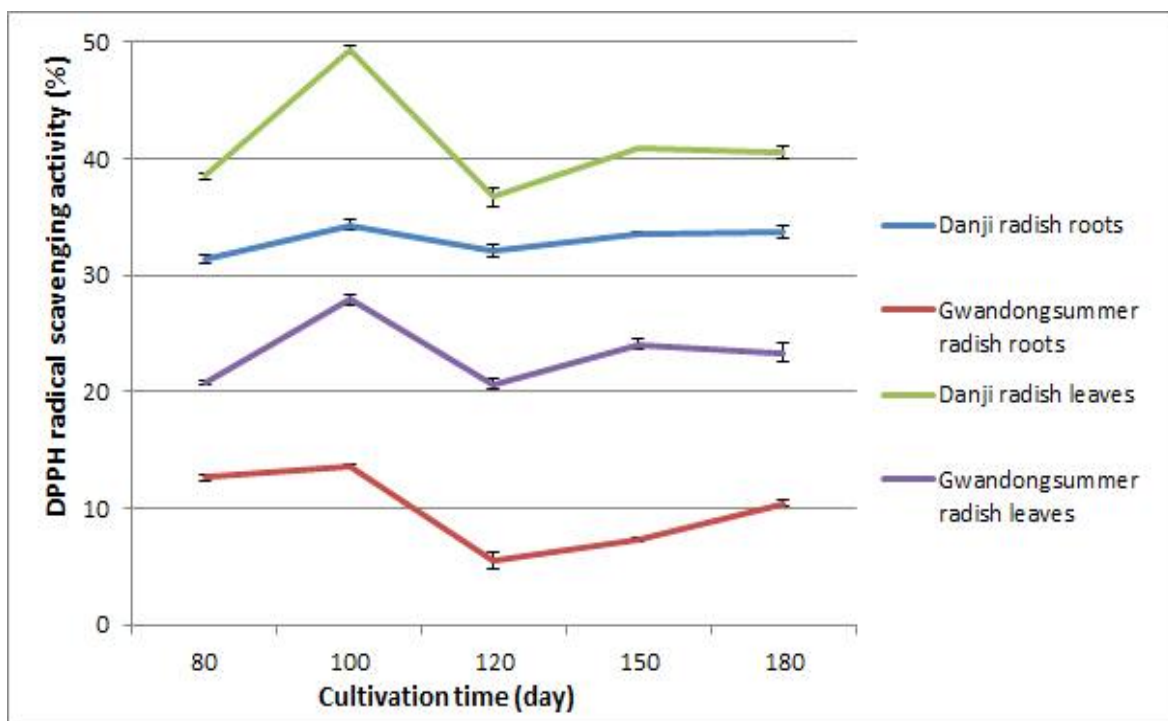


Figure 15. Changes in DPPH radical scavenging activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

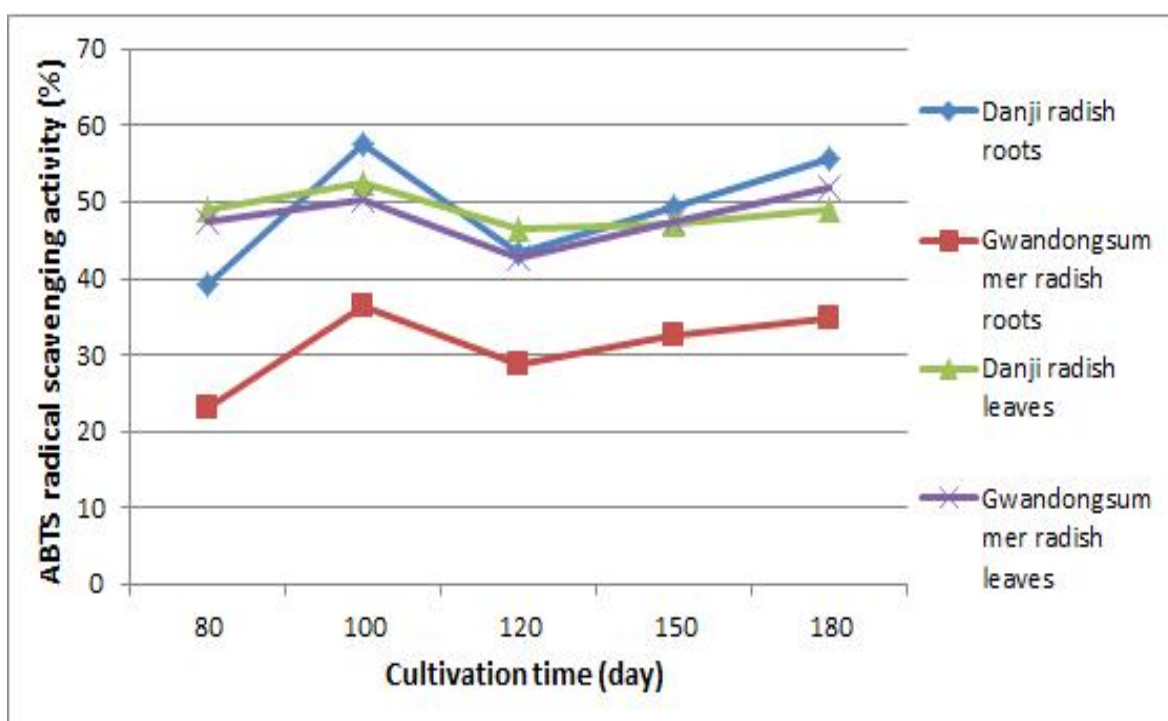


Figure 16. Changes in ABTS radical scavenging activities of Danji radish and Gwandongsummer radish depending on harvest time.

## 2) 항균 활성 변화

항균작용을 지닌 식물에서 유래하는 물질은 phenolic, polyphenol, quinie, flavone, flavonoid, flavonil, tannin, coumarin, terpenoid, alkaloid, lectin, polypeptide 등으로 분류된다(Sher 2004). 현재 식물에서 천연 연구물질의 항균 활성에 대한 작용기전은 자세히 밝혀지지 않았지만, phenol과 flavonoid는 미생물의 대사 작용에 필수적인 물질과 결합함으로써 미생물의 세포막을 파괴하는 기전을 통해서 항균작용이 있다고 밝혀졌다. 또한 coumarin과 alkaloid는 유전자 수준에서 미생물의 성장을 억제한다고 알려져 있다(Hoult 등 1996, Kim 2010). 수확시기에 따른 ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 항균활성을 대표적인 Gram 양성 세균 및 Gram 음성 세균에 대하여 디스크 확산법으로 검정한 결과는 Table 6에 나타내었다.

‘단지무’와 ‘관동여름무’의 추출물은 양호한 항균 활성을 보여주었고, 특히 ‘단지무’ 괴근이 *E.coli*에 대하여 높은 항균 활성을 보여 파종 후 100일에 20.2mm로 가장 높은 항균 활성을 보였으며, 이와 같은 항균 활성은 ‘단지무’와 ‘관동여름무’에 함유하는 폴리페놀 및 플라보노이드 물질에 기인한 결과라고 사료되었다.

Table 6. Growth inhibition zone showing antibacterial activities of Danji radish and Gwandongsummer radish extracts.

Cultivation time (days)	Danji radish roots				Danji radish leaves			
	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
80	12.7±0.7	11.5±1.0	15.6±3.0	17.0±1.1	13.7±0.7	12.6±0.3	15.7±0.8	14.6±0.6
100	13.±0.7	14.1±1.2	15.5±2.3	19.5±1.3	13.4±0.9	12.3±1.0	15.4±0.8	15.6±2.3
120	12.3±0.4	14.0±1.3	10.8±1.9	20.2±1.2	13.4±0.5	10.6±0.4	15.1±2.2	13.5±1.4
150	11.7±0.8	12.0±1.3	12.3±0.6	18.6±0.4	12.8±0.8	11.0±0.6	13.8±0.4	15.0±1.3
180	12.4±1.3	12.0±1.0	12.8±0.4	16.1±1.0	13.6±1.1	11.1±0.5	13.9±1.1	13.0±0.6
Cultivation time (days)	Gwandongsummer radish roots				Gwandongsummer radish leaves			
	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
80	12.5±0.5	11.3±0.8	13.8±0.8	12.8±1.7	13.1±0.5	12.6±0.4	11.8±0.9	14.2±2.8
100	13.4±1.0	11.7±0.5	14.1±0.9	15.2±3.6	13.9±0.7	13.1±0.4	12.2±0.3	16.0±3.1
120	14.0±2.2	11.1±0.8	13.7±0.6	14.2±3.7	13.3±0.5	13.0±0.5	12.0±0.6	15.8±3.9
150	12.1±0.9	11.5±1.5	12.8±0.8	13.9±3.2	13.4±1.1	12.8±0.8	12.4±0.9	14.3±2.6
180	12.0±0.9	11.4±1.0	13.0±0.5	13.8±2.9	13.0±0.6	12.6±1.2	12.4±1.6	13.3±1.7

## 요 약

제주 지역에서 오래전부터 재배되어온 재래 ‘단지무’의 새로운 수요창출과 월동무의 재배지역 분산 등을 위하여 재래 ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 괴근과 무청의 수확시기별 유용성분을 분석하고, 항산화 성분 및 항균 활성을 탐색하여 식품소재로서의 차별성과 우수성을 구명하여 제주지역 특화작물로 육성하기 위한 기초자료로 활용하고자 생육시기별 생육 특성 및 유용성분을 조사하였다.

수확시기에 따른 생육특성은 ‘단지무’는 ‘관동여름무’에 비하여 엽중이 높게 나타났으며 그 중에서도 파종 후 100일에 수확하였을 때에 주당 902g으로 가장 많은 엽중을 나타내었고, 이후부터는 점차 감소하는 경향을 보였고, ‘단지무’의 무청 생산성이 ‘관동여름무’보다 2~5배 정도 높은 것으로 평가되었다. ‘단지무’의 무청은 2월 이후에도 생육이 우수하였다. Glucosinolate가 분해되어 생성되는 allyl isothiocyanate (AITC) 함량은 수확시기 및 품종에 따라 다르게 나타났으며, 파종 후 100일경에 ‘단지무’ 괴근에 0.94mg/g, ‘단지무’ 무청에 1.02mg/g으로 가장 많이 함유되었으며, 같은 시기에 ‘관동여름무’ 괴근에는 0.69mg/g, ‘관동여름무’ 무청에는 0.72mg/g이 함유되어 있었고, 파종 후 100일 이후부터는 점차 감소하는 경향을 보였다. 종양의 크기와 발생을 감소시키고, 종양의 발생을 지연시켜준다고 알려진 Sulforaphane 함량은 ‘단지무’ 괴근에 12.6ppm, ‘관동여름무’ 괴근에는 6.46ppm, ‘단지무’ 무청에는 7.31ppm, ‘관동여름무’ 무청에는 6.34ppm으로, ‘관동여름무’보다 ‘단지무’에 보다 많은 sulforaphane이 함유되어 있었다. ‘단지무’ 무청의 myrosinase 활성은 30~42 unit으로 ‘관동여름무’ 무청의 20~23 unit 보다 높게 나타나 ‘단지무’ 무청은 식품 소재로서의 활용가치가 높다가 평가되었다. 폴리페놀과 플라보노이드 성분은 300 ppm 이상 함유되어 있었으며, 수확시기보다 품종과 부위에 따른 함량 차이가 크다는 특성을 보였다. 특히, 100일 경과할 때에 수확한 ‘단지무’ 무청이 가장 많은 함량을 나타내었다. ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 무기성분은 K>Ca>Mg>P 순으로 함량이 높게 나타났으며, 칼륨의 함량은 파종 후 80일째 ‘단지무’ 무청에서 4.53%로 가장 높게 나타났다. 특히 Fe은 ‘단지무’ 무청에서 함유량이 높게 나타났고, 파종 후 180일에는 498.70ppm으로 ‘관동여름무’ 무청의 116.90ppm보다 4배 이상 함유되어

있었다. ‘단지무’와 ‘관동여름무’ 모두 항산화 효과가 표준물질 Trolox 에 비해서 양호하였다. 그 중에서도 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical 소거활성은 파종 후 150일 만에 수확한 ‘단지무’ 무청의 DPPH 소거 활성 (42.32%)이 가장 높게 나타났으며, 2,2'-azino-bis 3-ethylbenzenothiazolin-6-sulfonic acid (ABTS) radical 소거 활성은 파종 후 100일 만에 수확한 ‘단지무’에서 57.47%로 가장 높게 나타났다. ‘단지무’와 ‘관동여름무’의 추출물은 양호한 항균 활성을 보여주었고, 특히 ‘단지무’ 괴근이 *E. coli*에 대하여 높은 항균 활성을 보여 파종 후 100일에 20.2mm로 가장 높은 항균 활성을 보였으며, 이와 같은 항균 활성은 ‘단지무’와 ‘관동여름무’에 함유하는 폴리페놀 및 플라보노이드 물질에 기인한 결과라고 보여진다.

따라서 ‘단지무’는 ‘관동여름무’보다 무청 생산성이 높고, 생육특성, 기능성분, 유용물질 등의 함량이 높다는 특성이 있어 기능성 식품소재 자원으로 이용가치가 크며, 이를 활용한 제주지역 특화작물로 육성할 필요가 있다고 사료된다.

#### IV. 참고문헌

Cai YZ, Sun M, Xing J, Luo Q, Corke H. Structure-radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medical plants. *Life Sciences* 78(5): 2872-2888 (2006)

Cho NK, Oh TS, Song CK, Boo CH, Cho YI. Effects of Nitrogen Rate on the Growth Characters, Yield and Feed Value of Cheju Native Danji Radish. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.)* 42(5): 703~710 (2000)

Choi SJ, Choi AR, Cho EH, Kim SY, Lee GS, Lee SS, Chae HJ. The glucosinolate and sulforaphane contents of land race radish and wild race radish extracts and their inhibitory effects on cancer cell lines. *J East Asian Soc Dietary Life* 19(4): 558-563 (2009)

Du G, Li M, Ma F, Liang D. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in actinidia fruits. *Food Chem* 113: 557-562 (2009)

Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochem* 56: 5-51 (2001)

Fenwick GR, Mullin WJ. *Food Sci and Nutrition* 18:123-201 (1982)

Fenwick GR, Griffiths NM, Heaney RK. Bitterness in Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*): the role of 126 glucosinolates and their breakdown products. *J Sci Food Agric* 34: 73-80 (1983)

Getahun SM, Chung FL. Conversion of glucosinolates to isothiocyanates in humans after ingestion of cooked watercress. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 8: 447-451 (1999)



Han YI, Lee SY, Lee JH, Lee SJ. Cellular flavonoid transport mechanisms in animal and plant cells. *Korean J Food Sci Technol* 45(2): 137~141 (2013)

Hoult JBS, Paya M. Pharmacological and biochemical actions of simple coumarins: Natural products with therapeutic potential. *Gen Pharmacol* 27: 719-722 (1996)

Huh YJ, Cho YJ, Kim JK, Park KH. Effects of radish root cultivars on the Dongchimi fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 35: 7-14 (2003)

Hwang ES, Lee HJ. Effects of phenylethyl isothiocyanate and its metabolite on cell-cycle arrest and apoptosis in LNCaP human prostate cancer cells. *Int J Food Sci Nutr* 61: 324-336 (2010)

Hwang ES. Changes in myrosinase activity and total glucosinolate levels in Korean chinese cabbages by salting conditions. *Korean J Food Cookery Sci* 26(1): 104-109 (2010)

Hwang ES, Hong EY, Kim GH. Determination of bioactive compounds and anti-cancer effect from extracts of Korean cabbage and cabbage. *Korean J Food Nutr* 25(2): 259-265 (2012)

Jeju Special Self-Governing Provinces. The state of the Agriculture · animal husbandry · food. Jeju Special Self-Governing Provinces. 119 (2014)

Jung DH. In biological efficacy of food. Seonjin Munwhasa, Seoul. 72-74 (1998)

Jung MS, Lee GS, Chae HJ. Invitro biological activity assay of ethanol extract of radish. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47(1): 67-71 (2004)

Jung UH, Oh JH, Kim YG, Ahn CH, Lee KS, Choi SR, Lim YP, Park SH, Choi KY, Lee YB. Development of highly uniform variety for processing using SSR markers in radish(*Raphanus sativus* L). J Plant Biotechnol 41(1): 56-63 (2014)

Kang DY, Shin MO, Shon JH, Bae SJ. The antioxidative and antimicrobial effect of *Celastrus orbiculatus*. J Life Sci 19: 52-57 (2009)

Kenny O, Smyth T, Hewage C, Brunton N. Antioxidant properties and quantitative UPLC -MS analysis of phenolic compounds from extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and bitter melon (*Momordica charantia*) fruit. Food Chem 141: 4295-4302 (2013)

Kim MR, Lee KJ, Kim JH, Sok DE. Determination of sulforaphane in cruciferous vegetables by SIM. Korean J Food Sci Technol 29: 882-887 (1997)

Kim MR, Rhee HS. Purification and characterization of radish myrosinase. Korean J Food Sci Technol 21(1): 136-144 (1989)

Kim HJ. Study of anti-oxidant and anti-microbial activity of sulfur containing vegetables. MS Thesis, Chungnam Univ. Daejeon, Korea (2010)

Kim HL, Oh HJ. A Study on selection criteria of agronomic characters for improving Danji Radish. Published by The Research Institute for Subtropical Agriculture Cheju National University Cheju, Korea. 8:37-48 (1991)

Kim HR, Lee JH, Kim YS, Kim KM. Chemical characteristics and enzyme activities of ichon ge-geol radish, ganghwa turnip and Korean radish. Korean J Food Sci Technol 39(3): 255-259 (2007)

Kim JY, Park SH, Lee KT. Sulforaphane content and antioxidative effect of cooked broccoli. *J East Asian Soc Dietary Life* 19(4): 564-569 (2009)

Kim SB, Ko SB, Kim JS, Ko SC, Ko TS, Kim YH. Studies on stable production system and processing techniques development of Danji radish in jeju. Jeju Special Self-Governing Province Agriculture Research and Extension Service research paper (2013)

Korean Society of Food and Cookery Science. Dictionary of Food Cookery Science. Kyomunsa, Seoul, Korea. 100-101 (2003)

Ku KH, Lee KA, Kim YL, Lee YW. Quality characteristics of hot-air dried radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 780-785 (2006)

Lee YS, Kwon KJ, Kim MS, Sohn HY. Antimicrobial, antioxidant and anticoagulation activities of Korean radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *Korean J Microbiol Biotechnol* 41(2): 228-235 (2013)

Lee JS, Seong KC, Kim CH, Jang KC. Danji radish restored and product development. National Institute of Horticultural and Herbal Science Test Reports (2008)

Lee SJ, Shin SR, Yoon KY. Physicochemical properties of black Doraji (*Platycodon grandiflorum*). *Korean J Food Sci Technol* 45(4): 422-427 (2013)

Manivannan K, Anantharaman P, Balasubramanian T. Antimicrobial potential of selected brown seaweeds from Vedalai coastal waters. Gulf of Mannar. *Asian Pac J Trop Biomed* 1: 114-120 (2011)

Ozsoy N, Can A, Yanardag R, Akev N. Antioxidant activity of *Smilax excels* L. leaf extracts. *Food Chem* 110: 571-583 (2008)

Park SY, Kim JW Screening and isolation of the antitumor agents from medicinal plants(I). Kor J Pharmacogn 23: 264-267 (1992)

Rural Development Administration. Agricultural science and technology of analysis based on research( I ). pp.315-374 (2012)

Seventh revision food composition table. National Rural Resources Development Institute, Rural Development Administration. 120-123 (2006)

Sher A. Antimicrobial activity of natural products from medicinal plants. Gomal J Med Sci 7: 72-78 (2004)

Shim KH, Sung NK, Kang KS, Ahn CW, Seo KI. Analysis of glucosinolates and the change of contents during processing and storage in cruciferous vegetables. J Korean Soc Food Nutr 21(1): 43-48 (1992)

Sim KH, Kang KS, Seo KI. Purification enzymatic properties of myrosinase abstracted from radish. J Korean Agri Chem Soc 36: 86-92 (1993)

Smith TK, Mithen R, Johnson IT. 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 (2003)

Talalay P. Mechanisms of induction of enzymes that protect against chemical carcinogenesis. Adv Enzyme Regul 28: 237-250 (1989)

Xu XM, Jun JY, Jeong IH. A study on the antioxidant activity of Hae-Songi mushroom (*Hypsizigus marmoreus*) hot water extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr 36: 1351-1357 (2007)

Yim HB, Lee GS, Chae HJ. Cytotoxicity of ethanol extract of *Raphanus sativus* on a human lung cancer cell line. J Korean Soc Food Sci Nutr 33: 287-290 (2004)

Zhang Y, Kensler TW, Cho CG, Posner GH, Talalay P. Anticarcinogenic activities of sulforaphane and structurally related synthetic norbornyl isothiocyanates. Proc Natl Acad Sci USA 91: 3147-3150 (1994)

## 감사의 글

적지 않은 나이에 기대반 우려반의 심정으로 대학원의 문을 두르렸습니다. 모든 과정을 마치고도 한참의 시간이 흐르고 나서야 비로소 이렇게 감사의 글을 쓰는 시간을 가질 수 있었습니다. 지난 시간을 돌이켜보면 새롭게 시작하는 직장생활과 학업을 병행하며 부족한 점 셀 수 없이 많았지만 주변의 많은 격려와 도움으로 여기까지 올 수 있었습니다. 이 자리를 빌어 그동안 아끼고 응원해주신 모든 분들께 깊은 사랑과 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저, 부족한 저를 끝까지 기다려 주시고, 이끌어 주시며 학문적 기초를 다질 수 있도록 지도를 아끼지 않으셨던 고영환 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 시간에도 불구하고 많이 부족했던 논문을 세심하게 지도해주신 송관정 교수님, 박성수 교수님 정말 감사드립니다. 직장과 병행하느라 학업에 많이 부족했던 저에게 가르침과 격려를 아끼지 않으셨던 강영주 교수님, 하진환 교수님, 임상빈교수님, 박은진교수님, 김현정 교수님께 마음 깊이 감사드리며 항상 건강하고 행복하시길 기원합니다.

대학원 생활을 함께 하며 많은 도움을 주셨던 최영진 선생님, 강윤구 선생님, 경렬, 현정, 화정, 소연에게도 감사의 마음을 전합니다.

부족한 점 많은 며느리, 딸이지만 항상 사랑과 믿음으로 격려해 주시는 아버님, 어머님, 아빠, 엄마, 사랑합니다! 공부한다고 집안일도 육아도 부실했던 저를 대신에 아이들 챙기며 부족한 자리를 메워 주던 사랑하는 남편과, 바쁜 엄마 덕에 혼자서도 척척 잘하는 민지와 민규, 언제나 응원해주던 동생들에게도 말로 다 표현할 수 없는 고마움과 사랑의 마음을 전해봅니다.

초보 연구사로 좌충우돌하는 저에게 많은 격려와 충고로 이끌어주시는 강성근 원장님, 김봉찬 국장님, 고태신 과장님, 고상환 실장님, 많은 시간을 함께하며 여러 면에서 나의 멘토가 되어주고 있는 김정선, 고순보 연구사, 항상 격려와 배려를 아끼지 않으시는 성문석, 고승찬 연구사님, 원예연구과 식구들에게도 고마운 마음을 전합니다.

실험과 연구에 많은 도움을 주신 부경대학교 전병수 교수님 감사드립니다.

바쁘다는 이유로 연락도 잘 못하지만 항상 응원해준 친구들, 동료들... 그리고 지면을 통해 일일이 언급하지 못했지만 항상 저를 아끼고 사랑해주시는 모든 분들께 감사와 사랑의 마음을 전합니다. 모두모두 사랑합니다!!