

새싹 마늘의 생육 기간에 따른 유효성분의 변화와 생리활성 연구

김동규¹ · 차건수² · 유승희¹ · 강민정¹

¹(재)남해마늘연구소
²남원시바이오산업연구원

Functional Component Changes and Physiological Activity of Sprouted Garlic During Growth Period

Dong-Gyu Kim¹, Gun Su Cha², Seung Hee Yoo¹, and Min Jung Kang¹

¹Namhae Garlic Research Institute
²Institute of Natural Bioindustry for Namwon

ABSTRACT Garlic sprouts offer diverse possibilities in the realm of functional and food processing materials. This study evaluated the quality characteristics of garlic sprouts by examining the components that change the germination process. The primary components of the leaves, bulbs, and roots were systematically compared at two-day intervals for 14 days. The alliin content in the stem part of garlic sprouts was approximately 56% higher than that of the garlic before sowing. The S-allyl cysteine content of the stems and roots increased approximately two-fold. Twenty-seven types of free amino acids were identified. In particular, the γ -aminobutyric acid content increased up to twice its original level. The total phenolic compounds experienced a significant increase, reaching approximately 81% and 75% in the stems and roots, respectively. A water extract from garlic sprouts effectively reduced nitric oxide and reactive oxygen species production compared to pre-sowing garlic at a concentration of 1,000 $\mu\text{g/mL}$. The increased active ingredients in garlic sprouts suggest potential utility in functional and food processing applications.

Keywords: garlic sprouts, alliin, SAC, GABA, antioxidant

서 론

최근 생활 수준과 소득 수준의 향상과 더불어 서구화된 식습관으로 고지방, 고열량의 육류 섭취가 증가함에 따라 과일이나 채소, 곡물 등의 섭취가 부족해져 있어 만성질환의 발병률이 증가하고 있다(Kityo 등, 2023). 이러한 문제로 인하여 질병 예방에 대한 관심도가 높아지면서 천연 유래 생리활성을 갖는 식물성 재료와 신선편이 채소류의 소비가 증가하고 있으며(Bae 등, 2022; Choi와 Bae, 2016), 아울러 식품의 선택 및 섭취에 의한 기능성 식품을 선호하는 추세이다(Ha 등, 2009).

새싹 채소는 싹이 발아한 후 3~9일 된 1~3개 정도의 잎을 가진 본잎이 나오기 전의 어린 떡잎 상태를 말하는데, 종자로부터 발아하여 떡잎이 전개될 때 또는 그 전 단계에서 모든 부위를 이용하거나 줄기 부분을 절단하여 이용하는 채소이다(Kim과 Lee, 2010). 일반적으로 새싹 채소로 많이 이

용되고 있는 작물로는 열무, 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추, 무 등이 있으며(Lee와 Oh, 2021), 최근 연구에 따르면 이러한 새싹 채소는 아미노산, 섬유질, 미량의 원소, 비타민과 플라보노이드 등의 페놀산을 함유하고 있어 기능성 식품으로 주목받고 있다(Paško 등, 2009, 2014).

특히 식물 종자의 발아는 영양성 강화, 소화성 향상, 독성 완화 및 기능성 물질 향상 방법으로 잘 알려져 있는데, 주요 연구 내용으로는 콩의 발아에 의한 이소플라본의 함량 증가 및 체내 흡수 개선 효과(Izumi 등, 2000; Kim 등, 2004a; Kim 등, 2004b), 발아 땅콩 추출물의 항산화 효과(Lee 등, 2007; Wojtyla 등, 2006), 발아현미의 γ -aminobutyric acid(GABA) 함량 증가에 따른 혈압강하, 비만 억제 및 콜레스테롤 저하 효과(Choi 등, 2006a, 2006b; Saikusa 등, 1994), 발아 메밀 추출물의 항산화, 항균 활성 및 세포독성(Hwang 등, 2006), 새싹 인삼의 saponin 성분을 활용하는 연구(Chang, 2003; Choi 등, 2009; Seog 등, 2004) 등이

Received 31 July 2025; Revised 6 August 2025; Accepted 7 August 2025

Corresponding author: Min Jung Kang, Namhae Garlic Research Institute, 2465-8, Namhae-daero, Idong-myeon, Namhae-gun, Gyeongnam 52430, Korea, E-mail: jung-75@hanmail.net

© 2025 The Korean Society of Food Science and Nutrition.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

있으나 새싹 마늘에 관한 관련 연구는 아직 미비한 실정이다.

마늘은 수 세기 동안 인간에게 중요한 음식 및 의약적 역할을 하는 식품이었으며, 고대에서부터 재배되어 향신료와 향료로 사용하면서 독특한 향미와 항균 작용으로 인해 예방 및 치료 의약 성분을 가진 식품으로 수많은 문화에서 이용되어 왔다(Rivlin, 2001).

마늘의 주요 유효성분은 황화합물로서 alliin 등의 S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxide류와 γ -glutamyl-L-cysteine 유도체 펩타이드류인 γ -glutamyl-S-allyl-L-cysteine(GSAC) 및 γ -glutamyl-S-1-propenyl-L-cysteine(GS1PC)과 이들의 반응생성물인 S-allyl-L-cysteine(SAC)과 S-1-propenyl-L-cysteine(S1PC) 등이 있다(Kodera 등, 2017; Oh와 Kyung, 2011).

Alliin은 항암(Le Bon 등, 2003), 고지혈증 억제(Itokawa 등, 1973), 항당뇨(Sheela와 Augusti, 1995) 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, GSAC로부터 생성되는 SAC는 혈중 포도당 수준의 조절(Saravanan과 Ponmurugan, 2010, 2012a), 심혈관질환 개선 효과(Ried 등, 2010; Shouk 등, 2014), 혈중 지질 개선(Saravanan과 Ponmurugan, 2012b; Sohn 등, 2012)에 대한 효과 등이 보고된다. GS1PC로부터 생성되는 S1PC는 SAC와 마찬가지로 심혈관질환 개선 및 혈중 지질 개선에 효능이 있다고 알려져 있다(Kodera 등, 2017).

새싹 채소에 대한 관심 증가와 더불어 마늘도 새싹이 될 때 기능성 물질에 관한 연구가 진행되는데, 인돌산 및 페놀 화합물, α -리놀렌산의 함량이 증가하여 항염 및 항산화 활성을 갖는다는 보고(Gdula-Argasinska 등, 2017)와 수경 재배를 통한 새싹 마늘의 이화학적 및 항산화 특성 연구(Kim, 2022b), 이를 활용한 새싹 막걸리의 품질 특성(Kim, 2022a)이 있다. 재배 특성에 관한 연구는 스마트팜 생산 새싹 마늘의 부위별 및 생육 기간에 따른 품질 특성(Choi 등, 2023), 온도 및 광 조건에 따른 마늘 새싹의 생육 특성 연구(Min, 2022)가 있다. 이 외에도 마늘의 새싹을 활용한 제품 연구는 일부 있으나 새싹이 되면서 황화합물의 변화 등 기능성 연구는 아직 미진하여 마늘 새싹의 주요 성분 변화 및 이에 관련된 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 마늘이 발아 과정에서 변화하는 주요 유효 물질의 함량 변화와 발아하면서 변화하는 기능성 물질 등을 종합적으로 분석하고 새싹 마늘의 생리활성 규명을 통해 마늘 새싹의 품질 특성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

재료 및 새싹 마늘 재배 방법

본 실험에 사용된 마늘은 경상남도 남해군에 위치한 새남해농협에서 2022년산 남도마늘을 구입하여 쪽 분리한 후 사용하였다. 새싹 마늘 재배는 남해군에 위치한 밀폐형 식물

공장 시스템에서 원예상토(상토2호, 한아름)를 이용하여 토양재배 하였다. 파종은 육묘 플러그 50공 트레이를 사용하였다. 식물공장 시스템 내의 온도는 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였고, 광은 LED로 처리하였으며, 명암 주기는 16시간 명기와 8시간 암시 조건(Lee 등, 2022)을 유지하였다. 시료의 확보는 파종 뒤 2일 간격으로 최대 14일간 수확하였으며 수확한 마늘은 뿌리, 구, 줄기 부분을 각각 나누어 동결건조기(FD8512, ilShinBioBase Co., Ltd.)를 이용하여 분말화하여 시료로 사용하였다.

마늘은 파종 후 2일 차부터 뿌리를 내리기 시작하여 4일 차부터 싹을 틔우기 시작하였다. 파종 후 14일 차에는 줄기의 길이가 최대 약 20 cm로 성장하였다(Fig. 1). 본 실험에 사용된 시료의 구분은 2일 간격으로 14일까지 회수하였고, 이때 6일까지는 싹과 줄기, 뿌리를 구분하지 않은 생육 전체를 하나의 시료로 활용하였으며, 8일에서 14일까지는 전체와 뿌리, 구, 줄기를 나눈 부위별 시료까지 각각을 분석하였다.

시약 및 표준물질

총 페놀화합물 분석을 위한 gallic acid는 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하였으며, alliin 정량 분석을 위한 alliin은 ChromaDex Inc.에서 구입하였다. 황화합물 분석에 사용된 SAC는 Sigma-Aldrich Co., GSAC는 VWR, GS1PC는 MedChem Express에서 각각 구입하여 표준 검량선 작성 및 분석에 활용하였다. 세포 실험에 사용된 MTT는 Amresco, lipopolysaccharide(LPS)는 Sigma-Aldrich Co., 2',7'-dichlorodihydrofluorescein diacetate(DCFH-DA)는 Cell Biolabs Inc.에서 구입하였다. 그 외 사용된 모든 시약은 분석용 또는 시약급 이상을 사용하였다.

세포 실험을 위한 추출물 제조

세포 실험을 위한 물 추출물 제조는 마늘과 재배 완료 단계인 14일 차 새싹 마늘을 각각 100 g에 10배의 증류수를 넣고 70°C 에서 5시간 항온수조(JSWB-30T, JS Research Inc.)에서 추출한 후 여과지(No. 2, Advantec)로 여과하였다. 여과된 시료는 동결건조기를 이용하여 분말화하여 분석용 시료로 사용하였다.

총 페놀화합물 함량

총 페놀화합물 함량은 Folin-Ciocalteu 시약을 이용한 Folin-Denis 법(Hong 등, 2011)에 따라 시료 0.5 g에 증류수 24.5 mL를 가하여 균질화한 후 30분간 초음파추출기(Power Sonic 420, Hwashintech)로 추출하였다. 추출된 혼합액은 여과지(No. 2, Advantec)로 여과한 다음 시료액 1 mL에 증류수 1 mL를 첨가하고, Folin-Ciocalteu 시약 및 10% sodium carbonate를 각각 0.5 mL 혼합하여 실온에서 45분간 정치한 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 추출물의 흡광도는 표준용액인 gallic acid(Sigma-

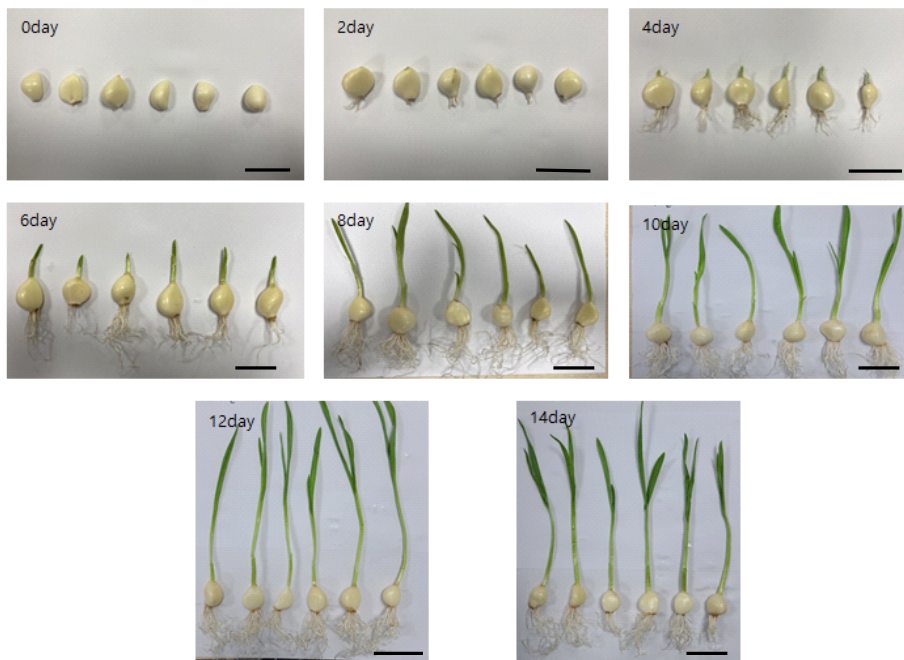


Fig. 1. The sprouting of garlic bulbs from 0 to 14 days under soil cultivation conditions. Scale bar=4 cm.

Aldrich Co.)를 사용하여 시료액과 동일한 방법으로 분석하여 작성된 표준검량곡선을 이용하여 총 페놀 함량을 산출하였다.

Alliin 함량

새싹 마늘의 alliin 함량은 각각의 시료 1 g을 정확히 칭량하여 formic acid로 pH가 3.0이 되도록 조절된 80% MeOH을 29 mL 가한 후 진탕하여 초음파 추출기(Power Sonic 420, Hwashintech)에서 30분간 추출 후 0.2 µm membrane filter(Pall Gelman Laboratory)로 여과하여 분석하였다. 분석기기는 Agilent 1260(Agilent Technologies Inc.)을 사용하였으며, 칼럼은 YMC-Triart C18(3.0×150 mm, 5 µm, YMC Co., Ltd.)을 사용하여 분리하였다. 이동상은 20 mM 인산이수소나트륨 10 mM, 헵탄설폰산나트륨 용액(pH 2.0)이 함유된 증류수 A와 아세트나이트릴 : 이동상(A)이 50:50으로 함유된 B를 사용하였다. 이동상의 기울기는 용매 A와 B를 gradient로 용리하여 분석하였다. 유속은 0.4 mL/min, injection volume은 10 µL로 분석하였으며 UV 파장은 208 nm에서 확인하였다. Alliin을 표준물질로 하여 얻은 검량선으로부터 함량을 계산하였다.

SAC, GSAC 및 GS1PC 함량

GSAC, GS1PC, SAC 및 S1PC 함량은 Woo 등(2022)의 방법에 따라 분석하였으며, 동결건조된 새싹 마늘 시료 1 g에 29 mL의 3차 증류수를 가하고 균질화하여 30분간 진탕 추출한 다음, 여과지로 여과한 여액을 0.22 µm membrane filter로 재여과하여 HPLC-MS/MS(TSQ Quantum Access Max, Thermo Scientific)의 electrospray ionization(ESI) 검출기를 이용하여 질량 분석하였다. ESI 검출기는 양이온

모드, scan rate는 0.5 spectra/s, collision energy는 10 eV로 설정하였으며, selected reaction monitoring(SAC: m/z 162→73,145; GSAC, GS1PC: m/z 291→73, 145, 162)으로 분석하였다. 분석컬럼은 Zorbax® C18 column (250 mm×4.6 mm, 5 µm, Agilent Technologies Inc.)을 사용하였으며, 이동상은 포름산이 0.1% 함유된 증류수(A)와 아세트나이트릴(B)을 사용하였다. 이동상의 기울기는 용매 A와 B를 gradient로 용리하여 분석하였다.

유리아미노산 함량

아미노산 함량은 시료 0.3 g에 증류수 10 mL를 첨가하여 진탕배양기(SI-600R, Jeio Tech)에 넣고 200 rpm으로 24 시간 동안 진탕하였다. 10%의 5-sulfosalicylic acid dihydrate 1 mL를 첨가한 후 4°C 냉장고에서 24시간 동안 방치하여 단백질을 침전시켰다. 3,400×g로 5분간 원심분리하여 상층액을 40°C 이하에서 감압농축기(EYELA N-1100V-W)를 이용하여 농축한 후 sample dilution buffer를 5 mL 첨가하여 용해하였다. 0.45 µm membrane filter로 여과하여 120 µL를 아미노산분석기(S7130 amino acid reagent organizer, Sykam GmbH)로 분석하였고, UV/VIS detector 400 nm(1.00 AU)와 570 nm(1.00 AU)로 검출하였다.

세포독성 평가

세포배양: 본 실험에 사용된 murine macrophage cell line인 RAW264.7은 Korean Cell Line Bank로부터 분양받아 1% penicillin-streptomycin과 10% fetal bovine serum이 함유된 Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM)을 사용하여 37°C, 5% CO₂ 항온기에서 배양하였으며, 3일에 한 번씩 계대배양 하였다. LPS(E. coli sero-

type 0111:B4)는 Sigma-Aldrich로부터 구입하여 사용하였다.

세포독성 측정: 새싹 마늘 추출물이 세포 생존에 미치는 영향은 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, a tetrazole(MTT, Amresco) 방법을 이용하여 측정하였다. RAW264.7 세포는 96-well plate에 1×10^4 cells/well이 되도록 180 μ L씩 분주하고 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 24시간 동안 배양하였다. 전배양에 사용된 배지 80 μ L를 제거하고 총부피 200 μ L가 되도록 증류수에 용해한 일정 농도의 시료를 100 μ L 첨가하여 48시간 동안 추가 배양하였다. 그 후 각 well에 MTT 용액(5 μ g/mL in distilled water)을 10 μ L씩 첨가하여 동일한 배양 조건에서 4시간 동안 배양하였고, 배양액을 모두 제거하고 각 well당 dimethyl sulfoxide(Gibco) 용액 100 μ L를 첨가하여 진탕 배양기에서 30분간 교반한 후 ELISA reader로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 세포독성은 무처리 대조군에 대한 백분율을 산출하였다.

In vitro 항산화 효능 평가

NO 생성 억제능 측정: RAW264.7 세포(1.5×10^6 cells/mL)를 18시간 전배양 후, 추출물을 농도별로 처리한 다음 30분 뒤에 LPS(1 μ g/mL)를 처리하여 24시간 배양하였다. 생성된 nitric oxide(NO)의 양은 Griess 시약을 이용하여 세포 배양액 중에 존재하는 NO²⁻ 형태로 측정하였다. 세포 배양 상등액 100 μ L와 Griess 시약[1%(w/v) sulfanilamide, 0.1%(w/v) nathylethylenediamine in 2.5%(v/v) phosphoric acid] 100 μ L를 혼합하여 96-well plate에서 10분 동안 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였고, LPS 단독 처리군에 대한 백분율을 산출하였다.

ROS 생성 억제능 측정: 새싹 마늘 추출물의 reactive oxygen species(ROS) 생성 억제 활성은 intracellular ROS assay kit(Cell Biolabs)을 이용하여 측정하였다. 96-Well black plate에 5×10^4 cell/well의 RAW264.7 cell을 분주한 후 배양하여 세포를 well에 부착시켜 serum free DMEM 배지로 교환하였다. 세포를 24시간 배양한 후 각 시료를 농

도별로 처리하여 37°C, 5% CO₂에서 24시간 더 배양하였다. Phosphate buffered saline(PBS)(pH 7.4)으로 3회 세척한 다음 $1 \times$ DCFH-DA를 배지에 100 μ L 첨가하여 1시간, 37°C, 5% CO₂에서 배양한 후 다시 PBS로 3회 세척하였다. Lysis buffer 100 μ L를 첨가하고 혼합한 후 microplate reader(Perkin-Elmer Inc.)로 excitation 485 nm, emission 535 nm에서 형광을 측정하여, LPS 단독 처리군에 대한 상대적인 ROS 생성 억제율로 표기하였다.

통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복하여 수행되었으며, 얻어진 데이터는 IBM SPSS Statistics 18(Statistical Analysis System, Version 9.4, SAS Institute Inc.)을 이용하여 통계 분석하였다. 각 실험군의 결과는 평균±표준편차로 나타냈으며, 일원배치 분산분석을 실시하여 유의한 차이를 확인하였다. 유의한 차이가 있는 경우 사후 검정으로 Student's *t*-test 및 Duncan의 다중 비교 검정을 수행하였다. 모든 통계적 유의성 검정은 *P*<0.05 수준에서 이루어졌다.

결과 및 고찰

생육 기간별 마늘의 총 페놀화합물 함량

새싹 마늘의 총 페놀화합물 함량은 Table 1과 같다. 파종 전 마늘의 총 페놀화합물은 약 293.56 mg/100 g이었으나 파종 후 시간에 지남에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 특히 파종 12일 후에는 약 462.82 mg/100 g으로 가장 높은 함량이었다. 마늘구의 총 페놀화합물은 14일 차에 약 328.73 mg/100 g으로 파종 전 대비 약 12%가 증가하였다. 반면 줄기는 파종 후 12일 차에 533.29 mg/100 g, 뿌리는 파종 후 8일 차에 515.61 mg/100 g으로 파종 전 마늘에 비해 각각 81%, 75% 증가하였다. Zakarova 등(2014)의 연구에 따르면 새싹 마늘의 페놀 성분과 항산화 활성이 발아가 진행될수록 현저히 높아진다고 보고하였다. 또한 Wojdylo 등(2020)은 새싹 채소는 일반 채소보다 폴리페놀 등의 기능성 생리활성 물질의 함량이 더 높다고 보고하였으며, Kim

Table 1. Total phenolic compounds content of garlic and garlic sprout (mg/100 g)

Growth period (day)	Garlic sprout	Stem	Bulb	Root
0	293.56±11.14 ^{de12)}	ND ⁴⁾	ND	ND
2	280.57±1.54 ^{de}	ND	ND	ND
4	299.82±2.82 ^d	ND	ND	ND
6	298.46±11.78 ^{de}	ND	ND	ND
8	321.46±7.41 ^{c3)}	438.26±19.13 ^{cB}	275.88±17.20 ^{cC}	515.61±7.87 ^{aA}
10	300.98±8.64 ^{dC}	497.92±2.04 ^{bA}	305.33±8.10 ^{bC}	464.79±3.42 ^{bB}
12	462.82±19.43 ^{aB}	533.29±38.30 ^{aA}	324.86±4.32 ^{aC}	430.10±37.57 ^{cB}
14	367.31±4.02 ^{bC}	478.26±22.33 ^{bA}	328.73±13.51 ^{aD}	428.87±19.40 ^{cB}

¹⁾Values are mean±SD (n=3).

²⁾Different small letters (a-e) in the same column indicates a significantly difference according to Duncan's multiple range test (*P*<0.05).

³⁾Different capital letters (A-D) in the same row indicates a significantly difference according to Duncan's multiple range test (*P*<0.05).

⁴⁾ND: not detected.

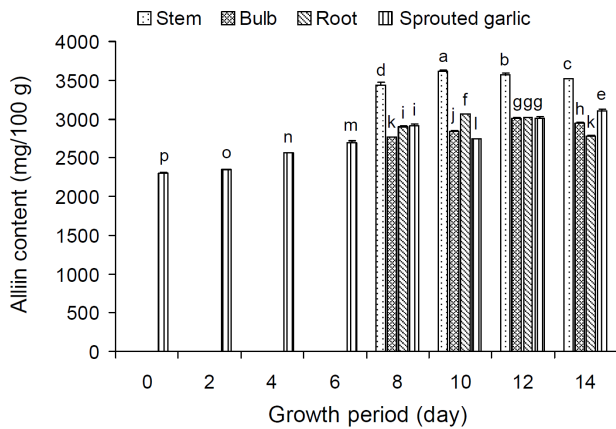


Fig. 2. Changes in alliin content of sprouted garlic and parts of sprouted garlic by a growth period. Data values were expressed as mean±SD (n=3). Bar with different letters are significant statistical difference ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

(2022b)은 마늘의 수경재배를 통해 새싹 마늘의 폐놀성 화합물이 재배 12일까지 유의적으로 증가한다고 하였다. 이러한 결과는 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다.

생육 기간별 마늘의 alliin 함량 분석

마늘을 파종 후 2일 간격으로 14일까지 재배기간에 따른

부위별 alliin 함량은 Fig. 2에 나타내었다. 파종 전 alliin의 함량은 약 2,300 mg/100 g이던 것이 파종 후 꾸준히 증가하여 14일 차에는 약 3,103 mg/100 g으로 약 34% 증가하였다. 재배기간에 따른 부위별 alliin 함량에서 뿌리는 파종 8일 차부터 14일 차까지 약 2,800~3,060 mg/100 g의 범위였고, 구는 약 2,900~3,000 mg/100 g의 범위였다. 특히, 줄기는 다른 부위보다 alliin 함량이 높았는데, 재배 10일 차에 최대 3,600 mg/100 g으로 높은 함량이었다.

Bloem 등(2010)은 재배 조건에서 배양토의 황 성분은 alliin의 함량을 증가시키며, ASFMO1(flavin-containing monooxygenase) 효소는 alliin의 생합성에서 S-oxygenation 반응을 담당하는데, 마늘이 싹이 트는 동안 저장된 GSAC를 alliin으로 전환하며, 이때 녹색의 잎에 새로운 alliin을 생성한다고 하였다(Yoshimoto 등, 2015). 본 연구에서도 새싹 마늘의 부위별 alliin 함량의 변화는 발아된 마늘은 구와 뿌리보다 줄기에서 더 크게 증가하였는데, 이는 선행 연구의 결과와 유사한 경향으로 추측된다.

생육 기간별 마늘의 SAC, GSAC, GS1PC 함량 분석

토양재배 조건에서 SAC의 함량은 Fig. 3A와 같다. 파종 전 SAC 함량은 약 100 mg/100 g이었으며, SAC는 재배기간 동안 점차 줄어들어 파종 후 8일 차에 약 27.96 mg/100 g으로 감소한 후 14일 차까지 미량 증가하다가 14일 차에

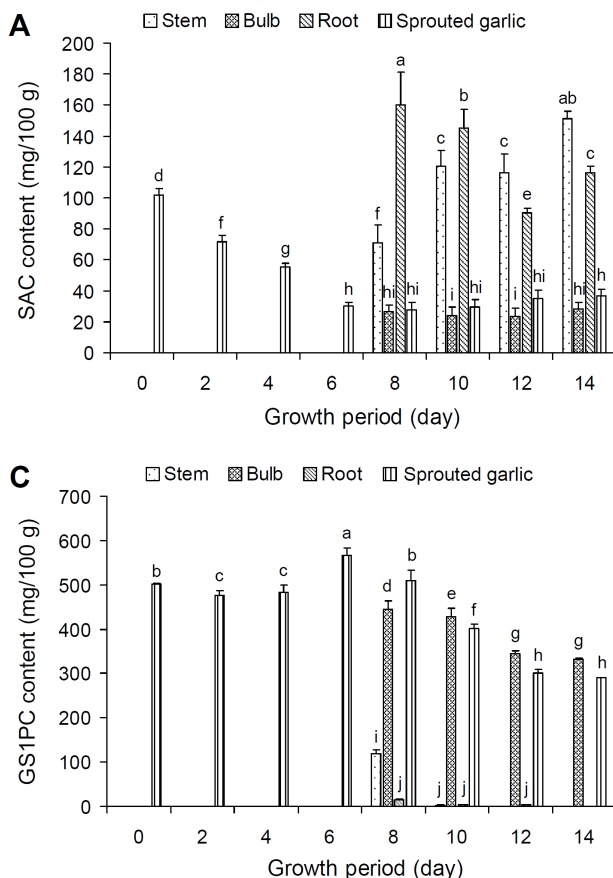


Fig. 3. Changes in *S*-allyl-L-cysteine (SAC) (A), γ -glutamyl-*S*-allyl-L-cysteine (GSAC) (B), and γ -glutamyl-*S*-1-propenyl-L-cysteine (GS1PC) (C) content of sprouted garlic and parts of sprouted garlic by a growth period. Data values were expressed as mean±SD (n=3). Bar with different letters are significant statistical difference ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

36.79 mg/100 g이었으나 통계적인 유의차는 없었다. 반면 마늘의 구 부분을 제외한 줄기와 뿌리에서는 SAC의 함량이 증가하는 경향을 보였다. 줄기의 경우 파종 후 8일 차에 약 71.06 mg/100 g이었던 함량이 14일 차에는 약 151.39 mg/100 g으로 2배 이상 증가하였고, 뿌리는 8일 차에 160.54 mg/100 g으로 재배 기간에 가장 높은 함량이었다. 이러한 결과는 뿌리와 줄기 각각은 파종 전 마늘에 비해 SAC가 50% 이상 증가하였다.

SAC의 전구체로 알려진 GSAC는 γ -glutamyl trans-peptidase(GGT) 또는 가수분해 반응을 통해 점차 SAC로 변환된다(Lawson, 1998). 본 실험에서는 파종 전 약 1,070 mg/100 g이던 GSAC의 함량이 점차 줄어들어 파종 14일 후에는 약 630 mg/100 g 함량으로 감소하였다(Fig. 3B). 이것은 파종 후 시간이 지남에 따라 GGT 또는 가수분해 반응을 통해 GSAC의 함량이 점차 줄어드는 것으로 예상할 수 있는데, 뿌리와 줄기 부위를 제외한 전체 마늘에서 SAC의 함량이 줄어드는 것으로 보아 SAC 이외의 물질로 변환하는 것으로 판단된다. Yoshimoto 등(2015)은 GSAC가 SAC의 S-oxygenation에 의해 alliin으로 변환될 수 있다고 하였다. 또한, GSAMC는 GSAC 및 GS1PC로부터 생성되며, GGT에 의해 SAMC로 전환된다고 하였다(Fujii 등, 2018). 이러한 점으로 미루어 보아 향후 마늘 발아 과정에서 감소하는 alliin, GSAC, SAC, GSAMC, SAMC 등과의 상관관계를 규명하여 새싹 마늘의 재배기간에 따른 황 화합물의 함량 변화에 관한 기초자료를 확보할 필요가 있을 것으로 사료된다.

S1PC의 전구체로 알려진 GS1PC 또한 새싹 마늘 재배기간에 따라 GSAC와 마찬가지로 점차 함량이 줄어드는 경향을 나타내었다. 즉 파종 전 약 500.77 mg/100 g이던 GS1PC의 함량이 재배기간에 따라 점차 줄어들어 파종 14일 후에는 약 290.22 mg/100 g으로 감소하였다(Fig. 3C). 반면 S1PC의 함량은 파종 전 약 13.33 mg/100 g을 함유한 것을 제외하고는 재배 전 과정에서 검출되지 않았다(자료 미제시). 이러한 경향은 GSAC의 경향과는 달리 GS1PC가 새싹 마늘 발아 과정에서 S1PC로의 전환 이외의 황 화합물로의 전환을 의미하는 것으로 추측된다.

새싹 마늘의 유리아미노산 함량

새싹 마늘의 유리아미노산을 함량은 Table 2와 같다. 총 유리아미노산의 함량은 파종 전 4,196.3 mg/100 g에서 파종 14일 후 4,456.9 mg/100 g으로 증가하였다. 또한 파종 전 마늘에서는 총 26종의 아미노산이 검출되었으나 파종 후 14일에는 총 25종이 검출되었다. 파종 전 마늘에서 가장 높은 함량을 보인 유리아미노산은 arginine으로 2,062.7 mg/100 g이었으나 파종 14일 후에는 1,019.2 mg/100 g으로 감소하였다. 반면 theanine의 함량은 파종 전 867.6 mg/100 g에서 파종 14일 후 1,155.2 mg/100 g으로 증가하였고, 일부 유리아미노산 함량이 증가하였다. 특히, aspartic acid는 2배, glutamic acid 7배, citrulline 4배 이상이 증가

Table 2. Free amino acid content of fresh garlic and sprouted garlic (mg/100 g)

Amino acids	Fresh garlic	Sprouted garlic
Phospho-L-serine	57.7±1.4 ^{hA1)2)3)}	19.5±0.4 ^{nB}
Taurine	9.7±0.2 ^p	ND ⁴⁾
Phosphoethanolamine	4.2±0.1 ^{sA}	3.0±0.5 ^{rB}
Aspartic acid	20.3±0.1 ^{nB}	40.2±0.4 ^{lA}
Hydroxy proline	ND	0.4±0.8 ^s
Threonine	10.8±0.1 ^{oB}	38.4±0.7 ^{lA}
Asparagine	74.7±0.7 ^{gB}	242.7±2.3 ^{fA}
Glutamic acid	50.7±0.1 ^{iB}	354.6±3.8 ^{eA}
Theanine	867.6±20.7 ^{bB}	1,155.2±32.1 ^{aA}
Alanine	75.8±65.6 ^f	ND
Citrulline	51.6±0.7 ^{iB}	246.5±2.6 ^{fA}
Valine	207.0±13.7 ^d	ND
Cystine	ND	331.7±3.5 ^d
Isoleucine	4.1±0.1 ^{sB}	19.9±2.2 ^{nA}
Leucine	11.6±0.4 ^{oB}	32.3±0.3 ^{mA}
Tyrosin	33.3±0.4 ^{iB}	117.8±1.4 ^{hA}
Phenylalanine	45.9±1.8 ^{iB}	62.8±0.4 ^{lA}
β -Alanine	73.7±1.0 ^{gB}	110.2±1.7 ^{hA}
β -Aminoisobutyric acid	8.4±0.3 ^{qB}	30.2±1.7 ^{mA}
γ -Aminobutyric acid	7.3±0.2 ^{rB}	16.9±0.5 ^{oA}
Histidine	4.4±1.4 ^{sB}	9.7±0.5 ^{pA}
3-Methylhistid	37.7±0.2 ^{kB}	46.8±0.6 ^{kA}
1-Methylhistid	0.6±0.1 ^{tB}	6.3±0.1 ^{qA}
Tryptophan	38.4±1.4 ^{kB}	93.9±1.8 ^{iA}
Omithine	23.0±1.4 ^{mA}	10.4±0.1 ^{pB}
Lysine	171.6±1.9 ^{eA}	169.8±2.2 ^{gA}
Ammonia	243.5±5.2 ^{cA}	278.5±1.2 ^{eA}
Arginine	2,062.7±10.1 ^{aA}	1,019.2±16.1 ^{bB}
Total	4,196.3±129.3	4,456.9±77.9

¹⁾Values are mean±SD (n=3).

²⁾Different small letters (a-t) in the same column indicates a significantly difference according to Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

³⁾Different capital letters (A,B) in the same row indicates a significantly difference according to Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

⁴⁾ND: not detected.

하여 새싹 마늘의 주요 아미노산으로 확인되었다. 또한 파종 전 7.3 mg/100 g이던 GABA는 파종 14일 후 16.9 mg/100 g으로 2배 이상 증가하였는데, GABA의 전구체로 알려진 glutamic acid 또한 50.7 mg/100 g에서 354.6 mg/100 g으로 재배기간 동안 크게 증가하였다. 이러한 결과는 향후 새싹 마늘 재배 과정에서의 GABA 함량을 증가시킬 수 있는 최적 조건을 개발하는 데 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

새싹 마늘 추출물의 항산화 활성

추출물의 세포 생존율: 파종 전 마늘(fresh garlic)과 새싹 마늘(sprouted garlic) 추출물의 RAW264.7 세포에 대한 세포 생존율을 알아보기 위해 추출물을 250~8,000 μ g/mL 농도로 처리한 후 LPS를 함께 처리하여 확인하였다. 파종 전 마늘 추출물은 8,000 μ g/mL의 농도에서 세포독성이 없

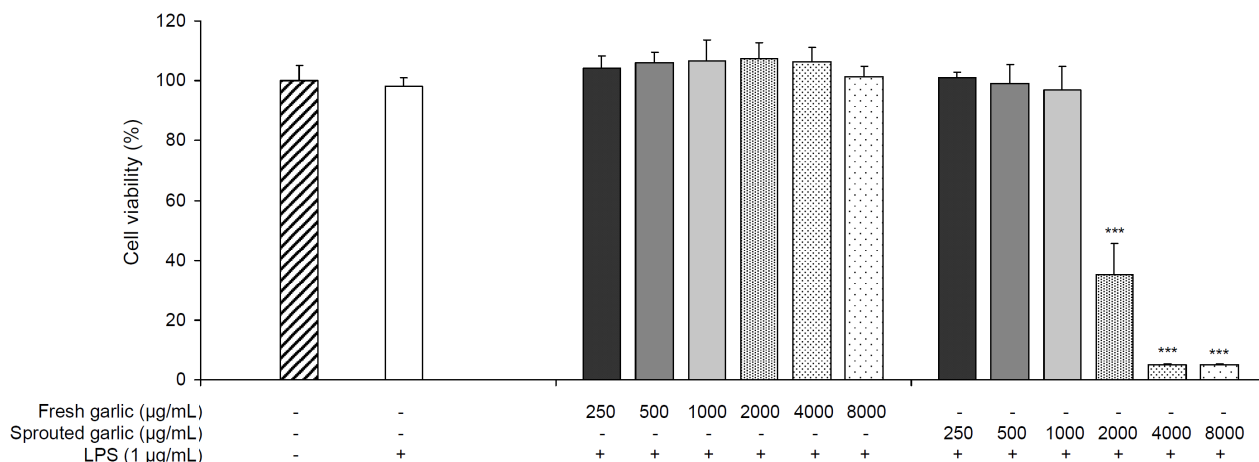


Fig. 4. Effects of fresh garlic and sprouted garlic extract on the cell viability in RAW 264.7 cells. Cells were pre-incubated with indicated concentrations of fresh garlic and sprouted garlic (14 days) extracts for 1 h and then treated with lipopolysaccharide (LPS; 1 µg/mL) for 24 h. Results were presented mean±SD (n≥3). ***P<0.001 vs. non-treated group.

었으나 새싹 마늘 추출물에서는 2,000 µg/mL 농도에서 약 37% 생존율을 나타내어 이후 항산화 활성 실험에서 새싹 마늘 추출물의 처리 농도는 1,000 µg/mL 이하로 선정하였다(Fig. 4).

NO 생성 억제 효과: 파종 전 마늘 추출물과 새싹 마늘 추출물은 모든 농도 구간에서 농도의 증가에 따라 NO 생성 억제 활성이 있었다(Fig. 5). 새싹 마늘 추출물은 1,000 µg/mL 농도에서는 LPS 단독 처리군에 비해 각각 31%, 53%의 감소 효과가 있었다. 선행 연구에 따르면 마늘 추출물이 대식세포에서 NF-κB 경로를 억제하여 NO 생성을 감소시키는 것으로 확인하였고, 이러한 억제는 NO 합성을 담당하는 inducible nitric oxide synthase(iNOS)의 발현을 감소시킨다고 하였다(Ryu 등, 2015). 또한 당뇨병 동물모델의 간 조직에서도 마늘 추출물이 iNOS 유전자 발현과 NO 생성을 감소시킨다고 하였다(Ziamajidi 등, 2018). 이와 같이 마늘 추출물은 산화 스트레스의 중요한 매개체인 NO의 생성을 상당량 억제하는 것으로 확인되었는데, 본 실험에 사용된

새싹 마늘 추출물도 위와 같은 신호전달 경로를 경유하여 산화 스트레스를 완화하는 데 효과가 있을 것으로 기대되며 추후 이와 관련된 메커니즘 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ROS 생성 억제 효과: 파종 전 마늘 추출물과 새싹 마늘 추출물의 ROS 생성에 미치는 영향(Fig. 6)을 알아보기 위해 LPS로 산화적 스트레스를 유발한 RAW264.7 세포에서 DCFH-DA assay 방법을 실행하였다. NO 생성 억제 효과와 유사하게 농도가 증가함에 따라 점차 ROS 억제 효능도 증가하는 경향이 있었다. 1,000 µg/mL 농도에서 파종 전 마늘 추출물과 새싹 마늘 추출물은 각각 19%, 26%의 ROS 억제 효과가 있었다. 인간신경모세포종(SH-SY5Y) 세포에서 숙성 마늘 추출물이 Nrf2-ARE 경로를 활성화하여 ROS의 수치를 감소시킨다는 연구 결과가 보고된 바 있다(Kohda 등, 2013). 또한 동맥성 고혈압 환자에게 마늘을 보충하면 ROS 생성이 감소하여 혈관 기능 개선과 산화 스트레스 감소에 기여한다고 한다(Kravchuk 등, 2020). 따라서 새싹 마늘 추출물은 산화적 스트레스와 관련된 다양한 질환 치료에 활

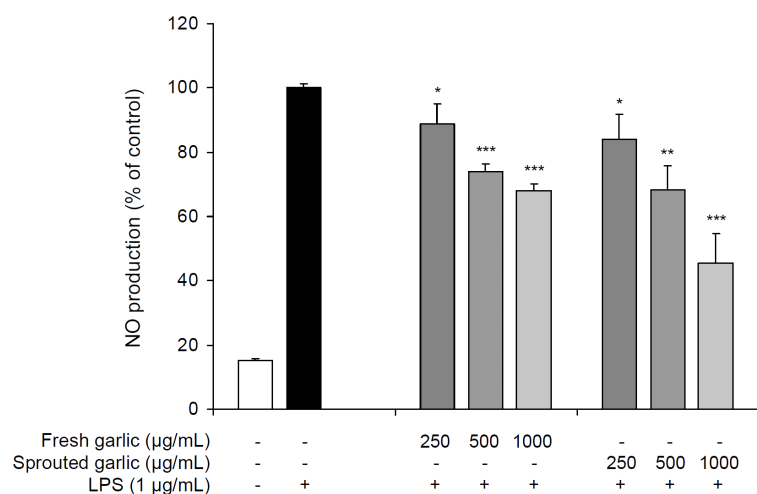


Fig. 5. Effects of fresh garlic and sprouted garlic extract production of nitric oxide (NO) on RAW 264.7 cells. Cells were pre-incubated with indicated concentrations of fresh garlic and sprouted garlic (14 days) extracts for 1 h and then treated with lipopolysaccharide (LPS) (1 µg/mL) for 24 h. Results were presented mean±SD (n≥3). *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001 vs. LPS-treated group.

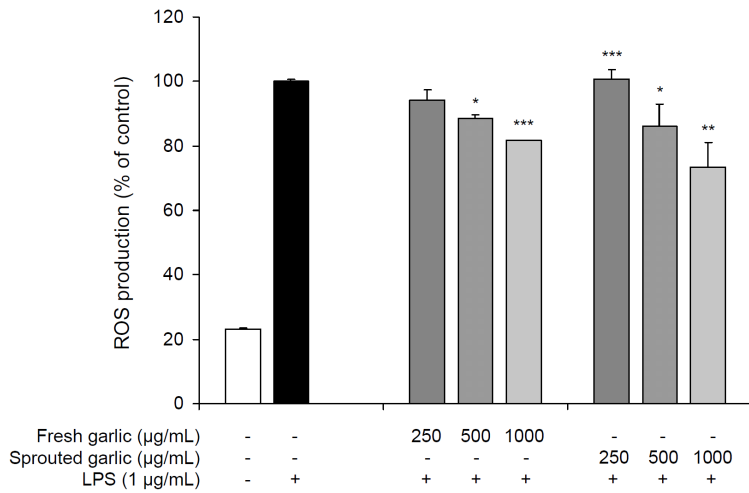


Fig. 6. Effects of fresh garlic and sprouted garlic extract production of reactive oxygen species (ROS) on RAW 264.7 cells. Cells were pre-incubated with indicated concentrations of fresh garlic and sprouted garlic (14 days) extracts for 1 h and then treated with lipopolysaccharide (LPS) (1 µg/mL) for 24 h. Results were presented mean±SD (n≥3). *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001 vs. LPS-treated group.

용성이 높을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과, 새싹 마늘 추출물은 파종 전 마늘 추출물에 비해 우수한 NO 및 ROS 생성 억제 효과를 보였다. 이러한 *in vitro* 항산화 활성의 증가는 발아 과정에서 나타난 기능성 성분 함량의 변화에 기인한 것으로 판단된다. 우선 총 페놀화합물 함량 분석 결과, 새싹 마늘의 총 페놀화합물 함량은 파종 전 마늘에 비해 유의적으로 증가했으며, 특히 줄기 부분에서 그 함량이 가장 높았다. 페놀화합물은 대표적인 항산화 물질로, ROS 소거 및 항염증 효과를 나타내는 것으로 잘 알려져 있다(Pandey와 Rizvi, 2009). 따라서 새싹 마늘의 높은 페놀화합물 함량이 세포 내 산화적 스트레스를 효과적으로 완화하는 주요 원인으로 작용했을 것이다. 또한, 기능성 황화합물인 alliin 함량 역시 발아 과정을 거치면서 크게 증가했다. Alliin은 항산화 및 항염증 효과를 지닌 것으로 보고되어 있으며(Amagase 등, 2001), 새싹 마늘의 alliin 함량 증가는 iNOS의 발현을 억제하여 NO 생성을 감소시키고, 세포 보호 효과를 강화하는 데 기여했을 것이다. 이와 함께 발아 과정에서 증가한 GABA와 같은 유리아미노산 역시 항산화 및 신경 보호 효과를 가지므로(Divyashri 등, 2024), 새싹 마늘의 복합적인 성분 변화가 시너지 효과를 내어 항산화 활성을 증진시킨 것으로 추정된다. 결론적으로 새싹 마늘 추출물의 항산화 활성 증가는 발아를 통해 페놀화합물, alliin, GABA 등 다양한 기능성 성분의 함량이 높아진 결과로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 새싹 마늘이 파종 전 마늘을 뛰어넘는 기능성 식품 소재로서의 잠재력을 가짐을 시사한다.

요 약

본 연구에서는 새싹 마늘의 유효성분을 조사하기 위하여 마늘의 발아 기간에 따른 황화합물의 변화를 분석하고 추출물의 항염증 활성을 규명하고자 하였다. 새싹 마늘 재배는 20 ±2°C 온도가 유지된 스마트팜 시설에서 토경재배로 실시하

였다. 마늘은 파종 후 14일까지 2일 간격으로 채취해 마늘의 주요한 황화합물 성분인 alliin, SAC, GSAC, S1PC, GS1PC의 함량을 비교하였다. 재배 6일까지는 뿌리, 구, 줄기를 구분하지 않았고, 이후 8일에서 14일까지는 전체와 구분한 시료 등 각각 분석하였다. 총 페놀화합물은 파종 전 마늘에 비해 새싹 마늘 14일 차에 약 12% 정도 증가하였고, 줄기와 뿌리로 나누었을 때는 파종 전 마늘에 비해 약 81%, 75%가 증가하였다. Alliin 함량은 파종 전 마늘에 비해 새싹 마늘(14일 차)은 약 34%가 증가하였으며, 특히 새싹 마늘의 줄기는 파종 전 마늘에 비하여 약 56% 이상 증가하여 높은 alliin 함량 증가율을 보였다. SAC는 파종 후 시간이 지남에 따라 점차 함량이 줄어드는 경향을 보여 14일 차 마늘에서는 약 28%가 감소하였고, 반면 줄기와 뿌리 부분에서는 파종 8일 이후부터 파종 전 마늘에 비해 최대 2배 이상 높은 수준의 함량을 나타내었다. SAC의 전구체인 GSAC는 파종 후 점차 감소하였다. 반면 S1PC는 검출되지 않았으며 그 전구체인 GS1PC는 파종 후 감소하였다. 유리아미노산은 파종 전 마늘에서 총 26종이던 것이 파종 14일 후 마늘에서 총 25종이 검출되었고 파종 후에는 미량 증가하였다. 주요 아미노산 변화는 파종 전 마늘에서 L-arginine 함량이 높았으나 새싹 마늘에서는 감소한 반면 theanine 함량은 증가하였으며, GABA 함량은 새싹 마늘에서 파종 전에 비해 2배 이상 증가하였다. 새싹 마늘의 물 추출물을 활용한 항산화 효과를 검증한 결과, 1,000 µg/mL 농도에서 파종 전 마늘에 비해 새싹 마늘 추출물이 NO와 ROS를 효과적으로 억제하였다. 본 연구에서 새싹 마늘을 재배할 때 마늘은 부위에 따라 주요 황화합물 함량이 상이하였고, 특히 싹으로 자란 줄기는 총 페놀화합물과 alliin 함량이 높고, 항산화 활성이 높아 향후 식품 소재로서 활용성이 기대된다.

REFERENCES

- Amagase H, Petesch BL, Matsuura H, et al. Intake of garlic and its bioactive components. J Nutr. 2001. 131:955S-962S.

- Bae YJ, Yu KW, Lee KH. Consumption and satisfaction with fresh-cut produce in Korean adults. *Korean J Food Nutr.* 2022. 35:150-158.
- Bloem E, Haneklaus S, Schnug E. Influence of fertilizer practices on S-containing metabolites in garlic (*Allium sativum* L.) under field conditions. *J Agric Food Chem.* 2010. 58: 10690-10696.
- Chang HK. Effect of processing methods on the saponin contents of *Panax ginseng* leaf-tea. *Korean J Food Nutr.* 2003. 16:46-53.
- Choi HD, Kim YS, Choi IW, et al. Anti-obesity and cholesterol-lowering effects of germinated brown rice in rats fed with high fat and cholesterol diets. *Korean J Food Sci Technol.* 2006a. 38:674-678.
- Choi HD, Kim YS, Choi IW, et al. Hypotensive effect of germinated brown rice on spontaneously hypertensive rats. *Korean J Food Sci Technol.* 2006b. 38:448-451.
- Choi JE, Li X, Han YH, et al. Changes of saponin contents of leaves, stems and flower-buds of *Panax ginseng* C. A. Meyer by harvesting days. *Korean J Medicinal Crop Sci.* 2009. 17: 251-256.
- Choi MK, Bae YJ. Vegetable intake is associated with lower Framingham risk scores in Korean men: Korea National Health and Nutrition Survey 2007-2009. *Nutr Res Pract.* 2016. 10:89-98.
- Choi YR, Kim SH, Lee CM, et al. Quality characteristics of different parts of garlic sprouts produced by smart farms during growth. *Korean J Food Preserv.* 2023. 30:272-286.
- Divyashri G, Suprajaa V, Nairy UC, et al. GABA-fortified synbiotic guava beverage: formulation and evaluation of neuroprotective properties using cell-based assays. *Discov Food.* 2024. 4:40. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00120-9>
- Fujii T, Matsutomo T, Kodera Y. Changes of S-allylmercaptocysteine and γ -glutamyl-S-allylmercaptocysteine contents and their putative production mechanisms in garlic extract during the aging process. *J Agric Food Chem.* 2018. 66:10506-10512.
- Gdula-Argasinska J, Pasko P, Sulkowska-Ziaja K, et al. Anti-inflammatory activities of garlic sprouts, a source of α -linolenic acid and 5-hydroxy-L-tryptophan, in RAW 264.7 cells. *Acta Biochim Pol.* 2017. 64:551-559.
- Ha JO, Ha TM, Lee JJ, et al. Chemical components and physiological functionalities of *Brassica campestris* ssp *rapa* sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2009. 38:1302-1309.
- Hong J, Kim HJ, Kim JY. Factors affecting reactivity of various phenolic compounds with the Folin-Ciocalteu reagent. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2011. 40:205-213.
- Hwang EJ, Lee SY, Kwon SJ, et al. Antioxidative, antimicrobial and cytotoxic activities of *Fagopyrum esculentum* Möench extract in germinated seeds. *Korean J Medicinal Crop Sci.* 2006. 14:1-7.
- Itokawa Y, Inoue K, Sasagawa S, et al. Effect of S-methylcysteine sulfoxide, S-allylcysteine sulfoxide and related sulfur-containing amino acids on lipid metabolism of experimental hypercholesterolemic rats. *J Nutr.* 1973. 103:88-92.
- Izumi T, Osawa S, Obata A, et al. Soy isoflavone aglycones are absorbed faster and in higher amounts than their glucosides in humans. *J Nutr.* 2000. 130:1695-1699.
- Kim DS, Lee KB. Physiological characteristics and manufacturing of the processing products of sprout vegetables. *Korean J Food Cook Sci.* 2010. 26:238-245.
- Kim EM, Lee KJ, Chae KM. Comparison in isoflavone contents between soybean and soybean sprouts of various soybean cultivars. *J Nutr Health.* 2004a. 37:45-51.
- Kim JS, Kim JG, Kim WJ. Changes in isoflavone and oligosaccharides of soybeans during germination. *Korean J Food Sci Technol.* 2004b. 36:294-298.
- Kim MS. Quality characteristics of *Makgeolli* added with sprouted garlic powder. Master's thesis. Sejong University. 2022a.
- Kim YS. Physicochemical and antioxidant properties of sprout garlic during hydroponically cultivation. Master's thesis. Sejong University. 2022b.
- Kityo A, Lee SA, Kang D. Total and cause-specific mortality associated with meat intake in a large cohort study in Korea. *Front Nutr.* 2023. 10:1138102. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1138102>
- Kodera Y, Ushijima M, Amano H, et al. Chemical and biological properties of S-1-propenyl-L-cysteine in aged garlic extract. *Molecules.* 2017. 22:570. <https://doi.org/10.3390/molecules22040570>
- Kohda K, Goda H, Itoh K, et al. Aged garlic extract reduces ROS production and cell death induced by 6-hydroxydopamine through activation of the Nrf2-ARE pathway in SH-SY5Y cells. *Pharmacol Pharm.* 2013. 4:31-40.
- Kravchuk OM, Goshovska YV, Korkach YP, et al. Garlic lowers blood pressure and reduces oxidative stress by increasing plasma H₂S content in patients with arterial hypertension. *Fiziol Zh.* 2020. 66:55-63.
- Lawson LD. Garlic: A review of its medicinal effects and indicated active compounds. *Phytomedicines of Europe.* 1998. 14:176-209.
- Le Bon AM, Vernevauf MF, Guenot L, et al. Effects of garlic powders with varying alliin contents on hepatic drug metabolizing enzymes in rats. *J Agric Food Chem.* 2003. 51:7617-7623.
- Lee HJ, Choi KY, Chiang MH, et al. Photosynthesis, growth and yield characteristics of *Peucedanum japonicum* T. grown under aquaponics in a plant factory. *J Bio-Env Con.* 2022. 31:67-76.
- Lee JH, Baek IY, Kang NS, et al. Identification of phenolic compounds and antioxidant effects from the exudate of germinating peanut (*Arachis hypogaea*). *Food Sci Biotechnol.* 2007. 16:29-36.
- Lee JH, Oh MM. Growth and bioactive compound contents of various sprouts cultivated under dark and light conditions. *J Bio-Env Con.* 2021. 31:218-229.
- Min JH. Effect of temperature and light conditions on the growth and antioxidant activity of garlic (*Allium sativum* L.) sprouts. Master's thesis. Chungbuk National University. 2022.
- Oh TY, Kyung KH. Isolation and purification of garlic specific organic compounds. *Korean J Food Sci Technol.* 2011. 43: 553-557.
- Pandey KB, Rizvi SI. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev.* 2009. 2:897484. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Paško P, Bartoń H, Zagrodzki P, et al. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem.* 2009. 115:994-998.
- Paško P, Sulkowska-Ziaja K, Muszyńska B, et al. Serotonin, melatonin, and certain indole derivatives profiles in rutabaga and kohlrabi seeds, sprouts, bulbs, and roots. *LWT-Food Sci Technol.* 2014. 59:740-745.
- Ried K, Frank OR, Stocks NP. Aged garlic extract lowers blood pressure in patients with treated but uncontrolled hypertension: A randomised controlled trial. *Maturitas.* 2010. 67:144-150.
- Rivlin RS. Historical perspective on the use of garlic. *J Nutr.* 2001. 131:951S-954S.

- Ryu JH, Park HJ, Jeong YY, et al. Aged red garlic extract suppresses nitric oxide production in lipopolysaccharide-treated RAW 264.7 macrophages through inhibition of NF- κ B. *J Med Food*. 2015. 18:439-445.
- Saikusa T, Horino T, Mori Y. Accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) in the rice germ during water soaking. *Biosci Biotechnol Biochem*. 1994. 58:2291-2292.
- Saravanan G, Ponmurugan P. Ameliorative potential of S-allyl-cysteine: Effect on lipid profile and changes in tissue fatty acid composition in experimental diabetes. *Exp Toxicol Pathol*. 2012a. 64:639-644.
- Saravanan G, Ponmurugan P. Antidiabetic effect of S-allylcysteine: Effect on thyroid hormone and circulatory antioxidant system in experimental diabetic rats. *J Diabetes Complications*. 2012b. 26:280-285.
- Saravanan G, Ponmurugan P. Beneficial effect of S-allylcysteine (SAC) on blood glucose and pancreatic antioxidant system in streptozotocin diabetic rats. *Plant Foods Hum Nutr*. 2010. 65:374-378.
- Seog HM, Jung CH, Choi IW, et al. Changes in contents of ginsenosides and phenolic compounds in wild ginseng leaves during tea processing. *Food Sci Biotechnol*. 2004. 13:516-518.
- Sheela CG, Augusti KT. Antiperoxide effects of S-allyl cysteine sulphoxide isolated from *Allium sativum* Linn and gugulipid in cholesterol diet fed rats. *Indian J Exp Biol*. 1995. 33:337-341.
- Shouk R, Abdou A, Shetty K, et al. Mechanisms underlying the antihypertensive effects of garlic bioactives. *Nutr Res*. 2014. 34:106-115.
- Sohn CW, Kim H, You BR, et al. High temperature- and high pressure-processed garlic improves lipid profiles in rats fed high cholesterol diets. *J Med Food*. 2012. 15:435-440.
- Wojdyło A, Nowicka P, Tkacz K, et al. Sprouts vs. microgreens as novel functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their in vitro bioactive properties. *Molecules*. 2020. 25:4648. <https://doi.org/10.3390/molecules25204648>
- Wojtyła L, Garneczarska M, Zalewski T, et al. A comparative study of water distribution, free radical production and activation of antioxidative metabolism in germinating pea seeds. *J Plant Physiol*. 2006. 163:1207-1220.
- Woo HJ, Cha GS, Kang MJ, et al. Assessment of standardization of domestic commercial black garlic extract for S-allyl-L-cysteine and S-1-propenyl-L-cysteine. *Food Sci Biotechnol*. 2022. 31:253-260.
- Yoshimoto N, Yabe A, Sugino Y, et al. Garlic γ -glutamyl transpeptidases that catalyze deglutamylation of biosynthetic intermediate of alliin. *Front Plant Sci*. 2015. 5:758. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00758>
- Zakarova A, Seo JY, Kim HY, et al. Garlic sprouting is associated with increased antioxidant activity and concomitant changes in the metabolite profile. *J Agric Food Chem*. 2014. 62:1875-1880.
- Ziamajidi N, Behrouj H, Abbasalipourkabir R, et al. Ameliorative effects of *Allium sativum* extract on iNOS gene expression and NO production in liver of streptozotocin + nicotinamide-induced diabetic rats. *Indian J Clin Biochem*. 2018. 33:147-153.