

## 중·북부지역에서 재배된 GM 배추와 Non-GM 배추간의 식물체 특성 및 영양 성분 비교 분석

조동욱<sup>1</sup> · 오진표<sup>1</sup> · 박권우<sup>2</sup> · 이동진<sup>3</sup> · 정규환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 식물응용과학과, <sup>2</sup>고려대학교 생명과학부, <sup>3</sup>단국대학교 식량생명공학과

### Comparison of the Plant Characteristics and Nutritional Components between GM and Non-GM Chinese Cabbages Grown in the Central and Northern Parts of Korea

Dong Wook Cho<sup>1</sup>, Jin Pyo Oh<sup>1</sup>, Kuen Woo Park<sup>2</sup>, Dong Jin Lee<sup>3</sup>, and Kyu Hwan Chung<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Plant Science, Chung-Ang University, Ansong 456-756, Korea

<sup>2</sup>Division of Life Science, Korea University, Seoul 136-701, Korea

<sup>3</sup>Department of Crop Science and Biotechnology, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

**Abstract.** This study was carried out to investigate plant characteristics and nutritional components of the genetically modified (GM) Chinese cabbage and its control line grown in the central and northern parts of Korea in order to establish the evaluating protocol and standard assessment. The GM and non-GM Chinese cabbage was planted with normal and concentrated density at two locations in spring and fall of 2008 and 2009. From the statistic analysis on plant characteristics and nutritional components, there were not many significant differences between GM and non-GM Chinese cabbage. Only few differences in the plant characteristics were found between the dense and normal planting. In the dense planting, there was no significant difference between GM and non-GM Chinese cabbages except for three out of 18 plant traits, such as leaf shape, hairiness and midrib length. On the other hand, nine plant traits including leaf length, leaf width, leaf color, leaf shape, fresh weigh of ground part, number of leaf, midrib length, midrib width and root diameter were slightly different between GM and non-GM Chinese cabbage in the normal planting. In case of leaf length, midrib length, midrib width and fresh weigh of ground part, there were significantly differences not only between two lines, but also between two locations. From nutritional component analysis, only five fatty acids were identified in the Chinese cabbage: palmitic acid, oleic acid, stearic acid, linoleic acid and linolenic acid. Except linoleic acid, four fatty acids in one gram of dried sample from GM line were little higher than those from non-GM line. However, there were no significant differences in total contents of fatty acids not only between GM and non-GM Chinese cabbage line, but also between northern and central cultivating areas in the normal and dense planting. According to the composition of inorganic elements identified in the samples from both lines, there were six macro-elements, such as N, P, Ca, K, Mg and Na, and four micro-elements, Cu, Fe, Mn and Zn. Based on the result from PCA analysis, specific clusters were not found between GM Chinese cabbage and the control line, but found between two regions.

**Additional key words:** dense planting, fatty acids, macro-elements, micro-elements, standard assessment

## 서 언

배추(*Brassica rapa* L. spp. *pekinensis* [Lour.] Rupr)는 십자화과(Cruciferae)에 속하는 두해살이 풀로서 영어명은

Chinese cabbage 또는 Celery cabbage이며 중국명으로 菜(채), 白菜, 大白菜로, 우리나라에서는 송, 송채, 백송, 백채, 배추, 배차, 배채 등으로 불리우고 있다. 원산지는 중국 북부 지방이지만 그 기원은 지중해 연안에 자생하는 잡초성의 유

\*Corresponding author: khchung@cau.ac.kr

※ Received 7 July 2010; Accepted 18 August 2010. 본 연구는 농촌진흥청 바이오그린 21 사업(과제번호: 20080401-034-039-008-03-00)의 지원에 의해 수행되었음.

채(油菜)라고 전해지고 있다. 현재 배추의 세계적인 분포를 보면 중국, 한국, 일본 등 동양 3국에서 중요한 채소로 재배되고 있다. 특히, 우리나라에서 배추는 소비량이 가장 많은 채소로 재배시기에 따라 봄배추, 여름배추, 가을배추 등으로 구분하고 포기형태에 따라 결구형, 반결구형 및 불결구형으로 분류하며, 섬유소와 비타민 C 및 칼슘이 비교적 풍부하며 주로 김치를 비롯한 각종 요리의 재료로 이용된다. 또한, 배추는 민간과 한방에서 화상 및 감기의 치료, 갈증해소, 소화촉진 등의 효능을 가지는 것으로 전해지고 있으며 근래에는 항암효과를 가지는 것으로 밝혀지고 있다.

배추가 여러 가지 약리적 또는 생리적 활성을 나타내는 이유 중 한 가지는 십자화과 식물에 함유되어 있는 2차 대사산물인 glucosinolate(GL)의 작용인 것으로 알려지고 있다. GL은 질소와 황을 함유하고 있는 유기 화합물로 다양한 종류의 채소에서 발견되며 자체 및 그 분해 산물은 고대부터 알려져 온 물질로서 통풍, 설사, 두통에 치료적 목적으로 사용되기도 하였고 주로 겨자, 서양고추냉이, 양배추, 무, cauliflower, 짙은 양배추, 케일, 브로콜리 및 배추 등의 십자화과 채소들에 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다 (Fenwick 등, 1983; Kim과 Kim, 2003; Shim 등, 1992; Srinivas 등, 2000; Ute와 Barbara, 2002). 이런 glucosinolate는 S-glycosidic 결합을 끊는 효소인 myrosinase(Thioglucoside glucohydrazase, EC 3.2.3.1)의 작용에 의해 가수분해되어 isothiocyanate와 nitriles, thiocyanate, oxazolidine-2-thiones, hydroxynitrile 등이 생성된다. 십자화과 채소에 존재하는 glucosinolate로부터 생성되는 물질들 중 유기황 화합물인 isothiocyanate는 항세균성, 항진균성 및 항병충해성 등의 작용을 가지는 대표적인 기능성 물질로 알려져 있다(Morimitsu, 2000; Soledade 등, 1998). 특히, 우리나라에서 많이 이용되고 있는 배추에 함유된 isothiocyanate의 한 형태인 phenylethyl isothiocyanate (PEITC)는 백혈병 세포주인 HL-60에 대해 강한 세포독성 및 apoptosis를 유도한다고 보고된 바 있다(Adesida 등, 1996). 하지만, 배추에는 항암작용을 보이는 PEITC와 같은 isothiocyanate의 함량이 다른 십자화과 식물에 비해 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 배추에 비해 isothiocyanate의 함량이 높은 십자화과 식물들은 그 원인이 myrosinase의 기질인 glucosinolate의 함량이 높은 것 때문인지 아니면 myrosinase의 발현량이 높기 때문인지 자세히 알려져 있지 않다. 따라서, 배추의 isothiocyanate 함량을 높이기 위해서는 glucosinolate의 함량을 증가시키거나 myrosinase의 발현량을 증가시킴으로써 isothiocyanate의 함량변화를 유도하는 방법들이 제안 되었다(Han 등, 2007).

작물의 유전정보의 해석과 육종의 효율성 증대를 위한 방

법의 일환으로 지난 수 십 년 동안 여러 나라에서 많은 유전자 변형(GM) 작물들이 개발되었으며, 현재 전 세계적으로 GM 작물의 재배면적은 11.4천만 ha로 매년 2자리 수 이상의 증가율을 보이고 있다 (Baek 등, 2008). 하지만 이러한 GM 작물들이 노지에서 재배 및 성장 과정 중 어떠한 문제점을 야기하고 있는지 아직 정확히 밝혀지지 않았다(Chen 등, 2003; Ewen과 Pusztai, 1999; Losey 등, 1999; Pusztai 등, 1999). 이러한 이유로 우리 나라에서도 GM작물들의 안전성에 대한 규제가 강화되고 있으며, 상품등록을 위하여 개발된 GM 작물에 대한 평가 프로토콜확립이 시급한 상태이다. 특히, GM 작물이 가질 수 있는 알려지지 않은 유전적 특성과 환경 등에 미치는 잠재적인 위험성 때문에 주요 GM 작물에 대한 환경 및 식품 안전성에 대한 평가 기술의 확립을 위한 평가 프로토콜의 작성이 절실히 요구되고 있다. 이와 동시에, 유전자 변형 작물의 원예학적 특성들을 그 모본 작물들과 비교, 분석하는 것도 반드시 필요한 과정으로 여겨진다.

따라서, 본 연구는 이를 위한 연구의 일환으로 *Agrobacterium*을 이용한 형질전환법을 통해 T-DNA가 tagging된 배추 line 중 phenylethylisothiocyanate (PEITC)의 함량이 증가된 GM 배추와 대조구를 중부지역 및 북부지역의 노지에서 재배하여 형질전환체 및 모 식물체의 농업적 특성과 무기질 및 영양성분의 조성을 비교, 조사함으로써 GM 배추의 평가 지침서 확립을 위한 기초 자료로 이용하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 시험 재료 및 재배방법

본 실험에 사용된 GM 배추는 형질전환 제 3 세대 식물체로서 아그로박테리아를 이용하여 서울배추 line에 형질전환을 실시한 후, rescue cloning을 통하여 T-DNA가 tagging된 배추 line 중 phenylethylisothiocyanate(PEITC)의 함량이 증가된 GM 배추이다(논문 투고 예정). 형질전환 제 3세대인 GM 배추(SKCP 계통)와 대조구인 서울 배추(SC 계통)를 중부 및 북부 지역에서 2008년 가을과 2009년 봄(4월-5월) 및 가을(9월-10월)에 40일간 노지 재배하여 농업적 생육 특성을 조사하였다. 식물체에 함유된 무기물질 및 지방산의 함량 조사는 2009년도 가을에 중부와 북부지역에서 재배된 배추 식물체의 엽을 대상으로 하여 비교, 분석하였다.

환경 방출 실험을 위한 시험 포장은 경기도 안성시 소재의 중앙대학교 산업과학대학 농장 내에 위치한 GMO 격리포장 (중부지역, 37°01'36.15"N, 127°16'01.78"E)과 경기도 남양주시 덕소에 위치한 고려대학교 농장 내 격리포장

(37°35'01.78"N, 127°14'01.12"E)을 이용하였다. 식물체 재배를 위한 포장 크기는 3.5are(50 × 7m)로 하여 시험구를 배치하였으며, 식물체 간의 이격 거리를 60 × 45cm로 배치한 일반 배치 시험구와 20 × 20cm로 배치한 밀식 배치 시험구로 나누어 실시하였다. 일반 배치 시험구는 난괴법을 이용하여 3반복하여 배치하고 하나의 두둑에 두 줄 심기를 하였으며, 계통 당 120주를 1반복으로 재식 하였다. 또한, 보식용 번외 정식을 실시하여 각 계통 당 60주씩 재식 하였다. 밀식 배치 시험구는 개체 당 이격 거리를 20 × 20cm로 하여 한 두둑에 세 줄 심기로 360개체씩 1 반복 배치하여 재배하였다. 배추 식물체의 육묘는 경기도 안성시 소재의 케로톱씨드(주)에서 실시하여 중부 및 북부 포장에 제공하였으며, 관수와 추비 등은 관행에 따라 실시하였다.

### 식물체의 원예적 특성조사

노지에서 재배되는 배추 식물체의 생장에 대한 특성은 정식 40일 후 식물체를 수확하여 지상부, 심부(고갱이) 및 지하부 등에 대하여 조사를 실시하였다. 농업적 특성 조사 기준 및 항목은 국립 종자 관리소에서 발간된 “신품종 심사를 위한 특성 조사 요령(2005)”의 조사 기준 및 방법에 의거하여 실시하였다. 농업적 특성조사 항목은 식물체 지상부 생체중과 잎의 수 및 고갱이 모양을 조사하였으며, 외엽에 대한 항목은 잎의 길이, 너비, 엽색, 모양, 모용의 수, 엽신의 굴곡, 엽신의 결각, 광택 및 세로 절단면의 만곡에 대하여 조사를 실시하였다. 중륵은 길이와 폭 및 중륵의 색 등에 대하여 조사 하였다. 지하부는 무게, 길이 및 지상부와와의 절단면의 직경에 대하여 조사를 실시하였다.

### 지방산 조성 및 함량 분석

일반 배치 시험구에서 재배된 SKCP 및 SC 계통의 배추 식물체의 잎을 수확하여 동결건조하고 분쇄하여 지방산의 조성 및 함량 분석을 위한 시료로 이용하였다. 각 계통의 식물체로부터 0.5g씩 칭량하여 80% ethylalcohol 5mL 첨가하여 혼합 한 후 항온수조(40℃)에서 5시간 동안 추출하였다. 추출 후 1시간 뒤 추출원액을 털어내어 유리 vial에 담아 -20℃ 냉암소에 보관하였다. 지방산 조성 및 함량은 GC(가스크로마토그래피)(CP-3800, Varian)를 이용하여 분석하였으며, 사용된 column은 Agilent의 DB-5MS(30 × 0.25mm, 0.25μm)을 사용하였으며, 운반기체(carrier gas)는 질소(nitrogen)를 이용하였다. 오븐(Oven)온도는 160℃-220℃ 이었고 승온 속도는 4℃/min로 설정하였고 주입기의 온도는 250℃이며 FID detector의 온도는 250℃로 설정하였다.

### 무기영양성분 분석

일반 배치 시험구로부터 수확한 SKCP 및 SC 계통의 배추 식물체 잎으로부터 무기 영양 성분의 조성 및 함량을 조사하였다. 칼슘과 칼륨을 포함한 8가지 무기성분의 함량 분석은 배추 시료 0.5g을 평량하여 분해액(perchloric acid 및 sulfuric acid) 20mL를 첨가한 후, 고온에서 분해하여 여과하였다. 여과 시킨 액으로 ICP(inductively coupled plasma, Heraeus, DE/Vario-EL, GBC Integra XL)를 이용하여 분석되었다. 유효인산함량은 분해된 여과액 5mL 및 식물체 분해액 5mL를 시험관에 넣고 혼합기로 교반한 다음, 30℃에서 15분간 온도를 일정하게 유지해준 후 470nm에서 비색계를 이용하여 측정하였으며, 총 질소 함량은 분해여과액 10mL를 취하여 Kjeldahl 법으로 측정하였다.

### 통계처리

2008년 가을 및 2009년 봄과 가을 총 3회 동안 조사된 식물체의 특성들과, 2009년 가을에 재배된 배추시료에 대한 무기영양 성분 및 지방산 함량에 대한 분석 수치들에 대하여 전체 평균 및 표준오차를 산출하여 표시하였다. 각 재배 시기별 수치를 SPSS(Statistical Package for the Social Science, ver. 12.0)을 이용하여 각 재배시기별로 평균 및 표준오차를 산출하였으며, 그 평균들에 대하여 95% 유의수준( $p < 0.05$ )에서 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 처리 평균간의 유의성 검정은 던킨의 다중검정에 따라 GM 계통과 non-GM 계통간, 지역간 및 재배 시기별 통계적 유의차를 분석하였다.

지역별 및 GM과 non-GM별 배추 식물체에 대한 10종의 무기영양성분 함량에 대한 결과는 데이터 정렬 및 표준화 작업을 거쳐, 주성분분석(PCA: principal component analysis)이 이루어졌으며, PCA는 다변량통계분석 프로그램인 SIMCA-P version 11.0 software(Umea, Sweden)을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 밀식 배치 시험구 배추의 식물체 특성 비교

중부와 북부지역에서 2008년 가을과 2009년 봄, 가을 밀식 배치 시험구에서 재배된 배추 식물체의 특성들에 대한 수치 및 통계 결과는 Table 1과 2에 표시하였다. 수확된 배추의 최외각 엽의 특성 9개 항목에 대하여 조사한 결과, 두 지역에서 재배된 SKCP 계통과 SC 계통간에 통계적 유의차는 두 항목(잎의 모양과 모용수)을 제외하곤 크게 나타나지 않았다. 하지만, 잎의 모양과 모용수는 중부지역보다 북부지역에서 계통간에 유의차가 조금 더 크게 나타났다. 두 지역

**Table 1.** Comparison of the outer leaf traits between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the dense planting in 2008 and 2009.

Season	Location	Lines	Length (cm)	Width (cm)	Color	Shape	Undulation of margin	Incisions margin	Hairiness	Glossiness	Profile of longitudinal section
2008 Fall	Ansung	SC	43.9 abc <sup>z</sup>	18.6 e	1.16 d	2.4 c	1.2 cd	1.12 bcd	2.0 a	3.0 a	1.0 c
		SKCP	37.7 bc	19.4 de	1.2 d	2.5 c	1.4 c	1.06 cd	2.0 a	3.0 a	1.0 c
	Dukso	SC	49.8 ab	24.5 b	2.0 a	4.9 a	3.3 ab	1.07 cd	1.3 c	3.0 a	1.3 b
		SKCP	48.6 ab	28.7 a	2.0 a	1.7 d	3.0 b	1.33 b	1.0 d	3.0 a	1.9 a
2009 Spring	Ansung	SC	36.2 c	17.7 e	2.0 a	2.8 c	0.8 de	1.28 bc	1.0 d	3.0 a	1.0 c
		SKCP	45.3 abc	18.4 e	2.0 a	1.0 e	0.6 e	1.30 b	1.0 d	3.0 a	1.0 c
	Dukso	SC	54.3 a	27.8 a	1.3 c	3.4 b	3.7 a	1.27 bc	1.3 c	3.0 a	2.0 a
		SKCP	50.5 a	29.6 a	1.1 d	4.8 a	3.0 b	1.13 bcd	1.0 d	3.0 a	2.0 a
2009 Fall	Ansung	SC	50.3 a	19.3 de	2.0 a	2.0 d	0.0 f	1.00 e	1.0 d	3.0 a	1.0 c
		SKCP	43.0 abc	21.0 cd	2.0 a	1.9 d	0.0 f	1.00 e	1.0 d	3.0 a	1.0 c
	Dukso	SC	48.5 ab	22.8 bc	1.5 b	4.6 a	3.4 ab	1.00 d	1.5 b	3.0 a	2.0 a
		SKCP	42.7 abc	23.7 b	1.7 b	3.6 b	3.5 a	3.27 a	1.0 d	3.0 a	2.0 a

<sup>z</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

에서 재배된 식물체의 최외각 잎의 길이는 재배 시기와 재배 지역 간에 약간의 차이를 보였지만, SKCP 계통과 SC 계통 간에는 통계적 유의차는 없었다. 2009년에 두 지역에서 재배된 식물체의 잎의 너비는 SKCP 계통과 SC 계통간의 통계적 유의차는 없는 것으로 조사 되었으나, 2008년 가을 재배의 경우에는 북부지역에서 계통간의 유의차가 발생하였다. 밀식 배치 시험구 식물체의 최외각 잎의 너비는 중부지역에 비해 북부지역에서 재배된 식물체가 넓게 조사되었다. 중부지역에서 2009년 봄과 가을에 재배된 식물체의 엽색은 녹색이었고 계통간에는 통계적 차이가 없었다. 하지만, 2008년 가을 중부지역과 2009년 북부지역에서 재배된 식물체에서는 연녹색의 개체가 다수 존재하였다. 중부지역 및 북부지역에서 재배된 배추의 잎 모양은 주로 좁은 달걀형 또는 끝이 넓은 타원형이었으나, 재배 지역에 따른 계통간의 차이가 존재하였으며, SKCP 계통이 SC 계통에 비해 잎의 너비가 더 넓은 것으로 나타났다. 중부지역에서 2008년과 2009년에 재배된 배추 식물체의 엽신의 굴곡은 거의 존재 하지 않은 것으로 조사되어 계통간에는 차이가 없었으나, 북부지역에서 재배된 식물체가 중부지역에 비하여 다소 심한 것으로 조사되어 재배 지역간에는 유의차가 큰 것으로 나타났다. 특히 재배 지역간 조사 수치가 큰 차이를 보이는 것은 두 지역에서 조사에 참여하는 대학의 조사자들이 식물체의 특성조사 시 주간적인 조사가 이루어져 유의차가 발생하는 것으로 판단되며, 이러한 오차를 줄이기 위해서는 보다 객관적이고 섬세한 조사기준을 마련하고 조사 전 조사에 참여하는 학생들을 대상으로 교육을 통하여 조사자들에 의한 오차를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 엽신의 결각

은 SKCP 계통과 SC 계통간에는 유의차가 거의 발생하지 않았으나, 2009년 가을 북부지역에서 재배된 SKCP 계통이 SC 계통보다 결각이 다소 심한 것으로 조사 되었다. 중부와 북부지역에서 2008년과 2009년에 재배된 배추 식물체의 잎 표면에 발생된 모용의 수는 작은 것으로 조사 되었고 중부 지역 식물체에서는 계통간에 통계적 유의차가 없었으나 북부지역에서는 SC 계통이 SKCP 계통에 비해 다소 많았다. 잎의 광택은 계통간에 차이가 없었을 뿐만 아니라 재배 지역 및 재배 시기에 따른 차이도 보이지 않았다. 잎을 세로로 절단하여 단면의 모양을 살펴 본 결과, 중부지역은 두 계통에서 대부분 평평한 모습인 것으로 조사되었으나 북부지역에서는 두 계통에서 오목한 형태를 가진 개체가 많은 것으로 나타나 지역간에 차이를 보였다(Table 1).

중부와 북부지역 밀식 배치 시험구에서 재배한 식물체의 지상부 무게, 엽수, 고갱이 및 중륵의 특성 3개 항목과 지하부의 특성 3개 항목에 대하여 조사하여 본 결과, 식물체의 지상부 생체중은 SKCP 계통과 SC 계통간에 통계적 유의차는 없었다. 다만, 잎의 수와 중륵의 길이에서 두 지역 모두 계통간 유의차를 보였으며, 재배 지역간에도 다소 차이가 발생하였다. 특히 2008년 가을 및 2009년 봄 재배에서는 중부지역에 비해 북부지역의 식물체가 더 무거웠다. 하지만 2009년 가을 재배에서는 두 계통간, 지역간 생체중의 차이가 거의 발생하지 않았다. 이처럼 2008년 가을과 2009년 봄 재배에서 지역간의 차이를 보인 것은 북부포장은 계속적으로 사용해진 포장이었던 반면, 중부포장은 산을 개간하여 포장을 조성하였기 때문에 정식 전에 충분한 시비를 하였다 하더라도 토양의 상태가 북부지역에 비하여 척박하였기 때

문인 것으로 판단되어지며, 2009년 가을재배에서 지역간 그리고 계통간 생체중의 차이가 거의 나타나지 않은 것은 2009년 가을까지 여러 차례 시비를 함으로서 두 지역의 토양상태가 비슷해진 것으로 생각되지만 토양분석조사를 통해 확인되어야 할 것으로 판단된다. 또한 김(2003)은 식물체가 성장하는 생육 장소의 환경에 의해 식물체의 생육의 차이가 나타난다고 하였으며, 황 등(1997)은 토양의 상태에 따라 지역별로 차이가 있다고 보고한 내용과도 일치하는 결과다. 식물체 잎의 수는 모든 시험구에서 계통간 차이가 없었으나, 2009년 봄 재배 시 북부지역과 가을 재배 시 중부지역에서 계통간 유의차를 보였다. 고갱이 선단의 모양은 SC계통과 SKCP 계통간 차이가 없었으나 중부지역에서는 둥근 형태를 가진 개체, 북부지역에서는 돌기형 또는 평평한 형태를 가진 개체가 많이 존재하였다. 최외각 엽의 중륵 특성을 살펴본 결과, 길이, 너비 및 색에서는 두 계통간 차이를 보이지 않았다. 특히, 중륵 색은 중부와 북부지역에서 두 계통의 식물체가 모두 흰색인 것으로 조사되었으며, 재배 지역간, 재배 시기별 차이도 없었다. 또한 중륵 폭은 2008년 가을 중부지역을 제외하곤 계통간 통계적 유의차가 없었다. 중륵의 길이도 두 지역에서 재배된 식물체들 사이에서는 계통간에 통계적 유의차가 없었으며, 2009년 가을 재배에서는 계통간에는 다소 차이를 보였다. 중부와 북부 지역에서 재배된 SC 계통과 SKCP 계통의 배추 식물체의 지하부 특성을 조사한 결과, 지상부와 절단면의 직경은 재배 지역간, 계통간에 통계적 유의차가 발생하지 않았다. 다만 뿌리 무게의 경우, 2008년 가을에 재배된 식물체에서 SC와 SKCP

계통 사이에 조사된 수치의 차가 다소 크게 발생하였으나 통계적 유의차는 보이지 않았다. 뿌리의 길이는 2009년 가을 중부지역에서 재배된 SC 계통이 SKCP에 비해 다소 짧았으나 그 외에는 계통간에 길이 차이가 없었다(Table 2).

#### 일반 배치 시험구 배추의 식물체 특성 비교

중부와 북부 지역의 일반 배치 시험구에서 재배된 배추의 특성 조사 결과는 Table 3과 4에 표시하였다. 두 지역으로부터 2008년 가을과 2009년 봄과 가을에 재배된 배추의 최외각 잎의 특성을 조사한 결과, 9개의 조사 항목 중 4개의 조사 항목에서 SKCP 계통과 SC 계통간의 통계적 유의차를 보였다. 특히 잎의 길이에서는 계통간, 재배 지역간 그리고 재배 시기별로 변이가 나타나는 것으로 조사되었다. 2009년의 경우, 잎의 색은 계통간에 통계적 유의차가 크게 나타나지 않았으며, 중부지역의 식물체에서는 녹색개체가 북부지역에서는 연녹색의 개체가 다수 존재하는 것으로 나타났다. 잎의 너비 역시 두 지역 모두에서 계통간에 약간의 유의차를 보였으며, 특히 중부지역보다 북부지역에서 더 큰 유의차를 보였다. 잎의 모양은 2009년 봄과 가을에 중, 북부지역에서 재배된 SKCP 계통의 식물체가 SC 계통에 비해 엽신의 너비가 상대적으로 더 넓은 것으로 나타났으며, 끝이 넓은 타원형에 가까웠다. 엽신 표면의 굴곡은 SKCP와 SC 계통간 차이가 없었으나 중부지역에 비해 북부지역의 식물체가 엽신 표면의 굴곡이 조금 더 심한 것으로 조사되었으며, 잎의 결각은 두 지역에서 계통간에 통계적 차이를 보이지 않았다. 잎 표면에 존재하는 털은 중부와 북부 지역의 모든

**Table 2.** Comparison of the above ground part, midrib and root characteristics between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the dense planting in 2008 and 2009.

Season	Location	Lines	Fresh weight (g)	No. of leaf (ea)	Pith shape	Midrib length (cm)	Midrib width (cm)	Midrib color	Root weight (g)	Root length (cm)	Root diameter (cm)
2008 Fall	Ansung	SC	348.9 f <sup>2</sup>	20.7 d	2.0 b	26.7 c	4.1 c	1.0 a	10.4 de	18.9 ab	1.4 a
		SKCP	326.5 f	18.8 de	2.0 b	21.9 de	2.7 d	1.0 a	10.6 de	18.7 ab	1.4 a
	Dukso	SC	735.7 bc	17.6 ef	2.0 b	29.7 b	4.5 abc	1.0 a	8.4 e	17.3 b	1.7 a
		SKCP	639.1 cd	15.5 f	2.9 a	29.5 b	4.7 abc	1.0 a	12.3 bcde	18.0 ab	1.8 a
2009 Spring	Ansung	SC	427.4 ef	27.2 ab	2.0 b	21.4 e	3.0 d	1.0 a	12.2 cde	12.2 c	2.4 a
		SKCP	423.9 ef	27.6 a	1.9 b	19.6 e	2.9 d	1.0 a	12.1 cde	13.6 c	1.7 a
	Dukso	SC	933.5 a	24.7 bc	1.5 d	34.2 a	5.5 a	1.0 a	15.3 abc	7.1 d	2.6 a
		SKCP	817.7 ab	21.5 de	1.9 b	33.9 a	5.4 ab	1.0 a	14.9 abcd	7.4 d	2.4 a
2009 Fall	Ansung	SC	770.1 bc	26.9 abc	2.0 b	32.0 ab	5.4 ab	1.0 a	16.9 ab	13.4 c	2.3 a
		SKCP	554.5 de	24.3 c	2.0 b	24.2 cd	4.6 abc	1.0 a	17.8 a	17.6 ab	2.2 a
	Dukso	SC	676.6 bcd	19.2 de	1.8 c	29.5 b	4.4 abc	1.0 a	15.9 abc	19.7 a	1.9 a
		SKCP	661.9 cd	19.9 de	2.1 b	25.5 c	4.3 bc	1.0 a	17.7 a	19.6 ab	2.0 a

<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

**Table 3.** Comparison of the outer leaf traits between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the normal planting in 2008 and 2009.

Season	Location	Lines	Length (cm)	Width (cm)	Color	Shape	Undulation of margin	Incisions margin	Hairiness	Glossiness	Profile of longitudinal section
2008 Fall	Ansung	SC	47.7 c <sup>z</sup>	24.6 f	1.5 d	2.4 cd	1.7 d	1.2 c	2.0 a	3.0 b	1.0 d
		SKCP	42.0 ef	24.9 f	1.5 d	2.6 c	1.9 cd	1.1 cd	2.0 a	3.0 b	1.0 d
	Dukso	SC	50.1 b	32.2 b	1.7 c	2.3 de	3.3 ab	1.0 d	1.0 c	3.0 b	1.1 d
		SKCP	44.5 d	34.9 a	1.8 a	3.0 b	3.0 b	1.1 cd	1.0 c	3.0 b	1.3 c
2009 Spring	Ansung	SC	40.3 f	20.2 h	2.0 a	2.1 def	2.2 c	1.7 b	1.0 c	3.0 b	1.0 d
		SKCP	37.3 g	22.2 g	2.0 a	1.9 g	1.7 d	1.2 c	1.0 c	3.0 b	1.0 d
	Dukso	SC	47.7 c	31.9 b	1.4 d	2.6 c	3.4 ab	1.2 c	1.0 c	3.3 a	1.5 b
		SKCP	43.7 de	32.1 b	1.4 d	2.4 cd	3.3 ab	1.2 c	1.0 c	3.1 b	1.5 b
2009 Fall	Ansung	SC	55.5 a	26.9 e	2.0 a	2.0 efg	0.2 e	0.0 e	1.0 c	3.0 b	1.0 d
		SKCP	47.4 c	28.3 d	2.0 a	2.0 efg	0.2 e	0.0 e	1.0 c	3.0 b	1.0 d
	Dukso	SC	49.1 bc	30.5 c	1.9 ab	3.4 a	3.1 ab	1.2 c	1.1 b	3.0 b	2.3 a
		SKCP	41.9 e	29.3 cd	1.7 cd	3.0 b	3.5 a	2.8 a	1.0 c	3.0 b	2.1 a

<sup>z</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

**Table 4.** Comparison of the above ground part, midrib and root characteristics between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the normal planting in 2008 and 2009.

Season	Location	Lines	Fresh weight (g)	No. of leaf (ea)	Pith shape	Midrib length (cm)	Midrib width (cm)	Midrib color	Root weight (g)	Root length (cm)	Root diameter (cm)
2008 Fall	Ansung	SC	1,3 f <sup>z</sup>	31.5 ef	2.02 ab	27.2 de	5.1 f	1.0 a	70.1 b	17.8 g	4.1 bc
		SKCP	1,2 f	29.9 fg	1.87 bc	22.7 fg	4.5 g	1.0 a	114.3 a	24.2 de	4.2 b
	Dukso	SC	2,9 a	33.1 e	2.07 ab	29.2 c	6.5 c	1.0 a	73.5 b	30.2 b	4.3 b
		SKCP	2,7 b	52.3 a	2.25 a	26.1 e	6.8 c	1.1 a	88.1 b	35.0 a	4.7 a
2009 Spring	Ansung	SC	1,6 e	39.4 c	1.89 bc	23.3 f	3.1 i	1.0 a	35.1 c	22.0 f	2.9 g
		SKCP	1,4 f	36.9 d	1.55 d	21.7 g	3.9 h	1.0 a	35.6 c	21.5 f	2.8 g
	Dukso	SC	2,5 b	46.5 b	1.74 cd	30.9 b	7.3 b	1.0 a	42.4 c	16.6 g	3.8 cd
		SKCP	2,0 d	47.2 b	1.87 bc	27.9 cd	6.1 d	1.0 a	35.6 c	16.3 g	3.5 de
2009 Fall	Ansung	SC	2,1 cd	31.6 ef	1.99 bc	32.8 a	7.7 a	1.0 a	43.7 c	21.4 f	4.2 b
		SKCP	1,7 e	31.0 ef	1.97 bc	28.3 cd	5.5 e	1.0 a	37.6 c	22.9 ef	3.2 fg
	Dukso	SC	2,2 c	32.7 e	1.87 bc	33.5 a	6.5 c	1.0 a	39.5 c	24.9 cd	3.3 ef
		SKCP	1,6 e	27.7 g	1.93 bc	23.1 f	5.9 d	1.0 a	37.1 c	26.4 c	3.1 fg

<sup>z</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

식물체에서 적거나 없었으며, 잎 세로 절단면의 모양은 평평하거나 오목한 형태를 보여주었으며, 대체적으로 평평하였고 SKCP 계통과 SC 계통간의 차이가 없었다(Table 3).

두 지역 일반 배치 시험구에서 재배된 배추의 지상부 생체중을 포함하여 9개의 조사항목 중 5개의 항목에서 통계적 유의차가 발생하였으며, 특히 생체중 무게, 중륵의 길이와 넓이에서 계통간, 지역간 그리고 시기별로 유의차가 크게 나타났다. 지상부의 생체중의 경우, SC 계통이 SKCP 계통에 비하여 무거운 것으로 조사되었으며 통계적으로도 약간

의 유의차를 보였다. 또한 밀식 배치 시험구에서의 생체중의 변화와 마찬가지로 일반 배치 시험구에서도 2009년 가을 재배에서 지역간 동일 계통 사이의 지상부 생체중 차이가 현저하게 줄어드는 결과를 보여주었다. 식물체 지상부 생체중에 영향을 미칠 것으로 여겨지는 식물체 특성을 비교하여 본 결과, 생체중이 무거운 시험구는 중륵의 길이와 폭이 길고 넓은 경향을 보여주고 있지만 잎의 길이, 너비 및 잎의 수는 큰 차이가 없었다. 이상의 결과로 미루어 식물체 지상부의 무게에 영향을 미치는 것은 엽신의 넓이나 수 보다는

중륵 부위에 의하여 더 크게 작용하는 것으로 생각된다. 따라서, 본 보고서에 제시된 중륵의 장과 폭만을 이용한 결과 해석 보다는 중륵 두께와의 상관관계에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 김(2003)은 식물체가 성장하는 생육 장소의 환경에 의해 엽수, 묘의 길이, 잎의 길이 및 광합성율의 차이가 발생한다고 보고하였다. 오 등(1984)은 멀칭 재료에 따른 지온의 변화가 배추 식물체의 성장에 영향을 미칠 수 있다고 보고 한 바 있으며, 황 등(1997)은 당시 배추의 주산지인 연천, 청원 및 태백의 토양 pH와 미량 원소의 함량 등이 지역별로 차이가 있다고 보고하였다. 이처럼 배추의 성장 및 생육에는 재배지의 광도, 토양 수분, 강수량, 토양 환경, 토양 내 무기질 및 유기질의 함량 등이 영향을 미칠 것으로 판단되며, 이들과의 상호 연관성에 대한 설명이 추후에 이루어져야 할 것으로 생각된다.

배추 식물체의 고갱이 선단 모양은 SKCP 계통과 SC 계통간에는 통계적 유의차를 보이지 않았지만, 중부와 북부 지역에서는 재배 시기와 상관없이 대체적으로 둥근 형태로 나타났고 돌기형이거나 평평한 형태를 가진 개체들이 일부 존재하였다. 중륵의 색은 재배 지역, 재배 시기 및 계통에 상관없이 모두 흰색으로 조사되었으며, 특히 중륵의 폭과 길이는 계통 및 재배 지역간에 차이가 큰 것으로 나타났다. 지하부의 특성 중, 뿌리의 무게는 2008년 가을에 중부지역에서 재배된 식물체를 제외하고 재배 지역 및 계통간에 차이는 보이지 않았으며, 특히 2009년에는 계통간, 지역간에 통계적 유의차가 없었다. 뿌리의 길이 또한, 계통간 차이는 없었으나 재배 지역간에는 다소 차이가 있었다. 지상부와의 절단면의 직경은 계통간의 차이가 없거나 미미하였으나 재배 지역간에는 다소 차이를 보였다. 전체적으로 보아, 일반 배치 시험구의 지하부 발달이 2008년에 비해 2009년에 계통 및 지역간 변화의 폭이 줄어드는 결과를 보여 주었다 (Table 4).

### 지방산의 조성 및 함량 비교

GC를 이용하여 배추 식물체의 엽에 존재하는 지방산의 조

성을 분석한 결과, 엽 부위에서는 주로 5가지 지방산(palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid 및 linolenic acid)이 많이 존재하는 것으로 나타났다(Table 5). 이들 각각의 지방산의 함량에 대하여 통계 분석을 실시한 결과, palmitic acid의 경우에는 북부지역에서 SC 계통이 4.14mg/g, SKCP 계통이 4.12mg/g이 함유되어 있는 것으로 조사되어 유의차가 없었으나, 중부지역의 경우 SKCP 계통보다 SC 계통의 배추에서 더 많이 존재하는 것으로 나타났다. Stearic acid는 지역 및 계통간의 함량 차이가 발생하지 않았다. Oleic acid의 경우, 북부지역에서는 계통간 함량 차이가 발생하지 않았으나 중부 지역은 SC 계통이 SKCP 계통에 비해 많은 것으로 조사되었다. Linoleic acid와 linolenic acid의 경우, 각각의 지역에서 두 계통간의 함량 차이가 발생하였으며, 중부지역과 북부지역에서 재배된 동일 계통 간에서도 약간의 함량 차이가 존재하는 것으로 조사되었다. 전체적으로 기능성 SKCP계통 및 SC계통 배추의 지방산 조성 및 함량은 북부지역에서는 유사한 것으로 나타났으나 중부지역의 경우에는 SC계통에 비해 SKCP 계통에서 다소 높게 나타났다.

### 무기영양성분 함량 비교

SKCP 및 SC 계통의 배추 식물체 잎에서 추출한 무기 영양 성분 중 다량원소(macro-element)는 질소(N), 인(P), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 및 나트륨(Na)의 6가지로 조사되었다(Table 6). 질소 및 마그네슘의 함량은 재배 지역에서의 계통간 차이를 나타내지 않았으나 지역간에는 북부 지역에 비해 중부지역의 배추 식물체에 다량 존재하는 것으로 조사되었다. 칼슘은 북부지역에서 재배된 식물체가 중부 지역에서 재배된 식물체에 비해 상당히 높은 수준으로 존재하는 것으로 조사되었고 북부지역에서는 계통간 유의차가 없었으나 중부지역은 SKCP 계통에 함량이 높은 것으로 조사되었다. 칼륨의 경우는 칼슘과 반대의 경향을 보여 중부 지역의 함량이 높고 북부지역에서 계통간 유의차가 발생하였다. 인의 경우, 지역 및 계통간에 차이가 존재하는 것으로 나타났고 나트륨은 중부지역에서 재배된 식물체의 함량에는

**Table 5.** Comparison of the fatty acid contents between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the normal planting in 2009.

Location	Lines	Fatty Acid Contents (mg/g)					Total Content
		Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid	
Ansung	SC	4.2 a <sup>2</sup>	1.2 a	0.9 a	3.2 a	9.6 a	19.1 ± 1.3 a
	SKCP	3.7 b	1.1 a	0.4 b	2.8 b	8.8 c	16.7 ± 1.3 a
Dukso	SC	4.1 a	1.2 a	0.6 b	2.7 b	9.1 b	17.7 ± 1.5 a
	SKCP	4.1 a	1.1 a	0.4 b	2.2 c	9.6 a	17.4 ± 0.6 a

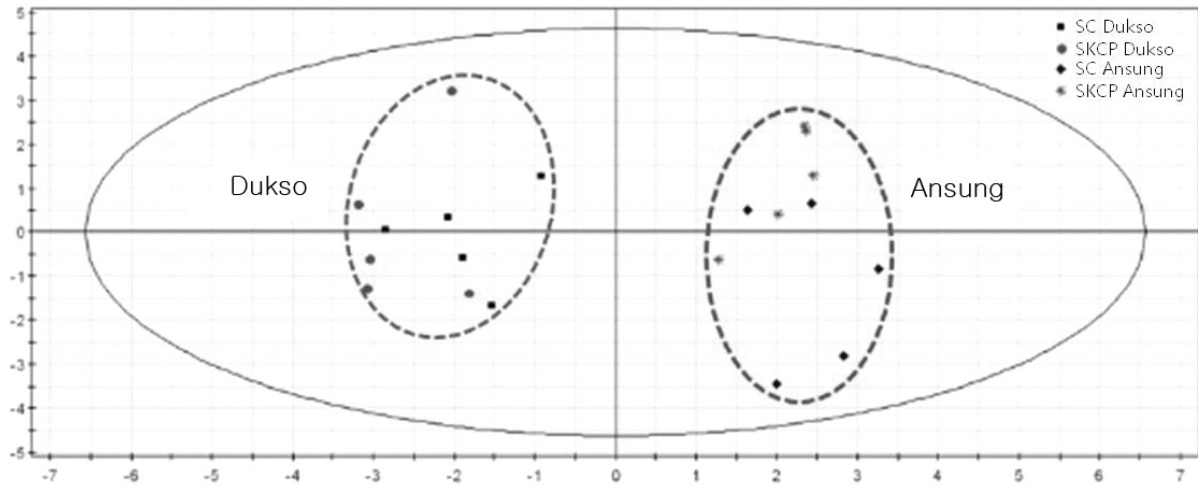
<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test, *P* = 0.05

**Table 6.** Comparison of the inorganic elements between GM and non-GM Chinese cabbage cultivated on the normal planting in 2009.

Location	Lines	Inorganic Elements Contents (mg/Kg)									
		Nitrogen (N, % <sup>y</sup> )	Phosphorus (P)	Calcium (Ca)	Potassium (K)	Magnesium (Mg)	Sodium (Na)	Copper (Cu)	Iron (Fe)	Manganese (Mn)	Zinc (Zn)
Ansung	SC	2.1 a <sup>z</sup>	18.8 c	37.7 c	284.5 a	16.9 a	24.7 a	0.55 a	0.58 a	0.09 b	0.16 b
	SKCP	2.4 a	27.7 a	66.1 b	307.7 a	17.9 a	24.1 a	0.18 b	0.65 a	0.21 a	0.22 a
Dukso	SC	1.3 b	27.5 b	125.4 a	222.1 b	8.3 b	12.3 a	0.03 c	0.65 a	0.16 ab	0.25 a
	SKCP	1.5 b	17.1 c	126.1 a	172.8 c	9.5 b	9.2 a	0.02 c	0.61 a	0.12 b	0.15 b

<sup>z</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

<sup>y</sup>The total nitrogen content was measured by Kjeldahl method and indicated in percentage.



**Fig. 1.** Scores plotting chart of principal components 1 and 2 of the PCA results obtained from the mineral elements concentration data and fatty acids contents on the GM and non-GM Chinese cabbage lines. The numerical figures on X- and Y-axis are the relative cluster values.

차이가 발생하지 않았으나 북부지역에서는 계통간 차이가 다소 있는 것으로 조사되었다. 전체적으로 다량원소의 함량을 분석한 결과, 동일 계통이 재배 지역에 따라 약간의 함량의 차를 보이는 것으로 조사되었다(Table 6). 미량원소(micro-element)의 조성은 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn) 및 아연(Zn)의 4가지로 조사되었다. 철의 경우에는 중부지역 및 북부지역의 배추 식물체에 함유된 양의 차이가 발생하지 않았으나, 구리와 망간 및 아연은 다량원소와 유사한 경향을 보여 주었다.

모든 분석대상시료의 대사체 분석 데이터는 표준화작업을 거쳐 주성분 스코어를 통해 시각화시킬 수 있으며, Fig. 1에서 나타나는 개별 스코어에는 지역별 GM 및 non-GM에 대한 무기영양성분과 지방산 함량의 모든 정보를 나타내어 전체적인 패턴, 변이 및 클러스터 형성 여부 등을 확인할 수 있었다. 물질의 실질적 동등성에 있어서 유사할 경우, GM 및 non-GM 간에 특이적 변이에 따른 클러스터 형성이 이루어지지 않는다고 보고되어 있는데(Kim 등, 2010), 본 연구에서도 GM 및 non-GM 간에 특별한 클러스터 형성을 확인할 수 없었으나, 지역간 차이에 따른 클러스터 형성은 확인할 수 있었다. 지역

간의 차이는 서로 다른 재배환경에 따른 배추포기크기 등의 차이로 생각되어 차후 기상 및 토양 등의 조건에 따른 영양성분의 변화 설명이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

전반적으로 GM 배추와 non-GM 배추간의 원예적 특성 비교분석 결과 각 지역 내에서는 대부분 항목에서 통계적 유의차는 보이지 않았다. 하지만 지역간 연도별 비교에서는 여러 항목에서 약간의 유의차를 보였다. 또한 영양성분 비교분석에서도 원예적 특성 비교분석과 유사한 결과를 보였다. 본 논문을 토대로 GM 배추의 평가지침서 작성시에는 이러한 결과를 토대로 작성되어야 할 것으로 판단된다.

## 초 록

본 연구는 GM 배추와 non-GM 배추 계통간의 식물체 생장 특성, 지방산의 조성 및 무기 영양 성분을 분석하여 GM 작물의 평가를 위한 기초 자료로 이용하고자 실시하였다. GM 배추(SKCP)와 모본(SC) 계통을 중부지역과 북부지역에서 2008년 가을과 2009년 봄과 가을에 밀식 및 일반 배치



시험구로 나누어 40일간 재배하고 수확 후 특성을 조사하여 SKCP 계통과 SC 계통간의 차이점 및 재배 지역간의 차이를 분석하였다. 밀식 배치 시험구에서 재배된 배추 식물체의 최외각 엽의 특성 9개 항목에 대하여 조사한 결과, 두 지역에서 재배된 SKCP 계통과 SC 계통간에 통계적 유의차는 두 항목(잎의 모양과 모용수)을 제외하곤 크게 나타나지 않았다. 식물체의 지상부의 특성 6개 항목과 지하부의 특성 3개 항목을 조사한 결과, 두 지역 모두에서 SKCP 계통과 SC 계통간의 통계적 유의차는 거의 나타나지 않았다. 다만, 중륙의 길이가 두 지역에서 계통간 약간의 유의차를 보였으며, 재배 지역간에도 통계적 유의차가 발생하였다. 중부와 북부지역의 일반 배치 시험구의 경우 최외각 잎의 특성을 조사한 결과, 9개의 조사 항목 중 4개의 조사 항목에서 SKCP 계통과 SC 계통간의 통계적 유의차를 보였다. 특히 잎의 길이에서는 계통간, 재배 지역간 그리고 재배 시기별로 변이가 나타나는 것으로 조사되었다. 또한 식물체의 지상부 특성 9개의 조사 항목 중 5개의 항목에서 통계적 유의차가 발생하였으며, 생체중 무게와 중륙의 길이와 넓이에서는 계통간, 지역간 그리고 시기별로 유의차가 크게 나타났다. 2009년도 가을에 중부와 북부 지역의 일반 배치 시험구에서 재배된 배추 식물체의 잎에 존재하는 주된 지방산은 palmitic acid, oleic acid, stearic acid, linoleic acid 및 linolenic acid인 것으로 조사되었다. 5 가지 지방산의 총 함량은 재배 지역 및 식물 계통간에 통계적 유의 차가 없었으나 linolenic acid를 제외한 4가지 지방산은 중부와 북부 지역에서 SKCP 비해 SC 계통이 건중량 1g당 함량이 다소 높은 것으로 조사되었다. 배추 식물체의 잎에 존재하는 무기영양성분의 함량을 조사한 결과, 다량원소는 질소(N), 인(P), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 및 나트륨(Na)의 6가지이었고 미량원소는 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn) 및 아연(Zn)의 4가지로 조사되었다. 무기영양 물질의 대사체 분석 데이터를 표준화 작업하여 스코어를 통해 시각화하여 본 결과, GM 및 non-GM 계통간에 특이적 변이에 따른 클러스터 형성은 확인할 수 없었으나, 지역간 차이에 따른 클러스터 형성은 확인할 수 있었다.

**추가 주요어 :** 밀식 배치 시험구, 지방산, 다량원소, 미량원소, 일반 배치 시험구

## 인용문헌

Adesida, A., L.G. Edwards, and P.J. Thornalley. 1996. Inhibition of human leukemia 60 cell growth by mercapturic acid metabolites of phenylethyl isothiocyanate. *Food Chem. Toxicol.* 34:385-392.

Baek, H.J., S.Y. Won, J.K. Kim, S.I. Sohn, K.P. Lee, M.R. Cho,

J.K. Song, M.S. Yoon, J.R. Lee, Y.M. Jin, and T.H. Ryu. 2008. Study on the gene introgression from GM Chinese cabbage to major crops in Cruciferae. *Kor. J. Agri.* 20:124-129.

Chen, Z.L., H. Gu, Y. Li, Y. Su, P. Wu, Z. Jiang, X. Minh, J. Tian, N. Pan, and L.J. Gu. 2003. Safety assessment for genetically modified sweet pepper and tomato. *Toxicology* 188:297-307.

Ewen, S.W. and A. Pusztai. 1999. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet* 354:353-354.

Fenwich, G.R., R.K. Heaney, and W.J. Mullin. 1983. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 18:123-201.

Han, S.H., D.W. Lee, E.H. Kim, M.K. Lee, Y.D. Park, S.H. Kim, and B.S. Yoon. 2007. Selection of tobacco plants expressing Chinese cabbage myrosinase gene and quantification of myrosinase gene expression level using quantitative real-time PCR method. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:29-36.

Hwang, K.S., S.J. Lee, Y.H. Kwack, and K.S. Kim. 1997. Soil chemical properties of major vegetable producing open fields. *Kor. Soc. Soil Sci. and Fert.* 30:146-151.

Kim, G.T. 2003. A study on the growth, photosynthetic rate and chlorophyll contents of *Ligularia fischeri* by the growing sites. *J. Kor. For. Soc.* 92:374-379.

Kim, J.K., S.M. Chu, S.J. Kim, D.J. Lee, S.Y. Lee, S.H. Lim, S.H. Ha, S.J. Kweon, and H.S. Cho. 2010. Variation of glucosinolate in vegetable crops of *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* *Food Chemistry* 119:423-428.

Kim, Y.K. and G.H. Kim. 2003. Changes in 3-butenyl isothiocyanate and total glucosinolates of seeds and young seedlings during growth of Korean Chinese cabbages. *Kor. J. Food Preservation* 10:365-369.

Losey, J.E., L.S. Rayor, and M.E. Carter. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399:214.

Morimitsu, Y., K. Hayashi, Y. Nakagawa, H. Fujii, F. Horio, K. Uchida, and T. Osawa. 2000. Antiplatelet and anticancer isothiocyanates in Japanese domestic horseradish. *Wasabi. Mech. Ageing Dev.* 116:125-134.

Oh, D.G., J.Y. Yoon, S.S. Lee, and J.G. Woo. 1984. Effect of some mulch materials on Chinese cabbage growing in different seasons: Soil temperature and growth of Chinese cabbage in summer. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 25:263-269.

Pusztai, A., G.G. Bardocz, R. Alonso, M.J. Chrispeels, H.E. Schroeder, L.M. Tabe, and T.L. Higgins. 1999. Expression of the insecticidal bean alpha-amylase inhibitor transgene has minimal detrimental effect on the nutritional value of peas fed to rats at 39% of the diet. *J. Nutr.* 129:1597-1603.

Shim, K.H., N.K. Sung, K.S. Kang, C.W. Ahn, and K.I. Seo. 1992. Analysis of glucosinolates and the change of contents during processing and storage in *Cruciferous* vegetables. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* 21:43-48.

Soledade, M., C. Pedras, and J.L. Sorensen. 1998. Phytoalexin accumulation and antifungal compounds from the Crucifer wasabi. *Phytochemistry* 49:1959-1965.

Srinibas, D., K.T. Amrish, and K. Harjit. 2000. Cancer modulation by glucosinolates: A review. *Current Science* 79:1665-1671.

Ute W. and H.A. Barbara. 2002. Glucosinolate research in the *Arabidopsis* era. *Trends in Plant Science* 7:263-270.