

검정콩 논재배에서 파종시기가 수량 및 종실 특성에 미치는 영향

조영민¹ · 허병수¹ · 최규환^{1,†}

Yield and Quality of Black Soybean (*Glycine max* L.) in Paddy Field under Different Sowing Dates

Yeong-Min Jo¹, Byong Soo Heo¹, and Kyu-Hwan Choi^{1,†}

ABSTRACT Recently, Black soybean (*Glycine max* L. Merr.) is being cultivated in paddy fields instead of rice. However, research related to the effective sowing date is insufficient in paddy fields. This study aimed to identify the sowing date for stable cultivation of black soybean by investigating its yield and seed characteristics in a paddy field. In the study, cultivation experiment with five different sowing dates (May 25, June 10, June 25, July 10, July 25) were conducted in 2019 and 2020. Days from sowing to flowering can be shortened by delaying the sowing date. In the present study, the yield of black soybean in paddy fields was the highest with June 10 as the sowing date and was calculated as 224 kg·10a⁻¹ and 200 kg·10a⁻¹ in 2019 and 2020, respectively. However, the highest values of seed coat cracking was 51.1±5.1% and that of total anthocyanin contents was the 3.99±0.72 mg/g, both of which were observed in 2020 for the experiment with May 25 as the sowing date. Regression analysis showed a positive correlation (R²=0.9312) between soil water contents and seed coat cracking rate during the flowering period. Hence, the soil water contents during the flowering period would have a negative effect on the seed coat development.

Keywords : black soybean, paddy field, seed coat cracking, soil water contents, sowing time

검정콩(*Glycine max* L. Merr.)은 단백질과 지방질은 물론 영양학적 가치가 높은 필수 아미노산 및 비타민, 2차 대사 산물이 다량 함유되어 있다(Shahidi & Ambigaipalan, 2015; Dennis *et al.*, 2020). 특히 노란콩과 달리 종피에 anthocyanin 이 다량 함유되어 있어 항산화 및 항암, 항염증에 효과가 뛰어나 웰빙식품으로 주목받고 있으며 소비가 증가하고 있다(Yi *et al.*, 2008). 검정콩에서 종피의 anthocyanin 함량은 재배환경에 영향을 많이 받는다(Hwang *et al.*, 2014). 검정콩은 반찬, 혼반용 등의 다양한 식재료로 사용되고 있으며, 최근 다양한 가공제품에 관한 연구가 진행되고 있다(Lee *et al.*, 2014; Yoon *et al.*, 2014; Zaheer & Humayoun Akhtar, 2017).

토양의 조성은 작물 생육에 중요한 영향을 미친다(Tisdall & Oades, 1982; Juma, 1993). 논(paddy field) 토양은 입자가 작은 점질토로 밭(upland)에 비하여 수분보유력이 크나 지

하수위가 높고 배수가 잘 이루어지지 않는 어려움이 있다(Cho, 2006; Kim *et al.*, 2010). 따라서 논에 벼 외의 타작물 재배 시 과습하지 않도록 토양수분을 적절한 수준으로 유지시켜 주고, 내습성이 강한 품종을 재배해야 최대수량을 낼 수 있다(Chun *et al.*, 2018). 콩은 지력유지 및 증진에 효과적이기 때문에 다양한 작부체계에 적용이 가능하며, 다른 작물에 비하여 척박한 토양환경에서 잘 자라고 습해에도 강하기 때문에 일부 품종은 논재배에서 밭재배보다 증수된다(Meckel *et al.*, 1984; Kim & Cho, 2005; Franzen, 2013). 특히 콩은 논재배시 백립종이 증가하는 경향을 보이는데 종실이 크고 무거울수록 소비자 선호도가 높은 검정콩의 경우 논 재배가 유리한 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2004; Cho *et al.*, 2015).

최근 쌀 공급과잉 조치로 논 타작물 재배 지원에 따라 전북지역 평야부의 논에 콩 재배 면적이 증가하고 있다(RDA,

¹⁾전라북도농업기술원 작물식량과 농업연구사 (Researcher, Crops & food Development Division, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea)

[†]Corresponding author: Kyu-Hwan Choi; (Phone) +82-63-290-6031; (E-mail) ckhann@korea.kr

<Received 14 January, 2022; Revised 14 February, 2022; Accepted 17 February, 2022>

2019). 콩은 생식생장기에 온도 및 수분 스트레스를 받을 경우 종실 수량이 감소하며 품질에도 부정적인 영향을 미친다(Hiltbrunner *et al.*, 2007; Leskovsek *et al.*, 2012). 또한 우리나라는 하계작물 파종이후 장마와 폭염의 영향으로 수량 감소가 발생 할 수 있기 때문에 적기에 파종하는 것이 중요하다(Lee *et al.*, 2019). 그러나 논에서 콩 파종시기에 토양의 한발, 과습으로 파종적기를 놓치는 사례가 많이 발생하고 있다(Kim *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2014; Wijewardana *et al.*, 2019). 특히 검정콩은 노란콩과 비교했을 때 종실의 성숙에 소요되는 기간이 오래걸려서 파종시기 설정이 중요하다(Yi *et al.*, 2010). 따라서 본 연구는 전북지역에서 검정콩 논 재배 시 파종시기에 따른 수량 및 종실 특성을 구명하여 논에서 검정콩을 안정생산할 수 있는 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

재배방법

본 시험은 전라북도농업기술원(익산)에 위치한 논(35°56'15"N, 126°59'36"E)과 밭(35°56'33"N, 126°59'33"E) 포장에서 2019년, 2020년 실시하였으며 시험재료는 광지역 적응형 다수성 만숙 품종인 검정콩 '청자3호' 품종을 사용하였다. 논재배 파종시기는 5월 25일, 6월 10일, 6월 25일, 7월 10일, 7월 25일(밭재배: 6월 18일)의 5시기로 설정하였고 파종간격을 60×20 cm, 재식본수를 1주 2본으로 직파하였다. 시험구(2.4×4 m)는 난괴법 3반복으로 하였으며, 파종 후의 재배관리는 농촌진흥청 농업기술길잡이 "콩"(RDA, 2018)에 준하였다.

생육 및 수량조사

생육조사는 성숙기에 파종시기별 시험구당 10개체에서 경장, 마디수, 분지수, 주당협수, 협당립수를 조사하였으며, 수확 후 건조된 종자에서 백립중과 수량을 조사하였다. 생육 및 수량조사는 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 준하였다.

종자 열피 및 발아율 검사

열피율은 수확 후 종자 100립씩 3반복 조사하였다. 발아율 검사는 'Roll the paper' 방법으로, 100립씩 3반복 시험하였다. 먼저 paper towel (WYPALL)을 distilled water로 적셔주고 3줄로 100립을 치상한 후 느슨하게 롤로 말아주었다. 그 다음 ventilated plastic bags에 넣어서 Multi-Room Chamber (HB-302S-4Hp, Hanbaek Sci. co., Korea)에 25°C 항온조

건으로 7일간 수행하였다. 발아 조사는 치상일 기준으로 매일 같은 시간에 체크하였으며, paper towel이 마르지 않도록 분무기로 수분을 공급해 주었다.

총 안토시아닌 함량 분석

총 안토시아닌 함량 분석에 pH-differential method (Giusti & Wrolstad, 2001)을 사용하였다. 먼저 파종시기별 수확 후 건조된 종자의 종피를 분리하여 분쇄한 후 100 mg을 전자저울 (ME204, Mettler Toledo, USA)로 정량하여 2 mL microtube에 넣었다. 그 다음 80% MeOH (1% HCl) extraction buffer를 각각 1 mL씩 넣고 water bath를 이용하여 60°C에서 20분간 처리하였다. 그리고 원심분리기(3-30KS refrigerated centrifuge, Sigma, USA)에서 10,000 rpm에서 10분 동안 원심분리 후 상층액을 200 ul씩 새로운 2 mL microtube 2개에 각각 옮겼다. 미리 만들어 놓은 0.025 M potassium chloride buffer (pH 1.0)과 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.5)를 추출액이 들어있는 tube에 1 mL씩 각각 넣고 상온에서 30분간 방치하였다. 그 다음 각각의 샘플을 분광광도계(SPECORD 205, analytikjena, Germany)를 이용하여 520 nm와 700 nm에서 흡광도를 측정 후 아래 식에 대입하여 함량을 구하였다.

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4.5}$$

$$\text{Anthocyanin pigment}(mg/L)$$

$$= (A \times MW \times DF \times 1000) / (\epsilon \times l)$$

$$\ast MW(\text{cyanidin-3-glucoside})$$

$$= 449.2, DF = \text{dilution factor}, \epsilon = 26,900$$

토양 수분 조사

토양 수분 및 온도는 Soil moisture sensor (WT1000B, MiraeSensor Com., South Korea)를 이용하여 논과 밭 포장 내 지정된 세 장소에서 매일 측정하였다.

기상자료 및 통계분석

기상자료는 기상청(Korea Meteorological Administration, Jeonju)의 자료를 사용하였으며, 수집된 데이터는 SAS program (Statistical Analysis System 9.2, Institute Inc., USA)을 이용하여 요인분석(2-way ANOVA)과 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test, P < 0.05)을 실시하였다.

결과 및 고찰

재배기간 중 기상변화 및 토양 수분, 온도 변화

재배기간 중 평균기온은 2019년에는 평년과 비슷하게 경과하였으며 강우량은 대체로 고르게 분포하였다(Fig 1. A). 반면에 2020년은 7월 평균기온이 23.5°C로 평년대비 2.6°C 낮았으며 강우량은 644.7 mm로 2배 이상 많았다. 특히 2020년 7~8월 상순까지 누적강우량은 1019.1 mm로 같은 기간 평년누적강수량인 396.1 mm보다 2배 이상 많았다. 대체로 2020년 콩 생육이 2019년보다 떨어졌는데 이는 평년

대비 많은 강우로 인한 토양과습의 피해를 받았을 것으로 판단된다(Nasser & Paul, 1977). 2020년 논과 밭포장의 토양 수분 함량 및 온도를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 논 토양수분함량이 밭보다 상당히 높게 경과하였으며, 특히 7~8월 중순까지 집중호우 기간에는 논토양의 토양수분함량이 50% 이상으로 측정되었다. 토양온도는 논과 밭에서 큰 차이는 보이지 않았으나 집중호우 기간에 낮게 경과하였다.

연차간 검정콩 파종시기별 생육 특성

검정콩(청자3호) 논재배에서 파종시기를 5처리(5월 25

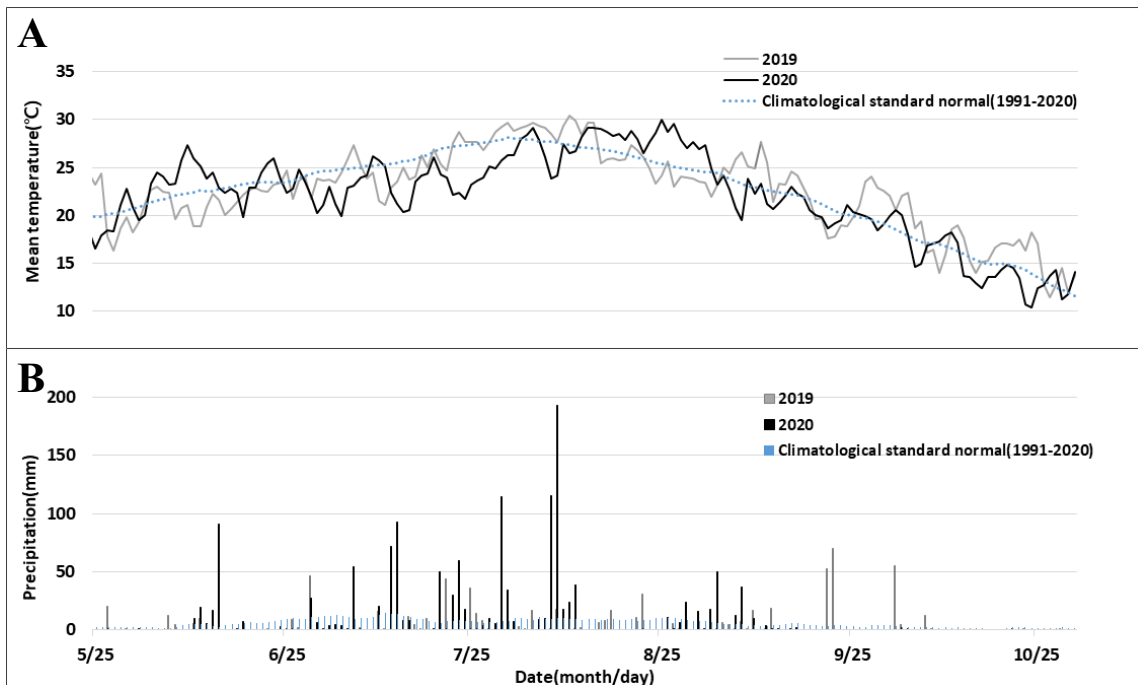


Fig. 1. Diurnal variation of cardinal mean temperature (A) and precipitation (B) in experiment area (Iksan, 2019-2020). The values were obtained from Jeonju Weather Station of Korea Meteorological Administration.

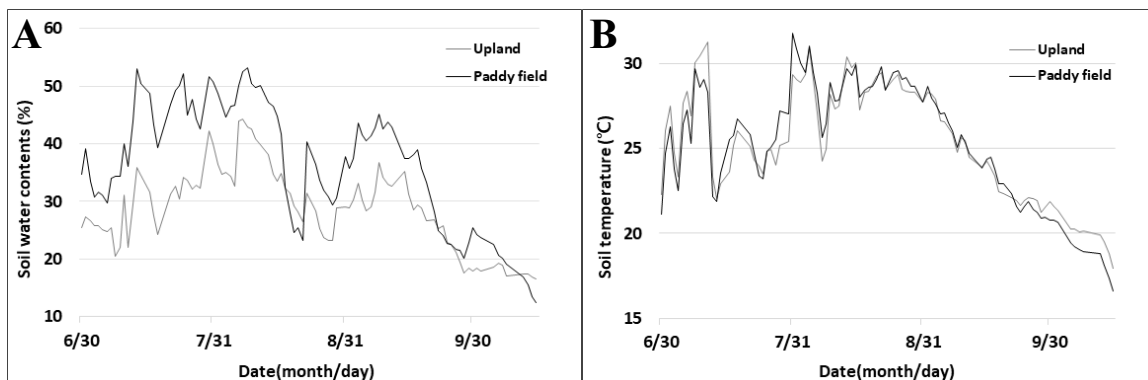


Fig. 2. Soil water contents (A) and soil temperature (B) in paddy field and upland during the cultivation period of 'Cheongja 3' cultivar of black soybean in 2020.

Table 1. Main growth characteristics of ‘Cheongja3’ cultivar of black soybean cultivated by sowing date in paddy field.

Years	Sowing date	Flowering date	Maturity date	Main stem height (cm)	Number of		First pod height (cm)	Lodging index (1~9)
					Branch	Stem		
2019	May. 25	Jul. 20 (56) ^z	Oct. 29 (157)	70.0 ab ^y	2.6 b	13.5 a	11.2 ab	5 a
	Jun. 10	Jul. 29 (49)	Nov. 1 (144)	74.3 a	3.8 a	14.3 a	11.5 ab	3 b
	Jun. 25	Aug. 9 (45)	Nov. 2 (130)	68.8 b	3.3 a	13.6 a	9.0 b	1 c
	Jul. 10	Aug. 21 (42)	Nov. 5 (118)	56.4 c	2.4 b	11.9 c	12.1 a	1 c
	Jul. 25	Aug. 28 (34)	Nov. 9 (107)	59.9 c	2.3 b	12.7 b	10.5 ab	1 c
2020	May. 25	Jul. 17 (53)	Oct. 22 (150)	54.8 a	3.1 a	11.7 a	9.5 d	1 b
	Jun. 10	Aug. 4 (55)	Oct. 24 (136)	49.7 b	2.7 ab	11.3 ab	10.6 c	1 b
	Jun. 25	Aug. 9 (45)	Oct. 25 (122)	56.9 a	2.4 b	11.8 a	12.0 c	1 b
	Jul. 10	Aug. 18 (39)	Oct. 28 (110)	45.1 c	2.5 b	11.1 b	13.9 b	1 b
	Jul. 25	Aug. 28 (34)	Nov. 2 (100)	40.0 d	1.2 c	9.2 c	19.8 a	3 a
years (A)		-	-	**	NS	**	NS	NS
Sowing date (B)		-	-	*	NS	NS	NS	NS
A × B		-	-	**	**	**	**	**

^zDays to from sowing to flowering and maturity

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ and 0.01

일, 6월 10일, 6월 25일, 7월 10일, 7월 25일)로 달리하였을 때 개화기까지의 소요일수는 파종시기가 늦어질수록 짧아지는 경향을 보였으며, 성숙기도 비슷하였다(Table 1). 연차간에는 2019년보다 2020년에서 성숙기가 빠른 경향을 보였다. 생육 및 수량특성에서 경장은 2019년에는 6월 10일, 2020년에는 6월 25일 파종에서 각각 74.3, 56.9 cm로 가장 길었으며 연차, 파종시기 간의 단일요인분석에서 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다. 경장의 연차간 차이는 2020년 7월~8월 중순까지 긴 장마로 인한 과습피해, 일조량 감소 등이 원인으로 보인다(Scott *et al.*, 1989). 분지수는 파종시기별로 약간의 차이는 보였으나 요인분석에서 통계적인 차이는 보이지 않았으며, 마디수는 경장과 비슷한 양상을 보였다. 착협고는 2020년 7월 25일 파종시기에서 19.8 cm로 매우 높았으며, 이는 긴 장마로 인한 일조량 부족으로 생육초기 옷자람 때문으로 판단된다. 이에 따라 9월상순 태풍이후 도복이 다소 발생하는 경향을 보였다. 2019년에는 파종시기가 빠를수록 도복지수가 높았으며, 착협고는 7월 10일 파종시기에서 12.1 cm로 가장 높았으나 연차, 파종시기간의 요인분석에서는 통계적인 차이가 없었다. 반면, 연차, 파종시기와 생육특성간의 교호적인 관계에서는 모든 생육특성에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 검정콩은 anthocyanin과 같은 2차 대사산물 축적에 더 많은

기간이 소요되기 때문에 성숙기가 다른콩에 비하여 늦은 경향을 보이는데, 7월 10일, 7월 25일 파종시기는 성숙기가 11월로 늦어지기 때문에 후작물인 맥류의 파종에 영향을 미칠 것으로 보인다(Lee *et al.*, 2013).

연차간 검정콩 파종시기별 수량 특성

파종시기별 수량특성에서 주당협수는 2019, 2020년 모두 6월 10일 파종시기에서 각각 36.7, 38.1개로 가장 많았으며 이후 파종시기에서는 감소하였다(Table 2). 협수와 파종시기간의 요인분석에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였으나, 연차간의 분석에서는 통계적인 차이가 없었다. 협당립수는 연차, 파종시기별로 큰 차이는 보이지 않았으며, 백립중은 2019년에 33.4~32.2 g으로 큰 차이가 없었으나, 2020년에는 7월 25일 파종시기에서 28.8 g으로 상당히 감소하였는데 이는 콩을 만파할수록 일장반응에 따른 성장기간 단축으로 백립중이 줄어든 것으로 보인다(Carlson & Lersten, 2004). 수량은 2019년에 6월 10일 파종시기에서 224 kg·10a⁻¹, 2020년에는 6월 10일~7월 10일 파종시기에서 약 200 kg·10a⁻¹로 가장 많았으며 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 2년간의 파종시기별 수량지수를 보면 5월 하순에서 6월 상중순까지 증가하다가 이후에는 감소하는 수량곡선을 보이는데 이상의 결과를 종합하였을 때 검정콩 논재배에서 가장 적

Table 2. Main yield characteristics of ‘Cheongja 3’ cultivar of black soybean cultivated by sowing date in paddy field.

Years	Sowing date	Number of		100 seed weight (g)	Yield (kg·10a ⁻¹)
		Pod (per plant)	Seed (per pod)		
2019	May. 25	29.0 bc ^z	2.1 a	33.4 a	202 ab
	Jun. 10	36.7 a	2.0 a	32.2 a	224 a
	Jun. 25	32.9 ab	2.0 a	32.7 a	185 b
	Jul. 10	30.1 b	2.1 a	32.3 a	183 b
	Jul. 25	27.4 c	2.1 a	32.6 a	152 c
2020	May. 25	35.9 a	1.9 c	32.3 c	161 b
	Jun. 10	38.1 a	2.3 a	33.2 b	200 a
	Jun. 25	37.2 a	2.0 bc	33.1 b	199 a
	Jul. 10	35.8 a	2.1 ab	34.5 a	200 a
	Jul. 25	26.0 b	2.2 a	28.8 d	125 c
years (A)		NS	NS	NS	NS
Sowing date (B)		*	NS	NS	*
A × B		NS	*	**	**

^zMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $P < 0.05$
NS, *, ** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ and 0.01

절한 파종시기는 6월 상순순으로 보인다. 또한 수량으로 봤을 때 7월 상순까지는 검정콩 파종이 가능할 것으로 보이지만 이후 파종은 성숙기가 늦어져 후작물인 맥류의 파종에 영향을 주고 생육 및 수량특성도 현저히 낮아지기 때문에 파종한계기는 6월 하순으로 판단된다. 연차간 수량차이를 보면 대체로 2020년에서 낮은 경향을 보이는데, 특히 5월 25일 파종의 경우 2019년의 202 kg·10a⁻¹보다 2020년은 161 kg·10a⁻¹로 수량이 감소하는 결과를 볼 수 있다. 이는 개화기와 협 등숙 초기의 수분스트레스가 수량에 영향을 미친 것으로 판단된다(Kadhem *et al.*, 1985). 또한 6월 10일 파종시기는 파종 이후 집중호우로 토양이 과습하여 입모율이 좋지 않았고 개화기에 긴 장마로 평균기온이 낮아서 영향을 받은 것으로 보인다(Lee *et al.*, 2013). 따라서 검정콩 논 재배시에는 위의 파종시기에 따른 생육과 수량성을 참고하여 결정하되 지역의 세부적인 기상환경 역시 충분히 고려하여 파종적기를 선택해야 할 것으로 보인다(RDA, 2018; Shin *et al.*, 2020).

토양 수분 함량에 따른 검정콩 파종시기별 종자 특성

검정콩 종자의 열피현상은 외관상 품질을 떨어뜨리기 때문에 중요한 요인이다(Kim *et al.*, 2013). 2020년 시험에서 검정콩 종피에 균열이 생기는 열피현상이 관찰되었으며(Fig. 3), 조사한 결과 5월 25일 파종구에서 51.1±5.1%로 가장

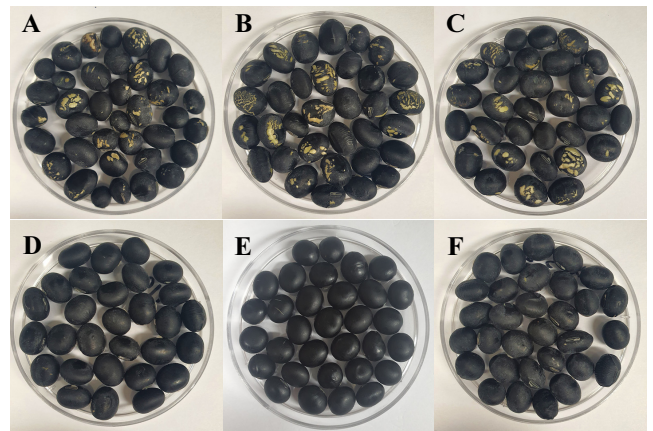


Fig. 3. Seeds of ‘Cheongja 3’ cultivar of black soybean cultivated on paddy field (A: 25 May, B: 10 June, C: 25 June, D: 10 July, E: 25 July) and upland (F: 18 June) in 2020.

높았고 파종시기가 늦어질수록 열피율이 감소하였다(Table 3). 특히 6월 18일에 파종했던 밭재배의 열피율 3.3±1.9%와 비교하였을 때 비슷한 시기 논재배 6월 파종시기의 열피율이 32.2±5.1~47.8±3.8%로 10배 이상 높았다. 종자의 열피는 품종의 특성도 있지만 개화기의 저온피해와 불규칙적인 수분 흡수가 중요한 원인으로 작용한다(Nakamura *et al.*, 2003; Oyoo *et al.*, 2010). 따라서 2020년 7월~8월 상순

Table 3. Seed characteristics of ‘Cheongja 3’ cultivar of black soybean cultivated on paddy field and upland (control) in 2020.

Treatment	Sowing date	Ratio of seed coat cracking(%)	Germination rate (%)	Total anthocyanin contents (mg/L)	
				Total seed	Seed coat
Paddy field	May. 25	51.1±5.1 ²	93.3±0.6	0.19±0.03	3.99±0.72
	Jun. 10	47.8±3.8	94.4±1.5	0.20±0.04	4.11±0.32
	Jun. 25	32.2±5.1	92.2±0.6	0.26±0.03	4.56±0.26
	Jul. 10	7.8±1.9	91.1±0.6	0.40±0.03	6.56±0.47
	Jul. 25	2.2±1.9	84.4±1.2	0.43±0.03	6.74±0.61
Upland	Jun. 18	3.3±1.9	98.9±0.6	0.39±0.03	6.65±0.87

²Means±standard deviation (n=3)

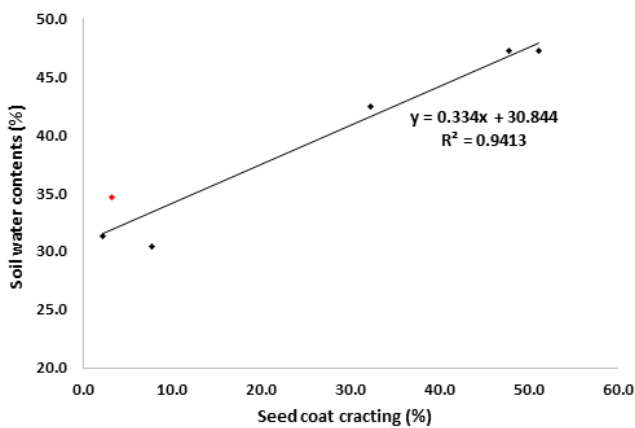


Fig. 4. Linear regression results between soil water contents (%) at flowering period and seed coat cracking (%) on paddy field (black spot) and upland (red spot) in 2020.

까지 장마가 지속되면서 같은 기간에 평균기온이 평년보다 낮아 이때에 개화한 5월 25일~6월 25일 파종구에서는 열피율이 높아진 것으로 보이나, 같은 기간 밭의 열피율은 낮은 것으로 보아 토양수분함량도 중요한 요인으로 작용했을 것으로 판단된다(Qutob *et al.*, 2008). 따라서 밭과 논 파종시기별 재배기간에서 개화기간 중 토양수분함량과 열피율간의 회귀분석을 수행하였으며 양의 상관관계($R^2=0.9413$)를 보였다(Fig. 4). 밭아울은 밭재배에 비하여 논재배에서 다소 떨어지는 경향을 보였으며, 특히 7월 25일 파종에서 84.4±1.2%로 낮았다. 열피현상에 의하여 검정콩 종피의 anthocyanin 함량이 감소하였을 것으로 판단하고 종피에서 anthocyanin을 추출하여 함량을 측정하였으며, 열피율이 증가할수록 총 anthocyanin 함량은 감소하는 경향을 보였다(Joo *et al.*, 2004). 열피나 anthocyanin과 같은 항산화 물질의 감소는 종실의 품질을 떨어 뜨리는 요인으로 앞으로 콩 생육단계별 저온 및 수분스트레스와 종자 품질간의 상관성

을 조사해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 검정콩 논 재배 시 파종시기에 따른 수량 및 종실 특성을 구명하여 논에서 검정콩을 안정생산할 수 있는 기초자료로 활용하고자 수행하였다. 재배기간중 강우량은 2020년에 1397.0 mm로 2019년보다 2배 이상 많았으며 이에 따라 토양수분함량은 논의 토양수분함량이 높게 경과하였다. 생육특성에서 개화기까지의 소요일수는 파종시기가 늦어질수록 짧아지는 경향을 보였으며, 성숙기도 비슷하였다. 경장은 2019년에는 6월 10일, 2020년에는 6월 25일 파종에서 각각 74.3, 56.9 cm로 가장 길었다. 수량특성에서 협수는 2019, 2020년 모두 6월 10일 파종시기에서 각각 36.7, 38.1개로 가장 많았으며 이후 파종시기에서는 감소하였다. 수량은 2019년에 6월 10일 파종시기에서 224 kg·10a⁻¹, 2020년에는 6월 10일~7월 10일 파종시기에서 약 200 kg·10a⁻¹로 가장 많았으며 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 열피율은 5월 25일 파종시기에서 51.1±5.1%로 가장 높았고, 파종시기가 늦어질수록 감소하였으며, 열피율이 증가할수록 total anthocyanin 함량은 감소하는 경향을 보였다. 파종시기별 개화기에 토양수분함량과 열피율간의 회귀분석 결과 토양수분함량이 증가할수록 열피율이 증가하는 양의 상관관계($R^2=0.9413$)를 보였다.

사 사

본 논문은 지방농촌진흥사업(세부과제번호: LP002714)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Carlson, J. B. and N. R. Lersten. 2004. Soybeans : Improvement, Production, and Uses. American Society of Agronomy. 56-96.
- Cho, J. H. 2006. Growth Responses of Soybean in Paddy Field Depending on Soil and Cultivation Methods. Korean Journal of Organic Agriculture. 14(4) : 385-397.
- Cho, S. W., T. S. Kim, S. J. Kwon, S. K. Roy, C. W. Lee, H. S. Kim, and S. H. Woo. 2015. Analysis of Protein Function and Comparison of Protein Expression of Different Environment in Soybean using Proteomics Techniques. Korean J. Crop Sci. 60(10) : 33-40.
- Chun, H. C., K. Y. Jung, Y. D. Choi, S. H. Lee, and H. W. Kang. 2018. Growth and Yield Characterization of Soybean(*Glycine max* L.) and Adzuki Bean(*Vigna angularis* L.) Cultivated from Paddy Fields with Different Topographic Features. Korean J. Soil Sci. Fert. 51(4) : 536-546.
- Dennis, T., X. Li, X. Xiao, J. Deng, B. S. Ajayo, X. Long, Q. Zhang, X. Zhang, B. Hu, X. Wang, J. Zhang, W. Yang, and J. Liu. 2020. Spatiotemporal shading regulates anthocyanin, proanthocyanin, and sucrose accumulation in black soybean seeds. Agronomy Journal, 112 : 708-718.
- Franzen, D. 2013. Soybean Soil Fertility. North Dakota State University(NDSU).
- Giusti, M. M. and R. E. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. F1.2.1-F1.2.13.
- Hiltbrunner, J., B. Streit, and M. Lisdgens. 2007. Are Seeding Densities an Opportunity to Increase Grain Yield of Winter Wheat in a Living Mulch of White Clover?. Field Crops Res. 102 : 163-171.
- Hwang, I. T., J. Y. Lee, B. R. Choi, E. S. Lee, and Y. H. Kim. 2014. Variation of Anthocyanin Contents by Genotypes and Growing Environments in Black Colored Soybeans. Korean J. Crop Sci. 59(4) : 477-482.
- Joo, Y. H., J. H. Park, Y. H. Kim, M. G. Choung, and K. W. Chung. 2004. Change in Anthocyanin Contents by Cultivation and Harvest Time in Black-Seeded soybean. Korean J. Crop Sci. 49(6) : 512-515.
- Juma, N. G. 1993. Interrelationships between soil structure/texture, soil biota/soil organic matter and crop production. Geoderma. 57(1) : 3-30.
- Kadhem, F. A., J. E., Specht, and J. H. Williams. 1985. Soybean irrigation serially timed during stages R1 to R6. Agronomic responses. Agron J77, 291-304.
- Kim, Y. W. and J. H. Cho. 2005. Growth and Yields of Korean Soybean Cultivars in Drained-Paddy Field. Korean J. Crop Sci. 50(3) : 161-169.
- Kim, D. J., J. H. Roh, J. G. Kim, and J. I. Yun. 2013. The Influence of Shifting Planting Date on Cereal Grains Production under the Projected Climate Change. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 15(1) : 26-39.
- Kim, D. K., J. G. Choi, H. G. Park, H. R. 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, M. S., J. S. Kim, G. J. Lee, G. L. Jo, M. S. Ahn, S. C. Choi, H. J. Kim, Y. S. Kim, M. T. Choi, Y. H. Moon, B. K. Ahn, H. W. Kim, Y. J. Seo, Y. H. Lee, J. J. Hwang, Y. H. Kim, and S. K. Ha. 2010. Long-term Monitoring Study of Soil Chemical Contents and Quality in Paddy Fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6) : 930-936.
- Kim, S. L., K. Y. Park, Y. H. Lee, and Y. H. Ryu. 2004. Seed Quality of Soybean Produced from Upland and Drained-Paddy Field. Korean J Crop Sci. 49(4) : 309-315.
- 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, L. S., E. J. Choi, C. H. Kim, Y. B. Kim, J. S. Kum, and J. D. Park. 2014. Quality Characteristics and Antioxidant Properties of Black and Yellow soybeans. Korean J. Food Sci. Technol. 46(6) : 757-761.
- Lee, J. W., Y. S. Hwang, W. S. Chang, J. K. Moon, and M. G. Choung. 2013. Seed maturity differentially mediates metabolic responses in black soybean. Food Chemistry. 141 : 2052-2059.
- Leskovsek, R., A. Datta, A. Simoncic, and S. Z. Knezevic. 2012. Influence of nitrogen and plant density on the growth and seed production of common ragweed(*Ambrosia artemisiifolia* L.). J. Pest Sci. 85 : 527-539.
- Meckel, L., D. B. Egli, R. E. Phillips, D. Radcliffe, and J. E. Leggett. 1984. Effect of Moisture Stress on Seed Growth in Soybeans. Agronomy Journal. 76(4) : 647-650.
- Nakamura, T., D. Yang, S. Kalaiselvi, Y. Uematsu, and R. Takahashi. 2003. Genetic analysis of net-like cracking in soybean seed coats. Euphytica. 133 : 179-184.
- Nasser, S. and J. K. Paul. 1977. Effect of Water Stress During Different Stages of Growth of Soybean. Agronomy Journal. 69(2) : 274-278.
- Oyoo, M. E., S. M. Githiri, E. R. Benitex, and R. Takahashi. 2010. QTL analysis of net-like cracking in soybean seed coats. Breeding Science. 60 : 28-33.
- Qutob, D., F. Ma, C. A. Peterson, M. A. Bernards, and M. Gijzen. 2008. Structural and permeability properties of the soybean seed coat. Botany. 86 : 219-227.
- RDA(Rural Development Administration). 2012. Standard guide for soybean cultivation. 414-430.
- RDA(Rural Development Administration). 2018. Soybean. Jeonju, Korea.
- RDA(Rural Development Administration). 2019. Development of optimum cropping system of income crop adapted to paddy field at different agricultural regions for global climatic change. p.23-30. Jeonju, Korea.

- Scott, H. D., J. DeAngulo, M. B. Daniels, and L. S. Wood. 1989. Flood Duration Effects on Soybean Growth and Yield. *Agronomy Journal*. 81(4) : 631-636.
- Shahidi, F. and P. Ambigaipalan. 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effect: A review. *Journal of Functional Foods*, 18 : 820-897.
- Shin, P., W. G. Sang, J. H. Kim, Y. H. Lee, J. K. Beak, D. W. Kwon, J. I. Cho, and M. C. Seo. 2020. Effects of High Temperature and Drought on Yield and Quality of Soybean. *Korean J. Crop Sci.* 65(4) : 346-352.
- Song, Y. H., C. H. Lim, W. K. Lee, K. C. Eom, S. E. Choi, E. J. Lee, and E. J. Kim. 2014. Applicability Analysis of Major Crop Models on Korea for the Adaptation to Climate Change. *Journal of Climate Change Research*. 5(2) : 109-125
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2) : 141-163.
- Wijewardana, C., K. R. Reddy, L. J. Krutz, W. Gao, and N. Bellaloui. 2019. Drought stress has transgenerational effects on soybean seed germination and seedling vigor. *PLOS ONE*. 14(9) : e0214977.
- Yoon, S. R., S. G. Bae, O. H. Kwon, D. K. Kang, S. Y. Choe, J. A. Ryu, and S. Y. Choi. 2014. Effects of steeping condition and salinity stress on quality properties in germinated black soybean. *Korean J. Food Preservation*. 21(4) : 500-505.
- Yi, E. S., Y. S. Lee, H. D. Kim, and Y. H. Kim. 2008. Variation of Anthocyanin Contents according to Collection Site and Maturity in Black Soybean. *Korean J. Crop Sci.*, 53(4) : 374-381.
- Yi, E. S. and Kim, Y. H. 2010. Changes of Anthocyanin Contents During Maturity Stages in Black Soybean. *Korean J. Crop Sci.* 55(1) : 19-23
- Zaheer, K. and M. Humayoun Akhtar. 2017. An updated review of dietary isoflavones: Nutrition, processing, bioavailability and impacts on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 : 1280-1293.