

파종기 및 온도처리가 콩의 생육 및 Isoflavone 함량과 지방산 조성에 미치는 영향

정건호* · 이재은* · 김윤희* · 김대욱* · 황태영* · 이광식* · 이병무** · 김홍식*** · 권영업* · 김선림*†

*농촌진흥청 국립식량과학원, **동국대학교 생명과학과, ***충북대학교 농업생명환경대학 식물자원학과

Effect of Planting Date, Temperature on Plant Growth, Isoflavone Content, and Fatty Acid Composition of Soybean

Gun-Ho Jung*, Jae-Eun Lee*, Yul-Ho Kim*, Dae-Wook Kim*, Tae-Young Hwang*, Kwang-Sik Lee*,
Byung-Moo Lee**, Hong-Sig Kim***, Young-Up Kwon*, and Sun-Lim Kim*†

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Department of Plant Biotechnology, Dongguk Univ., Seoul, Seoul, Korea

***Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

ABSTRACT Soybean, *C.V.* Daewonkong, was planted on 25 May and 25 June in 2011, and four temperature gradient, control (ambient temperature in field plot), control + 3°C, control + 4°C, and control + 5°C, were artificially created by controlling the green house system. The obtained results indicated that vegetative growth of soybean plant was beneficially facilitated by planting on May (PM) than planting on June (PJ). The 100-seed weight was significantly higher in PM, and positively affected by increasing temperature, whereas the weight was reduced in control + 5°C plot. Isoflavone content and fatty acid composition were analyzed to determine the effects of plating date and growth temperature. Isoflavone content was higher in PJ plot (1479.8 µg/g) than in PM plot (1201.8 µg/g), however, the influence of growth temperature varied with planting date. The composition of oleic acid was positively affected by increasing temperature, whereas the proportions of linoleic and linolenic acid were reduced. The numbers of node was considered as a major variable in the regression equations estimated using forward stepwise regression analysis for isoflavone content and unsaturated fatty acid under different environmental conditions.

Keywords : soybean, planting date, growth temperature, isoflavone, fatty acid

최근 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 보고에 의하면 앞으로 지구표면의 평균기온은 2100까지

약 1.4~5.8°C까지 높아질 것으로 전망하고 있다(United Nations Environmental Programme, 2006). 최근 한반도에도 각종 기후변화가 감지되고 있는데, 지난 100년간(1912~2008) 우리나라 6대 도시의 평균기온은 약 1.7°C 상승되어 전 세계 평균의 2배를 상회하고, 여름 지속기간이 13~17일 길어진 반면 겨울 지속기간은 22~49일이 단축되었고 무상기일도 2.7일(1973~1990)에서 15.7일(1991~2007)로 증가되었으며 강수량이 19% 증가하고 해수면은 약 8 cm 상승(1964~2006)되었다고 한다(RDA, 2011).

최근 지구온난화현상으로 작물재배에 미치는 고온스트레스의 영향에 대한 관심이 높아졌다. 식물의 많은 생리작용들은 기온 및 CO₂ 농도의 변동 등에 민감하게 반응함을 고려해볼 때 최근 기온상승은 중요한 환경변화가 아닐 수 없다. 특히 작물의 경우에는 특정 기후나 환경에 적합하도록 품종이 개량되어 왔기 때문에 기후나 재배환경 등이 변할 경우 예상치 못한 피해를 초래하게 된다.

콩의 종실수량은 건물생산성에 비해 고온에 민감하게 반응하는 하는 형질로 알려져 있다. 기온상승에 따른 콩의 생육 및 수량에 미치는 영향을 평가하기 위해 지금까지 많은 연구들이 수행되었는데, 시험방법 및 조건 등에 따라 다양한 결과들이 보고되었다. Zheng *et al.*(2002)은 콩의 개화기부터 등숙기까지 25°C~30°C로 처리시 1립중이 감소됨을 보고하였고, Gibson & Mullen(1996)은 개화기 이후 30.5°C~32.5°C의 고온조건은 처리시기에 관계없이 종실중을 감소시켰다고 하며, Mochizuki *et al.*(2005) 또한 등숙기에 23°C~

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6764 (E-mail) kimsl@korea.kr

<Received 10 August, 2012; Revised 10 September, 2012; Accepted 6 November, 2012>

26°C로 처리시 온도가 높을수록 종실중이 감소된다고 하였다. Thomas *et al.*(2010)은 콩의 영양생장기간 중 supra-optimal temperature는 등숙을 오히려 지연시키고 SGR(seed growth rate) 및 종실 크기의 감소를 초래하여 불완전립이 다량 발생된다고 하였고, Custodio *et al.*(2012)은 온대지역에서 기온 상승이 콩의 생산성에 미치는 영향을 검토한 결과 고온은 등숙을 지연시켜 SGR이 낮아지고, EFP(effective seed-filling period)가 길어져 1립중이 감소되었다고 하였는데, 이는 자엽의 세포수 및 SGR 감소로 종실 크기가 작아졌기 때문이라 하였다.

콩의 생식생장 기간 중 재배환경의 변화는 종실의 지방함량 뿐만 아니라 지방산의 조성에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 oleic acid 함량의 변화는 불포화 지방산인 linoleic 및 linolenic acid의 조성에 영향을 미치는데, 이들의 변화는 재배온도 및 광에 민감한 지방산불포화효소의 활력과도 밀접한 관계가 있다고 한다(Bilyeu *et al.*, 2003). 콩의 대표적인 생리활성 물질인 isoflavone 함량은 품종을 비롯한 유전적 요인 및 각종 재배환경의 변화 등에 영향을 받는데, 품종의 생태형, 토양수분, 시비량, 파종시기 및 등숙 온도의 차이에 따른 함량의 변이가 보고되었다(Aussenac *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2005; Kitamura *et al.*, 1991; Lozovaya *et al.*, 2005; Sakai *et al.*, 2005; Seguin *et al.*, 2004; Tsukamoto *et al.*, 1995).

지구온난화현상은 지속될 것으로 예상되기 때문에 기온 상승에 따른 주요 식량작물의 생육반응 및 생산성을 평가한다는 것은 매우 중요한 일이다. 따라서 본 시험은 파종기 및 생육온도를 달리하였을 때 콩의 생육 및 수량반응과 품질변이에 관여하는 요인을 검토하여 앞으로 예상되는 기후변화에 대응하고, 고온조건에서 발작물의 안정적인 생산성 유지를 위한 재배기술을 개발하고자 이루어졌다.

재료 및 방법

파종 및 생육온도 처리

본 시험은 2011년 농촌진흥청 국립식량과학원 발작물 시험연구포장(수원)에서 장류용인 중만생종 품종인 대원콩을 공시하여 수행하였다.

파종은 5월 25일과 6월 25일로 2회 시차파종을 하였으며 재식거리 70 cm × 15 cm였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O-퇴비를 10a당 3-3-3.4-1,000 kg을 전량기비로 사용하였고, 기타 요구되는 재배관리는 농촌진흥청 콩 표준재배법에 준하였다. 파종기별 생육온도처리는 노지재배(control) 및 비닐하우스 온도처리(control + 3°C, control + 4°C, control +

5°C)의 4수준으로 하였는데, 비닐하우스의 온도조절은 비닐하우스 측면의 개폐정도를 조절하여 목적하는 온도범위로 조절하였고, 시험구의 온도 측정은 온도기록계(Thermo recoder TR-72U, T&R crop., Japan)를 설치하여 시험기간 중의 온도변화를 기록하고 일평균기온을 산출하였다. 잎의 SPAD 값 측정은 오전 10시~12시에 상위 3번째 마디의 정단엽을 SPAD 501(Minolta Co., Japan)으로 개체당 5반복 측정하였다. 파종기 및 온도처리에 따른 콩의 생육 및 수량성 반응과 관련한 주요 조사항목으로 식물체의 건물중, 생체중, 경태, 주경절수 및 수량구성요소를 검토하였고, 품질관련 형질의 변화를 검토를 위해 isoflavone 함량 및 지방산 조성을 각각 분석하였다.

지방산 분석

콩 종실의 지방산 분석은 0.5 g의 시료에 methanol : heptane : benzene : 2,2-dimethoxypropane : H₂SO₄(37 : 36 : 20 : 5 : 2, v/v)으로 조제된 용액을 가하여 지질의 분해 및 trans-methylation이 동시에 이루어지도록 80°C로 1시간 가열하고 fatty acid methyl ester(FAME)을 함유하는 상층액을 취해 gas chromatography(Agilent 6890 FID system, HP Co., Wilmington, DE, USA)로 분석하였다. 사용된 컬럼은 HP-Innowax capillary 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm film(cross linked polyethylene glycol)이었으며, 표준 FAME mix(C14 - C22)로는 Supelco(Bellefonte, PA, USA)사 제품을 사용하였다.

Isoflavone 분석

콩 종실의 isoflavone 분석은 분쇄된 콩 시료 1.0 g에 10 mL 1N HCl 용액을 가하고, 100°C heating block(Thermolyne, USA)에서 90분간 가수분해시켜 isoflavone을 aglycone 형태로 변형시킨 후 메탄올 50 mL로 부피를 맞추고 일부를 취하여 0.45 μm PTFE syringe filter(Waters, Milford, MA, USA)를 통과시켜 HPLC(Waters e2695, Milford, MA, USA) 254 nm에서 분석하였다. 이동상은 acetonitrile과 초순수를 35 : 65(v/v)의 비율로 조제하여 분당 1 mL 유속으로 YMC-Pack ODS-AM303 4.6×250 mm column(YMC Inc, Wilmington, NC)으로 분석하였는데, isoflavone 표준물질인 daidzein, genistein 및 glycitein은 Wako(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Tokyo, Japan)사 제품을 사용하였다.

통계분석

본 시험을 통하여 얻어진 결과는 SAS 프로그램(Ver. 8.0, Statistical Analysis Systems Institute Inc., Raleigh, NC, USA)

을 이용하여 통계분석을 하였다.

결과 및 고찰

재배기간의 생육온도 개요

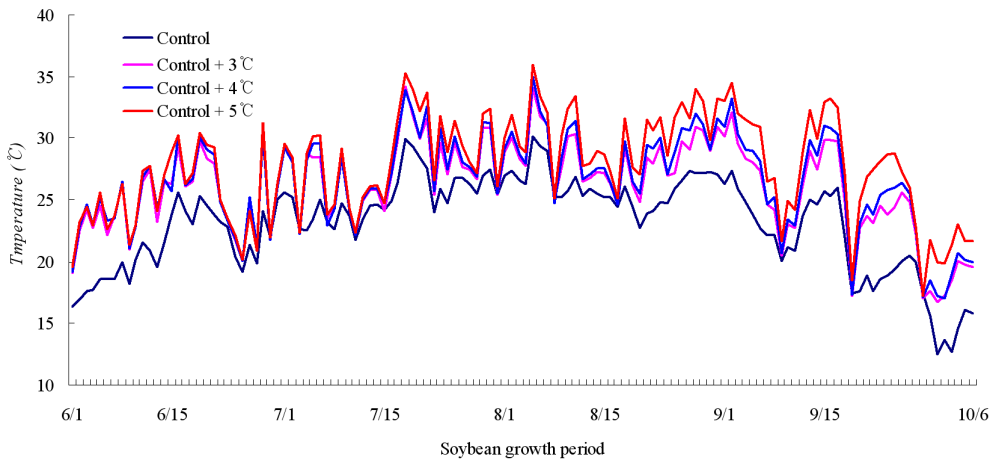
Fig. 1은 본 시험이 수행된 콩 생육 전기간에 걸쳐 노지재배(control)와 생육온도를 인위적으로 조절한 하우스(control + 3°C, control + 4°C, control + 5°C)의 일평균 온도 및 적산온도의 변화를 나타낸 것이다.

5월 25일 파종한(이하 5월파종구로 표기) 대원콩의 생육기간(파종~수확) 중대조구(Mc)의 평균온도는 약 22.2°C였고, 인위적으로 생육온도를 조절한 하우스 Mc + 3°C 처리구의 평균온도는 25.1°C, Mc + 4°C 처리구는 25.9°C, Mc + 5°C 처리구는 27.0°C로서 대조구에 비해 약 3~5°C의 평균온도 차이를 보였다. 6월 25일 파종시(이하 6월파종구로 표

기) 대조구(Jc)의 평균온도는 약 23.3°C였고, Jc + 3°C 처리구는 26.4°C, Jc + 4°C 처리구는 27.2°C, Mc + 5°C 처리구는 28.2°C로서 대조구에 비해 약 3~5°C의 평균온도 차이를 보였다. 따라서 5월파종구와 6월파종구를 비교해 볼 때 각 파종기별 대조구와 생육온도 조절 하우스간에는 약 3~5°C의 차이로 비교적 균일하였으나, 파종기별로 볼 때 6월파종구는 5월파종구에 비해 모든 처리구에서 평균온도가 약 1°C 정도 더 높았음을 알 수 있었으며 적산온도도 같은 경향을 보였다.

건물중의 변화

Fig. 2는 개화후 일수 경과에 따른 지상부 건물중의 변화를 나타낸 것이다. 파종시기에 따른 건물중의 변화를 살펴보면, 5월파종구는 개화 후 60~70경에 최대치를 보였으나 6월파종구는 개화 후 40~50일경에 최대치를 보여 파종시



Temperature (°C)	Control	Control + 3°C	Control + 4°C	Control + 5°C
Mean temperature				
May 25 (Pl ~ Hv)	22.2 ± 4.5	25.1 ± 4.0	25.9 ± 4.2	27.0 ± 4.5
June 25 (Pl ~ Hv)	23.3 ± 3.8	26.4 ± 3.9	27.2 ± 4.0	28.2 ± 4.2
June	21.1 ± 2.7	24.7 ± 3.0	25.0 ± 3.0	25.2 ± 3.2
July	25.3 ± 2.0	27.6 ± 2.9	27.8 ± 3.1	28.5 ± 3.5
August	26.1 ± 1.6	28.5 ± 2.2	29.1 ± 2.4	30.4 ± 2.6
September	21.7 ± 3.2	25.1 ± 3.9	25.9 ± 4.1	27.7 ± 4.4
October (until 6)	14.2 ± 1.6	19.6 ± 1.7	19.8 ± 1.7	20.8 ± 1.8
Accumulated temperature				
May 25 (Pl ~ Hv)	2963.9 ± 3.8	3346.0 ± 3.7	3401.3 ± 3.9	3543.1 ± 4.1
June 25 (Pl ~ Hv)	2461.2 ± 3.8	2749.2 ± 3.9	2797.3 ± 4.0	2932.0 ± 4.2

Fig. 1. Changes in the daily mean air temperature and accumulated temperature from planting (Pl) to harvesting (Hv) under different treatments.

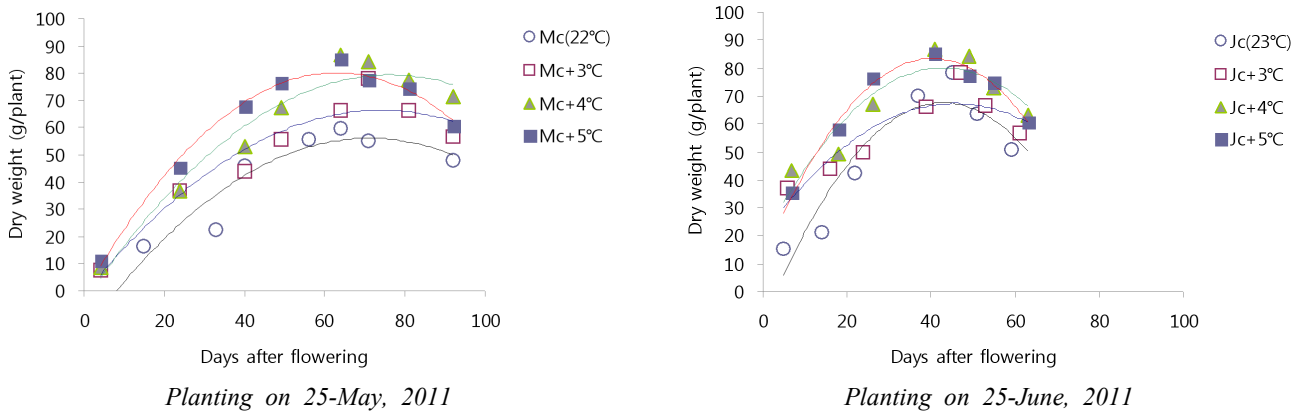


Fig. 2. Changes in the dry weight of soybean plant during days after flowering.

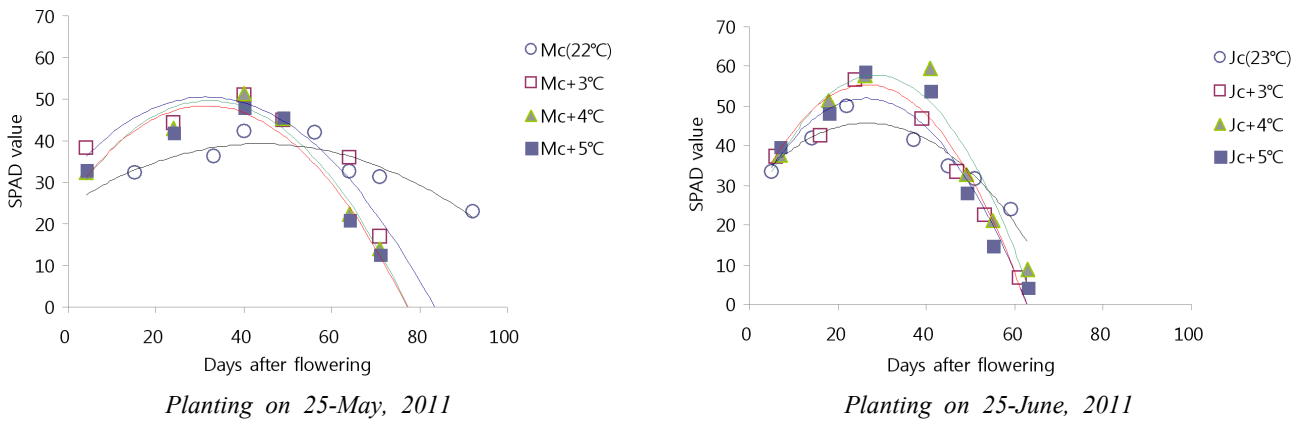


Fig. 3. Changes in the SPAD value of soybean leaves during days after flowering.

기에 따른 식물체의 건물생산에 차이가 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 5월파종구는 6월파종구에 비해 영양생장기간이 상대적으로 길어 식물체의 생육이 왕성하였으나 6월파종구는 5월파종구에 비해 영양생장기간이 짧고 개화 후 등숙이 빠르게 진행되면서 수분함량의 급격한 감소에 기인한 것으로 판단된다. 생육온도에 따른 건물중의 반응은 파종기에 따라 약간의 차이가 있었으나 생육온도가 높을수록 건물중이 증가되는 경향을 보였다.

개화후 수확까지 소요일수는 5월파종구가 약 90일이었으나, 6월파종구는 약 64일로 파종이 늦을수록 등숙이 단축되었으나 생육온도에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다.

엽색도(SPAD value)의 변화

Fig. 3은 파종기 및 생육온도 처리에 따른 콩 식물체의 엽색도(SPAD value) 변화를 나타낸 것이다. 5월파종구는 개화후 40일경에 엽색도가 최대치(51.2)를 보인 후 비교적 완만히 감소되었고, 6월파종구는 개화후 30일경에 최대치(59.4)에

도달 후 급격히 감소되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 5월파종구는 영양생장기간이 상대적으로 길어 식물체의 생육이 왕성하여 수분함량이 개화후 약 40일까지 비교적 높게 유지되었으나, 6월파종구는 개화 후 등숙이 빠르게 진행되면서 식물체의 수분함량이 개화 후 30일부터 급격히 감소되었기 때문인 것으로 판단된다. 파종기에 따른 차이를 볼 때 5월파종구 보다 6월파종구의 엽색도가 다소 높았고 생육온도가 높을수록 엽색도가 높았으나 등숙후기는 오히려 대조구에서 높게 나타났다.

Cho & Yamakawa(2008)는 풍산나물콩과 녹채콩을 대상으로 5월 20일 및 6월 20일에 논재배(drained-paddy field)를 하면서 R1 및 R5 stage의 엽색도를 측정된 결과 5월 20일 파종구의 엽색도가 6월 20일 파종구에 비해 높았다고 하였으나 본 시험에서는 이들의 연구결과와 상반되는 결과를 보였다. 그러나 Cho & Yamakawa (2008)의 연구결과는 밭재배와는 재배환경 및 생육반응에 상당한 차이를 보이는 논콩재배로부터 얻어진 결과이기 때문에 노지 및 하우스 조건

에서 재배된 본 시험의 결과와는 생육반응에 비교적 상당한 차이가 있었을 것으로 판단되었다. 따라서 시차파종에 따른 엽색도의 변화를 검토한 연구보고가 별로 없기 때문에 파종기 및 생육온도에 따른 엽색도의 변화와 식물체의 생육 및 수량과의 관계에 대한 구체적 검토가 이루어져야 할 것으로 본다.

종실특성 및 수량성

Table 1은 파종기 및 생육온도에 따른 콩 식물체의 초장, 경태, 주경절수 및 종실 수량구성요소의 변화를 나타낸 것이다.

콩 식물체의 생육은 파종기에 따라 뚜렷한 차이를 보였는데, 5월파종구는 6월파종구에 비해 초장, 경태 및 주경절수가 더 증대된 것으로 나타났다. 생육온도에 따른 이들의 반응을 살펴볼 때 초장, 경태 및 주경절수 모두 파종기에 관계없이 처리온도가 높아질수록 증대되는 것으로 나타나 고온 조건은 콩 식물체의 영양생장을 촉진함을 알 수 있었다. 그러나 콩의 수량구성요소는 파종기 및 생육온도에 따른 반응이 서로 달랐는데, 협수는 파종기에 따른 유의적 차이는 없었으나 생육온도에 따른 차이를 보여 5월파종구는 대조구의 협수가 가장 많았으나 6월파종구는 생육온도가 높아질수록 협수가 증가되는 것으로 나타났다. 개체당 종실수 및 공협수는 파종기에 따른 차이를 보여 5월파종구는 6월파종구에 비해 종실수가 더 많고 공협은 오히려 적게 발생되었으나 생육온도별 반응은 파종기에 따라 서로 다르게 나타났는데, 5월파종구는 생육온도간 차이가 없었으나 6월파종구

는 생육온도가 높을수록 개체당 종실수 및 공협수가 많았다. 100립중과 개체당 수량은 5월파종구는 6월파종구에 비해 100립중 및 개체당 수량이 더 높았으나 생육온도로 볼 때 고온처리구의 100립중과 개체당 수량이 증가되는 경향이었으나 생육온도가 control + 5℃일 때는 control + 3℃과 control + 4℃에 비해 오히려 감소되는 것으로 나타나 등숙기 고온은 종실중을 감소시키는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 주야간 온도가 18/12℃~26/20℃의 범위에서 콩의 등숙은 정상적으로 이루어지지만 26/20℃의 이상의 고온에서는 수량이 감소된다는 Huxley *et al.*(1976) 및 Sionit *et al.*(1987)의 보고와 일치하였다.

콩은 타작물에 비해 비교적 장기간에 걸쳐 파종이 가능지만 파종시기에 따른 생육온도의 영향으로 수량구성요소 및 수량성에 많은 차이를 보이는 것으로 알려져 있다.

Roger & Flowerday(1984)는 우리나라보다 위도가 다소 높은 미국의 Nebraska 지역(40°N~43°N)에서 콩을 5월 상순~7월 상순까지 5차례에 걸쳐 파종을 해본 결과 5월 상순에 파종시 수량은 37 Bu/A였으나, 6월 상순에 파종할 경우 수량이 약 14% 감소되었고, 7월 상순 파종구는 수량이 57% 감소되어 파종기 늦을수록 등숙이 단축되고 수량은 현저히 감소된다고 하였다. Beuerlein & Dorrance(2005)도 미국 Ohio 지역(41°N~49°N)에서 4월 25일부터 7월 10일까지 15일 간격으로 6회에 걸쳐 시차파종을 해본 결과 4월 25일 파종구의 수량은 50.2 Bu/A였으나, 6월 10일 파종구는 수량이 32% 감소되었고, 7월 10일 파종구는 수량이 77% 감소되었다고 하였는데, 본 시험의 결과도 5월파종구가 6월파

Table 1. Comparison of plant height, stem diameter, node numbers, and seed yield components of Daewonkong with different planting date and growth temperature.

Planting date	Growth temp. (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of node	Seed yield components				
					No. of pod (plant ⁻¹)	No. of seed (plant ⁻¹)	No. of empty pod (plant ⁻¹)	100-seed weight (g)	Seed yield (g/plant)
May 25	Mc(22 °C)	47.6 d [†]	6.1 c	15.2 b	72.7 a	123.5 a	1.0 a	24.1 c	29.8 b
	Mc+3 °C	105.0 c	6.5 b	15.8 a	54.0 b	102.0 a	1.0 a	28.6 a	29.2 bc
	Mc+4 °C	114.2 b	6.9 ab	15.9 a	57.5 b	108.5 a	1.7 a	29.2 a	31.7 a
	Mc+5 °C	122.2 a	7.3 a	15.9 a	56.5 b	106.0 a	1.7 a	26.6 b	28.2 c
June 25	Jc(23 °C)	45.8 c	5.9 c	13.0 d	49.7 b	96.5 b	1.2 c	23.8 c	23.0 c
	Jc+3 °C	56.8 b	5.9 bc	13.4 c	51.8 b	97.8 b	3.5 b	25.0 b	24.5 b
	Jc+4 °C	74.1 a	6.3 ab	15.0 a	69.3 a	106.3 a	5.5 a	26.4 a	28.1 a
	Jc+5 °C	73.8 a	6.6 a	13.9 b	67.5 a	101.0 ab	3.5 b	24.4 bc	24.6 b
Between planting date		**	**	**	NS	*	**	**	**

[†]Same letters in a column are not significantly difference at the 0.05 probability level
 ** : P < 0.01; * : P < 0.05; NS : P > 0.05

종구에 비해 식물체의 생육 및 수량이 더 높은 것으로 나타나 이들의 보고와 일치하였다.

Fig. 4는 파종시기 및 생육온도 처리에 따른 종실의 발달 과정을 검토하고자 R5 stage의 헐의 모습을 나타낸 것이고, Fig. 5는 수확된 종실의 크기(size) 분포를 측정하여 파종기 및 생육온도의 차이가 종실발달에 미치는 영향을 검토한 결

과를 나타낸 것이다.

언어진 결과로 볼 때 5월파종구는 6월파종구에 비해 종실의 크기가 더 커지는 것으로 나타났는데, 종실 크기가 6.70 mm 이상인 종실의 분포비율(%)은 5월파종구가 72.4% 이었으나, 6월파종구는 64.9%로서 5월파종구가 약 7.5% 높은 것으로 나타났다. 종실 크기가 4.76 mm 미만에 해당하

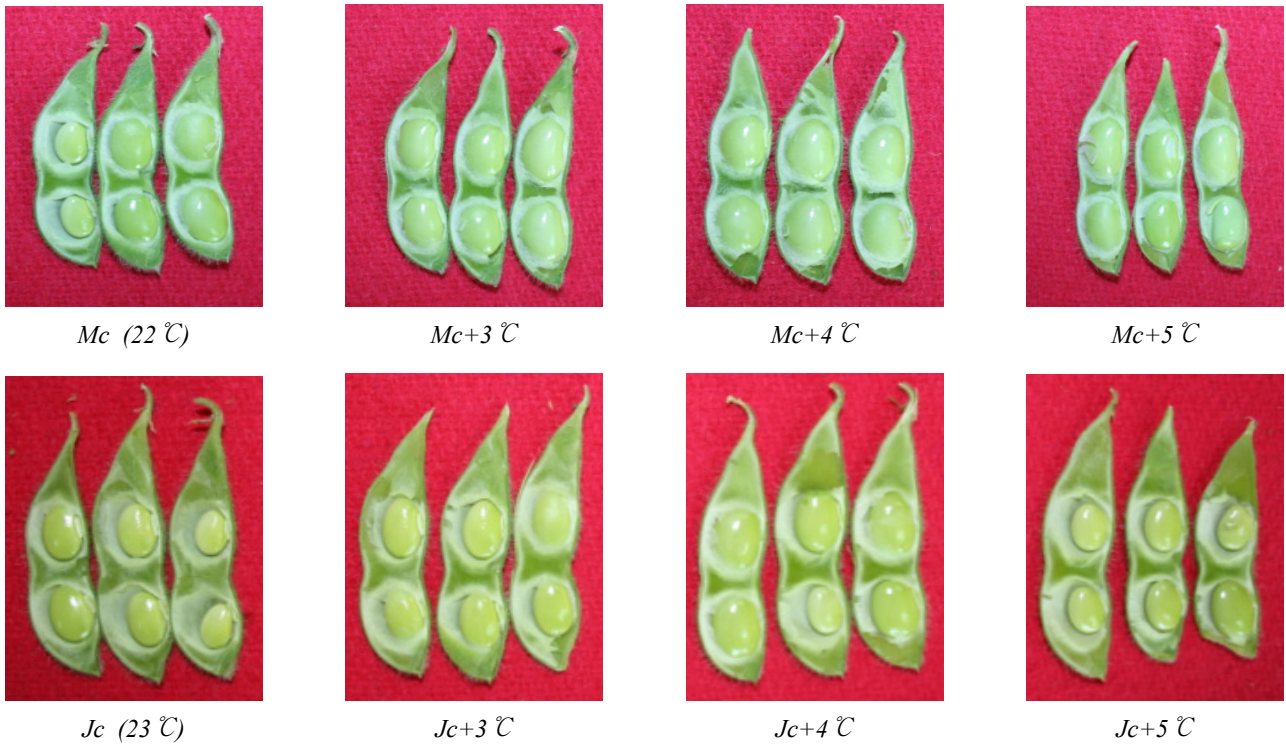


Fig. 4. Features of seed development in R5 stage of Daewonkong with different planting date and growth temperature.

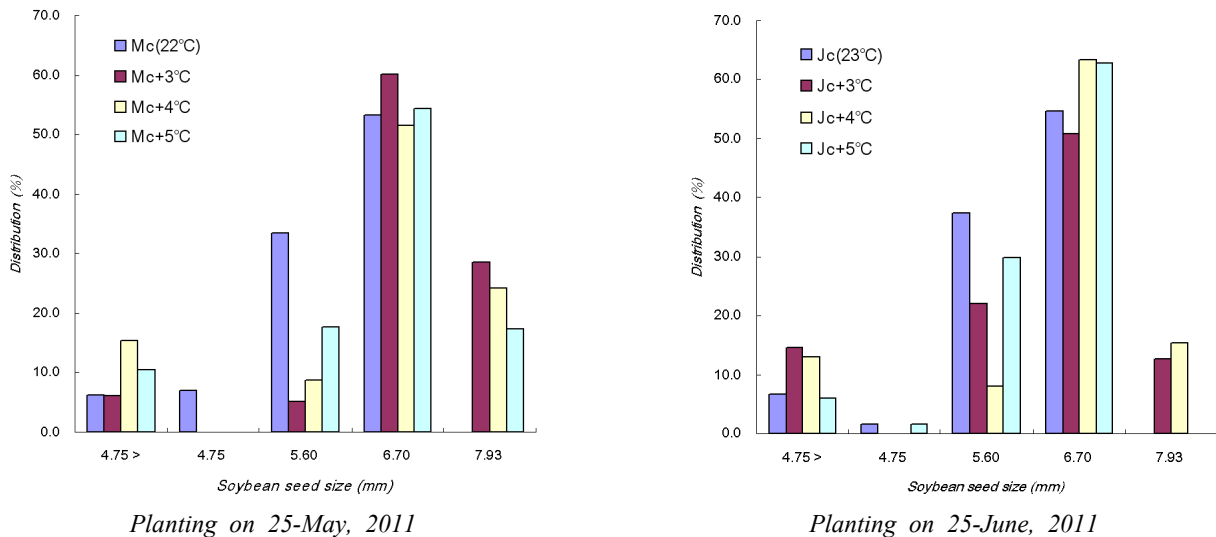


Fig. 5. Effect of planting date and growth temperature on the seed size distribution of Daewonkong.

는 불완전립의 발생률은 5월파종구는 9.6%였으나, 6월파종구는 10.1%로서 파종기에 따른 등숙정도의 차이를 보였다. 생육온도별로 볼 때 5월 대조구(Mc)에서는 종실 크기가 7.93 mm 이상인 개체가 없었으나 Mc + 3°C 처리구는 28.5%, Mc + 4°C 처리구는 24.2%, Mc + 5°C 처리구는 17.2%로 나타나 Mc에 비해 종실의 크기가 증대되는 것으로 나타났다. 따라서 종실 크기는 Mc + 3°C > Mc + 4°C > Mc + 5°C 순으로 Mc + 3°C 이상의 생육온도에서는 오히려 종실의 크기가 감소됨을 알 수 있었다. 6월파종구는 5월파종구와 유사한 경향을 보였으나, 7.93 mm 이상의 비율이 5월파종구에 비해 낮았고 Jc + 5°C 처리구는 7.93 mm 이상인 종실이 생산되지 않았다. 그러나 대조구의 경우 5월, 6월파종구 모두 7.93 mm 이상의 종실이 생산되지 않았으나 4.75~6.70 mm 이하의 종실 비율이 상대적으로 높았다.

Thomas *et al.*(2003)은 32°C 이상의 고온조건하에서 콩의 개화가 지연되고, 30°C~40°C의 온도에서는 종실발달이 지연된다고 하였고, Gibson & Mullen(1996)은 콩의 식물체를 35°C에 10시간 처리하였을 때 콩의 수량이 약 27% 감소됨을 보고한 바 있는데, 등숙기의 고온스트레스는 화기의 수정능력을 저하시켜 착협율이 저하되고 공협 발생을 조장하여 식물체당 착립수를 감소시키며(Duthion & Pigeaire, 1991), 자엽의 세포수를 감소시킬 뿐만 아니라 세포신장을 억제하여 종실중이 감소한다고(Munier-Jolain & Ney, 1998) 하였는데, 본 시험의 결과도 이들의 결과와 일치하는 경향

을 보였다.

따라서 이상의 결과를 종합적으로 고찰해 볼 때 파종시기가 늦어지면 종실 크기가 상대적으로 작아지고, 생육온도가 높아지면 대조구에 비해 종실의 크기가 증대되었으나 처리 온도가 control + 4°C 이상일 경우에는 오히려 종실 크기가 감소되며 파종시기별 생육온도에 따라 등숙반응이 다양해짐을 알 수 있었다.

Isoflavone 함량의 변화

Fig. 6은 파종시기 및 생육온도가 콩 종실의 isoflavone 함량에 미치는 영향을 검토한 결과를 나타낸 것이다.

언어진 결과로 볼 때 콩 종실의 isoflavone 함량은 5월파종구에 비해 6월파종구에서 증대되는 것으로 나타났는데, 5월파종구의 isoflavone 함량의 평균은 1201.8 µg/g 이었으나 6월파종구는 1479.8 µg/g으로 5월파종구에 비해 약 278 µg/g 함량이 높았다. 온도처리에 따른 isoflavone 함량의 변화를 살펴보면, 5월파종구의 Mc + 3°C 및 Mc + 4°C 처리구는 isoflavone 함량이 증가되었으나, Mc+5°C 처리구의 isoflavone 함량이 오히려 감소되는 것으로 나타났고, 6월파종구는 5월파종구와는 달리 생육온도가 높을수록 총 isoflavone 함량이 감소되어 파종시기별 온도처리 효과가 상이했음을 알 수 있었다.

Rasolohery *et al.*(2008)은 R6 stage에 주야간 온도를 13/23°C, 18/28°C 및 23/33 °C로 처리한 결과 저온일수록 isoflavone 함

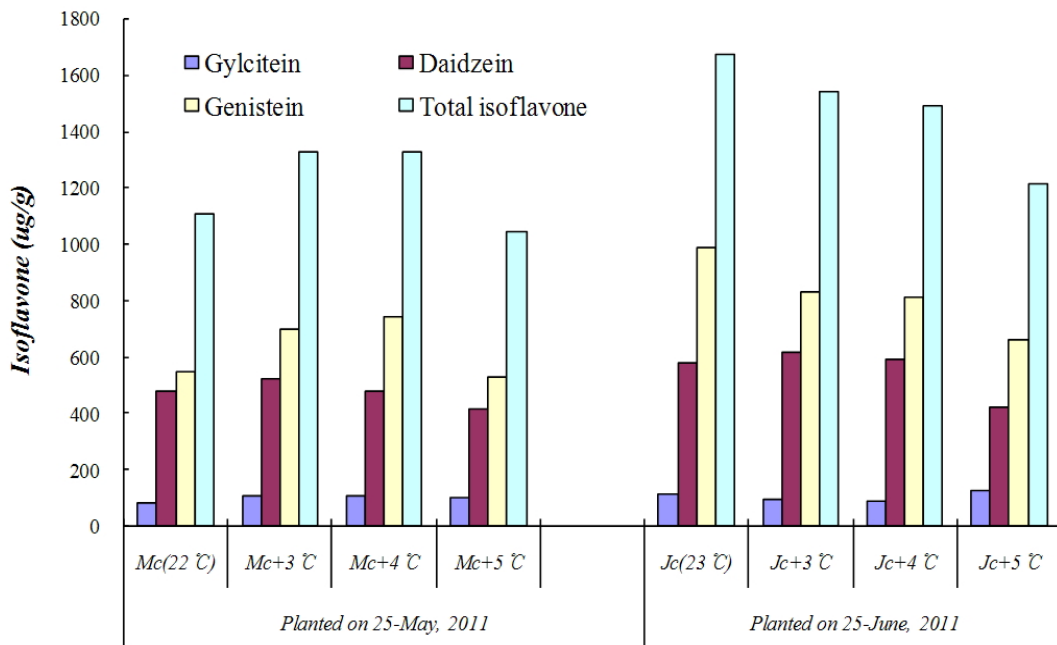


Fig. 6. Effect of planting date and growth temperature on the isoflavone content of soybean seeds.

량이 높았고, 종실의 부위별로 볼 때 자엽에서는 isoflavone 함량이 약 3~6배의 차이를 보였으나 배아에서는 2배 정도의 차이를 보여 부위별 isoflavone에 대한 반응이 다르다고 하였다.

일반적으로 콩 종실에서 자엽의 비율은 약 95%이고, 종피는 약 3%이며 배아는 약 2% 정도에 해당한다(Eldridge & Kwolek, 1983; Liu, 1996). 콩의 자엽에는 주로 genistein과 daidzein이 함유되어 있으나 배아에는 주로 daidzein과 glycitein이 함유되어 있고, glycitein의 대부분은 배아에 함유되어 있다고 한다(Rasolohery *et al.*, 2008). 배아는 자엽에 비해 isoflavone의 함량이 약 5.5~6배 높으나 (Monje *et al.*, 2006; Liu, 1996) 콩 종실에서 배아의 비율이 낮아 총 isoflavone 함량에 대한 기여도가 20% 정도에 불과하기 때문에 배아는 자엽에 비해 상대적으로 낮게 평가되기 쉽다 (Rasolohery *et al.*, 2008).

그러나 콩 종실 크기가 작아질수록 배아의 비율은 상대적으로 높아지기 때문에 isoflavone 함량의 변이에 배아가 미치는 영향은 그만큼 커진다고 할 수 있다. 본 시험에서는 종실의 부위별 isoflavone 함량에 대한 분석이 이루어지지 않았으나 앞서 논의한 관점으로 볼 때 5월파종구에 비해 6월파종구에서 isoflavone 함량이 증가된 주요 원인 중의 하나로 콩의 종실 크기 및 100립중이 감소하면서 상대적으로 배아의 비율이 증가하여(Tsakamoto *et al.*, 1995; Rasolohery *et al.*, 2008; Yue *et al.*, 2010), isoflavone 함량이 증가된 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 6월파종구는 5월파종구에 비해 파종이 늦어지면서 영양생장 기간이 단축되고 종실등숙이 비교적 급격히 이루어졌을 뿐만 아니라 5월파종구에 비해 비교적 큰 일교차(Fig. 1)로 인해 isoflavone 함량이 높게 나

타난 것으로 판단되었다.

Isoflavone은 콩에 함유된 생리활성물질 중 가장 대표적인 것으로 여성 호르몬인 estrogen과 구조적 유사성으로 인하여 식물성 에스트로젠이라 불리며, 인체에서 estrogen 유사활성 및 각종 생리활성이 보고(Molteni *et al.*, 1995; Rice-Evans *et al.*, 1996; Tikkanen & Adlercreutz, 2000) 되면서 콩이 estrogen의 대체물질로서 뿐만 아니라 자연건강식품으로 많은 관심의 대상이 되고 있다.

따라서, 기후변화에 따른 재배환경의 변화는 콩의 품질을 좌우하는 요인 중의 하나인 isoflavone 함량과 밀접한 관계가 있음을 고려해 볼 때 기후변화에 따른 재배법의 재설정에 중요한 평가요인이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

지방산 조성의 변화

Table 2는 파종시기 및 처리온도가 콩 종실의 지방산 조성에 미치는 영향을 검토한 결과를 나타낸 것이다.

콩의 지방함량 및 지방산 조성은 재배지역, 재배환경 및 온도 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으나, 파종시기 및 생육온도에 따른 콩 종실의 지방산 조성의 변이에 대해서는 보고된바가 그리 많지 않다.

본 시험의 결과 파종시기 및 생육온도에 따른 콩 종실의 지방산 조성에는 비교적 뚜렷한 반응을 보였다. 5월파종구는 6월파종구에 비해 불포화지방산 조성의 비율이 유의하게 높았고, 6월파종구는 포화지방산(SFA)의 비율이 유의하게 높은 것으로 나타났으나 각각의 지방산별로 볼 때 파종시기 및 생육온도에 따른 지방산 조성은 뚜렷한 차이를 보였다. Linoleic(18:2) 및 linolenic acid(18:3)는 파종기 및 생육온도에 따른 차이를 보였는데, 노지재배로 생산된 종실의

Table 2. Effect of planting date and growth temperature on the fatty acid composition of soybean seeds.

Planting date	Growth temp	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	USFA
May 25	Mc (22 °C)	11.1 a	2.3 a	26.2 bc	53.9 a	6.5 a	86.6 a
	Mc+3 °C	11.6 a	2.1 b	25.9 c	53.6 ab	6.9 a	86.3 a
	Mc+4 °C	11.6 a	1.9 bc	27.5 b	52.8 b	6.2 b	86.5 a
	Mc+5 °C	11.7 a	1.8 c	29.4 a	51.0 c	6.0 b	86.5 a
June 25	Jc (23 °C)	12.3 c	2.3 a	25.5 a	52.1 a	7.7 a	85.3 a
	Jc+3 °C	12.9 a	2.3 a	22.5 b	54.6 b	7.7 a	84.8 b
	Jc+4 °C	12.9 ab	2.2 a	22.7 b	54.4 b	7.8 a	84.9 b
	Jc+5 °C	12.5 bc	2.3 a	23.1 b	54.5 b	7.7 a	85.2 a
Between planting date		**	*	**	**	**	**

† Same letters in a column are not significantly difference at the 0.05 probability level

** : P < 0.01; * : P < 0.05; NS : P > 0.05

지방산 조성은 비닐하우스에서 생산된 종실과 반응이 조금 달랐으나 전체적으로 볼 때 처리온도가 높아질수록 linoleic 및 linolenic acid의 조성비율이 감소되는 경향이였다. 그러나 oleic acid(18:1)는 linoleic 및 linolenic acid와는 달리, 생육온도가 높아질수록 조성비율이 증가되는 결과를 보였다.

지금까지 보고된 연구결과에 따르면, 콩의 등숙기간 중 고온은 종실의 불포화지방산인 oleic acid를 증가시키고(Carver *et al.*, 1986; Dornbos & Mullen, 1992; Rennie & Tanner, 1989), 불포화지방산인 linoleic 및 linolenic acid를 감소시키지만, 포화지방산인 palmitic(16:0) 및 stearic acid(18:0)는 온도변화에 비교적 안정적이라고 하였다(Howell & Cartter, 1958; Howell & Collins, 1957; Rennie & Tanner, 1989; Wilcox & Cavins, 1992; Wolf *et al.*, 1982).

본 시험의 결과를 기존의 보고들과 비교하여 볼 때 고온 처리에 따른 oleic acid의 증가와 linoleic 및 linolenic acid가 감소되는 결과는 기존의 보고들과 일치하였으나, palmitic acid와 stearic acid의 조성이 온도변화에 비교적 안정적인 반응을 보인다는 기존의 보고와는 다르게 온도가 높아질수록 이들의 조성비율도 증가되는 경향을 보였다.

따라서 본 시험의 결과를 종합적으로 살펴볼 때 파종시기 및 생육온도는 콩의 지방산 조성에 크게 영향을 미칠 뿐만 아니라 파종기 및 생육온도에 따른 교호작용으로 콩 종실의 지방산 조성은 다소 복잡하고 다양한 변이를 보이는 형질인 것으로 판단되었다.

Isoflavone 및 지방산 조성의 선형모형

Table 3은 SAS의 변수선택법(variable selection method) 중 stepwise procedure를 이용하여 콩 종실의 isoflavone 및 불포화 지방산 조성의 선형모형 추정식을 나타낸 것이다.

본 예측모형의 추정을 위해 사용된 조사형질은 초장, 건물중, 경태, 주경절수 및 수량구성요소인 협수, 개체당 종실수, 공협수 및 100립중이었고, stepwise forward selection법을 적용하였다. 본 시험에서 콩 종실의 isoflavone 함량 및 지방산 조성의 선형모형을 추정하는 것은 파종시기 및 생육온도의 처리에 따른 콩 식물체의 생육 및 수량 반응과 isoflavone 함량 및 지방산 조성이 다양한 반응을 나타냈기 때문에 처

리효과와 종합적 해석에 어려움이 있었기 때문이었다. 따라서 본 시험에서 얻어진 조사형질을 대상으로 SAS의 변수선택법으로 isoflavone 함량 및 지방산의 조성의 변화에 기여도가 높은 형질을 선택하여 파종시기 및 생육온도의 처리효과를 해석하였다. 통계분석 결과 종실의 isoflavone 함량에 영향을 미치는 주요 형질로 주경절수와 100립중이 변수로 선택되었고, 불포화지방산의 조성에 영향을 미치는 주요 형질로 주경절수와 공협수가 각각 선택되었다. 특히 주경절수는 isoflavone 함량 및 불포화지방산 조성에 모두 관여하는 형질로 나타났는데, 주경절수와 isoflavone 함량과의 관계에 대한 상관분석을 해본 결과 이들간에 부의 상관관계($r = -0.661$)가 있었고, 불포화지방산과는 정의 상관관계($r = 0.775$)를 보여 주경절수가 많아지면 isoflavone 함량이 낮아지고 불포화지방산의 비율을 증가시키는 변수로 작용함을 알 수 있었다.

적 요

콩의 파종시기 및 생육온도를 달리하였을 때 생육반응, 수량성 및 isoflavone 함량과 지방산 조성에 미치는 영향을 검토하여 발작물의 안정생산을 위한 재배기술개발에 활용하고자 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 5월파종구는 6월파종구에 비해 콩 식물체의 생육이 왕성하고 식물체의 수분함량이 개화후 약 40일까지 비교적 높은 상태가 유지되지만, 6월파종구는 개화 후 등숙이 빠르게 진행되면서 식물체의 수분함량이 개화후 30일부터 급격히 감소되었다.
2. 6월 파종구는 5월 파종구에 비해 100립중이 상대적으로 감소하였고, 생육온도가 높으면 100립중이 증대되었으나 control + 5°C에서는 오히려 감소되어 파종시기 및 생육온도별 등숙 반응이 달랐다.
3. Isoflavone 함량은 5월파종구의 평균이 1201.8 $\mu\text{g/g}$ 이었으나 6월파종구는 1479.8 $\mu\text{g/g}$ 으로 5월파종구 대비 약 278 $\mu\text{g/g}$ 함량이 높았다. 생육온도에 따라서는 5월파종구 Mc + 3°C 및 Mc + 4°C 처리구는 isoflavone 함량

Table 3. Developed regression equations to estimate the isoflavone content and unsaturated fatty acid by using observed variables.

Estimated regression equation	R-square
Isoflavone = 2599.1 - 245.3X _(no. of node) + 90.8X _(100-seed weight)	0.739*
Unsaturated fatty acid = 80.2 + 0.422X _(no. of node) - 0.293X _(no. of empty pod)	0.956**

** : P < 0.01; * : P < 0.05

이 증가되었으나, Mc + 5°C의 isoflavone 함량은 오히려 낮았고, 6월파종구는 생육온도가 높을수록 isoflavone 함량이 감소하여 파종시기별 온도처리 효과가 달랐다.

4. 생육온도가 높을수록 oleic acid의 조성이 증가되고 linoleic 및 linolenic acid가 감소되었으나 palmitic 및 stearic acid의 조성도 생육온도가 높아질수록 증가되는 경향이었다.
5. 주경절수는 isoflavone 함량 및 불포화지방산 조성에 모두 관여하는 변수로 나타났는데, 주경절수와 isoflavone 함량과의 상관분석 결과 부의 상관관계($r = -0.661$)가 있었고, 불포화지방산과는 정의 상관관계($r = 0.775$)를 보여 주경절수가 증가되면 isoflavone 함량이 낮아지고 불포화지방산의 조성비율의 증가에 관여하는 형질로 판단되었다.

인용문헌

- Kang, K. K., D. B. Lee, and Y. E. Na. 2011. RDA Interrogang 17. www.rda.go.kr.
- Aussenac, T., S. Lacombe, and J. Dayde. 1998. Quantification of isoflavones by capillary zone electrophoresis in soybean seeds: Effects of variety and environment. *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 480S-1485S.
- Beuerlein, J. and A. Dorrance. 2005. Chapter 5: Soybean production. *Ohio Agronomy Guide, 14th Edition*, Bulletin 472-05.
- Bilyeu, K. D., L. Palavalli, D. A. Sleper, and P. R. Beuselinck. 2003. Three microsomal omega-3 fatty-acid desaturase genes contribute to soybean linolenic acid levels. *Crop Sci.* 43 : 1833-1838.
- Carver, B. F., J. W. Burton, T. E. Jr. Carter, and R. F. Wilson. 1986. Response to environmental variation of soybean lines selected for altered unsaturated fatty acid composition, *Crop Sci.* 26 : 1176-1191.
- Cho, J. W. and T. Yamakawa. 2008. Comparison of dry matter production and photosynthetic rate against different planting dates between late and early maturing soybean cultivars in paddy field. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 53 (2) : 389-393.
- Custodio, R. P. T., T. Shiraiwa, K. Homma, E. Kumagai, and R. Sameshima. 2012. The response of soybean seed growth characteristics to increased temperature under near-field conditions in a temperature gradient chamber. *Field Crops Research.* 131 : 26-31.
- Dornbos, Jr., D. L. and R. E. Mullen. 1992. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. 1992. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 69 : 228-231.
- Duthion, C. and A. Pigeaire. 1991. Seed Lengths corresponding to the final stage in seed abortion of three grain Legumes. *Crop Sci.*, 31 : 1579-1583.
- Eldridge, A. C. and W. F. Kwolek. 1983. Soybean isoflavones: Effect of environment and variety on composition. *J. Agric Food Chem.* 31 : 394-396.
- Gibson, L. R. and R. E. Mullen. 1996. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. *Crop Sci.*, 36 : 1615-1619.
- Howell, R. W. and F. I. Collins. 1957. Factors affecting linolenic and linoleic acid content of soybean oil, *Agron. J.* 49 : 593-597.
- Howell, R. W. and J. L. Cartter. 1958. Physiological factors affecting composition of soybeans: ii. Response of oil and other constituents of soybeans to temperature under controlled conditions, *Agron. J.* 50 : 664-667.
- Huxley, P. A., R. J. Summerfield, and P. Hughes. 1976. Growth and development of soybean CV-TK5 as affected by tropical day lengths, day/night temperatures and nitrogen nutrition. *Ann. Apply. Biol.*, 82 : 117-133.
- Kim, S. H., W. S. Jung, J. K. Ahn, J. A. Kim, and I. M. Chung. 2005. Quantitative analysis of the isoflavone content and biological growth of soybean (*Glycine max* L.) at elevated temperature, CO₂ level and N application. *J. Sci. Food Agric.* 85 : 2557-2566.
- Kitamura, K., K. Igita, A. Kikuchi. S. Kudou, and K. Okubo. 1991. Low isoflavone content in some early maturing cultivars, so-called "summer-type soybeans" (*Glycine max* (L) Merrill). *Japan. J. Breed.* 41 : 651-654.
- Liu, K. S. 1996. Soybeans : chemistry, technology and utilization. *Chapman and Hall, New York*, p. 4.
- Lozovaya V. V., A. V. Lygin, A. V. Ulanov, R. L. Nelson, J. Dayde, and J. M. Widhohn. 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Sci.* 45 : 1934-1940.
- Mochizuki, A., T. Shiraiwa, H. Nakagawa, and T. Horie. 2005. The effect of temperature during the reproductive period on development of reproductive organs and the occurrence of delayed stem senescence in soybean. *Jpn. J. Crop Sci.* 74 : 339-343.
- Molteni, A., L. Brizio-Molteni, and V. Persky. 1995. *In vitro* hormonal effects of soybean isoflavones. *J. Nutrition.* 125 : 751-756.
- Monje, M. C. M. Berger, V. Farines, K. Reybier, A. Verger, J. Dayde, V. Theodorou, and F. Nepveu. 2006. Antioxidant capacity of cotyledons and germs of soybean in relation to their isoflavone content. *Food Technol. Biotechnol.* 44(4) : 493-498.
- Munier-Jolain, N. G. and B. Ney. 1998. Seed growth rate in grain legumes II. Seed growth rate depends on cotyledon cell number. *J. Exp. Bot.* 49 : 1971-1976.
- Rasolohery, C. A., M. Berger, A. V. Lygin, V. V. Lozovaya, R.

- L. Nelson, and J. Daydé. 2008. Effect of temperature and water availability during late maturation of the soybean seed on germ and cotyledon isoflavone content and composition. *J. Sci. Food Agric.* 88 : 218-228.
- Rennie, B. D. and J. W. Tanner. 1989. Fatty acid composition of oil from soybean seeds grown at extreme temperatures. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 66 : 1622-1624.
- Rice-Evans, C. A., N. J. Miller, and G. Paganga. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic. Biol. Med.* 20 : 933-956.
- Roger W. E. and A. D. Flowerday. 1984. Soybean planting date: when and why. University of Nebraska-Lincoln, File G687 under: Field Crops 0A-6, Soybeans.
- Sakai, T., A. Kikuchi, H. Shimada, Y. Takada, Y. Kono, and S. Shimada. 2005. Evaluation of isoflavone contents and compositions of soybean seed and its relation with seeding time. *Jpn. J. Crop Sci.* 74(2) : 156-164.
- Seguin P., W. J. Zheng, D. L. Smith, and W. H. Deng. 2004. Isoflavone content of soybean cultivars grown in eastern Canada. *J. Sci. Food Agric.* 84 : 1327-1332.
- Sionit, N., B. R. Strain, and E. P. Flint. 1987. Interaction of temperature and CO₂ enrichment on soybean: Growth and dry matter partitioning. *Can. J. Plant Sci.*, 67 : 59-67.
- Thomas, J. M. G., K. J. Boote, L. H. Allen, Jr., M. Gallo-Meagher, and J. M. Davis. 2003. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed germination and transcript abundance. *Crop Sci.* 43 : 1548-1557.
- Thomas, J. M. G., K. J. Boote, D. Dan, and L. H. Allen. 2010. Elevated temperature delays onset of reproductive growth and reduces seed growth rate of soybean. *J. Agrocrop Sci.* 1 : 19-32.
- Tikkanen, M. J. and H. Adlercreutz. 2000. Dietary soy-derived isoflavone phytoestrogens: Could they have a role in coronary heart disease prevention?. *Biochem. Pharmacol.* 60 : 1-5.
- Tsukamoto, C., S. Shimada, K. Igita, S. Kudou, M. Kokubun, and K. Okubo. 1995. Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: Changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J. Agric. Food Chem.* 43 : 1184-1192.
- United Nations Environmental Programme. 2006. Crop production in a changing climate. In: GEO year book 2006. <http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2006/063.asp>.
- Wilcox, J. R. and J. F. Cavins. 1992. Normal and low linolenic acid soybean strains : response to planting date, *Crop Sci.* 32 : 1248-1251.
- Wolf, R. B., J. F. Canvins, R. Kleiman, and L. T. Black. 1982. Effect of temperature on soybean seed constituents; oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59 : 230-232.
- Yue, X., A. A. Moursy, and Z. Xu. 2010. Distribution of isoflavones and antioxidant activities of soybean cotyledon, coat and germ. *J. Food Proc. Pres.* 34(5) : 795-806.
- 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.