

콩 조기파종이 Isoflavone 함량 및 아미노산 조성에 미치는 영향

김종혁¹ · 장미하¹ · 남주희² · 노일래^{3,4,†}

Effect of Early Soybean Seeding on Isoflavone Content and Amino Acid Composition

Jong Hyuk Kim¹, Mi Ha Jang¹, Ju Hee Nam², and Il Rae Rho^{3,4,†}

ABSTRACT Soybeans have various applications, and are a major source of proteins, carbohydrates, and fats. As climate warming has accelerated in recent years, this study was conducted to analyze the effect of different sowing periods on component changes in protein, amino acid, and antioxidant contents of various soybean varieties. The isoflavone content of soybeans that were sown early did not differ with the sowing period. Based on the results, only the total isoflavone content was confirmed in functional soybean cultivars such as Cheongja-5, which had blue-colored seeds; Pungsan and Sowon, which used soybean sprouts; and Jinyang, which lacked a fishy smell. There was no significant difference in the changes in protein and amino acid content in soybean cultivars with respect to the sowing time. The protein and amino acid contents in early-sown soybeans tended to be lower than that in timely sown soybeans. In most varieties, the content of proline was the highest in early-sown soybeans, confirming the presence of stress due to early sowing.

Keywords : amino acid, isoflavone, protein, sowing, soybean

콩(*Glycine max.* L)은 전 세계적으로 재배되는 중요한 작물 중 하나로 동아시아가 원산지인 현재 세계적으로 약 95.9만 ha가 재배되고 있고, 주로 남아메리카와 북아메리카 그리고 아시아 지역이 주요한 생산지이다(FAO, 2022). 콩은 식물성 오일과 단백질 공급원으로 재배되는 작물로 아시아 지역에서는 단백질과 지방 공급원으로 이용되고 있고, 미국 등지에서 유지작물로 이용되고 있다. 최근에는 식용 외에도 비누, 제약, 잉크, 페인트, 화장품 원료 등 광범위하게 이용되고 있다.

콩의 주요한 성분은 단백질 함량이 40%, 탄수화물 30%, 지방 20%를 함유하고 있어 영양학적 가치가 높다(Sa *et al.*, 2003). 특히 아시아 지역처럼 쌀을 주식하는 나라에서 쌀에 부족한 식물성 단백질의 중요한 공급원으로서 간장이나 된장 같은 장류의 원료이자 두부, 콩나물 등 필수식물의 원천

이다(RDA, 2018). 이외에도 기능성물질로는 이소플라본, 피트산, 루테인 등의 다양한 성분을 함유하고 있다. 이중 이소플라본은 항암, 기능성물질로 알려져 있고 일반적으로 100~300 mg/100g 정도 함유되어 있는 것으로 알려져 있고 이소플라본은 플라보노이드 배당체 중의 하나이다(Lee *et al.*, 2013). 현재 알려진 이소플라본은 12종이며 이중 대표적인 것인 Dadizin, Genistin, Glycitin 등이다. 이소플라본은 콩의 씹쓸하고 비린내처럼 좋지 않은 맛을 내는 성분이지만, 항암, 항산화, 골다공증, 심혈관 질환 예방 효능이 알려져 있다(Moon *et al.*, 2011).

콩은 콩과에 속하는 1년생 초본으로 생육기간이 짧은 것은 75일, 가장 긴 것은 200일 정도 되는 것도 있다. 그러나 실제 국내에서 재배되고 있는 품종들은 90~160일 범위에 속한다. 콩은 기본적으로 서리피해가 없고 토양온도가 15°C

¹경상국립대학교 응용생명과학부 박사과정 (Ph.D, Department of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

²경기도 농업기술원 친환경미생물연구소 농업연구사 (Agricultural Researcher, Environment-Friendly Microorganism Research Institute, Gyeonggi-Do Agricultural Research and Extension Service, Gwangju 12805, Korea)

³경상국립대학교 농학과 교수 (Professor, Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 책임연구원 (Senior Researcher, Institute of Agriculture Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

†Corresponding author: Il Rae Rho; (Phone) +82-55-772-1872; (E-mail) irno12@gnu.ac.kr

<Received 11 July, 2022; Revised 17 August, 2022; Accepted 6 September, 2022>

이상이면 발아가 가능하지만 우리나라에서 콩 파종은 대체로 4월 중순부터 7월 중순까지 약 3개월 정도 가능하지만 파종시기에 따라서 수량과 품질의 차이가 크다고 알려져 있다(Lee *et al.*, 2019). 따라서 우리나라 남부지방에서는 콩은 일반적으로 6월 중하순에 파종하여 10월 중하순에 수확하고 중북부지방은 이보다 조금 이른 시기에 파종 및 수확하는 하는 것이 일반적인 재배방법이다. 그러나 콩의 생태적 파종시기가 넓은 폭(4~7월)을 가지고 있음에도 불구하고 콩의 파종시기에 관한 연구 대부분은 생육 및 수량과 관련된 것으로 단백질이나 기능성물질에 관한 성분함량에 관한 연구는 미비한 실정이다.

콩의 수량에 결정적인 영향을 미치는 시기로 개화기~착형기 사이라는 보고가 있고(Jiang & Egli, 1995), 이 시기는 종실이 발육을 시작하여 10~12일 후에 종료된다고 하였다(Board & Tan, 1995). 따라서 이시기가 연장될수록 일사량이 많아 동화물질의 전류량이 증가하고 결과적으로 마디수와 종실수의 증가로 수량이 증대된다는 보고(Magali *et al.*, 2015)가 있는 반면 개화기부터 등숙기 까지 고온조건이 되면 종실중이 감소한다는 보고도 있다(Zheng *et al.*, 2002; Gibson & Mullen, 1996). 또한 콩은 전형적인 단일성 작물로 일장에 의해 개화시기가 결정되기 때문에 조기 파종에 따라 영양생장기간이 길어지고, 영양생장기간 중 고온으로 지상부 생육이 과번무하고 등숙율이 낮아 수량이 감소할 우려도 존재하고 있다(Kim *et al.*, 2013). Lee *et al.* (2018) 등은 콩의 파종시기별 폴리페놀 성분함량을 조사한 결과 미소, 새단백, 청미인, 청자3호는 적기 파종(6월) 보다 만기 파종(7월)시 유의적으로 증가한다고 하였고, 대원콩, 진품콩, 청두 1호, 검정 5호 등은 적기 파종보다 만기 파종에서 감소한다고 하여 품종별로 차이가 크다고 하였다.

따라서 본 연구는 최근 기후난민화에 대응하여 다양한 용도의 콩 품종을 파종시기를 달리하였을 때 수량보다는 성분 함량에 초점을 맞추어 단백질, 아미노산 및 기능성 물질들의 함량 변화를 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 실험은 경상남도 진주시 대곡면 경상국립대학교 부속 농장에서 수행하였다. 시험품종으로는 조생종(새울, 참울), 중만생종(선유, 연풍), 만생종(대원, 대찬), 나물용콩(소원, 풍산)종, 유색콩(소청자, 청자 5호), 기능성콩(진양) 등 총 11품종을 사용하였다. 파종 전 퇴비(1.5 t/10a)와 기비는 농촌진흥청 표준시비량(N-P-K; 3-3-3.4 kg/10a)을 기준으로

하여 시비하였다. 이랑 형성 후 흑색비닐멀칭을 하고, 포장(30 × 15 m) 내 재식거리를 60 × 15 cm로 1주 2본으로 20 주씩 난괴법 3 반복으로 파종하였다. 파종은 2021년 3월 24일(March), 4월 16일(April), 5월 17일(May)에 각각 파종하였다. 수확은 3월 24일에 파종한 새울 및 참울은 8월 11일, 선유 2호, 연풍, 진양 및 소원은 8월 19일, 대원, 대찬 및 풍산은 8월 25일, 소청자 및 청자 5호의 경우 9월 30일에 수확하였고, 4월 16일에 파종한 새울 및 참울은 8월 11일, 선유 2호, 연풍, 대원 및 대찬, 8월 25일, 소원, 풍산, 소청자 및 진양은 9월 29일, 청자 5호의 경우에는 10월 18일에 수확하였다. 마지막으로 5월 17일에 파종한 새울 및 참울은 8월 30일, 선유 2호, 연풍 및 진양의 경우 9월 28일, 대원, 대찬, 소원, 풍산, 소청자 및 청자 5호의 경우 11월 01일에 각각 수확하였다. 수확한 콩은 건조 및 정선하였으며, 4°C 냉장고에 보관 후 분석에 이용하였다.

Isoflavone 함량분석

마쇄한 콩 시료 분말 1 g을 80% methanol (MeOH) 40 mL을 넣고 Sonic water bath에서 20°C에서 2시간 동안 추출하였다(Lee *et al.*, 2013). 이후 추출액에 2M sodium hydroxide (NaOH) 4mL을 넣어 검화시키고, acetic acid 1 mL을 넣고 80% MeOH을 첨가하여 total volume 50 mL이 되도록 첨가하였다. 이후 30분간 반응시킨 뒤 상층액 5 mL을 취한 뒤 증류수 4 mL 첨가하고 total volume 10 mL이 되도록 80% MeOH을 첨가하였다. 각 샘플은 0.45 μm membrane filter를 통하여 여과한 뒤 HPLC로 분석하였다. HPLC 분석은 HPLC-DAD (Agilent 1100, Agilent Technologies, CA, USA)을 이용하였고, column은 ZORBAX Eclipse XDB-C18 (4.6 × 150 mm, 5 μm)을 이용하였다. 이동상은 메탄올(0.1% acetic acid) 35%, water (0.1% acetic acid) 65%의 비율로 1 ml/min의 유속으로 분석하였다. Injection volume은 5 ul, 컬럼 온도는 40°C로 하여 UV 260 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 Dadizin, Genistin, Glycitin (Sigma-aldrich, St. Louis, MO, USA)을 각각 10, 20, 30 ppm의 농도로 희석하여 표준곡선을 작성하였다.

단백질 함량 분석

단백질 분석은 Kim *et al.* (2010) 등의 방법을 응용하여 실시하였다. 마쇄한 콩 시료 1 g을 실온조건에서 85% n-hexane 10 mL을 넣고 10분간 교반하였다. 교반 후 시료가 가라앉을 때 까지 기다린 후 상등액을 버리고, 다시 10 mL의 85% n-hexane을 첨가하여 10분간 교반하는 과정을 총 5회 반복 실시하였다. 이후 시료는 질소가스를 이용하여 여

분의 n-hexane을 휘발시켰다. 추출 시료에서 0.1 g을 취하여 증류수 1 ml을 넣고 10분간 교반하여 단백질을 추출하였다. 추출 후 4°C에서 15,000 rpm으로 15분 동안 원심분리(1730R, Gyrpzen Co., Ltd., Porton Down, England) 한 후 상등액을 취하여 100°C 항온수조(DS-21M, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)에서 3분간 증탕하여 분석에 사용하였다. 단백질 정량 분석은 96 well plate에 Bradford 용액 250 µl을 넣고 샘플 5 µl을 넣고 20분간 반응시킨 후 분광광도계(EZ, Read 2000, Biochrome, Cambridge, England)을 이용하여 595 nm에서 측정하였다. 표준곡선은 BSA (Bovine serum albumin, BIO-RAD, CA, USA)를 0.125, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 mg/mL 농도로 작성하였다.

아미노산 분석

마쇄된 콩 시료 40 mg을 6N HCl 15 mL에 넣고 질소가스로 1 min 동안 purging을 시킨 후 시험관을 밀봉 한 뒤 110°C의 드라이오븐에 넣어 22 시간동안 가수분해하였다 (Sim *et al.*, 2020). 이 후 상온에서 충분히 식힌 뒤 질소농축기를(ENDK200-2N, Lab Tech, Wanju, Korea) 이용하여 50°C 조건에서 농축하였다. 그 후 0.02N HCl을 10 ml 넣은 뒤 0.22 µm membrane filter를 이용하여 여과시킨 후 HPLC로 분석하였다. HPLC-DAD 분석은 column은 ZORBAX Eclipse AAA (4.6 × 150 mm 5 µm, Agilent Technology, CA, USA)를 이용하였고, 컬럼의 온도는 40°C, Injection volume은 20 µl로 하였다. 이동상은 용매 A : 40 mM Na₂HPO₄ (pH 7.8 with 10N NaOH), 용매 B : ACN:MeOH:water=45:45:10를 이용하여 1 ml/min의 유속으로 분석하였다. Mobile phase는 용매 B의 농도를 0-1.9 min 0%, 1.9-18.1 min 57%, 18.1-22.3 min 100%, 22.3-30.0 min 0%로 하였다. 분석 파장대는 1차 아미노산 18종류는 338 nm, band width 10 nm (reference 390 nm, band width 20 nm), 2차 아미노산 2종류는 262 nm, band width 16 nm (reference 324 nm, 8 nm)의 조건으로 분석하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 실시하였으며, 각 데이터는 SPSS (SPSS Version 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 및 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)를 실시한 후, Duncan's Multiple Range Test (RMRT)을 통하여 5% 유의수준에서 통계적 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

콩 품종별 파종시기에 따른 Isoflavone의 함량 변화

파종일에 따른 품종별 Dadizin의 함량은 품종과 파종시기에 따라 37.1~824.1 µg/g로 다양하게 나타났다. Dadizin 함량이 가장 높은 품종은 파종시기에 관계없이 청자 5호가 690.3~821.4 µg/g로 가장 높았고, 가장 낮은 품종은 참을 품종이 37.1~54.1 µg/g로 가장 낮았다(Fig. 1). 품종별 파종시기에 따라 Dadizin함량의 유의한 경향은 없었다. Glycitin 함량은 10.3~264.1 µg/g의 범위로 품종과 파종시기별로 다양하였으나 유의한 경향은 없었다. 3월에 파종한 대찬 품종이 264.1 µg/g으로 가장 높았으나 4월과 5월에 파종한 것은 다소 낮아지는 경향을 나타내었고, 새을 품종은 파종시기에 관계없이 가장 낮았다. Genistin 함량은 32.7~947.2 µg/g의 다양한 함량 범위를 나타내었고 이중 기능성 콩으로 4월에 파종한 진양콩이 947.2 µg/g으로 가장 높았으나 파종시기에 관계없이 가장 높은 것은 청자 5호 품종으로 823.8~833.0 µg/g의 함량을 나타내었다. 전체적인 isoflavone 함량은 품종별 파종시기에 따른 유의한 경향을 찾을 수는 없었다. 그러나 품종별로는 다양한 차이가 있음을 확인하였고 이중 속이 푸른 청자 5호, 소청자, 비린내가 없는 진양콩, 나물콩인 풍산, 소원과 같은 기능성 콩에서 isoflavone의 함량이 일반 재배콩에 비해 높음을 확인할 수 있었다. 이것은 이미 보고된 연구에서와 같이 기능성 콩의 isoflavone 함량이 244~1,111.2 µg/g 범위에 있는 것과 일치하는 경향을 보여 조기 파종에 따른 함량 변화는 미비한 것으로 나타났다(Hong *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2018).

콩 종실 내 이소플라본의 합성은 4-Coumaroyl-CoA로부터 일련의 과정을 거쳐 glycon, glycoside, malonyl-glycoside 및 acetyl glycoside 등의 이소플라본을 합성하고 이는 액포에 저장되거나 아포플라스트를 통하여 뿌리로 전달되거나 종실에 저장된다(Sugiyama *et al.*, 2017). 이 때 종실로 전류되는 이소플라본은 환경과 품종에 따라 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Eldridge & Kwolek, 1983; Yu *et al.*, 2010). Caldwell *et al.* (2005) 등은 종실발달기의 고온이 종실 내 이소플라본의 함량을 감소시킨다고 하였고, Kim *et al.* (2012) 등은 파종기가 5월에서 7월로 감에 따라 전체 이소플라본의 함량이 증가한다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 조기 파종에 따른 영양생장기간의 증대와 종실 발달기에 장기간의 고온으로 인해 조기 파종에 따른 isoflavone의 증대효과는 없는 것으로 사료된다.

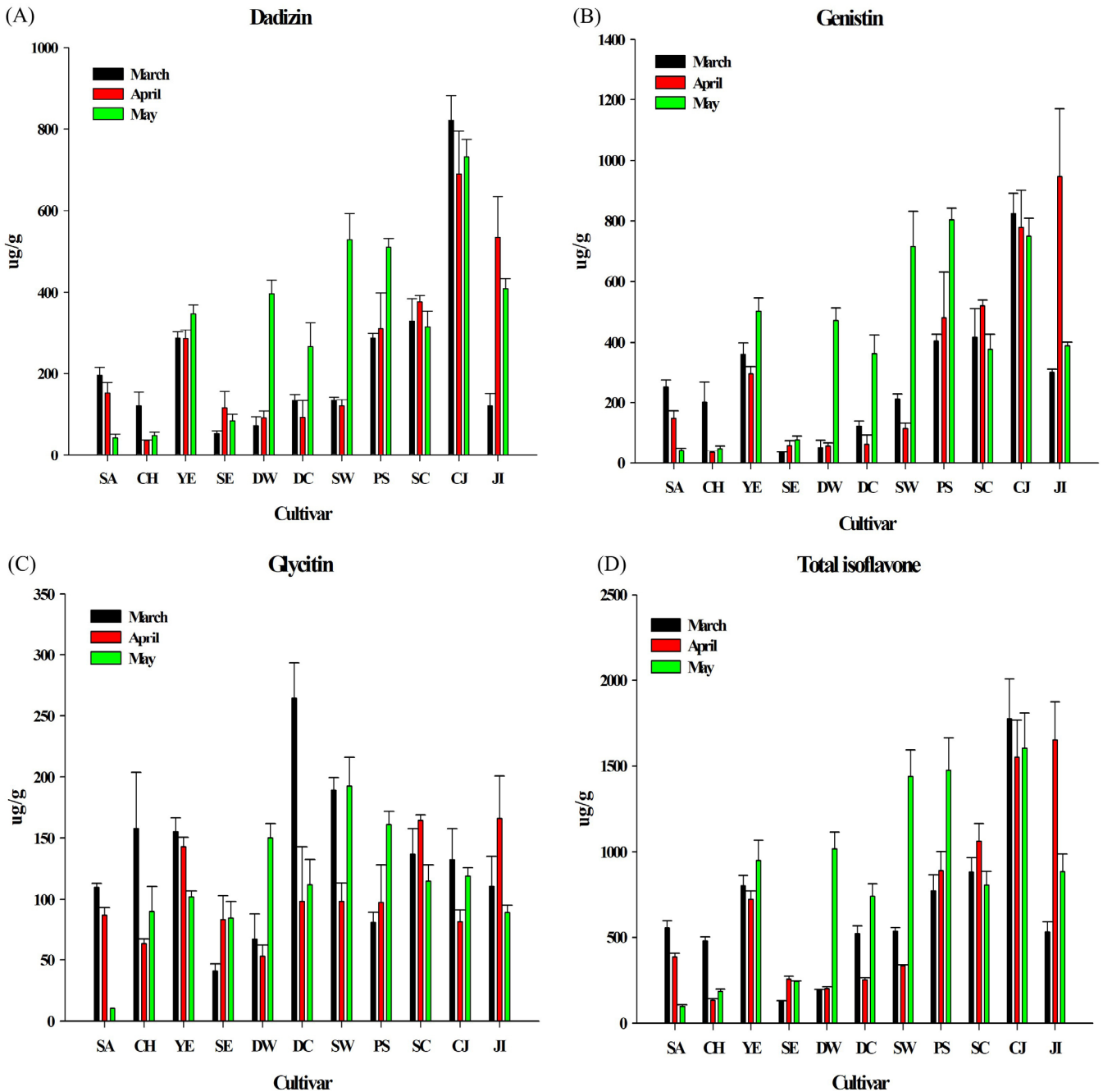


Fig. 1. Isoflavone (dadizin, glycitin, genistin) contents of soybean cultivars in different seedling periods. The vertical bars represent the standard error of the means (n = 3). SA: Seaol, CH: Chamol, YE: Yeonpung, SE: Sonyou 2ho, DW: Deawon, DC: Deachan, SW: Sowon, PS: Pungsang, SC: Sochangja, CJ: Cheangja 5ho, JI: Jinyang.

콩 품종별 파종시기에 따른 종실 저장단백질 함량 변화

파종시기에 따른 11 품종의 저장 단백질 함량은 평균적으로 23.2~35.7%의 함량을 나타내어 품종간 차이가 심하였고, 같은 품종내에서도 파종시기별로도 많은 차이가 있었다(Table 1). 3월에 파종한 품종들의 경우 청자 5호 > 연

풍 > 소청자 > 진양 > 대찬 > 새울 > 풍산 > 대원 > 소원 > 참울 > 선유2호 순으로 높은 함량을 나타내었다. 4월 파종은 청자5호 > 진양 > 대찬 > 풍산 > 소원 > 새울 > 대원 > 소청자 > 연풍 > 참울 > 선유 2호 순으로 높았고, 5월에 파종한 품종들은 소원 > 진양 > 소청자 > 대찬 > 대원 > 새

Table 1. Analysis of protein contents of soybean cultivars with respect to different seedling periods.

Cultivar	March	April	May	Average	CV	P-value
	(%)					
Saeol	33.2 ^{bc*}	33.4 ^{cd}	31.7 ^{bd}	32.7	5.6	0.537
Chamol	24.4 ^{de}	24.1 ^f	27.8 ^{df}	25.5	9.8	0.160
Yeonpung	36.2 ^a	26.8 ^e	26.8 ^{ef}	29.9	15.9	0.000
Seonyou-2	23.0 ^e	22.3 ^f	24.2 ^f	23.2	6.2	0.329
Daewon	31.5 ^c	32.9 ^d	34.4 ^{ac}	32.9	4.9	0.670
Daechan	33.4 ^{bc}	35.1 ^{bc}	35.6 ^{ab}	34.7	3.1	0.004
Sowon	25.6 ^d	33.5 ^{bd}	38.2 ^a	32.4	17.1	0.000
pungsan	32.7 ^{bc}	34.4 ^{bd}	29.8 ^{ce}	32.3	13.4	0.483
Socheongja	36.1 ^a	32.8 ^d	35.7 ^{ab}	34.9	5.6	0.630
Cheongja-5	36.5 ^a	37.2 ^a	26.4 ^{ef}	33.4	16.0	0.000
Jinyang	34.1 ^{ab}	35.6 ^{ab}	37.3 ^a	35.7	5.0	0.790

*Different upper-case letters represent significant differences within the column, according to the DMRT test ($p < 0.05$). CV represents coefficient of variation. A P-value of 0.05 or lower is generally considered statistically significant.

을 > 풍산 > 참을 > 연풍 > 청자 5호 > 선유 2호 순이었다. 평균적으로 진양콩, 소청자, 대찬, 청자 5호 등이 다른 품종에 비해 다소 높은 함량을 나타내었다.

품종별 파종시기에 따른 단백질 함량은 새울, 대원, 소청자, 진양콩은 유의한 차이가 없었고, 참을, 연풍, 선유 2호, 대찬, 소원, 풍산, 청자 5호는 파종시기에 따라 단백질 함량에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 참을, 선유 2호, 대찬, 소원 품종들은 파종시기가 늦을수록 단백질 함량이 높아지는 경향이었고 반대로 연풍, 풍산, 청자 5호는 빨리 파종할수록 단백질 함량이 높아지는 것으로 나타났다.

일반적으로 적기에 파종하였을 경우 콩의 단백질 함량은 37~46% 정도인 것으로 알려지고 있다(Lee *et al.*, 2018). 본 실험에서는 이보다 단백질 함량이 모든 품종에서 다소 낮은 것으로 나타났는데 이것은 Song *et al.* (2016) 등은 조단백 함량과 일장, 일교차와는 부의 상관성이 있다고 하였고, Han *et al.* (1997) 등은 단백질 함량은 개화 후 일장이 길어짐에 따라 단백질 함량이 감소한다고 하였다. 단백질에 대한 일장의 효과는 종자에 탄소공급량을 증가시키고 지질 생합성이 증가하면서 단백질 함량은 감소한다고 하였다. Boydak *et al.* (2002) 등은 토양 수분 함량이 낮을 경우에도 단백질 함량이 감소할 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 파종시기가 적정파종시기 보다 빠른 시기에 파종을 하였기 때문에 과도한 영양생장과 토양수분과 같은 환경 조건 그리고 개화 후 일장의 효과로 인해 단백질 함량이 적기 파종보다 낮은 것으로 사료된다.

콩 품종별 파종시기에 따른 아미노산 함량 분석

단백질은 아미노산이 주요한 구성단위로 아미노산의 함량은 품종, 재배조건 및 환경에 따라 크게 달라지게 되는데 파종 시기별 아미노산 20종에 대해 분석하였다(Fig. 2). 그 결과 필수 아미노산 함량은 품종간 차이가 크게 나타나 가장 높은 함량을 나타낸 품종은 소청자로 125.8 mg/g이었고, 가장 낮은 함량을 나타낸 것은 선유 2호로 69.0 mg/g이었다(Table 2). 품종별 파종시기에 따른 필수 아미노산 함량은 유의한 경향을 나타내지는 않았다. 특히 참을, 연풍, 선유 2호, 대원, 대찬, 풍산, 청자 5호 등은 유의한 차이가 없었고, 새울, 소원, 소청자, 진양콩 등은 파종시기별로 다소 차이가 있었으나 파종시기에 따른 유의한 경향은 없었다. 필수 아미노산 구성성분에 따른 변화를 보면, arginine의 경우 소청자를 제외하고 6.9~14.6 mg/g정도 함유하고 있었으나 반면에 histidine은 소청자에서 다른 품종보다 매우 높은 함량을 나타내었다. Isoleucine과 phenylalanine은 진양콩에서 다른 품종보다 높은 함량을 나타내었고, leucine, lysine, threonine, tryptophan, valine 등은 품종 및 파종시기에 관계없이 10 mg/g내외의 함량을 나타내었다. 반면 Met는 소량 함유하고 있거나 검출이 되지 않는 품종도 있었다. Im *et al.* (2016)은 백태, 서리태, 흑태, 서목태 등 4가지 종류의 콩 아미노산 함량을 분석한 결과 비필수 아미노산인 glutamic acid (68.3~71.4 mg/g)의 함량이 가장 높았고, 필수아미노산 중에서는 arginine (28.0~33.5 mg/g), leucine (28.4~29.7 mg/g), lysine (23.7~25.3 mg/g) 등을 많이 함유하고 있다고 하였고, Constanza *et al.* (2011) 등은 glutamic

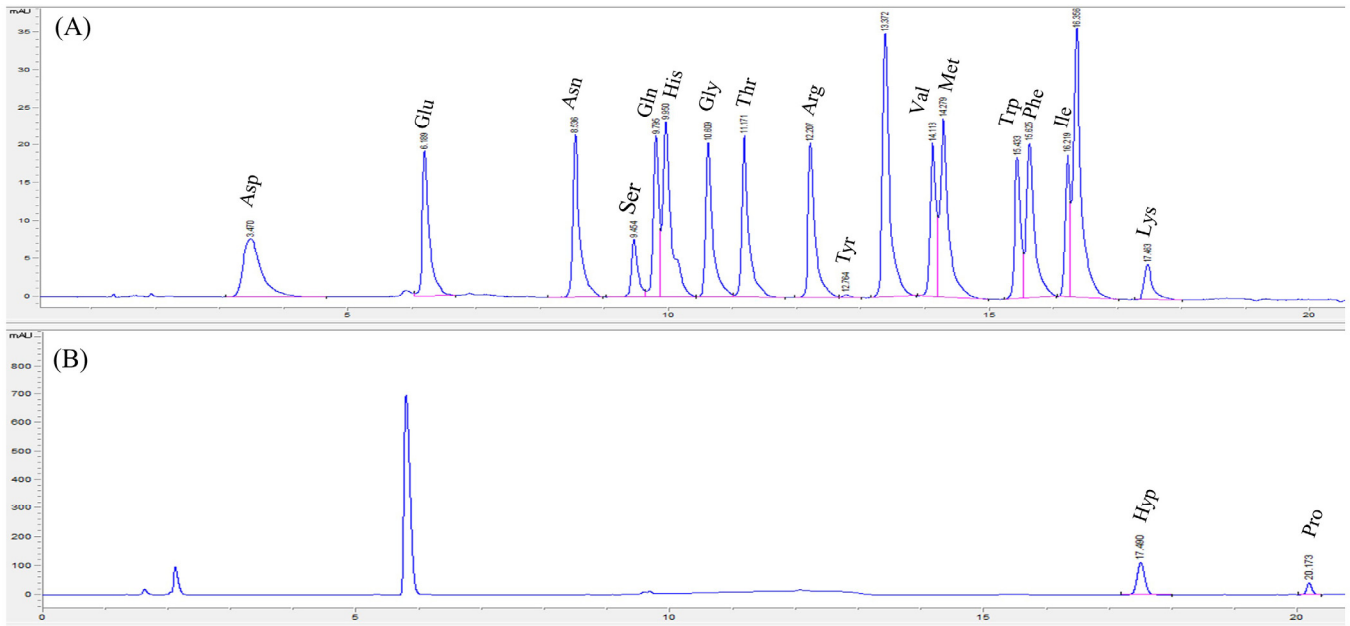


Fig. 2. HPLC chromatograms of 18 amino acid standards at 338 nm (A) and two amino acid standards at 262 nm (B). Retention time: Asp (Aspartate) 3.470, Glu (Glutamate) 6.188, Asn (Asparagine) 8.535, Ser (Serine) 9.454, Gln (Glutamine) 9.795, His (Histidine) 9.950, Gly (Glycine) 10.609, Thr (Threonine) 11.171, Arg (Arginine) 12.207, Tyr (Tyrosine) 12.764, Cys (Cysteine) 13.372, Val (Valine) 14.113, Met (Methionine) 14.279, Trp (Tryptophan) 15.433, Phe (Phenylalanine) 15.625, Ile (Isoleucine) 16.219, Leu (Leucine) 16.356, Lys (Lysine) 17.463, Hyp (hydroxy-proline) 17.490, and Pro (Proline) 20.173.

acid > aspartic acid > arginine > leucine > lysine 순으로 높고, 필수아미노산인 leucine과 lysine의 함량은 28.7~32.8 mg/g, 23.3~26.7 mg/g 정도를 함유한다고 하여 본 실험보다 다소 많은 양의 아미노산을 함유하고 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 같은 품종이라도 재배환경에 따라 아미노산의 함량 및 조성이 달라질 수 있기 때문인 것으로 보인다 (Sim *et al.*, 2020)

비 필수아미노산의 구성 성분별 함량을 보면 asparagine, glutamic acid, cysteine, tryptophan 등은 품종이나 파종시기에 관계없이 매우 낮은 함량을 나타내었다(Table 3). 그러나 소청자의 경우 asparagine과 glutamic acid가 다른 품종들에 비해 매우 많이 함유되어 있었고, 청자 5호도 asparagine 함량이 소청자보다는 낮지만 다른 품종보다는 높은 함량을 나타내어 푸른 콩에서 asparagine과 glutamic acid 함량이 높음을 확인할 수 있었으나 파종시기에 따른 유의한 경향은 없었다. 이외 alanine은 2.1~7.0 mg/g, glycine은 7.6~25.5 mg/g, serine 은 7.6~19.9 mg/g 정도를 함유하고 있었다. Aspartic acid는 소원품종에서 가장 많이 함유하고 있었고 소청자를 제외하고 13.0~40.7 mg/g 정도로 비필수아미노산 함량 중에 비중이 높은 쪽에 속하였다. 소청자의 경우 asparagine과 glutamic acid 함량이 높았던 것에 비해 aspartic

acid는 검출이 되지 않아 특이한 경향을 나타내었다. 그리고 Hydroxyproline은 새을 품종에서 다른 품종들에 비해 매우 높은 함량을 나타내었다. 마지막으로 proline은 참울과 소원 품종을 제외하고 전체 아미노산 중 품종에 관계없이 가장 많이 함유하는 아미노산으로 나타났다. 특히 진양콩, 풍산, 대원은 파종시기에 관계없이 100 mg/g이상을 함유하고 있어 전체 아미노산 함량의 30% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 파종시기에 따른 proline의 함량은 유의한 경향을 찾을 수는 없었다. Proline은 콩이 수분스트레스를 받을 경우 세포의 삼투적 적응에 의해 스트레스로부터 세포를 보호하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Heerden & Kruger, 2002; Koentjoro *et al.*, 2021). 따라서 조기 파종에 따른 토양수분스트레스와 여러 가지 환경요인에 의해 스트레스 증가로 인해 proline 함량이 대량 증가한 것으로 사료되며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다 (Sabagh *et al.*, 2017; Jumrani & Bhatia, 2019).

Hong *et al.* (1990)은 콩 아미노산 조성은 glutamic acid, aspartic acid, arginine순으로 높고, cystine, methionine, tyrosine 등은 미량 함유한다고 하였고, Sim *et al.* (2020)도 새단백, 대찬, 대풍2호, 미소, 선풍, 새건 등의 품종에서 품종에 관계없이 glutamic acid > aspartic acid > arginine >

Table 2. Changes in essential amino acid composition of soybean cultivars with respect to different seeding periods.

Cultivars	Sowing date	Arg*	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Try	Val	Total
		mg/g										
Saeol	March	13.9a	1.4c	13.5a	9.4a	8.5a	2.1b	19.0a	9.1a	6.6a	11.8a	95.4
	April	14.6a	28.6a	12.2a	7.9b	7.9a	7.8a	15.4b	8.5ab	4.5a	5.1a	112.4
	May	11.9a	22.0b	11.5a	7.5b	6.8a	8.0a	14.5b	7.5b	4.7a	3.0a	96.3
	(Av.)	(13.5)	(17.3)	(12.4)	(8.3)	(7.7)	(6.0)	(16.3)	(8.4)	(5.3)	(6.6)	(101.4)
Chamol	March	13.1a	1.4b	11.3a	6.5b	7.3a	3.9a	15.8a	7.2a	2.4b	4.0b	70.4
	April	11.2a	1.4b	11.3a	8.0a	4.2b	NDa**	14.2a	8.1a	2.5ab	12.3a	73.3
	May	10.0a	23.8a	10.7a	5.9b	7.1a	NDa	13.5a	7.2a	2.8a	4.8b	85.8
	(Av.)	(11.4)	(8.9)	(11.1)	(6.8)	(96.2)	(1.3)	(14.5)	(7.5)	(2.6)	(7.0)	(76.5)
Yeon pung	March	6.9a	28.1a	5.6a	7.7a	5.5a	3.2a	9.4a	6.1a	3.2a	2.4a	78.1
	April	9.2a	27.6ab	5.5a	7.4a	5.0ab	NDa	6.9a	5.7ab	3.3a	2.9a	73.0
	May	7.8a	23.6b	5.3a	5.3a	4.5b	NDa	6.7a	4.9b	2.9a	2.6a	65.0
	(Av.)	(8.0)	(26.4)	(5.5)	(6.8)	(5.0)	(1.1)	(7.7)	(5.6)	(3.1)	(2.6)	(72.0)
Seonyou-2	March	9.1a	8.1a	9.0b	6.7b	5.1b	2.1b	12.8a	7.9a	3.7a	5.9a	70.4
	April	9.2a	3.8a	10.9a	7.1a	5.1b	0.9b	14.7a	6.9a	2.7a	7.3a	68.0
	May	9.5a	1.4a	11.0a	6.0c	7.5a	5.2a	13.9a	6.9a	3.0a	4.1a	68.5
	(Av.)	(9.3)	(4.4)	(10.3)	(6.6)	(5.9)	(2.7)	(13.5)	(7.2)	(3.1)	(5.8)	(69.0)
Deawon	March	9.1a	26.7a	7.9a	5.9b	4.7a	4.1a	11.7a	6.3a	3.1a	4.7a	84.1
	April	8.8a	25.6a	6.5a	7.1ab	5.1a	5.2a	8.2b	6.4a	3.2a	2.8a	79.0
	May	8.8a	26.9a	7.0a	7.8a	5.2a	5.7a	8.9ab	5.9b	3.3a	2.9a	82.4
	(Av.)	(8.9)	(26.4)	(7.1)	(6.9)	(5.0)	(5.0)	(9.6)	(6.2)	(3.2)	(3.5)	(81.8)
Deachan	March	9.4a	28.0a	7.3b	7.8a	5.2ab	2.0b	12.3a	5.9b	3.7b	2.4b	84.0
	April	9.3a	22.1a	11.0a	9.1a	3.7b	4.9a	10.3a	6.5a	4.5b	1.1c	82.6
	May	11.1a	8.8b	12.3a	8.7a	6.6a	2.7b	14.3a	6.8a	7.1a	6.4a	84.8
	(Av.)	(9.9)	(19.6)	(10.2)	(8.5)	(5.2)	(3.2)	(12.3)	(6.4)	(5.1)	(3.3)	(83.8)
Sowon	March	18.6b	1.4a	2.3a	6.8a	9.4b	1.3a	11.4a	12.0b	3.4a	13.4a	80.1
	April	20.8a	NDa	11.2a	11.2a	11.6a	0.9a	14.2a	14.2a	5.4a	13.0a	125.0
	May	17.9b	1.4a	8.7a	6.8a	9.7b	1.1a	11.0a	13.0ab	3.6a	11.1b	84.4
	(Av.)	(19.1)	(0.96)	(7.4)	(8.3)	(10.2)	(1.1)	(12.2)	(13.1)	(4.1)	(12.7)	(96.5)
Pungsan	March	9.3a	28.7a	7.1a	8.1a	6.3a	5.6a	14.8a	6.3a	4.1a	4.3a	94.5
	April	9.2a	28.2a	6.6b	7.8a	6.0a	5.6a	8.3b	6.2a	4.2a	2.8a	84.8
	May	9.1a	28.1a	6.3b	7.8a	4.9b	4.4a	8.0b	6.1a	3.6b	3.2a	81.5
	(Av.)	(9.2)	(28.3)	(6.7)	(7.9)	(5.7)	(5.2)	(10.4)	(6.2)	(4.0)	(3.4)	(86.9)
Socheongja	March	13.6a	53.2a	13.4a	12.8a	9.9a	1.5a	25.5a	12.5a	7.8a	11.8a	147.4
	April	16.5a	51.4a	13.3a	7.4b	9.0ab	1.5a	16.8b	11.6a	1.5a	12.0a	128.2
	May	17.7a	42.3a	11.4a	6.5b	7.8b	1.3b	14.3b	10.1a	1.7a	3.9b	101.9
	(Av.)	(15.9)	(49.0)	(12.7)	(8.9)	(8.9)	(1.4)	(18.9)	(11.4)	(3.6)	(9.2)	(125.8)
Changja-5	March	9.3b	28.9b	6.1c	8.2b	5.9a	1.3b	14.6a	7.0b	4.4b	2.7b	88.4
	April	10.3a	31.7a	6.9b	9.2a	6.5a	1.3ab	11.0a	7.3ab	5.1a	2.8b	92.0
	May	10.3a	31.5a	7.8a	9.4a	6.6a	1.3a	11.7a	7.8a	4.6ab	3.2a	94.2
	(Av.)	(10.0)	(30.7)	(6.9)	(8.9)	(6.3)	(1.3)	(12.4)	(7.4)	(4.7)	(2.9)	(91.5)
Jinyang	March	9.7a	9.4b	16.5b	5.4b	5.0a	4.9a	20.8b	6.5b	4.2b	7.6c	89.9
	April	10.7a	16.1a	21.6a	8.8a	6.1a	NDa	27.3a	7.1b	1.9c	17.9a	117.4
	May	9.9a	1.4c	15.9b	7.5a	5.8a	NDa	20.0b	20.0a	6.9a	14.9b	87.5
	(Av.)	(10.1)	(9.0)	(18.0)	(7.2)	(5.6)	(1.6)	(22.7)	(11.2)	(4.3)	(13.5)	(98.3)
Significance												
Cultivars (A)		**	**	**	NS	**	*	**	**	NS	**	**
Sowing times (B)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A×B		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*Essential amino acids, Arg: Arginine, Val: Valine, Leu: Leucine, Ile: Isoleucine, Met: Methionine, Thr: Threonine, Lys: Lysine, Phe: Phenylalanine, His: Histidine, Try: Tryptophan.

**Not detected (ND) and mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$. NS, *, ** indicate not significant, significant at $P=0.05$, and significant at $P=0.01$, respectively.

Table 3. Changes in nonessential amino acid composition of soybean cultivars with respect to different seeding periods.

Cultivar	Sowing date	Asn*	Asp	Cys	Gln	Glu	Gly	Pro	Ser	Hyp	Trp	Total
		mg/g										
Saeol	March	0.4a	21.2a	5.0a	1.1a	30.7a	14.7a	79.9a	19.5a	40.1a	2.6a	215.2
	April	0.3a	20.8ab	7.5a	0.5a	28.1ab	10.8b	105.6a	13.8ab	30.8b	3.6a	221.8
	May	0.4a	17.3b	7.0a	NDa	22.4b	8.6b	108.0a	9.0b	30.2b	2.0a	205.0
	(Av.)	(0.4)	(19.8)	(6.5)	(0.5)	(27.1)	(11.4)	(97.8)	(14.1)	(33.7)	(2.7)	(214.0)
Chamol	March	NDa**	17.7a	3.9a	NDa	25.1a	9.7b	4.2a	12.6a	20.1a	3.6b	96.4
	April	NDa	21.3a	NDa	NDa	25.3a	10.8a	6.0a	10.4b	16.7b	6.5a	96.3
	May	NDa	18.0a	NDa	NDa	25.0a	10.4ab	5.8a	11.4ab	13.3c	1.9c	81.0
	(Av.)	(ND)	(19.0)	(1.3)	(ND)	(25.1)	(10.4)	(5.3)	(11.1)	(16.7)	(4.0)	(91.2)
Yeonpung	March	NDa	13.4a	2.6a	NDa	22.3a	7.9a	85.2a	8.7a	9.5a	2.7a	153.9
	April	NDa	17.3a	NDa	NDa	22.2a	7.6b	82.6a	8.7a	11.5a	1.6a	150.7
	May	NDa	13.2a	NDa	NDa	19.2a	6.8b	96.9a	7.6a	14.6a	11.0a	169.3
	(Av.)	(ND)	(14.6)	(1.3)	(ND)	(21.2)	(10.4)	(88.2)	(11.1)	(16.7)	(5.1)	(158.0)
Seonyou-2ho	March	NDa	13.8a	1.8a	NDa	22.9a	10.1a	36.9b	10.4a	10.6b	5.2a	111.0
	April	NDa	17.5a	NDa	NDa	22.8a	7.6b	107.5a	8.3b	17.5a	2.3a	187.1
	May	NDa	14.9a	3.4a	NDa	23.4a	8.1a	56.3b	9.0a	15.8a	1.8a	135.6
	(Av.)	(ND)	(15.4)	(1.7)	(ND)	(23.0)	(8.6)	(87.0)	(9.2)	(14.6)	(3.1)	(144.6)
Daewon	March	NDa	17.2a	3.5a	NDa	21.0b	7.9a	110.0a	8.7b	9.9a	6.5a	184.7
	April	NDa	16.4a	4.3a	NDa	19.8c	7.6a	109.7a	8.3c	9.1a	2.6b	177.8
	May	NDa	14.9a	4.5a	NDa	22.4a	8.1a	114.5a	9.0a	11.0a	2.6b	187.0
	(Av.)	(ND)	(15.4)	(4.1)	(ND)	(21.1)	(7.9)	(111.4)	(8.7)	(10.0)	(3.9)	(183.1)
Daechan	March	0.5a	14.8a	4.5a	NDa	21.8a	9.2b	108.3a	11.3a	9.3a	11.4a	189.9
	April	0.5a	13.0a	3.6a	NDa	20.6a	8.9b	78.2a	11.8a	6.7b	1.1b	143.9
	May	0.5a	16.2a	1.2b	NDa	24.1a	12.3a	67.6a	9.9a	2.2c	3.3b	136.8
	(Av.)	(0.5)	(14.7)	(3.1)	(ND)	(22.1)	(10.1)	(84.7)	(11.0)	(6.1)	(5.3)	(156.8)
Sowon	March	NDa	34.3ab	1.2a	0.8a	45.0b	25.5a	25.0ab	18.6a	13.1a	2.3a	165.8
	April	NDa	40.7a	1.2a	0.8a	53.2a	25.7a	18.4b	19.9a	18.6a	2.1a	180.9
	May	NDa	23.4b	1.2a	0.1b	43.5b	21.0a	33.5a	19.6a	0.3b	1.5a	144.0
	(Av.)	(ND)	(32.8)	(1.2)	(0.6)	(47.2)	(24.1)	(25.6)	(19.4)	(10.7)	(2.0)	163.6
Pungsan	March	NDa	18.1a	5.0a	NDa	24.2a	9.6a	111.7a	9.6a	11.2a	4.6a	193.4
	April	NDa	17.5a	4.1b	NDa	23.7a	8.6a	114.0a	9.4a	9.7a	1.7a	188.3
	May	NDa	15.3a	4.4ab	NDa	23.2a	10.3a	111.9a	9.9a	9.0a	3.4a	186.7
	(Av.)	(ND)	(17.0)	(4.3)	(ND)	(23.7)	(9.3)	(113.6)	(9.6)	(11.1)	(2.8)	(189.4)
So cheongja	March	25.5a	NDa	1.0b	0.5a	45.0a	16.4a	72.1a	19.1a	5.0b	7.8a	192.4
	April	28.4a	NDa	1.0b	0.2a	44.1a	14.4ab	54.5b	18.6ab	12.0a	1.5a	174.5
	May	23.4a	NDa	5.7a	0.2a	36.9a	11.4b	57.4b	15.0b	11.4a	1.7a	162.9
	(Av.)	(25.8)	(ND)	(2.6)	(0.3)	(42.0)	(14.1)	(61.3)	(17.6)	(9.5)	(3.7)	176.6
Cheongja-5ho	March	11.1a	17.1a	4.1c	NDa	24.9a	8.9a	62.5b	11.3a	8.7a	3.9a	152.2
	April	11.8a	18.1a	4.4b	NDa	27.3a	9.5a	64.9b	11.9a	6.8ab	1.6a	155.9
	May	11.4a	18.2a	4.7a	NDa	24.7a	8.8a	70.9a	11.6a	5.9b	1.6a	157.4
	(Av.)	(11.4)	(17.8)	(4.4)	(ND)	(25.6)	(9.1)	(66.1)	(11.6)	(7.1)	(2.4)	(155.2)
Jinyang	March	NDa	16.3b	4.7a	NDa	22.8c	10.5b	117.6a	10.6b	4.8c	11.6a	198.1
	April	NDa	17.6a	0a	6.2a	27.0a	13.8a	120.3a	11.1b	11.8b	16.4a	224.2
	May	NDa	16.3b	0a	NDa	24.8b	12.2ab	103.0a	14.6a	44.7a	1.9b	217.4
	(Av.)	(ND)	(16.7)	(1.6)	(2.1)	(24.5)	(12.2)	(113.6)	(12.1)	(20.4)	(10.0)	(213.2)
Significance												
Cultivars (A)		**	**	**	**	NS	**	**	**	*	NS	**
Sowing times (B)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A×B		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*Asn: Asparagine, Asp: Aspartate, Cys: Cysteine, Gln: Glutamine, Glu: Glutamate, Gly: Glycine, Pro: Proline, Ser: Serine, Hyp: Hydroxy-proline, Trp: Tryptophan.

**Not detected, and mean separation within cultivar by Duncan's multiple range test at $P=0.05$. NS, *, ** indicate not significant, significant at $P=0.05$, and significant at $P=0.01$, respectively.

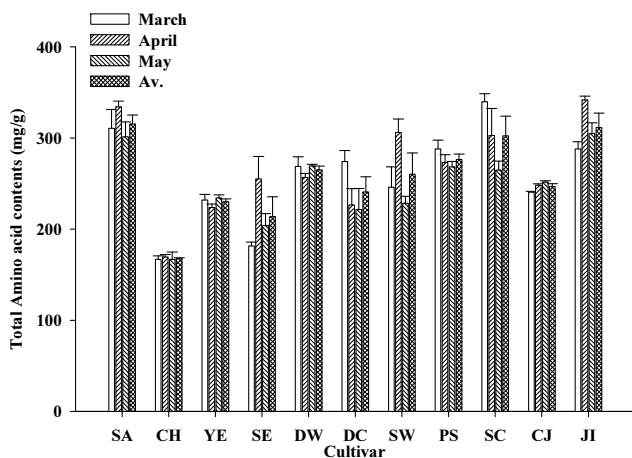


Fig. 3. Total amino acid contents of soybean varieties with respect to different seedling periods. The vertical bars represent the standard error of the means (n = 3). SA: Seaol, CH: Chamol, YE: Yeonpung, SE: Sonyou 2ho, DW: Deawon, DC: Deachan, SW: Sowon, PS: Pung-sang, SC: Sochangja, CJ: Cheangja 5ho, JI: Jinyang.

leucine > lysine 순으로 많이 함유하고 있으며, methionine, cysteine 등은 4 mg/g 이하로 미량 존재한다고 하였으나 proline에 대한 분석은 없었다. Im *et al.* (2016) 등도 콩의 아미노산 중 비필수 아미노산인 glutamic acid (66.0~81.3 mg/g)의 함량이 가장 높다고 하였는데 본 연구에서는 참을, 소원 품종에서만 glutamic acid의 함량이 가장 높았고 나머지 품종들은 proline의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 이것은 식물에서 glutamate는 arginine, glutamine, and proline 생합성의 전구자 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Rhodes *et al.*, 1986; Székely *et al.*, 2008; Sharma & Verslues, 2010). Verslues *et al.* (1999) 등은 옥수수가 수분 스트레스하에서 glutamate으로 부터 proline의 생합성이 촉진 된다고 하였고, Delauney & Verma (1993)는 건조나 염스트레스 상태에서 glutamate는 proline으로 전환되는 주요한 물질이라고 하였다. 본 실험에서는 기존의 다른 연구와 달리 glutamic acid의 함량이 낮고, proline의 함량이 높은 것은 조기파종에 따른 영양생장기간의 증대와 여름철 고온, 장일, 토양수분 등 환경스트레스에 의한 것으로 판단된다. 따라서 조기파종의 경우 아미노산 중 glutamic acid가 환경스트레스의 방어 기작의 일환으로 proline으로 생합성 되는 것으로 판단된다.

품종별 파종시기에 따른 전체 아미노산 함량은 새울 품종이 가장 높았고, 그 다음으로 진양콩, 소청자, 대원, 풍산, 소원, 대찬, 청자 5호, 선유 2호, 연풍, 참을 순이었다(Fig. 3). 파종시기에 따른 아미노산의 함량변화는 품종에 관계없이 일정한 경향을 나타내지는 않았다.

적 요

콩은 단백질, 탄수화물, 지방의 주요한 공급원으로 다양한 용도로 이용되고 있다. 최근 기후온난화가 가속되는 시점에서 콩의 파종시기를 달리 하였을 때 콩 품종별 단백질, 아미노산, 항산화물질 등의 변화를 알아보하고자 본 연구를 수행하였다. 조기 파종에 따른 isoflavone의 함량은 파종시기별로 차이가 없었다. 그러나 품종별로는 속이 푸른 청자 5호, 소청자, 비린내가 없는 진양콩, 나물콩인 풍산, 소원과 같은 기능성 콩에서 isoflavone의 함량이 일반 재배콩에 비해 높음을 확인할 수 있었다. 품종별 파종시기에 따른 단백질과 아미노산의 함량변화는 파종시기에 따라 큰 차이가 없었다. 그러나 전체적으로 적기파종보다 단백질과 아미노산 함량이 낮은 경향을 나타내었다. 일부 품종을 제외하고 대부분의 품종에서 조기파종의 경우 proline의 함량이 가장 높아 조기파종에 따른 스트레스가 존재함을 확인할 수 있었다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ015705 022022)의 지원을 받았으며, 이에 감사합니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Board, J. E., and Q. Tan. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. *Crop Sci.* 35(3) : 846-851.
- Boydak, E., M. Alpaslan, M. Hayta, S. Gercek, and M. Simsek. 2002. Seed composition of soybeans grown in the Harran region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. *J. Agric. Food Chem.* 50(16) : 4718-4720.
- Caldwell, C. R., S. J. Britz, and R. M. Mirecki. 2005. Effect of temperature, elevated carbon, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. *J. Agric. Food Chem.* 53(4) : 1125-1129.
- Constanza, S. C., M. R. Cora, J. F. Gustavo, J. M. María, D. Julio, and L. R. Silvia. 2011. Amino acid composition of soybean seeds as affected by climatic variables. *Pesq. Agropec. Bras.* 46(12) : 1579-1587.
- Delauney, A. J. and D. P. S. Verma. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.* 4(2) : 215-223.
- Eldridge, A. C. and W. F. Kwolek. 1983. Soybean isoflavones: Effect of environment and variety on composition. *J. Agric. Food Chem.* 31 : 394-396.

- Food and Agriculture Organization (FAO). 2002. FAOSTAT <https://www.fao.org/faostat>.
- Gibson, L. R. and R. E. Mullen. 1996. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. *Crop Sci.* 36(6) : 1615-1619
- Han, T. F., J. L. Wang, Q. K. Yang, and J. Y. Gai. 1997. Effects of postflowering photoperiod on chemical composition of soybeans. *Sci. Agric. Sin.* 30(2) : 47-53.
- Heerden, P. D. R. V. and G. H. J. Kruger. 2002. Separately and simultaneously induced dark chilling and drought stress effects on photosynthesis, proline accumulation and antioxidant metabolism in soybean. *J. Plant Physiol.* 159(10) : 1077-1086.
- Hong, E. H., S. D. Kim, Y. H. Kim, and K. W. Chung. 1990. Protein and content amino acid composition of soybean cultivars. *Korean J. Crop. Sci.* 35(5):403-412.
- Hong, S. B., S. J. Lee, Y. H. Kim, Y. S. Hwang, K. H. Yoon, S. I. Lee, and M. G. Choung. 2010. Variation of anthocyanin, and isoflavone contents in Korean black soybeans grown at different latitudinal locations. *K.S.E.A.* 29(2) : 129-137.
- Im, J. Y., S. C. Kim, S. N. Kim, Y. M. Choi, M. R. Yang, I. H. Cho, and H. R. Kim. 2016. Protein and amino-acid contents in acktae, Seoritae, Huktae, and Seomoktae soybeans with different cooking methods. *Korean J. Food Cook Sci.* 32(5) : 567-574.
- Jiang, H. F. and D.B. Egli. 1995. Soybean seed number and crop growth rate during flowering. *J. Agron.* 87(2) : 264-267.
- Jumrani, K., and V. S. Bhatia. 2019. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. *Physiol Mol Biol Plants.* 25(3) : 667-681.
- Kim, D. K., J. G. Choi, H. G. Park, H. T. Shin, S. T. Yoon, K. D. Lee, and Y. S. Rim. 2013. Ecological characteristics and yield of major soybean cultivars at different sowing times in southern korea. *Korean J. Crop Sci.* 58(1) : 57-66.
- Kim, E. H., S. L. Kim, S. H. Kim, and I. M. Chung. 2012. Comparison of isoflavone and anthocyanins in soybean [*Glycine max (L.) Merrill*] seeds of different planting dates. *J. Agric. Food Chem.* 60(41) : 10196-10202.
- Kim, H. M., E. K. Jang, B. S. Gwak, T. Y. Hwang, G. S. Yun, S. G. Hwang, H. S. Jeong, and H. S. Kim. 2018. Variation of isoflavone contents and classification using multivariate analysis in korean soybean varieties released from 1913 to 2013. *Korean J. Breed. Sci.* 50(1) : 50-60.
- Kim, H. S., H. L. Song, G. Hu, S. B. Yeon, K. S. Woo, G. M. Yun, G. L. Jang, Y. G. Lee, J. Y. Jeong, G. M. Kim, S. J. Park, H. Y. Kim, I. G. Hwang, and H. S. Jeong. 2010. Exploration of new resources and development of high value-added breeding lines with high processing and functional quality for well-bing foods in soybean. Lim, S. J. eds, 2009 National Agricultural R&D, Test research Project report. Rural Development Administration. Suwon.
- Koentjoro, Y., P. E. Sukendah, and D. Purnomo. 2021. The role of silicon on content of proline, protein and abscisic acid on soybean under drought stress. *Earth Environ. Sci.* 637 : 012086.
- Lee, J. E., G. H. Jung, S. K. Kim, M. T. Kim, S. H. Shin, and W. T. Jeon. 2019. Effects of growth period and cumulative temperature on flowering, ripening and yield of soybean by sowing times. *Korean J. Crop Sci.* 64(4) : 406-413.
- Lee, J. E., H. J. Kim, B. W. Lee, Y. Y. Lee, Y. H. Jeon, B. K. Lee, and K. S. Woo. 2018. Quality and physicochemical characteristics of soybean with variety and different seeding periods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 7(8) : 804-812.
- Lee, S., Y. B. Lee, and H. S. Kim. 2013. Analysis of the General and functional components of various soybeans. *J Korean Soc Food Sci Nut.* 42(8) : 1255-1262.
- Magali, N., D. J. Miralles, and A. G. Kantolic. 2015. Post-flowering photoperiod and radiation interaction in soybean yield determination: Direct and indirect photoperiodic effects. *Field Crops Res.* 176 : 45-55.
- Moon, H. K., S. W. Lee, J. N. Moon, D. H. Kim, W. J. Yoon, and G. Y. Kim. 2011. Quality characteristics of various beans in distribution. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 21(2) : 215-221.
- Rhodes, D., S. Handa, and R. A. Bressan. 1986. Metabolic changes associated with adaptation of plant cells to water stress. *Plant Physiol.* 82 : 890-903.
- Rural Development Administration (RDA). 2018. <https://www.rda.go.kr/main/mainPage.do>
- Sa, J. H., I. C. Shin, K. J. Jeong, H. S. Oh, Y. J. Kim, E. H. Cheung, G. G. Kim, and D. S. Choi. 2003. Antioxidative activity and chemical characteristics from different organs of small black soybean (Yak-Kong) grown in the atra og jungsun. *Korean Journal of Food Science and Techology.* 35(2) : 309-315.
- Sabagh, A. E. L., S. Sorour, A. Ragab, H. Saneoka, and M. S. Islam. 2017. The effect of exogenous application of proline and glycine betaine on the nodule activity of soybean under saline condition. *J. Agr. biotechnol.* 2(1):1-5.
- Sharma, S. and P. E. Verslues. 2010. Mechanisms independent of abscisic acid (ABA) or proline feedback have a predominant role in transcriptional regulation of proline metabolism during low water potential and stress recovery. *Plant Cell Environ.* 33(11) : 1838-1851.
- Sim, E. Y. C. K. Lee, H. Y. Park, Y. Y. H. S. Choi, S. K. Lee, H.S. Kim, H. S. Kang, B. K. Kang, A.R. Chun, M. J. Kim, J. E. Kwak, and Y. H. Jeon, 2020. Quality characteristics of tofu made from korean soybean cultivars. *Food Eng. Prog.* 24(1) : 54-61.
- Song, W. W., R. Yang, T. T. Wu, C. X. Wu, S. Sun, S. W. Zhang, B. Jiang, S. Y. Tian, X. B. Liu, and T. F. Han. 2016. Analyzing the effects of climate factors on soybean protein, oil contents, and composition by extensive and high-density sampling in China. *J. Agric. Food Chem.* 64 : 4121-4130.
- Sugiyama, A., Y. Yamazaki, S. Hamamoto, H. Takase, and K. Yazaki. 2017. Synthesis and secretion of isoflavones by

- field-grown soybean. *Plant cell physiol.* 58(9):1594-1600.
- Székely, G., E. Ábrahám, Á. Cséplő, G. Rigó, L. Zsigmond, J. Csiszár, F. Ayaydin, N. Strizhov, J. Jásik, E. Schmelzer, C. Koncz, and L. Szabados. 2008. Duplicated P5CS genes of *Arabidopsis* play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. *Plant J.* 53(1) : 11-28.
- Verslues, P. E. and R. E. Sharp. 1999. Proline accumulation in Maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. II. Metabolic source of increased proline deposition in the elongation zone. *Plant Physiol.* 119(4) : 349-1360.
- Yu, O., H. T. Nguyen, and D. A. Sleper. 2010. Differential expression of isoflavone biosynthetic gene in soybean during water deficits. *Plant Cell Physiol.* 51(6) : 936-948.
- Zheng, S., H. Nakamoto, K. Yoshikawa, T. Furuya, and M. Fukuyama. 2002. Influences of high night temperature on flowering and pod setting in soybean. *Plant Prod. Sci.* 5(3) : 215-218.