



Research Article

Physicochemical characteristics of domestic garlic by varieties and their quality changes during aging of black garlic

품종별 마늘의 품질 특성 및 흑마늘 숙성 중 품질 변화

Seung Hee Yoo, Gun Su Cha, Dong Gyu Kim, Min Jung Kang*

유승희 · 차건수 · 김동규 · 강민정*

Namhae Garlic Research Institute, Namhae 52430, Korea

(재)남해마늘연구소

Abstract In this study, the quality characteristics of the representative domestic garlic varieties in Korea (*Namdo*, *Daeseo*, *Hongsan*, and *Uiseong garlic*) were compared and their changes according to the aging process of black garlic were investigated. Each garlic sample was aged for 15 days according to the manufacturing process of black garlic. The total phenolic compound contents were 85.2-109.7 mg GAE/100 g in raw garlic samples, which increased with the aging period, and *Hongsan* garlic showed the highest content in both raw and aged black garlic. The content of alliin was 848.3-1,087.5 mg/100 g in raw garlic samples, and it decreased significantly on the 5th day (7.3-20.6 mg/100 g) in aged garlic. The contents of GSAC (γ -glutamyl-S-allyl-cysteine) and GS1PC (γ -glutamyl-S-1-propenyl-l-cysteine) in raw garlic samples were 202.1-541.0 mg/100 g and 311.1-474.3 mg/100 g, respectively, but gradually decreased during the aging process. On the other hand, the SAC (S-allyl-cysteine) and S1PC (S-1-propenyl-l-cysteine) contents of raw garlic were very low in all four varieties, but they were highest on the 5th day of aging and tended to decrease thereafter. On the 5th day of aging, the SAC content of *Namdo* garlic (208.0 mg/100 g) was highest ($p < 0.05$), and S1PC content was significantly higher in *Uiseong garlic* (66.2 mg/100 g) than the others.

Keywords black garlic, total phenolic compound, alliin, SAC, S1PC



OPEN ACCESS

Citation: Yoo SH, Cha GS, Kim DG, Kang MJ. Physicochemical characteristics of domestic garlic by varieties and their quality changes during aging of black garlic. *Korean J Food Preserv*, 30(3), 446-458 (2023)

Received: February 27, 2023

Revised: June 15, 2023

Accepted: June 19, 2023

***Corresponding author**

Min Jung Kang
 Tel: +82-55-860-8952
 E-mail: jung-75@hanmail.net

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. 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.

1. 서론

백합과 파속에 속하는 마늘(*Allium sativum* L.)은 인편과 화경에 부착된 주아의 영양계로 번식되며(Lee 등, 2021), 오랜 재배 기간과 환경에 따라 구와 잎의 색깔, 모양, 주아의 발달 정도 등 형태적으로 다양성을 나타낸다(Pooler과 Simon, 1993). 마늘 종을 분류하기 위한 형태적, 생리·생태적(Hwang, 1993), 세포학적(Harn 등, 1996) 및 생화학적(Etoh와 Ogura, 1981) 방법이 시도되었으나, 무성생식으로 번식하는 마늘은 대부분 정상적인 화분을 형성하지 못하여 교배를 통한 품종개량보다는 도입선발에 의하여 새로운 품종이 육성되었다(Ahn과 Yoon, 2010).

남도마늘은 1976년 중국 가정백 마늘을 도입하여 1977-1980년에 남해, 해남, 제주 지역에서 생산력 검증을 실시하고 우량 품종을 선발하여 1983년부터 남도마늘로 명명하여 농가에 보급되었고, 대서마늘은 경남 창녕지역의 농업인이 재배하던 스페인 마늘을 경상남도 농촌진흥청에서 품종비교 시험결과 성능이 우수하여 1986년 극조생성 대서마늘로 시범사업을 거쳐 보급된 품종이다(RDA, 2022). 홍산마늘(원교57025호)은 교배 육종마늘로 2003년 육종하여 2011년 생산력 검정시험을 거쳐 경기, 강원, 제주에서 3년간 지역 적응시험을 거쳐 2016년도에 품종보호권(홍산: 제 6320호)이 등록되었다(Kim과 Ra, 2019; RDA, 2022). 마늘은 생태형에 따라 월동 전·후에 싹이 트는 것으로 난지형과 한지형으로 구분하고, 난지형은 온난한 남쪽 지방에서 재배되고 한지형은 다소 추운 지방에서 재배된다(Park과 Kang, 2000). 한지형은 국내 자생종으로(Kim과 Ra, 2019) 서산, 의성, 단양 등 중부지방에서 재배되고 휴면기간이 길고 숙기가 늦은 만생종 계통으로 매운맛이 강하며 저장성도 좋다고 알려져 있다(RDA, 2022).

마늘은 재배 지역과 품종에 따라 유효성분의 차이가 있는데 특히, 알린 함량은 0.6-1.7%의 범위로 차이가 있고(Lawson 등, 1991), 추운 지역에서 재배된 마늘은 따뜻한 기후에서 재배된 마늘보다 알린 함량이 더 높다고 알려져 있다(Block 등, 1992). 국내에서도 제주마늘과 전국 주요 산지별 마늘의 성분비교에서 재배 지역과 품종에 따라 알리신과 총페놀 화합물의 함량에 차이가 있고(Hyun 등, 2008), 동일한 품종이라도 재배 지역에 따라 알린 함량에 차이가 있다고 보고되어 있다(Han, 2019).

마늘은 주요 기능성 물질로 유기 황화합물이 다량 존재하는데 이들의 99.5%는 황이 함유된 cysteine계 아미노산이며 전체 마늘의 1.1-3.5%에 해당한다(Lee, 2010). 마늘에 함유된 γ -glutamyl-L-cysteine의 유도체는 저장 또는 가공을 통해 다양한 화합물로 변하는데, γ -glutamyl-S-allyl-L-cysteine(GSAC)과 γ -glutamyl-S-1-propenyl-L-cysteine(GS1PC)은 γ -glutamyl transpeptidase에 의해 S-allyl-cysteine(SAC)과 S-1-propenyl-cysteine(S1PC)으로 전환된다(Lancaster와 Shaw, 1989; Lawson 등, 1991). 마늘의 대표 가공품인 흑마늘은 가공 과정 중에 당 성분과 아미노산이 비효소적 갈변반응을 일으켜 melanoidins이 생성되고

휘발성 화합물은 거의 소실되며, 총페놀화합물과 플라보노이드가 증가한다고 보고되어 있다(Wang 등, 2012). 또한, 마늘을 알코올에 장기간 숙성하면 휘발성 황화합물은 감소하고 수용성 화합물인 SAC와 S1PC가 증가하는데, S1PC는 숙성기간 중 증가하다가 감소하는 경향이거나 SAC는 상온에서 24개월 동안 안정하다(Lawson, 1996; Lawson, 1998). SAC는 항산화(Numagami와 Ohnishi, 2001), 암세포의 증식억제(Welch 등, 1992), 간질환(Nakagawa 등, 1989), 항염증(Tak 등, 2014) 및 신경계 질환(Nishiyama 등, 2001)에 효과가 있다고 보고되어 있다. S1PC는 SAC의 입체이성질체로 숙성된 마늘 추출물(aged garlic extract)의 유효물질이며 고혈압 개선(Matsutomo 등, 2017), 말초순환 개선(Ushijima 등, 2020)과 면역력 향상(Suzuki 등, 2020)에 효과가 있다고 알려져 있다.

마늘은 재배되는 지역과 품종에 따른 유효성분의 비교 분석 연구는 있으나 가공에 따른 성분 변화와 유효성분의 비교 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 마늘 품종 중 남도, 대서, 홍산마늘과 의성지역에서 재배되는 재래종 마늘과의 품질 특성과 황화합물의 함량을 비교하고, 흑마늘로 숙성하면서 제조 과정 중 품질 변화 및 주요 화합물의 변화를 관찰하여 향후 식품산업에 적용하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료의 제조

마늘은 남도, 대서, 홍산 및 의성 마늘 등 4개의 품종으로 나누어 온라인 마켓을 통하여 품종을 확인한 후 구매하여 사용하였다. 구매한 피마늘과, 깎마늘을 황으로 자른 단면 사진은 Fig. 1과 같다.

2.2. 외형 비교

생마늘의 외형 비교는 무게, 장폭 및 장고를 측정하였다. 무게는 전자저울(MB 45, OHAUS, Switzerland)을 이용하여 시료군당 10개의 시료를 측정하여 평균으로 산출하였다. 장폭과 장고는 버니어캘리퍼스(CD-15APX, Mitutoyo, Kanagawa, Japan)를 이용하여 시료군당 10개의 시료를 측정하여 평균으로 산출하였다.

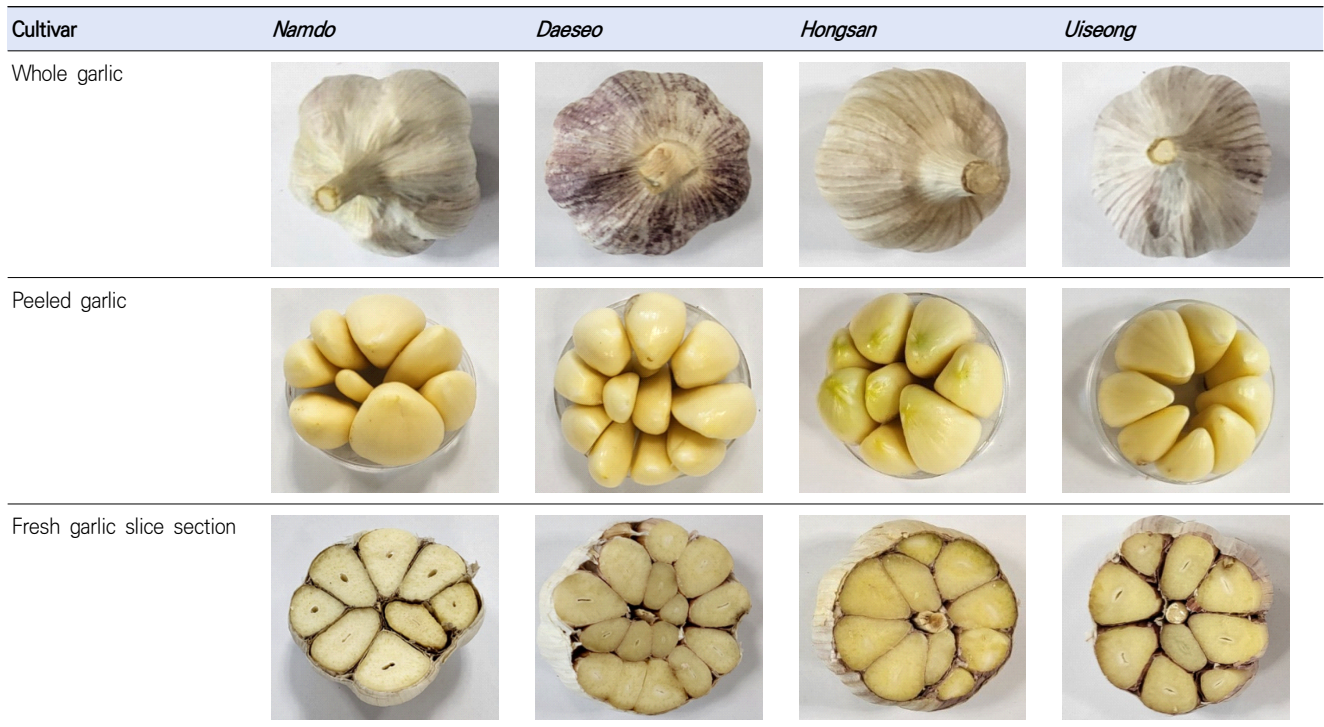


Fig. 1. Appearance comparison of garlic by cultivar.

2.3. 흑마늘의 제조

흑마늘 제조는 4종의 생마늘을 500 g씩 나누어 지퍼백에 담고 항온항습기(JSRH-500CPL, JS Research Inc., Gongju, Korea)에서 60-80℃의 온도로 승·하온시키면서 15일간 숙성하였는데, 3일 동안은 온도를 점차적으로 올려 80℃를 유지하다가 이후 온도를 낮추어 75℃에서 3일을 유지하였고, 이후 12일까지 70℃를 유지하다가 15일까지 60℃를 유지하였다. 시료는 5일마다 시료를 채취하여 분석용 시료로 사용하였다.

2.4. 수분 함량과 색도 변화 측정

수분 함량은 생마늘과 숙성 일자별 마늘을 균질하게 마쇄하여 적외선 수분 측정기(MB25, OHAUS, Zurich, Switzerland)로 측정하였다.

색도는 색차계(ultra scan VIS, Hunter Lab., USA)를 이용하여 명도(L, light), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 측정하였다. 균질하게 마쇄된 시료를 지름 4.5 cm의 투명용기에 담아 색도를 측정하였으며 이때 표준색판의 L, a, b값은 각각 99.4, -0.12 및 0.04였고, 각 시료는 5회 이상 반복 측정하여 평균값으로 산출하였다.

2.5. 총페놀화합물 함량 측정

총페놀화합물은 Foiln-Denis(1915)의 방법에 따라 마쇄한 마늘에 무게 대비 10배의 증류수를 가하여 진탕 혼합한 후, 여과한 여액 1 mL에 Foline-Ciocalteau 시약 0.5 mL를 넣고 3분 후 10% Na₂CO₃ 용액 0.5 mL씩을 가한 후 혼합하여, 실온의 암실에서 1시간 정치한 다음 분광광도계로 760 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 얻은 검량선으로부터 총페놀화합물의 함량을 계산하여 추출물 100 g 중의 mg gallic acid equivalents(GAE, fresh weight)로 계산하였다.

2.6. 유리당 함량 분석

유리당은 Ahn 등(2019)의 방법을 변형하여 측정하였다. 마쇄한 마늘 2 g에 3차 증류수 20 mL를 가하여 30분간 진탕혼합추출기(Power Sonic 420, Hwashintech, Seoul, Korea)로 추출 후 추출액은 원심분리기(Combi-514R, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고, 상정액을 취하여 0.45 μm membrane

filter로 여과하여 HPLC (Agilent 1260, Agilent, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 분석에 사용된 column은 Cosmosil Sugar-D(4.6×250 mm, Nacalai Tesque Inc., Kyoto, Japan)를 사용하였고, 이동용매는 water와 acetonitrile을 30:70의 비로 주입하였으며, 컬럼온도는 30℃를 유지하였다. 이동상의 속도는 분당 1.0 mL를 유지하였으며, 시료 주입량은 10 μ L, 검출기는 ELSD(Agilent LT-ELSD G4128A, Agilent)를 사용하였다. Glucose, sucrose 및 fructose는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 제조된 제품을 표준물질로 하여 얻은 검량선으로부터 함량을 산출하였다.

2.7. 알린(alliin) 함량 분석

알린 함량은 Kim 등(2015)의 방법을 변형하여 측정하였다. 생마늘은 98℃의 수욕상에서 10분간 증탕처리하여 alliinase를 불활성화시킨 후 균질하게 마쇄하였고, 숙성 5일 이후의 마늘은 증탕처리를 하지 않고 마쇄하여 사용하였다. 마쇄한 마늘 시료 1 g에 formic acid로 pH가 3.0이 되도록 조절된 80% MeOH을 29 mL 가한 후 30분간 진탕 추출한 후, 여과지(No. 2, Whatman Inc., Piscataway, NJ, USA)로 1차 여과한 것을 0.22 μ m syringe filter로 재여과하여 HPLC-DAD(Agilent 1260)로 분석하였다. 분석에 사용된 column은 Agilent Zorbax SB-C₁₈(4.6×250 mm, 5 μ m, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)을 사용하였고, 이동상은 20 mM의 sodium phosphate monobasic dihydrate와 10 mM sodium 1-heptanesulfonic acid를 혼합한 용액을 85% orthophosphoric acid를 이용하여 pH가 2.0이 되도록 조정한 A용매로 하였다. 용매 A와 acetonitrile을 동량으로 혼합한 것을 용매 B로 하고, 용매 A와 B를 gradient로 용리하여 분석하였다. 이 때 이동상의 속도는 1.0 mL/min, 시료 주입량은 10 μ L, UV 검출기 파장은 210 nm로 설정하였다. 알린(ChromaDex Inc., Irvine, CA, USA)을 표준물질로 하여 얻은 검량선으로부터 함량을 계산하였다.

2.8. GSAC, GS1PC, SAC 및 S1PC 함량 분석

GSAC, GS1PC, SAC 및 S1PC 함량은 Woo 등(2022)의 방법에 따라 분석하였으며 생마늘과 숙성기간별 마늘을 마

쇄하여 균질화한 후 시료로 사용하였다. 마쇄한 시료 5 g에 45 mL의 3차 증류수를 가하여 균질화하여 30분간 진탕 추출한 다음, 여과지로 여과한 여액을 0.22 μ m membrane filter로 재여과하여 HPLC-PDA-MS/MS(TSQ Quantum LC-MS/MS, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)로 분석하였다. 분석용 컬럼은 Agilent Zorbax SB-C₁₈(4.6×250 mm, 5 μ m, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)을 사용하였고, 이동상 용매는 positive mode에서 0.1% formic acid 수용액과 0.1% formic acid가 함유된 acetonitrile을 시간에 따라 혼합비율을 조절하면서 분석하였다. GSAC(VWR, Radnor, PA, USA), GS1PC(MedChemExpress, Monmouth Junction, NJ, USA), SAC(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 및 S1PC(MedChemExpress, Monmouth Junction, NJ, USA)의 정량은 각각의 표준물질을 시료와 동일한 조건에서 분석하여 머무름 시간을 비교하여 표준검량곡선으로부터 함량을 계산하였다.

2.9. 통계처리

실험은 3회 이상 반복 실험한 결과에 대하여 SPSS statistics 18(IBM, Armonk, NY, USA) 통계 package를 이용하여 평균±표준편차로 표시하였고, 통계적 유의성 검증은 일원배치 분산분석을 한 후 p(0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 사후검정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마늘의 외형 비교

4종의 마늘의 외형 비교는 피마늘, 깎마늘, 단면을 절단하여 사진으로 나타내었다(Fig. 1). 마늘 외형에서 남도마늘은 마늘 선단이 벌어진 마늘이 다수 있었고, 그 외 마늘은 위쪽 선단이 벌어진 마늘이 거의 없었다. 깎마늘 비교에서 홍산마늘은 엽록소로 인해 선단 부분이 초록색을 띠는 특성을 확인할 수 있었고 의성마늘은 깎마늘에 세로 무늬 결이 짙고 쪽수는 가장 적었다.

마늘의 평균 무게, 장폭 및 장고는 Table 1과 같다. 4종의 마늘 무게는 유의적인 차이가 있었는데 남도마늘과 의성마늘은 각각 45.2 g 및 44.8 g으로 두 시료 간에 유의차가

Table 1. Weight, width and height of garlic by cultivar

Garlic cultivar	Bulb weight (g)	Bulb width (mm)	Bulb height (mm)
Namdo	45.2±5.8 ^a	53.1±3.6 ^a	35.4±1.6 ^a
Daeseo	72.7±3.6 ^b	62.9±1.8 ^b	35.3±1.8 ^a
Hongsan	66.0±8.0 ^b	60.1±3.6 ^{ab}	36.6±2.8 ^a
Uiseong	44.8±1.9 ^a	51.2±1.4 ^a	35.8±3.6 ^a

All data are showed as mean±SD (n=10).

^{a,b}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

없었고 대서마늘은 72.7 g으로 가장 높았다. 장쪽에서도 대서마늘이 62.9 mm로 가장 컸으며 의성마늘이 51.2 mm로 가장 작았다. 장고는 35.3-36.3 mm로 유의차가 없었다.

3.2. 마늘의 수분 함량

생마늘과 숙성에 따른 흑마늘의 수분 함량의 변화는 Table 2와 같다. 숙성 전 생마늘은 57.7-63.9 g/100 g의 범위로 홍산마늘은 다른 품종에 비해 유의적으로 낮았고 대서마늘이 유의적으로 가장 높았다. 서산, 의성, 남해, 함평 지역에서 생산된 생마늘의 수분 함량은 62-68%의 범위인데, 마늘의 수분 함량 차이는 출하 전 산지에서의 예건 정도의 차이에 기인하며 예건 처리를 하여 수분 함량을 64% 이하로 하는 것이 보관에 바람직한 것으로 알려져 있다(Shin 등, 1999).

모든 품종의 마늘은 숙성기간에 따라 수분 함량이 감소하였고 숙성이 완료된 흑마늘의 수분 함량은 48.5-52.7 g/100 g으로 생마늘에 비해 2-16%가 감소하였다. Xiong 등(2018)의 연구에서 95%의 습도와 70℃의 온도에서 제조된 흑마늘의 수분 함량은 생마늘에 비해 오히려 증가하였으

나, 80℃와 90℃에서 제조된 흑마늘은 생마늘에 비해 약 50%가 감소하였는데, 70℃의 온도에서 수분함량이 오히려 증가한 것은 숙성실의 습도가 시료와의 수분평형에 따라 오히려 증가할 수도 있다고 하였다. 흑마늘의 수분은 숙성온도와 숙성기간에 따라 영향을 받는데, 흑마늘의 수분이 50-70% 수준으로 유지될 때 부드럽고 탄력적인 맛이 난다고 보고되어 있다(Zhang 등, 2016).

3.3. 마늘의 색도

마늘의 색도의 변화는 Table 3과 같다. 생마늘에서 명도(L)는 품종에 따라 차이가 있었는데, 남도마늘은 61.4로 유의적으로 가장 높았고 나머지 품종은 52.8-56.8의 범위였다. 모든 품종은 숙성기간이 증가함에 따라 갈색이 짙어져 명도가 점차 감소하였는데 숙성 전 시료에 비해 숙성 5일에 30.8-39.5%가 감소하였고 이후 숙성 15일에는 31.1-31.2로 4품종 모두 유사한 범위였다. 적색도(a)는 0일 차 시료에서 -1.3--0.3이던 것이 숙성 5일에는 5.9-6.6으로 가장 높았다가 이후 점차 감소하여 숙성 15일에는 2.5-3.0의 범위로 낮아졌다. 숙성 5일과 10일 차에 홍산마늘보다 남도마늘

Table 2. Moisture content changes according to aging of black garlic by cultivar (g/100 g FW)

Garlic cultivar	Aging period (days)			
	0	5	10	15
Namdo	59.3±0.2 ^{bb}	58.4±0.1 ^{bb}	59.3±0.7 ^{bb}	54.9±0.1 ^{ca}
Daeseo	63.9±0.3 ^{db}	62.6±0.6 ^{ca}	62.8±0.2 ^{ca}	62.7±0.2 ^{da}
Hongsan	57.7±0.1 ^{ad}	53.6±0.7 ^{ab}	54.7±0.9 ^{ac}	48.5±0.4 ^{ba}
Uiseong	61.1±0.1 ^{cb}	55.2±0.4 ^{aA}	58.4±0.7 ^{bb}	53.1±0.5 ^{ba}

All data are shown as fresh weight (FW) mean±SD (n=3).

^{a-d}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

^{A-D}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 3. Color changes according to aging of black garlic by cultivar

Parameter	Aging period (days)	Garlic cultivar			
		<i>Namdo</i>	<i>Daeseo</i>	<i>Hongsan</i>	<i>Uiseong</i>
L	0	61.4±0.1 ^{cD}	56.3±0.3 ^{bD}	52.8±0.2 ^{aD}	56.8±0.4 ^{bD}
	5	37.1±0.1 ^{bC}	38.8±0.1 ^{dC}	36.5±0.3 ^{aC}	37.5±0.0 ^{cC}
	10	34.0±0.0 ^{cB}	34.3±0.1 ^{cB}	32.2±0.2 ^{aB}	33.2±0.1 ^{bB}
	15	31.2±0.1 ^{aA}	31.1±0.1 ^{aA}	31.1±0.1 ^{aA}	31.2±0.1 ^{aA}
a	0	-0.4±0.3 ^{aA}	-1.3±0.2 ^{bA}	-0.3±0.2 ^{aA}	-1.1±0.1 ^{bA}
	5	6.6±0.2 ^{dD}	6.4±0.2 ^{bD}	5.9±0.1 ^{aD}	6.3±0.1 ^{bD}
	10	5.2±0.1 ^{dC}	4.8±0.1 ^{cC}	3.6±0.1 ^{aC}	4.3±0.0 ^{bC}
	15	2.9±0.2 ^{aB}	3.0±0.3 ^{aB}	2.5±0.1 ^{aB}	2.5±0.2 ^{aB}
b	0	15.5±0.7 ^{aD}	19.2±1.9 ^{bD}	15.1±0.7 ^{aD}	15.4±0.8 ^{aD}
	5	9.8±0.1 ^{cC}	10.0±0.7 ^{bcC}	7.9±0.2 ^{aC}	9.1±0.2 ^{bC}
	10	5.8±0.1 ^{cB}	6.0±0.2 ^B	3.4±0.1 ^{aB}	4.7±0.1 ^{bB}
	15	1.8±0.4 ^{abA}	2.3±0.0 ^{aA}	1.8±0.0 ^{aA}	1.8±0.0 ^{abA}

L, lightness; a, redness; b, yellowness.

All data are shown as mean±SD (n=5).

^{a-d}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

^{A-D}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

의 적색도가 유의적으로 높았으나, 숙성 말기인 15일에는 유의차가 없었다. 황색도(b)는 생시료 중 대서마늘이 19.2로 유의적으로 높았고 나머지 품종은 15.1-15.5의 범위로 서로 간의 유의차는 없었다. 이후 숙성 5일에는 황색도가 급격히 감소하였는데, 홍산마늘은 7.9로 가장 낮아 다른 마늘과 유의차가 있었으나 숙성 10일과 15일 차에는 품종 간에 유의적인 차이는 없었다.

마늘은 40-80°C의 숙성온도에서 maillard 반응에 의해 갈변화가 가속화되어 흑마늘로 변하는데 이때 5-hydroxymethyl furfural(5-HMF)의 생성은 마늘의 색을 검게 하며 숙성이 종료될 때 5-HMF의 생성량은 약 5 g/kg이라고 추정하는데, 이때 높은 상대습도와 온도에서 5-HMF의 생성량은 더 증가한다고 하였다(Zhang 등, 2016). 마늘의 숙성과정에서 생성되는 갈변물질은 항산화, 항염증, 세포보호 효과가 있다고 알려져 있다(Karina 등, 2019). 본 연구에서 품종이 다른 마늘을 숙성하면서 색도를 관찰한 결과, 숙성 5일과 10일 차에는 품종 간에 유의적인 차이가 있었지만 15일 이후에는 유의차가 없었던 것으로 보아 흑마늘 숙성에 따른 갈변물질은 숙성초기에 가속화된 후 완료되는 것으로 추정된다.

3.4. 마늘의 총페놀화합물 함량

마늘의 총페놀화합물의 변화는 Table 4와 같다. 생마늘의 총페놀화합물은 85.2-109.7 mg GAE/100 g의 범위로 대서마늘이 가장 낮은 반면 홍산마늘이 가장 높았다. Kim과 Ra(2019)의 보고에 의하면 제주에서 재배된 한산과 홍산마늘의 총페놀화합물은 각각 57.67 mg GAE/100 g과 122.85 mg GAE/100 g을 나타내어 두 품종 간 2.1배의 뚜렷한 차이를 보였다고 하였으며, Hyun 등(2008)도 마늘의 총페놀화합물의 함량은 재배 환경의 차이와 재배품종에 따른 차이가 있다고 보고 하였다.

숙성에 따른 총페놀화합물의 변화는 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였는데, 숙성 5일에 남도마늘은 숙성 전 생마늘에 비해 1.9배가 증가한 182.2 mg GAE/100 g으로 다른 품종에 비해 유의적으로 높았고 이후 숙성 15일에는 354.1 mg GAE/100 g으로 크게 증가하였다. 대서마늘은 숙성 15일 차에 255.6 mg GAE/100 g으로 다른 품종에 비해 유의적으로 낮았고 남도와 홍산마늘 대비 약 72-73% 수준이었다. 의성마늘은 남도와 홍산마늘보다 총페놀화합물의 함량이 낮았으나 대서마늘보다는 유의적으로 높았다.

Table 4. Total phenol content changes according to aging of black garlic by cultivar (mg GAE/100 g FW)

Garlic cultivar	Aging period (days)			
	0	5	10	15
Namdo	92.9±3.4 ^{aA}	182.2±3.5 ^{dB}	235.0±4.8 ^{bC}	354.1±5.8 ^{cD}
Daeseo	85.2±2.1 ^{aA}	154.1±1.2 ^{aB}	210.2±2.6 ^{aC}	255.6±2.3 ^{aD}
Hongsan	109.7±4.8 ^{cA}	173.0±1.7 ^{cB}	247.3±1.6 ^{cC}	356.2±1.5 ^{cD}
Uiseong	98.9±2.9 ^{bA}	164.6±1.1 ^{bB}	230.4±1.9 ^{bC}	310.6±11.9 ^{bD}

All data are shown as fresh weight (FW) mean±SD (n=3).

Total phenol contents analyzed as gallic acid equivalent (GAE) mg/100 g.

^{a-d}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{A-D}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Choi 등(2008)에 의하면 마늘이 장시간 열처리 과정을 거치면서 마늘 내 화합물의 구조적 변화 및 성분의 용출이 용이해지고 수분의 감소에 따라 유효성분이 농축되어 함량이 증가한다고 하였으며, 마늘을 60-90℃에서 숙성하였을 때 숙성온도가 높을수록 총페놀화합물의 함량은 더 많았다고 하였으나 90℃보다는 80℃에서 숙성하였을 때 총페놀화합물 함량이 더 높다고 하였고(Zhang 등, 2016), Toledano 등(2016)도 마늘의 총페놀화합물은 숙성온도와 숙성기간에 따라 차이가 있고 72℃보다 75℃ 이상의 온도에서 더 가속화되고 숙성기간이 길어질수록 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 총페놀화합물은 숙성초기 75-80℃의 온도에서 급격히 증가한 것으로 보아 숙성온도에 영향을 받은 것으로 추측되며, 모든 품종의 마늘이 숙성기간의 증가에 따라 유의적으로 증가하였으나 생마늘에서 함량이 높았던 시료가 유의적으로 더 높아 흑마늘의 총페놀화합물 함량은 원료에 기인하는 것으로 추측된다.

3.5. 품종별 마늘의 유리당 함량

품종별 마늘의 유리당 함량은 Table 5와 같다. 숙성기간에 따라 fructose는 유의적으로 증가하였고 glucose는 숙성 5일에 감소하다가 이후 증가하였으며 sucrose는 품종마다 증감에 차이가 있었다. 생마늘의 fructose 함량은 대서마늘이 591.7 mg/100 g으로 가장 높았고 다음으로 남도마늘이 333.0 mg/100 g이었다. 홍산마늘과 의성마늘은 가장 높았던 대서마늘에 비해 27.2% 및 31.9%가 낮았다. 이후 숙성에 따라 fructose 함량은 크게 증가하였는데, 숙성이 완료된 최종 흑마늘은 생마늘 대비 약 23.1-127.5배

까지 증가하였고 특히 홍산마늘은 20,561.9 mg/100 g으로 가장 크게 증가하였다.

생마늘 4종의 glucose 함량은 108.9-231.6 mg/100 g의 범위이던 것이 숙성 15일 후에는 686.3-789.9 mg/100 g으로 크게 증가하였으나 유의차는 없었다. Sucrose 함량은 품종에 따라 차이가 있었는데, 남도마늘은 숙성 15일에 생마늘에 비해 2.2배가 증가한 반면, 대서마늘은 10일까지 증가하다가 이후 소폭 감소하였고, 홍산마늘은 숙성 10일까지 감소하여 숙성 15일에는 생마늘 대비 22%가 감소하였다.

마늘의 유리당은 갓 수확한 햇마늘과 저장된 마늘에 따라 유리당의 함량과 성분에 차이가 있고 숙성 과정에도 영향을 미친다고 알려져 있다(Park 등, 1988; Shin 등, 2001). 마늘의 유리당 변화는 생마늘에 비해 흑마늘에서 최대 16배가 증가한다고 보고되어 있고(Kang 등, 2016), Choi 등(2008)도 흑마늘에서 유리당 함량이 더 높은 것은 다당류가 산성 및 고온조건에서 분해되기 때문이라고 하였다. 마늘은 당의 주요 저장형태가 전분이 아닌 과당의 중합체인 프럭탄의 형태로 존재하는데, 다른 식물에 비하여 fructooligosaccharide의 함량이 많은 것으로 알려져 있다(Shin 등, 1999). 본 연구에서도 흑마늘 숙성에 따라 fructose가 크게 증가하였는데 이는 생마늘에 다량 함유된 프럭탄이 가수분해되면서 fructose 함량이 증가한 것으로 추측되며 품종에 따라 유리당 함량에도 유의적인 차이가 있었다.

3.6. 마늘의 알린(alliin) 함량

마늘의 알린 함량은 Table 6과 같다. 생마늘의 알린 함량은 홍산마늘(1,087.5 mg/100 g)과 남도마늘(1,074.8 mg/100

Table 5. Free sugar content changes according to aging of black garlic by cultivar (mg/100 g FW)

Free sugar	Aging period (days)	Garlic cultivars			
		<i>Namdo</i>	<i>Daeseo</i>	<i>Hongsan</i>	<i>Uiseong</i>
Fructose	0	333.0±93.4 ^{ba}	591.7±130.5 ^{ca}	161.2±25.4 ^{ba}	189.1±36.3 ^{aba}
	5	4,438.7±88.6 ^{bb}	4,429.9±115.4 ^{bb}	4,214.7±267.5 ^{abb}	4,008.4±257.7 ^{ab}
	10	10,269.5±153.2 ^{cc}	9,982.1±86.4 ^{bc}	13,321.8±198.6 ^{dc}	9,329.5±22.3 ^{ac}
	15	16,673.3±310.6 ^{cd}	13,707.3±121.1 ^{ad}	20,561.9±528.1 ^{dd}	15,166.7±223.6 ^{bd}
Glucose	0	231.6±6.3 ^{ba}	132.9±22.1 ^{aA}	108.9±7.11 ^{aA}	130.5±14.6 ^{aB}
	5	138.8±71.6 ^{ba}	90.3±25.7 ^{aA}	86.0±29.0 ^{ba}	64.5±16.4 ^{aA}
	10	363.8±37.7 ^{ab}	396.2±82.5 ^{ab}	443.6±86.5 ^{ac}	362.7±6.13 ^{ac}
	15	693.9±109.3 ^{ac}	789.9±61.7 ^{ac}	719.7±141.7 ^{ad}	686.3±50.4 ^{ac}
Sucrose	0	414.1±28.8 ^{aA}	894.2±17.0 ^{ba}	999.9±14.4 ^{cC}	957.4±28.9 ^{cBC}
	5	822.3±11.5 ^{ab}	925.9±51.4 ^{ba}	778.2±9.1 ^{ab}	831.1±30.9 ^{aA}
	10	919.0±41.2 ^{bc}	943.2±36.9 ^{ba}	749.0±17.4 ^{aA}	898.3±20.7 ^{bb}
	15	940.1±20.3 ^{bc}	892.5±31.3 ^{ba}	775.8±11.3 ^{ab}	1,001.9±51.2 ^{cc}

All data are shown as fresh weight (FW) mean±SD (n=3).

^{a-d}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

^{A-D}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 6. Alliin content changes according to aging of black garlic by cultivar (mg/100 g FW)

Garlic cultivars	Aging period (days)			
	0	5	10	15
<i>Namdo</i>	1,074.8±4.4 ^{cb}	18.4±0.6 ^{ca}	ND	ND
<i>Daeseo</i>	878.3±12.2 ^{ab}	17.3±0.3 ^{ba}	ND	ND
<i>Hongsan</i>	1,087.5±9.1 ^{cb}	7.3±0.5 ^{aA}	ND	ND
<i>Uiseong</i>	984.2±2.8 ^{bb}	20.6±0.7 ^{da}	ND	ND

ND, not detected.

All data are showed as fresh weight (FW) mean±SD (n=3).

^{a-d}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

^{A-B}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

g)이 다른 품종보다 유의적으로 높았고, 두 시료 간의 유의차는 없었으나 대서마늘(848.3 mg/100 g)은 다른 품종에 비해 유의적으로 낮았다.

Lee 등(2008)의 연구에서 마늘의 알린 함량은 토양의 특성과 상관관계가 없다고 하였으나, Shaykewich(1995)의 연구에 의하면 작물의 재배 온도는 생육에 매우 중요한 환경요인으로 작용하며 생리반응에 큰 영향을 미친다고 보고되어 있다. 고아라 품종을 서귀포에서 재배할 경우 알린 함량은 9.44 mg/g, 남해에서 재배하였을 때는 6.41 mg/g,

담양에서 재배하였을 때 4.28 mg/g으로 차이가 있다고 보고되어 있는데(Kim과 Ra, 2019), 본 연구에서도 알린 함량은 마늘의 품종에 따라 유의적인 차이가 있었다. 알린은 alliinase에 의해 알리신으로 변하며 항암, 고지혈증억제, 항당뇨, 항산화 효과를 낸다고 알려져 있다(Se 등, 2009).

흑마늘 제조 공정에 따른 알린 함량은 숙성 5일에 7.3-20.6 mg/100 g으로 생마늘에 비해 급격히 감소하였고, 이후 숙성 10일에서는 검출되지 않았다. 생마늘에서 알린 함량이 가장 높았던 홍산마늘은 숙성 5일에 다른 품종보다 잔

존량이 가장 낮았다. Liu 등(2012)의 연구에서 열처리에 의해 숙성된 마늘의 알린 함량은 24시간 가열 후 67.5%가 감소하였는데, 본 연구에서도 흑마늘 숙성과정에서 70°C 이상의 온도에서 알린은 급격히 감소하여 유사한 경향이였다.

3.7. 마늘의 GSAC, SAC, GS1PC 및 S1PC 함량

마늘의 GSAC, SAC, GS1PC 및 S1PC 함량은 Fig. 2와 같다. 생마늘의 GSAC 함량(Fig. 2(A))은 품종에 따라 큰 차이가 있었는데, 남도마늘은 541.0 mg/100 g으로 다른 시료에 비해 유의적으로 높았고 그 다음으로 홍산마늘이 457.3 mg/100 g이었다. 대서마늘은 202.1 mg/100 g으로 4종의 마늘 중 가장 낮은 함량이었는데 남도마늘에 비해 37.3% 수준에 불과하였다. 마늘의 숙성과정에 따른 GSAC

함량은 유의적으로 감소하였는데 숙성 5일에 생마늘에 비해 33.6-57.9%가 감소하였고 이후 더 감소하여 최종 숙성 15일에 67.0-224.4 mg/100 g으로 낮아졌다. 특히 홍산마늘은 생시료에 비해 70.1%가 감소하여 감소율이 높은 반면, 남도마늘은 58%가 감소하여 다른 품종에 비해 감소율이 적었다.

생마늘의 SAC 함량(Fig. 2(B))은 0.61-1.13 mg/100 g의 범위로 다른 품종에 비해 홍산마늘이 가장 낮았다. 숙성 15일 동안 SAC 함량은 숙성 5일에 최대 함량이다가 서서히 감소하는 경향이였다. 이는 4종 모두 동일한 경향이였고 남도마늘은 숙성 5일에 208.0 mg/100 g으로 다른 품종에 비해 유의적으로 높았고 대서마늘(86.2 mg/100 g)은 남도마늘보다 낮은 약 58% 수준에 불과하였다. 숙성이 완료된

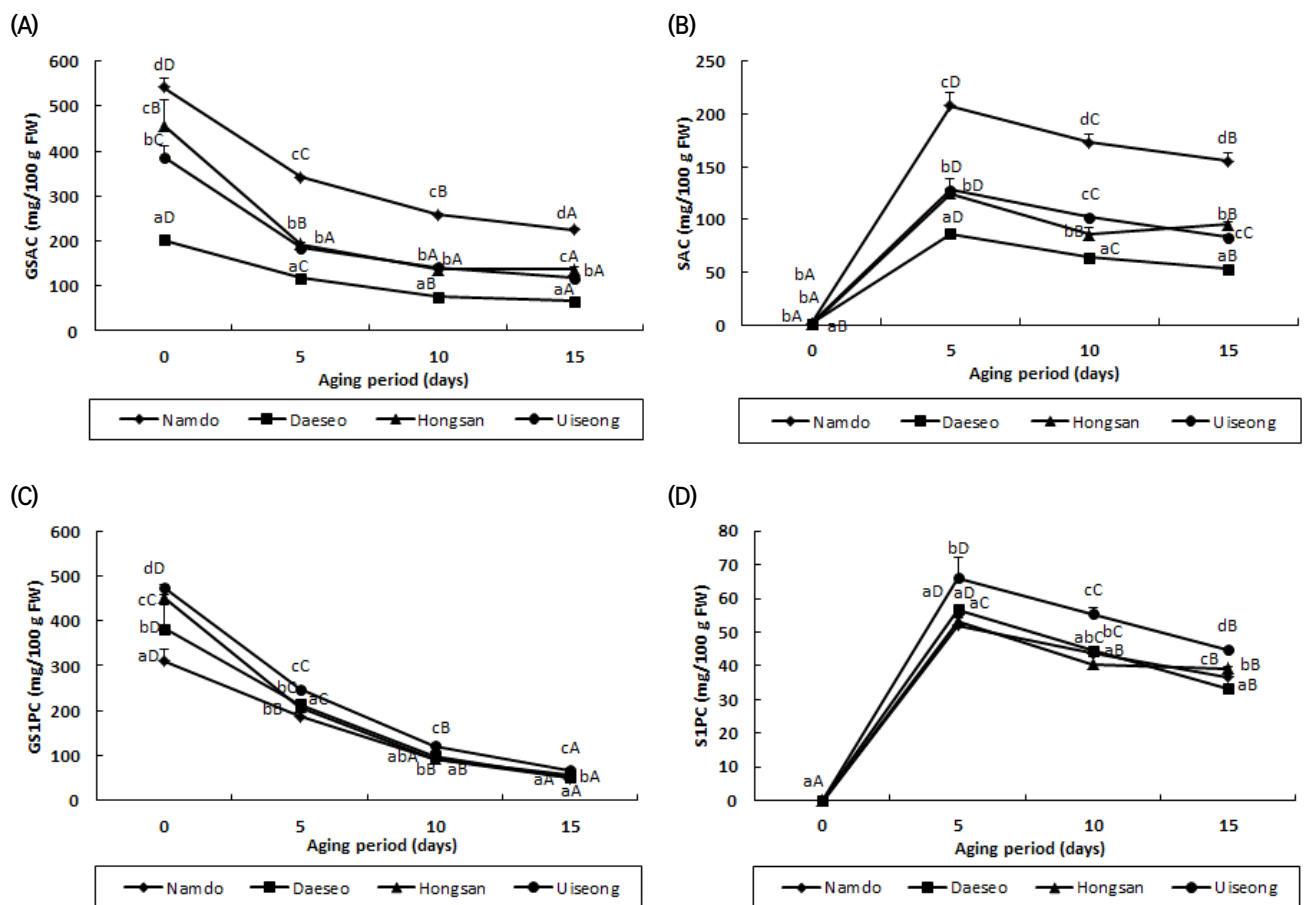


Fig. 2. Changes in GSAC (A), SAC (B), GS1PC (C) and S1PC (D) content according to aging of black garlic by cultivar. All data are showed as fresh weight (FW) mean±SD (n=3). ^{a-d}Mean in the same column with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test. ^{A-D}Mean in the same row with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

15일에 SAC 함량은 52.7-155.2 mg/100 g의 범위였고, 가장 높았던 숙성 5일에 비해 남도마늘과 홍산마늘은 각각 25.3% 및 23.8%가 감소하였고 대서마늘과 의성마늘은 더 감소하였다.

마늘의 SAC는 발효나 숙성에 따라 γ -glutamyl-S-alkenyl-L-cysteine이 transpeptidation되어 생성되고, oxidation에 의해 S-alkenyl-L-cysteine sulfoxide로 전환되는 것으로 알려져 있고(Fujii 등, 2018), 온도가 높고 숙성기간이 장기화될수록 transpeptidation이 감소되거나 oxidation이 증가되어 SAC의 함량이 감소된다고 알려져 있다(Jeong 등, 2015). 열처리 온도를 40-85°C의 범위에서 45일간 숙성한 마늘의 SAC 함량을 분석한 결과, 온도가 낮고 기간이 경과할수록 SAC 함량은 증가하는 것으로 보고되어 있다(Bae 등, 2012). Jeong 등(2015)의 연구에서 60°C에서 60일간 숙성한 시료의 SAC 함량은 15일에 100.5 mg/100 g으로 가장 높다가 이후 서서히 감소하여 60일 후에는 26.27 mg/100 g으로 낮았고, 70°C에서 숙성할 때 숙성 5일에 85.86 mg/100 g으로 최대 함량이다가 이후 서서히 감소하였다고 하였다. 따라서 본 연구에서도 SAC 함량은 숙성 5일에 크게 증가하였다가 이후 서서히 감소한 것으로 볼 때 숙성기간의 증가와 양의 상관관계는 아니며 숙성 온도에 따라 그 함량은 상이한 것으로 판단된다. SAC는 숙성된 마늘에 다량 함유되고 있고 항산화, 항염증, 신경보호 및 항암 등의 다양한 생리적 활성 효과가 있다고 알려져 있다(Liu 등, 2012).

생마늘의 GS1PC 함량은 의성마늘이 474.3 mg/100 g으로 유의적으로 높았고 홍산마늘은 450.4mg/100 g, 대서마늘은 382.7 mg/100 g으로 남도마늘이 가장 낮았다. 생마늘의 GSAC와 GS1PC 함량 비교에서 남도마늘은 GS1PC보다 GSAC가 약 1.7배가 더 높고 대서마늘은 이와는 반대로 GSAC보다 GS1PC가 1.8배 더 높았다. 의성마늘은 GSAC보다 GS1PC가 더 높고 홍산마늘은 두 성분의 함량이 유사한 것으로 미루어볼 때 품종에 따라 유효성분의 함량에 차이가 있는 것으로 판단된다. 흑마늘로 숙성 동안 GS1PC의 함량은 지속적으로 감소하여 숙성 15일에는 50.0-67.5 mg/100 g의 범위였다. 반면 S1PC(Fig. 2(D)) 함량은 생마늘에서 0.08-0.25 mg/100 g이던 것이 숙성 5일에 52.0-66.2 mg/100 g으로 크게 증가하다가 이후 감소하여

숙성 15일에 33.2-44.8 mg/100 g의 범위였는데, 의성마늘이 가장 높은 반면 나머지 3종은 유사하였다. 남도마늘은 GS1PC 함량이 낮았으나 숙성이 완료된 흑마늘은 36.6 mg/100 g으로 대서마늘보다 높았다.

마늘을 알코올에 담그면 황을 함유한 아미노산인 SAC 및 S1PC 함량이 증가하는데 이는 마늘에 함유된 GSAC와 GS1PC가 γ -glutamylpeptidases에 의해 가수분해를 통해 생성되며(Lawson, 1996), 신선마늘을 -3°C, 4°C 및 23°C에서 150일 동안 보관하면서 GS1PC 함량을 측정된 결과 10일과 60일 사이에 초기 함량의 약 80%, 34%, 75%가 감소하였다(Ichikawa 등, 2006). 따라서 마늘의 기능성 물질인 SAC와 S1PC 함량은 원료 마늘에 기인하는 전구체인 GSAC 및 GS1PC의 함량 차이와 숙성에 따른 온도 및 기간에 의해 생성량이 달라질 수도 있을 것으로 추측된다.

4. 요약

우리나라 대표적인 남도, 대서, 홍산과 의성 마늘의 품질 특성을 비교하고 각각의 마늘을 흑마늘로 숙성하면서 유효물질의 변화를 조사하였다. 흑마늘은 60-80°C의 범위에서 15일간 숙성하면서 5일 단위로 시료를 취하였다. 총페놀화합물은 생마늘에서 85.2-109.7 mg GAE/100 g이던 것이 숙성기간이 증가함에 따라 증가하였고, 생마늘과 제조된 흑마늘 모두 홍산마늘이 가장 높았다. 알린 함량은 생마늘에서 848.3-1,087.5 mg/100 g이던 것이 숙성 5일에 7.3-20.6 mg/100 g으로 유의하게 감소한 후 더 감소하였다. 생마늘의 GSAC(γ -glutamyl-S-allyl-cysteine)와 GS1PC(γ -glutamyl-S-1-Propenyl-l-Cysteine) 함량은 202.1-541.0 mg/100 g, 311.1-474.3 mg/100 g이었으며 숙성 동안 점차 감소하였다. 한편, SAC(S-allyl-cysteine) 및 S1PC(S-1-Propenyl-l-Cysteine) 함량은 4종 모두 생마늘일 때 매우 낮았으나 숙성 5일 차에 크게 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 숙성 5일째 SAC 함량은 남도마늘이 208.0 mg/100 g으로 다른 시료에 비해 유의적으로 높았고, S1PC는 의성마늘이 66.2 mg/100 g으로 유의적으로 높았다. 이는 생마늘에서 SAC 및 S1PC의 전구물질인 GSAC와 GS1PC가 높았던 시료가 흑마늘 숙성 후에도 높은 경향이 있었다. 따라서 마늘은 품종에 따라 유효물질의 함량에 차이

가 있고 숙성 후의 주요 화합물의 변화에도 유의적인 차이가 있을 것으로 추측되어 향후 기능성 식품 연구의 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kang MJ. Methodology: Kang MJ. Formal analysis: Yoo SH, Cha GS, Kim DG. Validation: Yoo SH. Writing - original draft: Kang MJ. Writing - review & editing: Kang MJ.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Seung Hee Yoo (First author)

<https://orcid.org/0009-0000-0103-2870>

Gun Su Cha

<https://orcid.org/0000-0003-0598-3133>

Dong Gyu Kim

<https://orcid.org/0000-0003-3503-9733>

Min Jung Kang (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-4500-9538>

References

- Ahn SJ, Lee A, Min SS, In S, Kim E, Kim HJ. Comparison of physicochemical characteristics of garlic produced from South Korea and China. *J Food Sci*, 84, 1806-1811 (2019)
- Ahn YK, Yoon MK. Effect of short day length and temperature control on garlic florogenesis. *Korean J Horticult Sci Technol*, 28, 180-185 (2010)
- Bae SE, Cho SY, Won YD, Lee SH, Park HJ. A comparative study of the different analytical methods for analysis of S-allyl-cysteine in black garlic by HPLC. *LWT-Food Sci Technol*, 46, 532-535 (2012)
- Block E, Naganathan S, Putman D, Zhao SH. Allium chemistry: HPLC analysis of thiosulfinates from onion, garlic, wild garlic (Ramsons), leek, scallion, shallot, elephant (greek-heated) garlic, chive, and Chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. *J Agric Food Chem*, 40, 2418-2430 (1992)
- Choi DJ, Lee SJ, Kang MJ, Cho HS, Sung NJ, Shin JH. Physicochemical characteristics of black garlic (*Allium sativum* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 37, 465-471 (2008)
- Etoh T, Ogura H. Peroxidase isozymes in the leaves of various clones of garlic, *Allium sativum* L. *Mem Fac Agri Kagoshima Univ*, 17, 71-77 (1981)
- Folin O, Denis W. A colorimetric method for the determination of phenols (and phenol derivatives) in urine. *J Biol Chem*, 22, 305-308 (1915)
- 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*, 66, 10506-10512 (2018)
- Han JW. Effect of genotype and environment on agricultural characteristics and alliin in garlic. MS Thesis, Konkuk University, Korea, p 28-29 (2019)
- Harn C, Choung D, Kim B. Studies on the karyotypes of *Allium sativum*. *J Korean Soc Hort Sci*, 2, 58-67 (1996)
- Hwang JM. Genetic divergence and classification of garlic cultivars by multivariate analysis. *J Korean Soc Hort Sci*, 33, 257-264 (1993)
- Hyun SH, Kim MB, Lim SB. Physiological activities of garlic extracts from Daejeong Jeju and major cultivating areas in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 37, 1542-1547 (2008)
- Ichikawa M, Ide N, Yoshida J, Yamaguchi H, Ono K. Determination of seven organosulfur compounds in garlic by high-performance liquid chromatography. *J Agric Food Chem*, 54, 1535-1540 (2006)
- Jeong YS, Hwang KA, Kim GR, Song J, Noh GM,

- Hwang IG. Effects of the aging conditions on the quality characteristics of garlic. *Korean J Food Nutr*, 28, 745-751 (2015)
- Kang OJ. Physicochemical characteristics of black garlic after different thermal processing steps. *Prev Nutr Food Sci*, 21, 348-354 (2016)
- Karina LRR, Antonia M, Agustín O, Mar V. Physicochemical changes and sensorial properties during black garlic elaboration: A review. *Trends Food Sci Technol*, 88, 459-467 (2019)
- Kim JS, Ra JH. Comparison of phytochemical composition and physiological activity of 'Hongsan' and 'Hansan', a new variety of garlic. *Korea J Food Sci Technol*, 51, 147-151 (2019)
- Kim JS, Ra JH, Hyun HN. Comparison of biochemical composition and antimicrobial activity of southern-type garlic grown in the eastern and western region of Jeju. *Kor J Hort Sci Technol*, 33, 763-771 (2015)
- Lancaster JE, Shaw ML. γ -Glutamyl peptides in the biosynthesis of S-alk(en)yl-L-cysteine sulphoxides (flavour precursors) in *Allium*. *Phytochemistry* 28, 455-460 (1989)
- Lawson LD. The Composition and Chemistry of Garlic Cloves and Processed Garlic. Koch HP, Lawson LD (Editors), William & Wilkins, Baltimore, MD, USA, p 37-107 (1996)
- Lawson LD. Garlic: A review of its medicinal effects and indicated active compounds. *Blood*, 179, 62 (1998)
- Lawson LD, Wang ZJ, Hughes BG. γ -Glutamyl-S-alkylcysteines in garlic and other *Allium* spp.: Precursors of age-dependent trans-1-propenyl thiosulfonates. *J Nat Prod*, 54, 436-444 (1991)
- Lee HS. Effects on antioxidative capacity and lipid improvement of black garlic according to different aging periods. Ph D Thesis, Kyungsoong University, Korea, p 28-29 (2010)
- Lee JS, Pak YK, Kwon YH, Chang WB, Lee HD. Classification of garlic germplasms based on agronomic characteristics and multivariate analysis. *Korean J Plant Res*, 34, 79-88 (2021)
- Lee YK, Sin HM, Woo KS, Hwang IG, Kand TS, Jeong HS. The relationship between functional quality of garlic and soil composition. *Korea J Food Sci Technol*, 40, 31-345 (2008)
- Liu Z, Li M, Chen K, Yang J, Chen R, Wang T, Liu J, Yang W, Ye Z. S-Allylcysteine induces cell cycle arrest and apoptosis in androgen-independent human prostate cancer cells. *Mol Med Rep*, 5, 439-443 (2012)
- Matsutomo T, Ushijima M, Kodera Y, Nakamoto M, Takashima M, Morihara N, Tamura K. Metabolomic study on the antihypertensive effect of S-1-propenylcysteine in spontaneously hypertensive rats using liquid chromatography coupled with quadrupole-orbitrap mass spectrometry. *J Chromatogr B*, 1046, 147-155 (2017)
- Nakagawa S, Kasuga S, Matsuura H. Prevention of liver damage by aged garlic extract and its components in mice. *Phytotherapy Res*, 3, 50-53 (1989)
- Nishiyama N, Moriguchi T, Morihara N, Saito H. Ameliorative effect of S-allylcysteine, a major thioallyl constituent in aged garlic extract, on learning deficits in senescence accelerated mice. *J Nutr*, 131, 1093S-1095S (2001)
- Numagami Y, Ohnishi ST. S-Allylcysteine inhibits free radical production, lipid peroxidation and neuronal damage in rat brain ischemia. *J Nutr*, 131, 1100-1105 (2001)
- Park MH, Kim JP, Kwon DJ. Physico-chemical characteristics of components and their effects on freezing point depression of garlic bulbs. *Korean J Food Sci Technol*, 20, 205-212 (1988)
- Park YK, Kang YH. Enzymatic maceration of vegetables with cell separating enzymes. *Korean J Postharvest Sci Technol*, 7, 184-188 (2000)
- Pooler MR, Simon PW. Characterization and classification of isozyme and morphological variation in a diverse collection of garlic clones. *Euphytica*, 68, 121-130 (1993)
- Rural Development Administration (RDA). Garlic. Available from: <http://www.nongsaro.go.kr>

- Accessed Dec, 16, 2022.
- Se JH, Kim JM, An SY, Cho JG, Kim JM, Park HY. Effect of *Alliin* on vascular functions. *J Life Sci*, 19, 976-982 (2009)
- Shaykewich CF. An appraisal of cereal crop phenology modelling. *Can J Plant Sci*, 75, 329-341 (1995)
- Shin DB, Hawer WD, Koo MS, Kim YS, Jeun HS. Quality Evaluation of Garlic from Different Cultivation Area. Korea Food Research Institute, p 1470-0110 (2001)
- Shin DB, Seog HM, Kim JH, Lee YC. Flavor composition of garlic from different area. *Korean J Food Sci Technol*, 31, 293-300 (1999)
- Suzuki JI, Miki S, Ushijima M, Kodera Y. Regulation of immune response by S-1-propenylcysteine through autophagy-mediated protein degradation. *Exp Ther Med*, 19, 1570-1573 (2020)
- Tak HM, Kang MJ, Kim KM, Kang DW, Han SK, Shin JH. Anti-inflammatory activities of fermented black garlic. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 43, 1527-1534 (2014)
- Toledano Medina M, Angeles, Perez-Aparicio J, Moreno-Rojas R, Merinas-Amo T. Evolution of some physicochemical and antioxidant properties of black garlic whole bulbs and peeled cloves. *Food Chem*, 199, 135-139 (2016)
- Ushijima M, Kunimura K, Suzuki JI. S-1-Propenylcysteine, a sulfur compound in aged garlic extract, alleviates cold-induced reduction in peripheral blood flow in rat via activation of the AMPK/eNOS/NO pathway. *Exp Ther Med*, 20, 2815-2821 (2020)
- Wang X, Jiao F, Wang QW, Wang J, Yang K, Hu RR, Wang YS. Aged black garlic extract induces inhibition of gastric cancer cell growth *in vitro* and *in vivo*. *Mole Med Rep*, 5, 66-72 (2012)
- Welch C, Wuarin L, Sidell N. Antiproliferative effect of the garlic compound S-allylcysteine on human neuroblastoma cell *in vitro*. *Cancer Lett*, 63, 211-219 (1992)
- Wi SH, Moon KH, Song EY, Son IC, Oh SJ, Cho YY. Growth and fresh bulb weight model in harvest time of southern type garlic Var. 'Namdo' based on temperature. *J Bio Env Con*, 26, 13-18 (2017)
- Woo HJ, Cha GS, Kang MJ, Kyung KH. Assessment of standardization of domestic commercial black garlic extract for S-allyl-L-cysteine and S-1-propenyl-L-cysteine. *Food Sci Biotechnol*, 23, 253-260 (2022)
- Xiong F, Dai CH, Hou FR, Zhu PP, He RH, Ma HL. Study on the ageing method and antioxidant activity of black garlic residues. *Czech J Food Sci*, 36, 88-97 (2018)
- Zhang X, Li N, Lu X, Liu P, Qiao X. Effects of temperature on the quality of black garlic. *J Sci Food Agri*, 96, 2366-2372 (2016)