

남부지역 논에서 파종 시기별 검정콩의 종실 생산량 및 품질 특성

오서영^{1*}, 최지수¹, 김태희¹, 오성환²

¹국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과, ²농촌진흥청 연구정책국 연구정책과
(2023년 10월 17일 접수; 2023년 11월 10일 수정; 2023년 11월 20일 수락)

Influence of Sowing Date on Seed Yield and Quality of Black Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) in the Southern Paddy Field

Seo Young Oh^{1*}, Jisu Choi¹, Tae Hee Kim¹, Seong Hwan Oh²

¹Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science,
National Institute of Crop Science, Miryang 50424, Korea

²Department of Research Policy, Research Policy Bureau, Rural Development Administration,
Jeonju 54875, Korea

(Received October 17, 2023; Revised November 10, 2023; Accepted November 20, 2023)

ABSTRACT

Growth and seed productivity of black soybean (cv. Cheongja-3ho) sown on four different dates were investigated in paddy fields in the southern region to cope with climate change, trends in consumption of soy foods, and the spread of double cropping region. Sowing date of black soybean showed a significant correlation with above-ground growth, seed yield, useful components, etc. When sown in May, the above-ground part was plentiful, while seed yield significantly decreased. On the other hand, when sown in June and July, reproductive growth was vigorous resulting in high seed yield, exceeding 200 kg/10a, and pod injury and seed coat cracking were reduced. Furthermore, the isoflavone content of seed increased significantly as the sowing date was delayed. These results suggests that sowing from early June to early July is appropriate. Nevertheless, late June sowing appears the most appropriate for black soybeans in the southern paddy fields, in order to avoid a risk of overlapping with sowing dates of winter crops in the double cropping.

Key words: Black colored soybean, Isoflavone, Rice paddy field, Seed productivity, Sowing day



* Corresponding Author : Seo Young Oh
(osoonja@korea.kr)

I. 서 론

콩(*Glycine max* (L.) Merrill)은 밀(*Triticum aestivum* L.), 벼(*Oryza sativa* L.), 옥수수(*Zea mays* L.), 감자(*Solanum tuberosum* L.)와 더불어 세계적으로 많이 생산되고 있는 작물이며, 열대, 아열대, 온대 지역 등 광범위하게 재배되고 있다. 콩은 단백질과 지질 함량이 높은 고단백 유지작물로서 주로 식물성 기름과 대두박을 얻기 위해 생산된다. 콩자는 전세계 식물성 단백질의 60%를 제공하며 동물성 단백질의 좋은 대체물로 간주된다(Liu, 1997). 그리고, 높은 단백질 함량은 가축 사료의 중요한 구성 요소로 작용하기 때문에 대두박을 생산하기 위한 원료로 사용되기도 하며, 뿌리혹박테리아를 형성하여 지력을 향상시키기 때문에 녹비작물로 사용되기도 한다. 콩 식품에 대한 수요는 콩에 들어있는 높은 영양가로 인해 꾸준히 증가하고 있으며, 여러 유형의 비발효(두유, 두부, 콩나물, 콩 견과) 및 발효(장류, 낫토, 템페) 식품으로 이용된다. 또한 콩에 포함된 여러 생리활성 물질들은 자궁내막암, 유방암, 전립선암, 결장암, 폐암 및 방광암을 포함한 여러 암과 심장 질환의 위험을 낮춤으로써 인체 건강에 도움이 되므로 상당한 관심을 받고 있다(Sun *et al.*, 2004). 더욱이 채식 및 비건 식품에 대한 수요가 꾸준히 증가함에 따라 콩의 식물성 단백질과 기름이 중요해졌다. 또한 웰빙 문화의 확산과 고품질 두유 시장의 확대로 검정콩에 대한 수요가 증가하고 있다. 검정콩은 노란콩에 비하여 안토시아닌, 이소플라본, 항산화물질 등 기능성 성분의 함량이 높아서 높은 가격에 거래되고 있다(Bae and Moon, 1997; Liao *et al.*, 2001; Lim, 2010). 따라서 검정콩의 소비 잠재력에 대응하기 위해서는 수확량을 늘려 안정적인 공급이 우선적으로 선행되어야 한다. 특히 검정콩 품종 중에 청자3호는 중만생종의 유색콩으로 우리나라 전역에 재배가 가능하며, 다른 품종에 비해 안토시아닌 색소와 당 함량이 높고 항산화 활성도 높은 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2022; Shin *et al.*, 2020).

최근 농에서의 콩 재배는 정부가 추진하고 있는 쌀 적정생산 관리 및 전락작물 직불금제, 지자체 논 타작물 지원 등으로 인해 꾸준히 증가하고 있다. 더군다나 동계작물과의 2모작 재배 시 농가소득을 높일 수 있어 농가에서는 벼 대신에 콩 재배를 선호하고 있다. 그러나 기상과 같은 계절적 또는 일주기적 변화는 콩의 성장과 수확량의 주요 결정 요인으로 작용하며, 콩 생

산량은 농업 환경조건에 따라 변동이 크다. 즉, 콩의 수확량과 품질은 가뭄, 홍수, 고온 및 염분과 같은 생물학적 스트레스 요인과 질병, 해충, 잡초와 같은 생물학적 스트레스 요인에 의해 영향을 받는다(Miransari, 2015). 특히, 수확량 변동은 파종 시기에 의해 유발된 기후 조건과 관련이 있음이 보고된 바 있다(Meottiet *et al.*, 2012). 파종 시기에 따라 콩의 각 생육 단계는 다른 기상환경에 노출되게 되며, 광주기, 기온, 강우 분포 및 강우량 등은 작물의 성장, 생산량과도 직결되는 요소이다. 파종 시기는 재배 지역의 기후조건과 작부체계, 그리고 재배 품종에 따라 달라질 수 있으며, 수확량이 높은 품종을 선택하여 최적의 파종 시기에 파종하는 것은 콩 생산량을 늘리기 위한 가장 기본적인 접근 방식이다.

따라서 본 연구에서는 최근의 기후변화와 소비 트렌드, 그리고 논을 이용한 2모작 콩 재배의 확대 등에 대처하기 위한 일환으로 남부지역의 논에서 파종 시기로 검정콩의 생육 및 종실 생산성 등을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 식물재료 및 재배조건

본 실험은 경상남도 밀양의 국립식량과학원 남부작물부 논 시험포장에서 수행하였으며, 콩(*Glycine max* (L.) Merrill)은 유색콩인 청자3호를 사용하였다. 포장은 벼를 수확한 이후에 로터리 정지작업을 실시하고, 비료(N-P₂O₅-K₂O)는 표준시비(3.0-3.0-3.4 kg/10a)에 맞춰서 전량 기비로 사용한 후에 이랑을 만들었다. 종자는 높은 이랑 1휴 2열로 조간거리 60 cm, 주간거리 15 cm로 하여 2립식 파종하였다. 파종시기는 남부지역 노란콩 관행 파종시기인 6월 상중순이 포함되도록 하여 4시기(2022년 5월 24, 6월 9일, 6월 22일, 7월 8일)로 구분하였으며, 각 시기별로 20 m² (10 m × 2 m)을 4반복으로 구획하여 배치하였다. 관수는 하지 않았으며, 생육 중에 발생하는 잡초는 손으로 제거하였다. 그리고 재배기간 동안 노린재류는 포장 주변에 설치한 포획 트랩을 이용하여 확인하였고, 식물체의 도복 여부는 성숙기에 45° 이상 기울어진 개체의 비율로 등급화하여 육안으로 확인하였다. 기타 재배관리는 남부작물부 콩 표준재배법에 준하여 실시하였다.

2.2. 기상환경 분석

대기 일평균온도, 강우량, 일조시간은 시험지 인근에 위치한 밀양지역의 기상대(N35°49'147" E128°74'412", 8 m above sea level)에서 측정된 자료를 사용하였다. 그리고, 콩 재배 시기에 해당하는 5월~10월까지의 일평균 기온, 일 강우량, 일조시간 등을 최근 30년간(1991~2020)의 평균값과 비교하였다. 그리고 각 생장 단계별로 생육도일, 누적 강수량, 누적 일조시간을 제시하였다. 생육도일(growing degree days, GDD, °C)은 10°C (기본 온도, T_{base})와 40°C (상한 온도, $T_{ceiling}$) 사이의 온도에서 정상적으로 생육한다고 보고 아래의 식을 사용하여 계산하였다(Archontoulis *et al.*, 2014).

$$GDD = (T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}$$

여기서 T_{max} 와 T_{min} 은 각각 일 최고온도와 최소온도이다. 생육도일은 파종에서부터 개화기까지, 그리고 개화기부터 종자 성숙기로 구분하여 나타내었다.

2.3. 생육 및 종실 수확량 조사

콩의 생육은 파종 시기별로 밭아일, 개화일, 성숙일 등을 확인하였으며, 꼬투리 성숙기인 10월에 각 파종 시기별로 20개체를 선정하여 경경, 경경, 분지수, 마디수, 착엽고 등을 측정하였다. 이때 경경은 자엽절과 초생엽절의 중간위치에서 측정하였다. 그리고 종실 생산성과 밀접한 관련이 있는 꼬투리 수, 비립 꼬투리 비율을 측정하였다. 비립 꼬투리는 개체당 전체 꼬투리 수 중에 종자방이 일부라도 비어있는 불임협을 포함시켰다. 종자 수확은 꼬투리가 변색되고 흔들면 소리가 나고 종실 고유의 색을 나타낼 때를 기준으로 하여 10월 하순에 순차적으로 이루어졌으며, 수확한 시료는 그늘에서 3~4일 건조하고 탈곡하였다. 수량은 10a당 종실 중량으로 나타내었고, 백립중은 수분함량 13% 이하로 풍건된 완전립을 대상으로 측정하였다. 종피 파열은 백립중 측정이 끝난 종자를 대상으로 육안으로 판별하였다. 종자의 표면 색상은 색차계(Chroma meter CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 L value (lightness ranging from 0 = black to 100 = white), a value (redness), b value (yellowness) 값을 측정하였다.

2.4. 콩 종실의 이화학적 성분 분석

탈곡한 종실은 성분 분석을 위해 소형파쇄기(HR2860, Philips, China)로 균일하게 분쇄하고, 1mm 체를 통과한 분말을 4°C 냉장실에 보관하면서 단백질, 지방, 회분 등의 성분을 분석하는데 사용하였다. 단백질 함량은 질소/단백질 분석기(Kjeltec 8400, Foss, Hillerod, Denmark)를, 조회분 함량은 700°C 직접회화법을 이용하여 측정하였다(AOAC, 1988). 지방 함량은 자동유지추출장치(Soxxhlet System buchi Labotechink, B-811, AG, Switzerland)를 이용하여 n-hexane으로 3시간 열수 추출한 후 지방 함량을 구하였다. 수분 함량은 상압가열건조기(DS-80S, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)를 이용하여 105°C에서 24시간 건조하여 감소된 중량값을 측정하였다. 탄수화물 함량은 100 중량부에서 수분, 단백질, 지방, 회분의 중량을 뺀 나머지로 나타내었다.

이소플라본은 시료 1.0 g에 50% 메탄올 10 ml를 첨가하여 12시간 실온에서 교반한 후 여과지(Whatman NO. 2)로 여과한 후 다시 HPLC 분석을 위해 0.2 µm 필터로 재차 여과하여 액체크로마토그래피(Agilent HPLC 1100, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 당도는 시료와 증류수를 1:9 비율로 희석하여 마쇄 후 원심분리기로 조심스럽게 상층액을 분리하여 굴절당도계(PAL-1, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2.5. 통계분석

모든 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하였다. 파종 시기별 차이를 알아보기 위하여 일원 분산분석을 실시하였으며, Duncan의 다중검정($p < 0.05$)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다. 또한 남부지역에서의 파종 시기와 작물 생육, 수확량, 유용 성분 등과의 상관관계는 Pearson 상관분석을 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 재배지역 내 대기 환경요인의 변화

콩 재배기간(2022년 5월~2022년 10월) 동안 논 포장 인근의 일평균 기온, 강수량, 일조시간의 변화를 살펴보았다(Fig. 1). 일평균 온도는 8월까지 지속적으로 높아지고 이후 점차 낮아졌으며, 5월 하순, 그리고

6월 하순~7월 상순의 일평균 온도는 최근 30년간(1991~2020)의 평균값보다 높았다(Fig. 1A). 강수량은 6월부터 9월 상순에 이르기까지 여름철에 집중적으로 많았으며, 9월 하순 이후에는 강우 발생 빈도가 낮아 적었다(Fig. 1B). 일조시간은 5월에 12시간으로 많고 8월까지 점차 감소하다가 9월부터 점차 증가하는 양상을 보였으며, 강우가 집중되는 7~8월에는 최

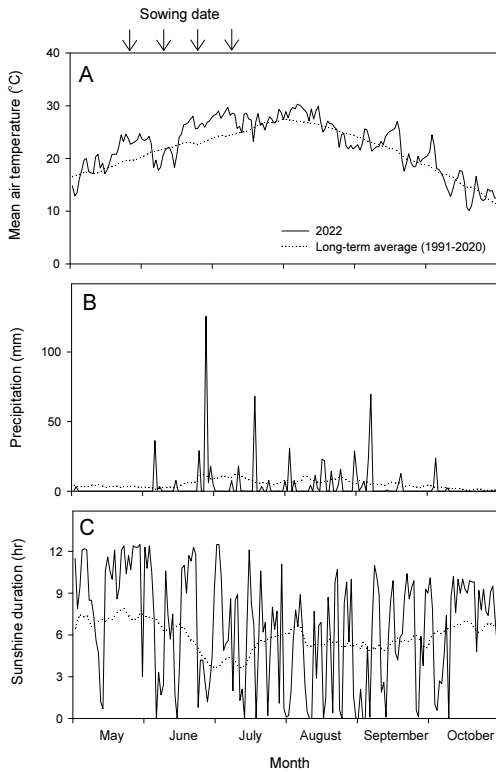


Fig. 1. Daily air temperature (A), precipitation (B), and sunshine duration (C) during experimental period (solid line) and their long-term average (LTA) (1991-2020; dotted line).

근 30년간(1991~2020)의 평균값보다 극히 짧아졌다(Fig. 1C).

파종 후 개화기까지, 그리고 개화 후 종실 성숙기까지의 생육도일, 누적 강수량과 일조시간을 파종 시기별로 살펴보았다(Table 1). 파종에서 개화기까지와 개화 후 종실 성숙기까지 모두 생육도일과 누적 일조시간은 5월 파종 시에 가장 높고 길었으며, 파종일이 늦어지면서 점차 낮아지고 짧아지는 경향을 나타내었다. 누적 강수량은 5~6월 파종 시에는 성숙기까지 강우 발생 빈도가 잦아 많아졌으나 7월 파종 시에는 낮은 빈도로 인해 적었다.

3.2. 파종 시기별 콩 생육일수의 변화 및 작물의 생육 특성

파종 시기별 콩의 발아, 개화, 종실 성숙에 이르는 소요일수를 조사하였으며, 성숙시의 경장, 경경, 분지수, 마디수, 착협고 등 콩의 생육 특성을 비교하였다(Table 2). 종자 발아는 5~6월 파종시에는 7일이 소요되었으며 7월 파종시에는 5일 소요되었다. 그리고 개화시까지의 소요일수는 5월 파종시에는 49일로 긴데 반하여 파종이 늦어짐에 따라 점차 짧아져서 7월 파종시에는 36일이다. 파종 시기별 종실 성숙에 이르는 일수도 역시 5월에 파종하였을 때에는 총 149일로 많았으며, 파종일이 늦어짐에 따라 생육일수가 점차 감소하여 7월에 파종시에는 총 109일로 40일이 단축되었다. 콩 재배 시 파종에서 개화까지의 소요일수는 기온, 일조시간, 토양수분 등에 의해 영향을 받지만 대체로 평균기온이 높으면 짧아지며, 높은 온도와 함께 단일 조건에서 빨라진다(Board and Hall, 1984; Kantolic and Slafer, 2007). 이는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 파종 시기별 온도와 일장의 변화로 확인할 수 있다. 콩을 일찍 파종하면 영양생장기간이 길어지는데 반하여 개화가 늦어지고 개화 후에도 더 긴 광주기에 노출

Table 1. Crowing degree days (GDD), total precipitation, and total sunshine during growth stage of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) as caused by different sowing dates in the paddy fields

Sowing dates	Sowing to Flowering			Flowering to Seed maturity		
	GDD (°C)	Total precipitation (mm)	Total sunshine (hr)	GDD (°C)	Total precipitation (mm)	Total sunshine (hr)
24 May	746.2	258.6	361.7	1,362.5	416.1	551.2
9 Jun	717.0	290.2	288.3	1,204.7	343.7	507.9
22 Jun	720.9	296.8	225.3	1,049.9	328.9	486.0
8 Jul	668.7	167.1	175.7	810.6	285.9	437.9

Table 2. Major growth characteristics of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) affected by different sowing dates in the paddy fields

Sowing dates	Days to germination (Germination date)	Days to flowering (Flowering date)	Days to maturity (Maturity date)	Plant length (cm)	Stem diameter (mm)	Branch (ea/plant)	Node (ea/plant)	First pod height (cm)
24 May	7 (31 May)	49 (12 Jul)	149 (20 Oct)	81.6±1.4 ^a	10.0±0.4ab	3.6±0.4ns	16.8±0.2a	7.5±0.6c
9 Jun	7 (16 Jun)	43 (22 Jul)	135 (22 Oct)	70.6±1.0c	9.5±0.3bc	4.2±0.3	15.4±0.3c	8.1±0.7c
22 Jun	7 (29 Jun)	40 (1 Aug)	124 (25 Oct)	75.5±1.4b	10.9±0.5a	3.7±0.3	16.1±0.2b	11.1±0.9b
8 Jul	5 (13 Jul)	36 (13 Aug)	109 (25 Oct)	51.3±1.3d	8.8±0.2c	3.4±0.1	12.5±0.2d	13.7±0.7a

^aValues are expressed as means±standard error of 20 replicates.

^bDifferent letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

되기 때문에 단일조건에서 개화가 촉진되는 콩과 식물의 특성 상 꼬투리가 많이 형성되지 않아 생산량에 부정적으로 작용하게 된다(Kumudini *et al.*, 2007). 그리고 늦게 파종하면 고온 단일 조건에 놓여서 개화반응이 빨라지기 때문에 짧은 영양생장 기간을 거쳐 생식생장으로 전환되므로 개화소요일수는 짧아진다. 그리고, Table 1에서와 같이 개화시까지의 생육도일과 누적 일조시간이 짧아져 유효적산온도와 일사량이 부족하게 되어 충분한 생식생장 기간이 확보되지 않게 된다. 따라서 남부지역에서 검정콩을 7월 상순 이후에 파종하게 되면 생육일수가 확보되지 않아 생산량이 크게 감소될 것으로 보인다.

작물의 생육 특성 중에 경장은 5월 파종시 81.6 cm로 가장 길고 파종이 늦어질수록 점차 짧아졌으며, 경장은 5~6월 파종시에 굵고 7월 파종시에 가장 가늘었다. 마디수는 파종 시기가 늦어질수록 감소하였으며 착협고는 오히려 높았다. 분지 수는 파종 시기별 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 콩은 대표적인 단기성 작물이다. 따라서 5월 파종에 비해 7월 파종에서는 영양생장 기간이 짧아지고 일찍 개화가 되었을 것임을 Fig. 1의 대기 환경요인의 변화 패턴으로 짐작해 볼 수 있다. 콩 재배 시 개화는 일장에 의한 영향이 크다 (Board and Hall, 1984; Kantolic and Slafer, 2007). 7월 상순에는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 평균기온이 높은 반면에 일장은 점차 짧아지고 있어 이를 뒷받침하고 있다. 개화에서 종자 성숙까지의 소요일수는 5월 파종시에는 100일이며, 7월 파종시에는 73일로 나타났다. 이는 콩 생육에 있어서 기온이 중요하게 작용하고 있음을 나타내며, Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 6월 상순에만 평년 대비 평균기온이 다소 낮아졌고 전반적으로 증가하는 양상을 보이고 있다. 경장은 도복과 양의 상관을 보이는 것으로 보고된 바 있으며 (Torres *et al.*, 2023), 재배기간 중에 태풍이나 적정 범위를 벗어난 바람 세기 등에 의해 작물의 도복에 영향을 미친다. 본 재배기간 동안에도 강한 바람에 의해 5월 파종시에는 긴 경장으로 인해 재배면적의 50% 정도가 근기부를 중심으로 30° 이상으로 쓰러졌으며, 7월 파종에서는 경장이 짧아 도복이 거의 발생하지 않았다(데이터 미제시). 그리고, 착협고는 콤팩트인 콩을 수확하기 위한 주요 특성으로 콤팩트의 커터바 높이보다 높으면 종자 손실을 최소화할 수 있다. 6월 하순 이후에 파종시에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 영양생장단계의 초기에 높은 온도와 강수량이 착협고

의 높이를 높이는 원인으로 작용하였을 것으로 보인다. 이로부터 남부지역에서 콩 파종 적기는 6월 중하순으로 보이며 이보다 일찍 파종하면 경장이 길어지고 무성하게 자라서 도복되기 쉽고 늦게 파종하면 생육 및 등숙기간의 단축과 종자 성숙기에 저온에 노출될 가능성이 높아져 종자 수량이 감소하고 품질이 저하될 수 있음을 예상할 수 있다(Park *et al.*, 2015).

3.3. 파종 시기별 콩 종실의 생산성

콩 종실의 생산성과 관련이 있는 수량 구성 형질로 꼬투리 수, 비립 꼬투리 비율, 백립중과 종자 수확량의 변화를 비교하였다(Fig. 2). 주당 꼬투리 수는 6월 상순 파종시 54.4개로 가장 많고 파종이 늦어질수록 점차 감소하는 양상을 보였다(Fig. 2A). 비립 꼬투리 발생 비율은 5월 파종시 33.6%로 가장 높고 파종이 늦어질수록 점차 감소하여 7월 파종시에는 10.4%로 크게 감소하였다(Fig. 2B). 백립중은 파종시기가 늦어질수록 증가하였으며(Fig. 2C), 수확량은 6월, 7월 파종시 200 kg/10a 이상으로 많았으며 5월 파종시에는 114.4 kg/10a로 적었다(Fig. 2D). 이러한 결과들은 Table

2에서와 같이 파종 시기별로 일장 및 기온의 변화가 작물 생장의 감소로 나타난 것으로 보인다. 특히, 일장 단축이 개화기를 앞당겨 수량 구성 형질에 영향을 미친 것으로 보인다. 본 연구에서는 7월 파종에서도 수량 감소는 거의 나타나지 않아 첫서리일 이전에 종자 성숙이 완료된 결과로 보이며, 오히려 5월 파종과 같이 이른 파종이 검정콩 생산성에 부정적인 영향을 미친 것으로 보인다. 특히 비립 꼬투리 비율이 높은 데서 기인한 결과이다.

한편, 콩 재배 시 수량 감소와 품질 저하와 같은 피해는 환경적인 요인 이외에도 노린재류와 같은 해충에 의해서도 발생한다. 노린재류에 의한 피해는 외형적으로 종자가 기형으로 되거나 아예 발달하지 못하기도 하고, 종자 표면에 섭식 흔적을 남기게 된다. 톱다리개미허리노린재(*Riptortus clavatus* Fabricius)는 주둥이를 꼬투리 속으로 찔러 넣어 종자의 내용물을 섭식하는데, 이러한 흡즙 행동으로 인해 종자방이 비어 있는 꼬투리가 형성되게 된다. 본 연구에서도 콩 재배 기간 동안 톱다리개미허리노린재의 발생 밀도가 5월 파종에서 가장 높았으며(데이터 미제시), 이는 비립 꼬

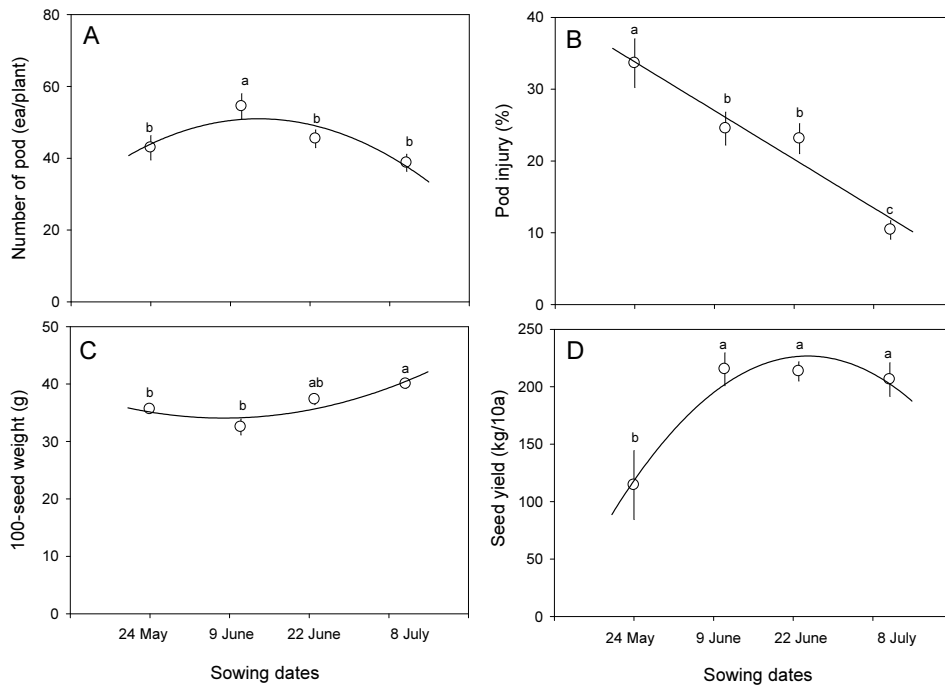


Fig. 2. Seed yield of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) affected by different sowing dates in the paddy fields. Each symbol and error bar represents the means ± SE of five replicates. Different letters above error bars indicate significant differences sowing dates by Duncan’s multiple test ($p < 0.05$).

투리와 같은 불임협 발생을 야기하였다. 이러한 결과가 백립종과 수확량 등에도 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 밀양지역 내 톱다리개미허리노린재의 발생은 봄철(4~6월)에는 산림지에서 많고, 여름철(7~9월)에는 콩 포장에서 많았으며, 콩 포장 침입 최성기는 8월 상순인 것으로 보고된 바 있다(Bae *et al.*, 2010). 5월 파종 시 콩 개화가 7월 중순에 이루어지므로 개화 후 종실 성숙기까지 톱다리개미허리노린재에 의해 지속적으로 피해를 받게 되어 이는 수확량 감소로 이어지게 된다.

3.4. 파종 시기별 종자 상품성의 변화

종자 표면의 열피 현상은 파종 시기가 늦어질수록 감소하였으며, 종피의 L값, a값과 b값이 낮아져 진한 검정색을 띄었다(Fig. 3, Table 3). 종자의 열피 현상은 외관상 상품성을 떨어뜨리는 요인으로 작용을 하는데, 검정콩에서 열피 발생은 5월 파종에서 47.0%로 가장 높고 파종 시기가 늦어질수록 감소하였다. 이는

Fig. 1에서와 같이 개화 후 종자의 발생단계인 7~8월에 강우와 건기의 반복적인 패턴으로 인한 온도 변화에 의해 나타난 것으로 보인다. 더군다나 5월 하순과 6월 상순 파종 시 개화 후 종실 성숙기까지의 생육도 일, 누적 강수량, 누적 일조시간이 Table 1에서 살펴본 바와 같이 모두 높아 종자의 발달단계에 부정적인 영향을 미쳤을 것으로 짐작해볼 수 있다. 특히, 종실 비대기에 토양 과습 및 건조현상이 반복될 때 열피가 빈번하게 발생되므로 콩 재배 중 토양수분의 급격한 변화를 경감시킬 수 있도록 배수 및 관수 등을 철저히 관리할 필요가 있다. 청자3호는 검정콩으로 안토시아닌을 다량 함유하고 있는데, 경기도 여주지역에서도 5월 하순보다 7월 상순에 파종하였을 때 그 함량이 높은 것으로 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2012). 따라서 꼬투리가 발달하는 동안 저온에 노출되었을 때 안토시아닌 농도가 높아져 종자 표면 색상이 진한 검정색을 띄는 것으로 보인다.



Fig. 3. Seed morphological characteristics of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) affected by different sowing dates (A, 24 May; B, 9 June; C, 22 June; D, 8 July) in the paddy fields.

Table 3. Seed coat cracking ratio and seed surface color values of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) affected by different sowing dates in the paddy fields

Sowing dates	Ratio of seed coat cracking (%)	Seed surface color values		
		L-value	a-value	b-value
24 May	47.0±1.7 ^a	25.6±1.7a	-1.0±0.5a	4.7±0.8a
9 June	38.0±1.4b	21.3±1.5b	-2.0±0.4ab	2.7±0.5b
22 June	25.8±2.4c	21.2±0.9b	-3.4±0.2b	3.1±0.2b
8 July	18.8±0.9d	19.0±0.8b	-0.9±0.7a	1.2±0.3c

^aValues are expressed as means±standard error of five replicates.

^bDifferent letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

L-value (0, black; 100, white), a-value (-100, green; +100, red), and b-value (-100, blue; +100, yellow)

3.5. 파종 시기별 종실 성분 변화

콩가루의 수분 함량은 6월 파종에서 수확한 종자에서 높고 5월과 7월 파종에서 수확한 종자에서는 낮았다. 단백질 함량은 5월 파종에서 높고 점차 감소하다가 7월 파종에서 증가하였다. 조지방 함량은 7월 파종에서 높았으며, 조회분 함량은 6월 상순 파종에서 낮고 탄수화물 함량은 6월 파종에서 높았다. 콩 추출물의 당도는 5월 파종에서 5.35 °brix로 높고 파종 시기가 늦어질수록 감소하다가 7월 파종에서 다시 증가하였다. 이소플라본 함량은 파종 시기가 늦어질수록 크게 증가하였다(Table 4). 이러한 결과는 콩의 파종 시기가 콩 종자의 품질에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 종실내 단백질 함량은 주로 유전적인 요인에 의해 결정되지만 종자 발달 중 환경 조건도 영향을 미쳐 고온이나 건조 스트레스 시 증가한다(Kuswanto *et al.*, 2020). 또한 콩 종실의 이소플라본 함량은 온도가 낮을 때 증가하는 양상을 보여 온도와 음의 상관을 보이는 것으로 보고된 바 있어(Kim *et al.*, 2012; Tsukamoto *et al.*, 1995), 꼬투리가 발생하는 단계의 낮은 온도가 이소플라본의 생합성에 긍정적으로 작용하였을 것으로 보인다. 이는 7월 파종에서 Table 1에서 보는 바와 같이 개화 후 종실 성숙기까지의 생육도일이 낮고 일조시간도 짧아 7월 파종에서 수확한 종실에서 이소플라본 함량이 높을 수 있음을 짐작할 수 있다. 또한 톱다리개미허리노린재의 피해를 입은 종실에서 단백질 함량은 증가하고 지방과 탄수화물의 함량은 감소하는 것으로 보고된 바 있는데(Bae *et al.*, 2006), 5월 파종에서 수확한 종자에서 이와 유사한 특성을 보였다. 또한 5월 파종에서 수확한 종자의 당도가 높아서 톱다리개미허리노린재의 유인과 연관이 있는지 확인할 필요가 있을 것으로 보인다. 콩 품질에 있어서 파종 시기와 관련해서는 온도, 강수량, 일조시간 등 다양한 환경 요인이 관여하고 있는 바, 이들 성분들이 종자 발달의 특정 단계와 어떻게 상호 작용하는지 이해하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

3.6. 파종 시기와 농업형질과의 상관성 분석

파종 시기는 콩의 생장 및 발달, 종실 수확량 및 종실 품질에 영향을 미치는 중요한 요소이다(Zhang *et al.*, 2010; Rahman *et al.*, 2005). 최적의 파종 시기를 선택하는 것은 콩의 생장과 발달을 개선하고 잠재 수확량을 높이는 효과적인 방법이다. 남부지역 논에서

Table 4. The proximate compositions of seed flour of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) affected by different sowing dates in the paddy fields

Sowing dates	Flour composition (%)				Sugar content (°Brix)	Total isoflavone (µg/g)
	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash		
24 May	8.4±0.17 ^y	37.7±0.2a	13.4±0.4b	5.0±0.01a	5.35±0.14a	142.2±13.2b
9 June	9.0±0.2a	35.5±0.4b	13.1±0.4b	4.8±0.03b	4.93±0.10b	153.3±29.2b
22 June	8.9±0.1a	34.1±0.3c	13.6±0.6b	4.9±0.03a	4.80±0.04b	205.0±34.2ab
8 July	8.4±0.1b	36.1±0.4b	15.5±0.3a	4.9±0.03a	5.30±0.04a	248.8±29.9a

^yValues are expressed as means±standard error of five replicates.

^yDifferent letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

Table 5. Correlation between sowing dates and agronomic traits of black soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho)

Sowing dates	Plant length (cm)	No. node (ea/plant)	First pod height (cm)	Pod injury (%)	Ratio of seed coat cracking (%)	100-seed weight (g)	Seed yield (kg/10a)	Crude fat (%)	Isoflavone content (µg/g)
	-0.760**	-0.707**	0.605**	-0.595**	-0.961**	0.680**	0.575*	0.631**	0.656**

*, ** Significant at 5% level and 1% level.

검정콩 파종 시기는 작물 생육, 수확량, 유용 성분 등과 유의미한 상관관을 보였다(Table 5). 즉, 착엽고, 백립중, 수확량, 조지방 함량, 이소플라본 함량 등과 정의 상관관, 경장, 마디수, 비립 꼬투리 발생, 열피 현상 등과는 음의 상관관을 보였다. 그러나 경경, 분지수, 전체 꼬투리수 등을 비롯하여 조단백질, 조회분, 탄수화물 함량 등과는 유의한 상관관을 보이지 않았다(데이터 미제시). 따라서 6월 초순을 기점으로 이른 파종은 영양생장에는 우호적으로 작용하여 지상부가 무성해지나 생식생장에 영향을 미쳐 수확량이 감소하는 양상으로 나타났다. 그리고 파종 시기가 늦어지면 생식생장에 저온의 영향으로 종피 내 안토시아닌 농도가 높아져 종피의 색깔이 짙어지나 종실 성숙에 영향을 미쳐 수확시기가 늦고 서리에 의해 수확량이 감소하는 위험도 고려해야 한다.

재배지역 내 기상 여건에 따라 콩 파종 시기를 조절하여 작물의 생육과 수확량을 최적화할 수 있다. 적정 파종 시기보다 너무 이른 또는 늦은 파종은 곡물 수확량을 감소시킬 수 있다. 검정콩 파종 시기는 생육, 종실 수량, 유용 성분과도 유의미한 상관관을 보이고 있어 적정 파종기를 선택하여 재배하는 것이 중요함을 알 수 있다. Fig. 2D의 파종 시기별 종자 수확량의 변화를 감안하면 6월 상순부터 7월 상순까지는 남부지역에서 검정콩 파종이 가능할 것으로 보이지만, 그 이후에는 종자가 성숙되기 전에 서리나 저온의 영향을 받을 수 있을 뿐만 아니라 2모작 시에는 동계작물의 파종에도 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한 5월 파종에서는 과번무하고 수확량이 크게 적을 뿐만 아니라 잔작물인 동계작물의 수확에도 영향을 미칠 수 있다. 이에 반해, 파종 시기가 늦어질수록 비립 꼬투리와 종자 표면의 열피 발생은 감소하였고, 콩의 주요 생리활성물질인 이소플라본 함량은 크게 증가하였다. Fig. 1의 온도나 강수량의 변화에서 알 수 있는 바와 같이 우리나라는 기후 특성상 콩 파종 이후의 여름철에 평균온도가 30°C 이상이고 강우의 빈도가 잦고 강수량도 많아, 수량 감소 및 품질 저하가 발생할 수 있다. 이에 반해 꼬투리 및 종자 발달이 이루어지는 9~10월에는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 최근 30년간의 평균 대비 기온은 0.2~0.7°C 다소 높고 강수량은 10 mm 미만으로 차이가 크지 않아 종자 성숙에는 영향이 없을 것으로 보인다. 따라서 종자 수확량과 열피 발생률 등을 감안해 보았을 때 남부지역 논에서 검정콩의 적정 파종 시기는 6월 상순에서부터 7월 상순까지가 적절한 것

으로 보인다. 그러나, 2모작 작부체계 시 동계작물의 파종 시기와 경합을 피하기 위해서 6월 하순이 검정콩 파종의 최적시기로 보인다. 하지만 온난화에 의해 점차적으로 온도가 높아지고 있는 바, 남부지역에서의 콩 파종 시기는 기상변화를 토대로 적절히 조절할 필요가 있다.

적 요

본 연구는 남부지역 논에서 파종 시기를 달리하여 검정콩(청자3호)을 재배하였을 때 생육 및 종실 생산성 등을 조사하여 최근의 기후변화와 소비 트렌드, 그리고 논을 이용한 2모작 콩 재배의 확대 등에 대처하기 위하여 수행되었다. 남부지역에서 검정콩 파종 시기는 지상부 생육, 종실 수량, 유용 성분 등과 유의미한 상관관을 보였다. 5월 파종 시에는 영양생장이 활발하여 지상부가 무성해지나 생식생장이 부진하여 수확량이 크게 감소하였다. 반면에 6월과 7월 파종에서는 생식생장이 활발하여 종실 수량이 200 kg/10a 이상으로 많고, 비립 꼬투리와 종자 표면의 열피 발생 또한 감소하였다. 그리고, 파종 시기가 늦어질수록 이소플라본 함량이 크게 증가하였다. 따라서 검정콩 파종은 6월 상순부터 7월 상순까지가 적절한 것으로 보인다. 그렇지만, 2모작 작부체계 시 동계작물의 파종 시기와 겹치는 것을 피하기 위해서는 남부지역에서 검정콩의 파종은 6월 하순이 최적시기로 보인다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다사업(과제명: 논이용 사료작물 생산 최적 작부체계 개발, 과제번호: PJ014381032022)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1998: *Official Methods of Analysis*. 16th ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. 620-632.
- Archontoulis, S. V., F. E. Miguez, and K. J. Moore, 2014: A methodology and an optimization tool to calibrate phenology of short-day species included in the APSIM PLANT model: Application to soybean. *Environmental Modelling and Software*

- 62**, 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.04.009>
- Bae, E. A. and G. S. Moon, 1997: A study on the antioxidative activities of Korean soybeans. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* **26**, 203-208.
- Bae, S. D., H. J. Kim, and Y. N. Yoon, 2012: Preference evaluation of stink bugs to leguminous seeds by video tracking system. *Korean Journal of Agricultural Science* **39**(4), 483-489.
- Bae, S. D., N. S. Kang, H. J. Kim, and G. H. Lee, 2006: Preceding of Biannual (Spring) Symposium of the Korean Society of Applied Entomology. 160 p. (Korean title and abstract)
- Board, J. E. and W. Hall, 1984: Premature flowering in soybean yield reductions at non optimal planting dates as influenced by temperature and photoperiod. *Agronomy Journal* **76**, 700-704.
- Butzen, S., 2013: Reducing harvest losses in soybeans. *Field Facts* **9**(18), 1-2. <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/crop-management/crop-growth-stages/reduce-sb-harvest-losses/> (Accessed on September 24, 2020).
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, DBSMA, Fujita, and SMA. Basra, 2009: Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153-188.
- Fehr, W. R., and C. E. Caviness, 1977: Stages of soybean development. Iowa Agriculture Experimental Station, Ames, IA, 11-80.
- Kantolic, A., and G. Slafer, 2007: Development and seed number in indeterminate soybean as affected by timing and duration of exposure to long photoperiods after flowering. *Annals of Botany* **99**, 925–933. doi: 10.1093/aob/mcm033
- Kim, E. H., S. L. Kim, S. H. Kim, and I. M. Chung, 2012: Comparison of isoflavones and anthocyanins in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seeds of different planting dates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**(41), 10196-10202.
- Kumudini, S. V., P. K. Pallikonda, and C. Steele, 2007: Photoperiod and e-genes influence the duration of the reproductive phase in soybean. *Crop Science* **47**, 1510–1517. doi:10.2135/cropsci2006.10.0662
- Kuswanto, H., E. Ginting, N. Yuniarti, R. Artari, W. Rahajeng, and N. Nugrahaeni, 2020: Agronomic characters and seed protein content of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) lines across environments. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* **52**(2), 91-108.
- Lee, G. H., C. H. Paik, M. Y. Choi, Y. J. Oh, D. H. Kim and S. Y. Na, 2004: Seasonal occurrence, soybean damage and control efficacy of bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Hemiptera: Alydidae) at soybean field in Honam province. *Korean Journal of Applied Entomology* **43**, 249-255.
- Lee, J. Y., C. K. Son, J. S. Bae, H. T. Cho, H. J. Choi, J. D. Lee, and H. Jo, 2022: Black soybean cultivar ‘Gyeongheukcheong’ with dark green cotyledon and high yield potential. *Korean Society of Breeding Science* **54**(4), 461-468.
- Liao, H. F., C. J. Cou, S. H. Wu, K. H. Khoo, C. F. Chen, and S. Y. Wang, 2001: Isolation and characterization of an active compound from black soybean [*Glycine max* (L.) Merr] and its effect on proliferation and differentiation of human leukemic U937 cells. *Anti-Cancer Drugs* **12**, 841-846.
- Lim, S. Y., 2010: Comparison of effect of various types of soybeans on mutagenicity and growth of human cancer cell lines. *Journal of Life Science* **20**(10), 1532-1537.
- Liu, X., J. Jin, G. Wang, and S. J. Herbert, 2008: Soybean yield physiology and development of high yielding practices in Northeast China. *Field Crops Research* **105**, 157-171.
- Liu, K S., 1997: Chemistry and nutritional value of soybean components. *Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization*, 25-113.
- Manitoba Pulse & Soybean Growers (MPSG), 2016: *The bean report* - May 13, 2016. <http://www.manitobapulse.ca/production/the-bean-report/> (Accessed on September 2, 2020).
- Miransari, M. (Ed.), 2015: Abiotic and biotic stresses in soybean production: soybean production 1. Academic press.
- Oz, M., F. A. Karasu, A. T. Goksoy, and Z. M. Turan, 2009: Interrelationships of agronomical characteristics in soybean (*Glycine max* L. Merrill) grown in different environments. *International Journal of Agriculture and Biology* **11**, 85-88.
- Park, H. J., W. Y. Han, K. W. Oh, J. M. Ko, J. W. Bae, Y. W. Jang, I. Y. Baek, and H. W. Kang, 2015: Growth and yield responses of soybean to planting density in late planting. *Korean Journal of Crop Science* **60**(3), 343-348.
- Rahman, M. M., J. G. Hampton, and M. J. Hill, 2005: The effect of time of sowing on soybean seed quality. *Seed Science and Technology* **33**, 687–697.
- Shin, D. S., H. Y. Park, J. Y. Park, E. Y. Sim, H.

- S. Kim, K. H. Jeong, and H. S. Choi, 2020: Properties of antioxidant activities and volatile flavor compounds of fermented black soybean products by soybean cultivar. *Food Engineering Progress* **24**(4), 358-365. DOI:<https://doi.org/10.13050/foodengprog.2020.24.4.358>
- Skrudlik, G. and J. Kościelniak, 1996: Effects of low temperature treatment at seedling stage on soybean growth, development and final yield. *Journal of Agronomy and Crop Science* **176**, 111-117.
- Sun, C. L., J. M. Yuan, X. L. Wang, Y. T. Gao, R. K. Ross, and M. C. Yu, 2004: Dietary soy and increased risk of bladder cancer: a prospective cohort study of men in Shanghai, China. *International Journal of Cancer* **112**(2), 319-323.
- Tkachuk, C., C. C. A. PAg, and M.P.S.G. Production Specialist-Ease, 2019: Soybean pod height: Influence of genetics, environment and Management. *The Bean Report*, 1-3. https://www.manitobapulse.ca/wp-content/uploads/2019/06/The-Bean-Report_June_2019.pdf (Accessed on June 8, 2020).
- Torres, P., S. Oronia, O. Sheriff, and S. R. Kesoju, 2023: Effect of terminal bud clipping on growth and yield of soybean cultivars in the Pacific Northwest. *Agrosystems, Geosciences and Environment* **6**(1), e20342.
- Zhang, Q. Y., Q. L. Gao, S. J. Herbert, Y. S. Li, and A. M. Hashemi, 2010: Influence of sowing date on phenological stages, seed growth and marketable yield of four vegetable soybean cultivars in North-eastern USA. *African Journal of Agricultural Research* **5**, 2556-2562.