

PLANT&FOREST

# Effect of cultivars on hairy root induction and glucosinolate biosynthesis in a hairy root culture of Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*)

Sang Un Park<sup>1</sup>, Sook Young Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

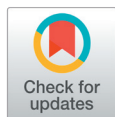
<sup>2</sup>Marine Bio Research Center, Chosun University, Wando 59146, Korea

\*Corresponding author: seedbank@chosun.ac.kr

## Abstract

Cruciferous vegetables are rich in biologically active compounds such as glucosinolates and have various health benefits. Among these vegetables, Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) is one of the most popular leafy vegetables due to the presence of the highest amounts of numerous vital phytonutrients, minerals, vitamins, and antioxidants. This study aims to investigate the effects of six cultivars (Chundong 102, Asia No Rang Mini, Hwimori Gold, Asia Seoul, Wol Dong Chun Chae, and Asia Bbu Ri) on hairy root induction and glucosinolate biosynthesis in the hairy root cultures of Kimchi cabbage. Seven different glucosinolates, in this case sinigrin, gluconapin, glucoerucin, glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin, gluconasturtiin, and neoglucobrassicin, were detected in the hairy root cultures of Kimchi cabbage. Among the different cultivars, Asia No Rang Mini was the most promising candidate for hairy root stimulation, as it achieved the highest values for the growth rate, root number, root length, transformation efficiency, and total glucosinolate content. Overall, the Asia No Rang Mini cultivar of Kimchi cabbage performed best as a promising cultivar hairy root culture for glucosinolate production.

**Key words:** *Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*, cruciferous vegetables, glucosinolate, hairy root, Kimchi cabbage



## OPEN ACCESS

**Citation:** Park SU, Lee SY. Effect of cultivars on hairy root induction and glucosinolate biosynthesis in a hairy root culture of Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*). Korean Journal of Agricultural Science 49:51-60. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220003>

**Received:** January 28, 2022

**Revised:** February 14, 2022

**Accepted:** February 21, 2022

**Copyright:** © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

십자화과의 식물 종은 비타민 C, 비타민 A, 엽산, 식이섬유, 미네랄 및 생리활성 물질 함량이 높기 때문에 건강한 식단의 중요한 구성요소로 인식되고 있다. 십자화과 채소에는 양배추, 무, 브로콜리, 케일, 순무, 갓 등 일상에 접할 수 있는 채소가 많다. 그 중에서도 김치의 주재료인 배추(*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*)는 우리나라에서 널리 소비되는 채소로 phenylpropanoid, carotenoid, glucosinolate 등 다양한 기능성 물질을 함유하고 있다(Park et al., 2014; Patra et al., 2016). 특히 glucosinolate는 항산화 및 다양한 암 예방에 중요한 역할을 하며 잠재적인 항암 예방제 역할을 한다(Almuhayawi et al., 2020).

Glucosinolates는 초식동물과 미생물에 대한 식물방어 물질로 중요한 역할을 한다(Halkier and Gershenzon, 2006). Glucosinolate는 tryptophan 뿐만 아니라 aromatic과 aliphatic amino acids로부터 유도된 side chain, sulfonated oxime, thioglucose moiety를 가짐으로써 만들어지는 식물 이차대사산물이다. 지금까지 약 130개의 glucosinolate이 자연에서 동정되었다. Glucosinolate은 식물내에 있는 내성의 thioglucosidases와 myrosinases가 함께 작용한다. 곤충이 식물을 먹음으로써 식물의 조직이 파괴되고 그때 glucosinolate는 myrosinases에 의해 가수분해가 된다. 이것은 isothiocyanates, nitriles, thiocyanates를 포함하고 있는 다양한 생물학적 활성을 가지고 있는 물질의 형성을 이끈다. 최근 glucosinolate는 항암효과, 항산화, 항균력 때문에 많은 주목을 받고 있다(Fahey et al., 1997; Talalay and Fahey, 2001; Fahey et al., 2002).

토양미생물 중 *Agrobacterium rhizogenes*가 식물체에 침입하여 그 토양미생물이 가지고 있는 Ri (root induction)-플라스미드(plasmid) 내에 식물호르몬 옥신(auxin) 생산 관련 유전자가 들어있는 T-DNA가 식물체 염색체에 들어가 발현하면 자발적 병증상의 하나로 잔뿌리가 발생하는데 착안을 하여 기내에서 모상근을 이용하여 식물 유용물질을 생산하고자 하는 연구는 1980년대부터 활발히 진행되어 왔다(Sevón and Oksman-Caldentey, 2002; Chandra, 2012; Bahramnejad et al., 2019) 모상근 배양은 본 식물체 보다 더 많은 양의 약리물질을 생산할 수 있으며 빠른 시간 내 물질 생산할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 물질 생산 및 뿌리 생육의 극대화를 위해 배지 조성 및 물질생산을 촉진할 수 있는 물질 첨가 등 배양 환경의 최적 조건을 확립하면 기내에서도 효과적으로 유용물질을 연중 생산할 수 있다. 또한 최근에는 형질전환 모상근 시스템을 이용하여 functional genomic의 도구로도 활용하고 있다(Gutierrez-Valdes et al., 2020; Li and Wang, 2021; Roy, 2021).

배추를 대상으로 *A. rhizogenes* 형질전환을 이용한 모상근 유도, 형질전환, 배양을 통한 기능성물질 생산에 관한 연구는 보고되었다(Zang et al., 2008; Bong et al., 2015; Aires and Carvalho, 2017; Kim et al., 2018; Aires et al., 2019; Neumann et al., 2020; Li et al., 2021) 하지만 배추의 다양한 품종을 대상으로 *A. rhizogenes* 감응성에 관한 연구는 보고된 바가 없어 본 연구에서는 국내 육성한 6개 품종을 대상으로 *A. rhizogenes* 감염시 모상근 유도, 유도된 모상근의 생육, glucosinolate 생산에 관한 차이점을 조사하였다.

## Materials and Methods

### 식물재료

배추(*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) 종자는 아시아종묘(Seoul, Korea)에서 춘동102(Chundong 102), 노랑미니배추(Asia No Rang Mini), 휘모리골드(Hwimori Gold), 아시아서울(Asia Seoul), 월동춘채(Wol Dong Chun Chae), 뿌리배추(Asia Bbu Ri) 총 6개 품종을 구입하여 4°C의 냉장고에 보관하였다. 배추 품종은 파종 시기와 형태적인 차이가 있는 품종을 분류하여 선택하였다. 배추 종자는 70% 에탄올에 1분간 침지하고 다시 2% sodium hypochlorite 용액에 침지 후 10분간 천천히 흔들어주며 종자 소독을 마치고 멸균수로 3회 세척하였다. 약 7개의 종자를 25 mL의 MS (Murashige and Skoog, 1962) 고체배지가 든 Petri dishes (100 × 15 mm)에서 배양을 하였다. 배양실 조건은 25°C에 백열등 하에서 16시간 광상태로 유지되었다.

## 토양미생물배양

모상근 유도를 위해 *A. rhizogenes* R1000을 이용하였으며 배양은 Bong 등(2015)이 보고한 방법과 같이 Luria-Bertani 액체배지 (1% [w·v<sup>-1</sup>] tryptone, 0.5% [w·v<sup>-1</sup>] yeast extract, and 1% [w·v<sup>-1</sup>] NaCl, pH 7.0)에서 16시간 동안 암 상태로 28°C의 진탕 배양기에서 180 rpm으로 배양을 하였다. 배양된 박테리아는 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm에서 10분간 회전 후 모아진 박테리아를 MS 액체배지로 밀도를 A600 = 1.0 이 되게 조절하였다.

## 모상근 유도 및 배양

배추 모상근 유도는 Bong 등(2015)이 보고한 방법과 같이 발아된 6 품종의 배추 하배축을 잘라서 토양미생물인 *A. rhizogenes* R1000을 희석한 MS 액체배지에서 약 15분간 공동 배양을 한 후 멸균된 거름종이에서 박테리아를 어느 정도 제거 후 호르몬이 처리되지 않은 MS 고체배지에서 옮긴 후 이틀간 암 상태에서 공동 배양을 하였다. 이틀간 공동 배양 후 멸균수를 이용하여 3회 세척을 하여 박테리아를 제거 후 호르몬이 처리되지 않고 항생제 cefotaxime 500 mg·L<sup>-1</sup>이 처리된 1/2 MS 고체배지(half strength MS salts and vitamins, 3% (w·v<sup>-1</sup>) sucrose, and 8 g·L<sup>-1</sup> Phytagar)에서 배양을 하였다. 암상태에서 2 주 배양에 모상근이 유도되었다. 모상근은 1/2 MS 고체배지에서 4주에 한번씩 계대배양을 약 2달간 지속하였으며, 빨리 자라는 모상근을 선발하여 1/2 MS 액체배지로 옮겨 배양을 하였다. 모상근 (100 mg) 은 30 mL의 1/2 MS 액체배지가 든 삼각플라스크(125 mL)에서 암상태로 25°C의 진탕배양기에서 100 rpm으로 2주간 배양 후 수확하였다. 수확한 모상근은 냉동 건조하여 건물중을 측정하고, 곱게 갈아 분석을 위한 시료로 이용하였다.

## Glucosinolate 성분 분석

Glucosinolate 추출 방법은 ISO 9167-1 (ISO Norm, 1992)에 의하여 DEAE-Sephadex A-25를 통하여 H<sup>+</sup> 형태로 활성화 한 뒤, aryl sulfatase에 의해 desulfation하여 분석하는 방법이 널리 알려져 있기 때문에 본 연구에서도 위와 같은 방법을 이용하여, 다음과 같은 추출 방법을 확립하였다(Table 1). 2.0 mL tube에 100 mg씩 평량한 분말시료에 boiling (약 70°C) 70% (v·v<sup>-1</sup>) MeOH (1.5 mL)를 넣고 진동혼합(vortex)을 한 후 항온수조(water bath) (70°C)에 2분 동안 넣어 두었으며, 2분 후에 진동혼합을 한 번 더하고 항온수조에 3분 동안 넣어둔 후 원심분리(12,000 rpm, 10 min, 4°C)하여 상층액을 수거하였다. 이 과정을 2번 더 반복하여 각 상층액을 합하였다. Mini-column 충전용 DEAE-Sephadex A-25 (30 g dry wt.)는 초순수에 녹여 분액여두에 넣은 다음 약 1.5배(v·v<sup>-1</sup>)의 초순수를 흘려 보내고 거의 빠져나간 후, sodium acetate (0.5 M, 102 g·1.5 L<sup>-1</sup>)를 넣어 H<sup>+</sup>형태로 활성화시키고, 다시 초순수로 세척하였다. Mini-column 제작은 1 mL pipette tip 끝을 탈지면으로 막고 상기의 활성화된 DEAE-Sephadex A-25 (약 40 mg dry wt.)를 기포가 생기지 않게 주의하면서 pasteur pipette으로 조금씩 넣은 다음(약 4 cm) glucosinolate 조추출물을 pasteur pipette으로 로딩하였다. 추출물이 모두 빠져나가면, 초순수로 세척하여 중성 및 양이온을 세척하여 흘려 보낸 다음, column 아래 부분을 paraffin film으로 막고 aryl sulfatase solution (115 mg·5 mL<sup>-1</sup>, desulfation) 75 µL을 수평으로 로딩하고 column 윗부분을 paraffin film으로 막고 충분한 효소반응을 위하여 실험실 상온에서 다음 날(약 16 - 18시간)까지 정치한다. 초순수를 0.5 mL씩 흘려서 desulfo-glucosinolate를 2.0 mL tube에 용출(0.5 mL씩 총 3회)시킴. 용출시킨 시료는 0.45 µm hydrophilic PTFE millipore filter (직경 13 mm)로 필터한 후 HPLC (high performance liquid chromatography)용 vial 병에 넣어 냉장 보관하였다.

**Table 1.** HPLC operating conditions for analysis of glucosinolate.

Item	Operating condition		
HPLC	Agilent Technologies 1200 series HPLC system		
Column	Inertsil ODS-3 column (150 × 3.0 mm i.d., particle size 3 μm)		
Mobile phase	A) Water B) Acetonitrile		
Flow rate	0.4 mL·min <sup>-1</sup>		
Column temperature	40°C		
Injection volume	10 μL		
Gradient elution	Time (min)	Solvent A (%)	Solvent B (%)
	0 - 2	100	0
	2 - 7	90	10
	7 - 16	69	31
	16 - 19	69	31
	19 - 21	100	0
	21 - 27	100	0
UV condition	Wavelength	227 nm	

HPLC에 의한 glucosinolate 분석은 Park 등(2017)이 보고한 방법과 같이 Inertsil ODS-3 column (150 × 3.0 mm i.d., particle size 3 μm, GL Sciences, Tokyo, Japan)을 장착한 Agilent 1200 Series HPLC Systems (Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다(Table 1).

## 통계처리

실험결과는 3반복으로 얻은 값이고, mean ± SD로 나타냈으며, 각 그룹간의 통계처리는 Duncan's multiple range test를 이용하였다(Lowry et al., 1951).

## Results and Discussion

### 배추 모상근 유도

배추의 품종의 *A. rhizogenes* R1000 감응성에 관한 연구를 위하여 *A. rhizogenes* R1000 감염시 모상근 유도에 관한 실험을 수행하였다. 국내 육성한 6개 품종, 춘동102 (Chundong 102), 노랑미니배추(Asia No Rang Mini), 휘모리골드(Hwimori Gold), 아시아서울(Asia Seoul), 월동춘채(Wol Dong Chun Chae), 뿌리배추(Asia Bbu Ri)를 기내에서 발아시킨 후 배양 10일 후 하배축을 실험재료로 이용을 하였다. 모상근 유도를 위하여 토양미생물인 *A. rhizogenes* R1000을 이용하였다. *A. rhizogenes* R1000을 배양하여 절단한 배추 하배축을 2일 간 공동배양 후 *A. rhizogenes*를 제거하기 위하여 항생제 Cefotaxime 500 mg·L<sup>-1</sup>가 처리된 MS 고체배지에서 배양한 결과 2주후 조직의 감염 부위로부터 모상근이 유도되기 시작하였다. 배양 5주차에 배추 품종에 따른 모상근 유도율, 절편당 유도된 모상근 수, 그리고 유도된 모상근의 길이를 측정하였다(Table 2).

품종 별 모상근 유도율은 100개의 절편에서 모상근이 유도된 절편의 수를 백분율로 나타냈으며, 조사한 결과 노랑미니배추가 95%의 유도율을 나타내며 가장 높은 유도율을 나타냈다. 그 다음은 휘모리골드, 춘동 102, 아시아서울, 월동춘채, 뿌리배추 순으로 높은 유도율을 보였다. 뿌리배추가 78%의 가장 낮은 유도율을 나타냈다.

**Table 2.** Effects of different cultivar on hairy root induction of *Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis* after 5 weeks in culture with 1/2 MS solid medium.

Cultivar	Infection efficiency (%)	Number of hairy roots/explants	Length of hairy root (cm)
Chundong 102	91	7.6 ± 0.65ab	1.54 ± 0.15ab
Asia No Rang Mini	95	8.4 ± 0.62a	1.64 ± 0.13a
Hwimori Gold	93	7.2 ± 0.51bc	1.58 ± 0.16ab
Asia Seoul	89	6.4 ± 0.63c	1.47 ± 0.14ab
Wol Dong Chun Chae	85	6.3 ± 0.71c	1.51 ± 0.15ab
Asia Bbu Ri	78	4.9 ± 0.35d	1.29 ± 0.18b

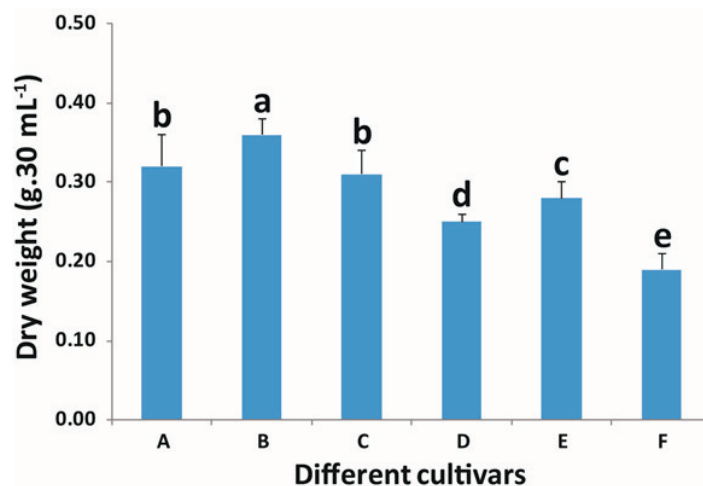
a - d: Values followed by different letters within a row indicate a significantly different ( $p < 0.05$ ).

품종별 절편당 유도된 모상근 수를 조사한 결과, 노랑미니배추가 평균 8.4개로 가장 많은 모상근이 유도되었다. 그리고 춘동 102, 휘모리골드, 아시아서울, 월동춘채, 뿌리배추 순으로 많은 모상근 유도수를 나타냈다. 뿌리배추가 평균 4.9개의 모상근 유도수를 나타내어 가장 낮은 수치를 보였다. 품종별 절편당 유도된 모상근 수는 품종간 차이를 나타냈으며 모상근 유도율과 비슷한 경향을 나타냈다.

품종별 유도된 모상근의 길이를 측정된 결과, 노랑미니배추가 평균 1.64 cm로 가장 높은 길이 신장을 하는 것으로 나타났다. 그리고 휘모리골드, 춘동 102, 월동춘채, 아시아 서울, 뿌리배추 순으로 가장 높은 길이 신장을 하는 것으로 나타났다. 뿌리배추가 평균 1.29 cm로 낮은 길이 신장을 하는 것으로 나타났다.

종합적으로 6개의 배추 품종 중 *A. rhizogenes* R1000 감염시 노랑미니배추가 모상근 유도율, 절편당 유도된 모상근 수, 그리고 유도된 모상근의 길이가 가장 높은 것으로 나타났으며 반대로 뿌리배추가 가장 낮은 수치를 나타냈다.

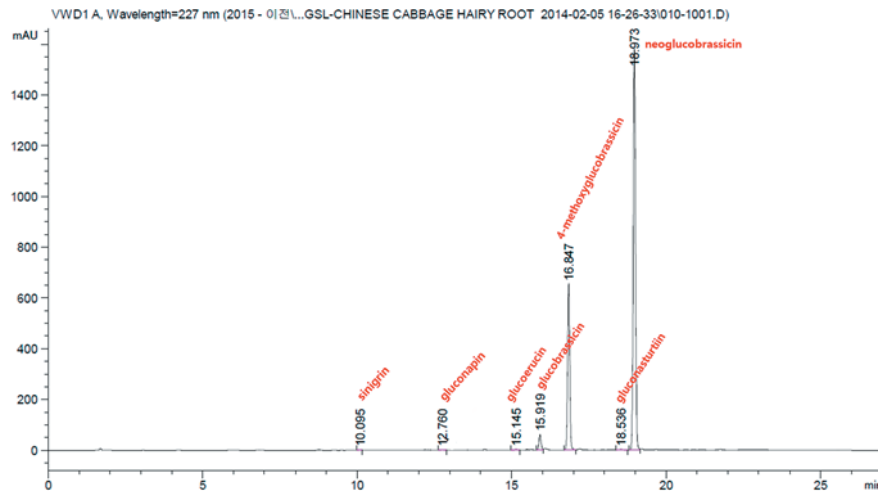
6개의 품종에서 유도된 모상근은 1/2 MS 항생제가 처리된 배지에서 4주에 한번씩 계대배양을 약 2달간 지속하면서 *A. rhizogenes* R1000을 완전히 제거 후 모상근을 1/2 MS 액체배지가 30 mL 든 삼각플라스크(125 mL)에서 암상태로 25°C의 진탕배양기에서 2주간 배양 후 수확하였다. 수확한 모상근은 냉동 건조하여 건물중을 측정하였다. 품종별로 유도된 모상근을 액체배양 후 건물중을 측정된 결과, 노랑미니배추가 평균 0.36 g으로 가장 건물중을 나타냈다. 그리고 춘동 102, 휘모리골드, 월동춘채, 시아서울, 뿌리배추 순으로 높은 건물중을 나타냈다. 뿌리배추가 평균 1.9 g으로 가장 낮은 건물중을 수치를 보였다. 품종별로 유도된 모상근시 배양시 건물중은 품종간 차이를 보였다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Effects of different cultivar on hairy root growth of *Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis* after 2 weeks in culture with 1/2 MS liquid medium. A, Chundong 102; B, Asia No Rang Mini; C, Hwimori Gold; D, Asia Seoul; E, Wol Dong Chun Chae; F, Asia Bbu Ri.

배추 품종별 모상근을 2주간 배양 후 수확하여 glucosinolate 함량을 분석하였다. HPLC 분석기기를 이용하여 배추 모상근 내 glucosinolate를 분석한 결과, Fig. 2에서 보는 HPLC chromatograms와 같이 4-methoxyglucobrassicin, glucobrassicin, glucoerucin, gluconapin, gluconasturtiin, neoglucobrassicin, sinigrin, 총 7종의 glucosinolate가 존재하는 것을 알 수 있었다. 배추 품종 별로 분석한 7종의 glucosinolate 함량을 조사하여 정리하였다(Fig. 3). Sinigrin은 뿌리배추에서 검출되지 않았지만 다른 5품종에서는 검출이 되었다. 노랑미니배추에서 평균  $0.40 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt. 으로 가장 높은 함량을 보였으며, 휘모리골드, 월동춘채, 아시아서울, 춘동 102 순으로 높은 함량을 나타냈다. Gluconapin은 6품종 모두 존재하였으며, 노랑미니배추에서 평균  $0.14 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt.으로 가장 높은 함량을 보였으며, 춘동 102, 월동춘채, 아시아서울, 뿌리배추 휘모리골드 순으로 높은 함량을 나타냈다. Glucoerucin도 6품종 모두 존재하였으며 월동춘채에서 평균  $0.15 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt. 으로 가장 높은 함량을 보였으며, 뿌리배추 춘동102, 노랑미니배추, 아시아서울, 휘모리골드, 순으로 높은 함량을 나타냈다. Glucobrassicin은 6품종 모두 존재하였으며 휘모리골드에서 평균  $3.01 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt. 으로 가장 높은 함량을 보였으며, 노랑미니배추, 아시아서울, 춘동102, 월동춘채, 뿌리배추 순으로 높은 함량을 나타냈다. 4-Methoxyglucobrassicin은 6품종 모두 존재하였으며 춘동102에서 평균  $10.36 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt.으로 가장 높은 함량을 보였으며, 노랑미니배추, 월동춘채, 휘모리골드, 아시아서울, 뿌리배추 순으로 높은 함량을 나타냈다. Gluconasturtiin은 은 뿌리배추에서 검출되지 않았지만 다른 5품종에서는 검출이 되었다. 노랑미니배추, 휘모리골드 두 품종에서 평균  $0.44 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt.으로 가장 높은 함량을 보였으며, 춘동102, 월동춘채, 아시아서울 순으로 높은 함량을 나타냈다. Neoglucobrassicin은 6품종 모두 존재하였으며 노랑미니배추에서 평균  $16.45 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt.으로 가장 높은 함량을 보였으며, 휘모리골드, 춘동102, 아시아서울, 월동춘채, 뿌리배추 순으로 높은 함량을 나타냈다.

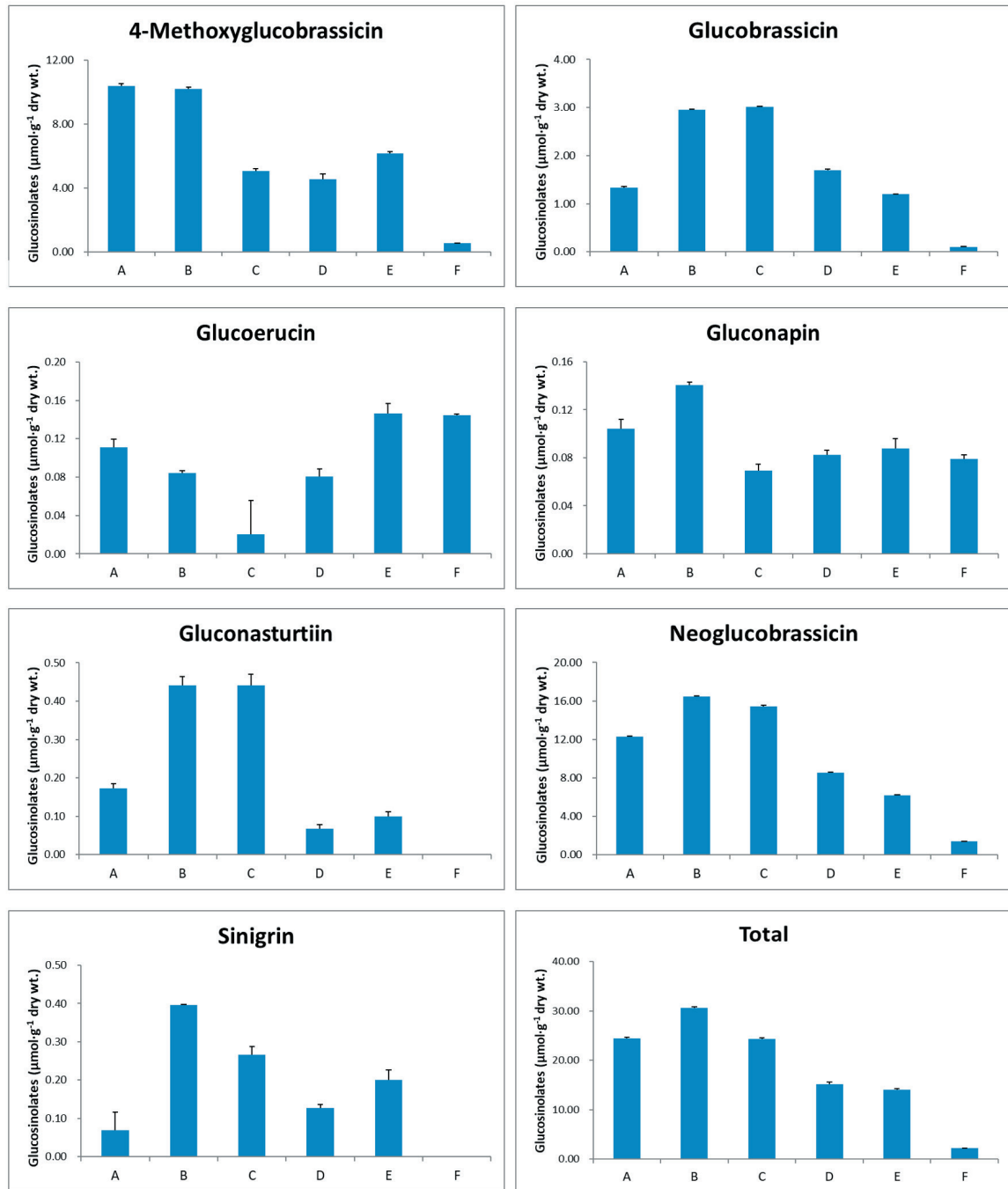
7개의 물질을 합산한 결과 총 glucosinolate 함량은 노랑미니배추가 가장 높았으며 반면 뿌리 배추에서 가장 낮게 나타났다.



**Fig. 2.** Selected high performance liquid chromatography (HPLC) chromatograms of glucosinolate extracted from hairy root of *Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis* (cv. Asia No Rang Mini).

식물이 토양미생물 중 *A. rhizogenes*에 감염되면 병징의 발현으로 잔뿌리가 발생하는데 이것을 모상근이라고 한다(Matveeva, 2018). 모상근은 호르몬 공급 없이 빠른 성장을 보이고 유전적, 생화학적으로 안정성이 있으며, 성분도 모식물체와 동일하거나 오히려 높은 경우도 있어 천연물질의 생산에 좋은 재료로 사용할 수 있어 그 가능성도 높은 것으로 알려졌다. 실제로 모상근 배양을 통하여 다양한 이차대사산물을 얻고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다(Gantait and Mukherjee, 2021). 배추에서도 모상근을 유도하여 기능성물질인 glucosinolate를 생산하고자 하

는 시도가 있었으며, 특히 elicitor 처리와 상처 처리를 통하여 glucosinolate 생산량을 증가시키려는 시도가 있었다 (Bong et al., 2015; Kim et al., 2018). 배추 품종에 따른 *A. rhizogenes* 감응성에 관한 결과는 아직 보고된 바는 없지만, 땅콩의 종피 색이 다른 품종(Park et al., 2021), 엽색이 녹색과 적색인 바질 품종(Kwon et al., 2021), 엽색이 녹색과 적색인 케일 품종(Cuong et al., 2019), 엽색이 녹색과 적색인 갓 품종(Cuong et al., 2018)에서 모상근의 유도, 유도된 모상근의 생육, 이차대사산물 생산에 차이가 있다는 보고가 있었다.



**Fig. 3.** Effects of different cultivar on glucosinolate ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  dry wt.) accumulation in hairy root culture of *Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis* after 2 weeks in culture with 1/2 MS liquid medium. A, Chundong 102; B, Asia No Rang Mini; C, Hwimori Gold; D, Asia Seoul; E, Wol Dong Chun Chae; F, Asia Bbu Ri.

## Conclusion

본 논문에서는 배추 품종에 따른 *A. rhizogenes* 감응성에 관한 연구는 처음 시도가 되었으며 배추 품종에 따라 *A. rhizogenes* 감염시 모상근 유도, 유도된 모상근의 생육, glucosinolate 생산에 차이가 있다는 것을 알게 되었다. 본 연구 결과를 바탕으로 향후 배추과 작물에서 모상근 배양을 통한 glucosinolate 생산 시도 시 품종의 선택이 중요한 것을 제안할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 향후 배추 모상근 배양으로 glucosinolate 생산 연구나, 배추 모상근 유전자 변형을 통한 glucosinolate 생합성 대사공학 연구에 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgements

이 논문은 2019년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

## Authors Information

Sang Un Park, <https://orcid.org/0000-0003-2157-2246>

Sook Young Lee, <https://orcid.org/0000-0002-1944-1274>

## References

- Aires A, Carvalho R. 2017. Rapid separation of indole glucosinolates in roots of Chinese cabbage (*Brassica rapa* Subsp. *Pekinensis*) by high-performance liquid chromatography with diode array detection. *International Journal of Analytical Chemistry* 2017:5125329.
- Aires A, Neumann M, Ludwig-Müller J, Schöpe M, van Pée KH. 2019. Induced production of indol-3-ylmethyl glucosinolates in hairy roots of Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*): Perspectives to enhance the content of bioactive compounds. *Acta Horticulturae* 1242:49-56.
- Almuhayawi MS, AbdElgawad H, Al Jaouni SK, Selim S, Hassan AHA, Khamis G. 2020. Elevated CO<sub>2</sub> improves glucosinolate metabolism and stimulates anticancer and anti-inflammatory properties of broccoli sprouts. *Food Chemistry* 328:127102.
- Bahramnejad B, Naji M, Bose R, Jha S. 2019. A critical review on use of *Agrobacterium rhizogenes* and their associated binary vectors for plant transformation. *Biotechnology Advances* 37:107405.
- Bong SJ, Uddin MR, Kim SJ, Park JS, Park SU. 2015. Influence of auxins and wounding on glucosinolate biosynthesis in hairy root cultures of Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*). *Biosciences Biotechnology Research Asia* 12:1041-1046.
- Chandra S. 2012. Natural plant genetic engineer *Agrobacterium rhizogenes*: Role of T-DNA in plant secondary metabolism. *Biotechnology Letter* 34:407-415.
- Cuong DM, Kim JK, Bong SJ, Baek SA, Jeon J, Park JS, Park SU. 2018. Comparative analysis of glucosinolates and metabolite profiling of green and red mustard (*Brassica juncea*) hairy roots. *3 Biotech* 8:382.



- Cuong DM, Park SU, Park CH, Kim NS, Bong SJ, Lee SY. 2019. Comparative analysis of glucosinolate production in hairy roots of green and red kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*). *Preparative Biochemistry and Biotechnology* 49:775-782.
- Fahey JW, Haristoy X, Dolan PM, Kensler TW, Scholtus I, Stephenson KK, Talalay P, Lozniewski A. 2002. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of *Helicobacter pylori* and prevents benzo[a]pyrene-induced stomach tumors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99:7610-7615.
- Fahey JW, Zhang Y, Talalay P. 1997. Broccoli sprouts: An exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:10367-10372.
- Gantait S, Mukherjee E. 2021. Hairy root culture technology: Applications, constraints and prospect. *Applied Microbiology and Biotechnology* 105:35-53.
- Gutierrez-Valdes N, Häkkinen ST, Lemasson C, Guillet M, Oksman-Caldentey KM, Ritala A, Cardon F. 2020. Hairy root cultures-A versatile tool with multiple applications. *Frontiers in Plant Science* 2020:33.
- Halkier BA, Gershenzon J. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annual Review of Plant Biology* 57:303-333.
- ISO (International Standard Organization) Norm. 1992. Rapeseed, I. Determination of glucosinolates content-part I: Method using high-performance liquid chromatography. ISO 9167-1: 1992. pp. 1-9. ISO, Geneva, Switzerland.
- Kim JK, Bong SJ, Park SU. 2018. Response of elicitors on glucosinolate biosynthesis in hairy root cultures of *Brassica rapa* subsp. *pekinensis*. *Bioscience Research* 15:287-294.
- Kwon DY, Kim YB, Kim JK, Park SU. 2021. Production of rosmarinic acid and correlated gene expression in hairy root cultures of green and purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Preparative Biochemistry and Biotechnology* 51:35-43.
- Li C, Wang M. 2021. Application of hairy root culture for bioactive compounds production in medicinal plants. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 22:592-608.
- Li X, Li H, Zhao Y, Zong P, Zhan Z, Piao Z. 2021. Establishment of a simple and efficient agrobacterium-mediated genetic transformation system to Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Horticultural Plant Journal* 7:117-128.
- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193:265-275.
- Matveeva TV. 2018. Agrobacterium-mediated transformation in the evolution of plants. *Current Topics in Microbiology and Immunology* 418:421-441.
- Murashige T, Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15:473-497.
- Neumann M, Prah S, Caputi L, Hill L, Kular B, Walter A, Patallo EP, Milbredt D, Aires A, Schöpe M, et al. 2020. Hairy root transformation of *Brassica rapa* with bacterial halogenase genes and regeneration to adult plants to modify production of indolic compounds. *Phytochemistry* 175:112371.
- Park KY, Jeong JK, Lee YE, Daily JW 3rd. 2014. Health benefits of Kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food. *Journal of Medicinal Food* 17:6-20.
- Park YE, Park CH, Yeo HJ, Chung YS, Park SU. 2021. Resveratrol biosynthesis in hairy root cultures of tan and purple seed coat peanuts. *Agronomy* 11:975.
- Park YJ, Chun JH, Woo H, Kim SJ. 2017. Effects of different sulfur ion concentration in nutrient solution and light source on glucosinolate contents in kale sprouts (*Brassica oleracea* var. *acephala*). *Korean Journal of Agricultural Science* 44:261-271. [in Korean]
- Patra JK, Das G, Paramithiotis S, Shin HS. 2016. Kimchi and other widely consumed traditional fermented foods of Korea: A review. *Frontiers in Microbiology* 7:1493.
- Roy A. 2021. Hairy root culture an alternative for bioactive compound production from medicinal plants. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 22:136-149.

- Sevón N, Oksman-Caldentey KM. 2002. *Agrobacterium rhizogenes*-mediated transformation: Root cultures as a source of alkaloids. *Planta Medica* 68:859-868.
- Talalay P, Fahey JW. 2001. Phytochemicals from cruciferous plants protect against cancer by modulating carcinogen metabolism. *Journal of Nutrition* 131:3027S-3033S.
- Zang YX, Kim JH, Park YD, Kim DH, Hong SB. 2008. Metabolic engineering of aliphatic glucosinolates in Chinese cabbage plants expressing *Arabidopsis* MAM1, CYP79F1, and CYP83A1. *BMB Reports* 41:472-478.