한작지(Korean J. Crop Sci.), 68(4): 285~293(2023)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2023.68.4.285

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

한반도 남부지역 생육 데이터 기반 북방지역 콩 생육 예측

김예린[1] · 김종혁[2] · 노일래[3,4,†]

Prediction of Soybean Growth in the Northern Region based on Growth Data from the Southern Regions of the Korean Peninsula

Ye Rin Kim[1], Jong hyuk Kim[2], and Il Rae Rho[3,4,†]

ABSTRACT This study was conducted to determine the sowing limit period and predict growth in the northern region based on accumulative temperature for each growth stage of soybean cultivated in the southern regions of the Korean Peninsula. First, the results of a demonstration test in the central region (Yeoncheon) of the Korean Peninsula were very similar to the predicted and actual values on the date by growth stage obtained through cultivation. This method was then applied to seven agricultural climatic zones in the northern Korean Peninsula. The results predicted that regardless of ecotype, soybean could be grown and harvested in the southern and northern parts of Mt. Suyang, south of the East Sea, and in the central and northern inland areas. However, it was predicted that no ecotype could be grown and harvested normally in the northern alpine region. Furthermore, north of the East Sea, the prediction indicated that early and mid-maturing cultivars could be grown and harvested normally, but middle-late maturing cultivars appeared to lack the number of growth days. The sowing limit period also varied depending on the ecotype, although it was reached earlier as higher latitudes were approached; the period ranged from May 16 to June 26 in the northern and southern parts of Mt. Suyang, north and south of the East Sea, and central and northern inland areas. Furthermore, all ecotypes of the northern alpine region, as well as mid-late maturing cultivars in the north of the East Sea, were predicted to be unable to grow normally owing to the lack of number of days required for soybean growth and development.

Keywords : accumulative temperature, growth prediction, northern region, sowing limit period, soybean

콩(*Glycine max* Merr.)은 단백질 40%, 탄수화물 20%, 지방 20% 등 중요한 영양성분을 포함하고 있어 전 세계적으로 재배되는 중요한 작물 중 하나이다(Kaschuk *et al.,* 2016). 콩은 식량난을 겪고 있는 북한의 경우 주민들의 식생활에서 식물성 단백질 공급원으로 큰 역할을 하는 작물이며, 토양의 물리·화학성 개선 등에도 이용될 수 있기 때문에 북한 정부에서 재배를 장려하고 있다(Kim & Lim, 2018). 실제로 북한 지역의 콩 재배면적 및 생산량을 보면 2011년에는 13만 ha에서 175만 톤이 생산되었고, 2015년에는 15만 ha에서 225만 톤, 2022년에는 15.6만 ha에서 180만 톤이 생산되어, 최근 5년('18~'22) 평균 210만 톤으로 과거에 비해 재배면적과 생산량이 증대하고 있다(USDA, 2023). 그러나 단위 면적당 생산량은 2011년은 1.3 톤, 2015년은 1.5 톤, 2020년은 1.4 톤, 2022년은 1.2 톤, 5년 평균 1.4 톤으로 단위 면적당 생산량은 큰 차이가 없었다. 남한의 경우 최근 5년간 생산량은 94천 톤, 재배면적은 5만 3천 ha로 북한보다 재배면적 및 생산량이 적지만 단위면적당 생산량은 1.8 톤으로 북한보다 약 33% 정도 높다(Kim & Lim, 2019).

북한 지역별 콩 생산 비중은 평안북도 16%, 평안남도 15%, 황해남도 14%, 황해북도 12%, 함경북도 10%, 함경

[1)]경상국립대학교 응용생명과학부 석사과정 (MS, Department of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)
[2)]경상국립대학교 응용생명과학부 박사과정 (Ph.D, Department of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)
[3)]경상국립대학교 농학과 교수 (Professor, Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)
[4)]경상국립대학교 농업생명과학연구원 책임연구원 (Senior Researcher, Institute of Agriculture Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

[†]Corresponding author: Il Rae Rho; (Phone) +82-55-772-1877; (E-mail) irno12@gnu.ac.kr
<Received 23 June, 2023; Revised 27 September, 2023; Accepted 5 October, 2023>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

남도 14%이며 나머지 자강도, 양강도, 강원도는 10% 미만인 것으로 알려지고 있다(USDA, 2023). 북한 기상은 한국보다 위도가 높아 연평균기온은 8.9℃로 남한의 12.8℃보다 3.9℃ 낮으며, 북쪽으로 갈수록, 내륙과 산지일수록 기온은 더 낮다. 또한 연강수량은 912 mm로 남한의 1,306 mm의 70% 수준으로 작물생산에 불리한 환경이다(KMA, 2023). 그러나 콩은 생태적으로 파종 범위가 넓은 생태적 특성을 지니고 있기 때문에 북한 지역별 기후 특성에 적합한 콩 생태형을 재배한다면 북한 지역의 콩 생산은 크게 문제되지 않을 것이다(Lee *et al.,* 2020).

우리나라 중부평야지의 경우 콩 생태형 별 기본영양생장기간, 즉 개화에 필요한 최소한의 소요일수는 조생종은 27일, 중생종은 31일, 중만생종은 36일 정도이며, 생육일수는 조생종이 90~104일이고, 중생종은 104~109일, 중만생종은 110~130일가량 소요되고 적산온도는 조생종이 2,350~2,511℃, 중생종이 2,639~2,735℃, 중만생종이 2,743~3,043℃가 필요한 것으로 알려져 있다(Lee *et al*., 2019; Kim *et al*., 2021). Choi *et al.* (2014)은 위도에 따른 일장과 온도 차이가 콩 생육일수에 영향을 미친다고 하였고, Wang *et al*. (2022)도 콩의 전체 생육일수는 적산온도와 일장이 중요한 영향을 미친다고 하였다. 따라서 개화기와 성숙기가 빠른 조생종은 조기재배가 유리한 북부지역에 적합한 반면, 개화기와 성숙기기가 늦은 만생종은 중·남부 지역에 재배되는 특성을 지니고 있어 북한 지역별 적합한 생태형의 구명이 필요하다.

최근 한반도의 기후변화에 따라 농촌진흥청에서는 북한의 27개 기상관측 자료를 분석하여 7개 농업지대로 구분하였다(Heo *et al*., 2018). 그러나 기후변화에 따른 한반도 북방지역의 콩 파종 한계기 및 지역별 생태형 구명에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 한반도 북방 지역에서 지역별 파종 한계기 구명을 위해 콩의 기상생태형에 따라 한반도 남부와 중부 지역에서 재배한 생육일수와 적산온도 데이터를 기반으로 하여 북방지역의 생태형에 따른 콩의 생육예측 및 파종 한계기를 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험장소 및 처리내용

시험지역으로는 한반도 남부(경남 진주 : 35°11′34″N / 128°5′5″E)와 중부(경기 연천: 38°2′6″N / 127°4′34″E)에서 각각 수행하였다. 진주지역에서는 2021년과 2022년에 온도조건(9℃, 11℃, 13℃, 15℃, 20℃)에 따라 콩 생태형별로 각각 파종하였고, 연천지역은 실증을 위해 2022년에만 콩 생태형별로 각각 파종하였다.

공시 품종은 진주지역에서는 2021년과 2022년에 조생종 품종인 ‘새올’과 ‘참올’, 중생종인 ‘선유 2호’와 ‘연풍’, 중만생종인 ‘대원’과 ‘대찬’ 등 6품종을 이용하였고, 실증 재배를 위한 연천지역은 2022년에 ‘새올’, ‘선유 2호’, ‘대원’ 품종을 이용하여 6월 10일에 파종하였다. 진주지역의 경우 평년 기온(2011~2020)을 기본으로 9℃ 기준으로는 3월 24일, 11℃는 4월 6일, 13℃는 4월 15일, 15℃는 4월 28일, 20℃는 5월 18일(20℃≥)과 6월 10일(20℃≤)에 각각 파종하였다. 시비는 진주와 연천지역 모두 전량 기비로(시비량 : N-P-K=3-3-3.4 kg/10a) 시비하고 파종 재식밀도는 100 cm × 20 cm로 1주 2본을 파종하였으며, 흑색 비닐을 이용한 피복재배를 하였다. 기타재배법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다.

시험구 배치 및 조사방법

시험구 배치는 진주지역의 경우 조생종 2품종, 중생종 2품종, 중만생종 2품종 등 6품종, 연천지역의 경우는 조생종, 중생종, 중만생종 각 1품종을 이용하여 난괴법 3반복(300 m^2 (진주), 1000 m^2 (연천))으로 배치하였다. 출현율은 출현수/파종립수를 백분율로 나타내었고 출현소요일수는 50% 출현한 날짜를 소요일수로 나타내었다. 출현소요일수는 파종 후 15일간 출현한 개체수를 조사하였고, 개화시는 첫 꽃이 개화한 날, 개화기는 50% 이상 개화한 날을 개화기로 하였다. 진주지역의 경우 생육단계별 소요일수를 구하기 위해 2021년과 2022년에 각각의 온도 기준으로 파종을 하고 생육단계별로 소요일수, 적산온도를 구한 다음 생태형별로 2년간 데이터를 평균하여 생육단계별 도달일수와 적산온도를 구하였다. 생육단계별 도달일수와 적산온도는 파종부터 V2까지는 온도 처리별로 나타내었고(Table 1), V2 이후 V2-R8단계는 모든 온도 처리(9℃~20℃)를 평균하여 나타내었다(Table 2).

파종 온도 구명을 위한 온도별 파종처리(9℃, 11℃, 13℃, 15℃, 20℃)는 Growth chamber를 이용하여 조사하였고, 상토는 원예용 상토를 이용하여 24공 트레이에 각 온도 처리별로 20립씩 3반복으로 파종하고 출현기 때의 하배축 길이 및 저온장해 정도를 조사하였다.

실측치와 예측치 비교는 진주지역에서 2021년과 2022년의 생육단계별 적산온도를 기반으로 하여 2022년 경기도 연천 지역의 온도에 따라 예측하였고, 실측치는 연천 지역에서 실제 콩 재배한 값을 의미한다. 북한의 파종한계기 예측도 위와 같은 방법으로 북한 7개 농업기후 지대의 온도

Table 1. Characteristics of emergence and flowering according to the sowing period for different soybean ecotypes during the growing season in the Jinju region during 2021-2022.

Ecotype	Sowing date (temperature)		No. of plant	Emergence rate (%)	Sowing~Emergence		Emergence~V2 stage	
					AT[z)]	ND	AT	ND
Early maturing	3.24	(9℃)	168	92.9±4.0ac	136.2±19.1a	9.2±0.2a	299±129.7a	22.0±9.9a
	4.6	(11℃)	172	92.1±8.5bc	128.8±21.9ab	7.0±1.0bc	262.9±45.5ab	17.5±3.5ab
	4.15	(13℃)	166	91.5±8.2bc	116.2±4.3bc	7.5±1.2b	232.0±31.0b	14.8±1.8b
	4.28	(15℃)	158	86.9±12.1c	114.4±11.8c	6.4±0.5c	247.4±3.3b	13.8±0.4b
	5.18	(20℃≥)	154	97.4±2.9ab	94.6±2.1d	3.9±0.2d	264.9±6.2b	12.8±1.1b
	6.10	(20℃≤)	118	100.0±0.0a	91.0±9.8d	3.3±0.6d	295.3±0.0a	12.0±0.0b
Middle maturing	3.24	(9℃)	168	88.9±13.4ab	132.6±17.7a	9.4±0.5a	299±129.7ab	22.0±9.9a
	4.6	(11℃)	172	97.6±3.7ab	119.1±10.6b	6.5±0.6c	262.9±45.5ab	17.5±3.5ab
	4.15	(13℃)	166	89.3±10.1ab	119.3±25.4ab	4.9±0.9d	233.9±28.4b	15.0±1.4b
	4.28	(15℃)	166	87.7±12.1b	113.5±5.5b	7.4±1.0b	238.1±9.8b	13.3±1.1b
	5.18	(20℃≥)	170	92.1±16.2ab	112.3±8.4b	6.2±0.2c	255.4±7.3b	13.0±0.0b
	6.10	(20℃≤)	118	100.0±0.0a	96.8±10.0c	3.7±0.6e	312.2±0.0a	12.3±0.4b
Mid-late maturing	3.24	(9℃)	168	91.8±8.3c	140.4±16.8a	9.2±0.4a	299±129.7ab	22.0±9.9a
	4.6	(11℃)	171	94.3±4.9bc	127.6±19.2ab	6.9±1.0b	262.9±45.5ab	17.5±3.5ab
	4.15	(13℃)	166	91.8±4.2c	113.0±13.9b	6.5±0.6bc	233.9±28.4b	15.0±1.4bc
	4.28	(15℃)	166	95.3±4.3bc	110.8±5.0b	7.4±1.0b	229.1±3.0b	13.0±0.0bc
	5.18	(20℃≥)	170	98.6±2.1ab	101.6±20.7bc	4.1±1.3d	223.9±20.6b	12.8±0.4bc
	6.10	(20℃≤)	120	100.0±0.0a	91.1±10.0bc	3.3±0.6d	312.2±0.0a	10.8±0.4c
Sigmificance								
Temperature (T)				***	***	***	***	***
Ecotype (E)				NS	NS	NS	NS	NS
T × E				NS	NS	NS	NS	NS

Values represent mean ± standard deviation (n = 3). [z)]AT and ND, accumulative temperature and number of days, respectively, required by each growth stage. Different letters denote significant differences at $p < 0.05$. *, **, and *** denote statistically significant values at $p < 0.05, 0.01$, and 0.001, respectively.

Table 2. Number of days and accumulative temperature required according to each growth stage for different soybean ecotypes.

Division	Ecotype	V2-V3	V3-V6	V6-V9	V9-R2	R2-R5	R5-R8	Sum
AT[z)]	Early maturing	186.8±13.9ab	241.7±15.1ns	271.9±43.5ab	185.9±75.0ns	354.7±59.4b	905.1±94.2ns	2,146
	Middle maturing	194.0±23.8a	244.3±24.7	289.3±43.0a	190.1±80.8	392.7±40.2b	941.9±238.4	2,252
	Mid-late maturing	175.5±15.3b	224.1±21.6	231.5±54.8b	217.3±97.0	431.9±59.5a	1,077.0±309.0	2,357
ND	Early maturing	10.3±1.7ns	11.7±1.8ns	12.6±2.7ns	8.1±2.9ns	14.5±2.2b	34.9±3.0c	92
	Middle maturing	10.9±1.9	12.0±1.3	13.5±2.8	8.3±3.7	15.3±1.7b	39.6±3.3b	100
	Mid-late maturing	9.9±1.1	11.4±1.0	10.9±3.0	9.4±4.4	17.0±1.4a	47.9±12.6a	106

Values represent mean ± standard deviation (n = 3). [z)]AT and ND, accumulative temperature and number of days, respectively, required by each growth stage. Different letters denote significant differences at $p < 0.05$.

를 이용하여 예측하였다.

본 실험의 실험데이터는 SPSS program (SPSS version 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석(one way ANOVA)을 실시한 후, Ducan's

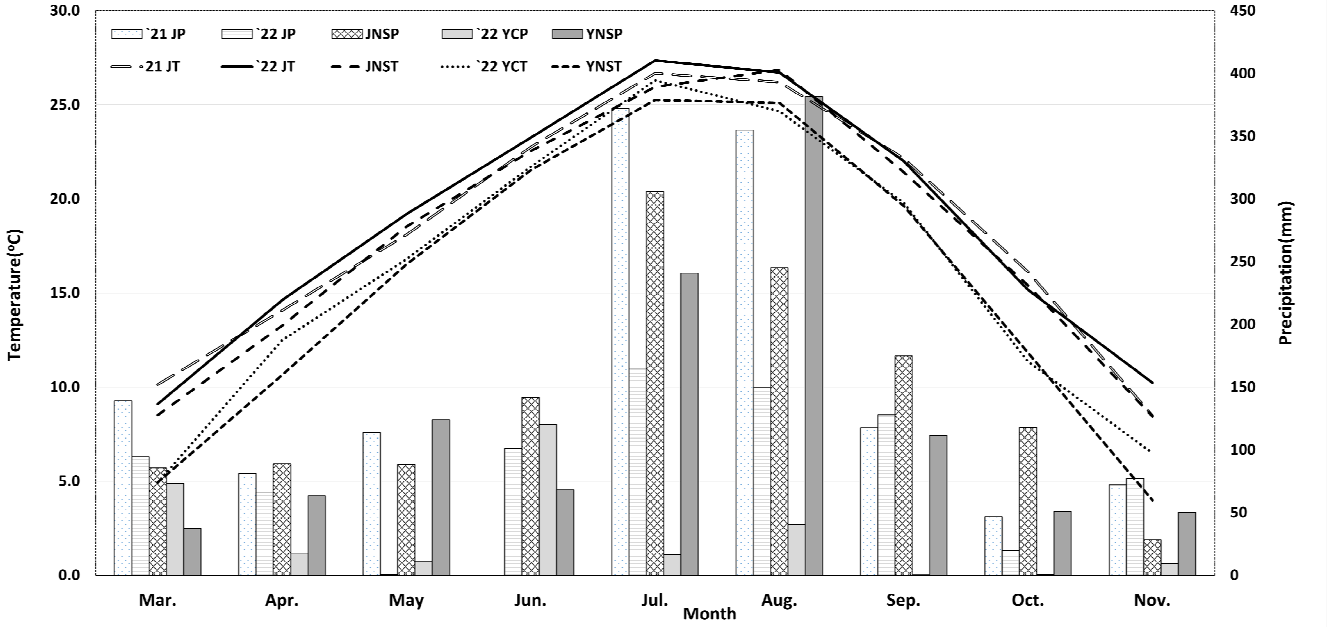

Fig. 1. Historical monthly and growing season climatic data of the experimental area. Normal season means average climate data during 2017–2021. ’21 JP and ’22 JP, Jinju precipitation in 2021 and 2022, respectively; JNSP, Jinju normal season precipitation; ’21 JT and ’22 JT, Jinju average temperature in 2021 and 2022, respectively; JNST, Jinju normal season temperature; ’22 YCP and ’22 YCT, Yeoncheon precipitation and temperature, respectively, in 2022; YNSP and YNST, Yeoncheon normal season precipitation and average temperature, respectively.

Multiple Range Test (DNRT)을 통해 5%, 1%, 0.1% 수준에서 각각 통계학적 유의성을 검정하였다.

기상자료

기상자료는 기상청 기상자료개방포털(KMA, 2023)에서 지역 기상을 다운받아 이용하였다. 북한의 27개 관측지대를 7개 농업지대로 나누고 각 농업지대별 관측치를 평균하여 일 평균온도로 사용하였다. 일 평년온도는 2011년에서 2020년까지 10년간의 평균온도를 평균하였고, 이것을 적산온도를 산출하는데 이용하였다. 진주와 연천 지역도 평년온도는 2017년에서 2021년까지 5년간의 평균온도를 평균하여 이용하였고, 진주 지역은 2021년과 2022년, 연천지역은 2022년 일 평균온도를 실측치 및 예측치 자료로 활용하였다.

결과 및 고찰

연구기간(2021년과 2022년) 동안 기상현황을 보면, 진주와 연천지역은 3월부터 기온이 상승하기 시작하여 7월과 8월을 정점으로 하여 점차 하강하여 11월 초에는 진주는 10℃, 연천은 6℃까지 떨어졌다(Fig. 1). 진주지역의 평균온도는 2021년도는 평년과 비슷하였지만 2022년도는 8월까지는 평년에 비해 기온이 다소 높은 경향이었고 이후에는 평년과 비슷한 경향이었다. 2022년 연천지역의 경우 평년과 비슷한 경향이었으나 진주지역보다는 1~3℃ 가까이 낮은 경향을 나타내었다. 강수량은 진주지역의 경우 평년의 1,277 mm에 비해 2021년도는 1,297 mm로 평년과 비슷하였지만 2022년에는 804 mm로 473 mm가 적었다. 연천은 2022년에도 290 mm로 평년의 1,128 mm보다 838 mm가 적어 전체적으로 강수량이 평년에 비해 매우 적었다(Fig. 1).

콩 생육단계별 생육일수 구명을 위해 생태형별로 온도를 기준으로 파종 시기를 달리하였을 때 출현율, 파종에서 출현, 출현에서 V2까지의 적산온도 및 소요일수 등을 조사하였다. 그 결과 조생종(새올, 참올), 중생종(선유 2호, 연풍), 중만생종(대찬, 대원) 모두 최소 86% 이상의 출현율을 나타내었고 생태형 및 품종에 따른 출현율의 유의한 차이는 없었다(Table 1).

출현일수는 생태형 및 품종에 관계없이 파종시기가 늦어질수록 즉 온도가 높을수록 출현일은 단축되는 경향을 보였다. 조생종, 중생종, 중만생종의 경우 9℃를 기준으로 하여 파종하였을 때 약 9~10일 후 출현을 하였고, 11℃는 6~7일, 13℃는 5~7일, 15℃는 6~7일, 20℃에서는 4~6일 정도였고 이것을 적산온도로 환산하였을 경우에도 파종시기가 빠를수록 적산온도가 높았고 파종시기가 늦을수록 출

현이 빨라 적산온도는 감소하는 경향을 나타내었다. 출현에서부터 V2까지도 파종온도에 따라 많은 차이를 나타내었다. 9℃ 파종의 경우 조생종, 중생종, 중만생종 모두 V2 단계까지 22일이 소요되었고, 적산온도로는 299℃정도가 요구되었다. 11℃는 모든 생태형에서 17.5일, 적산온도는 262℃가 요구되었고, 13℃는 생태형에 따라 14.8~15.0일, 적산온도는 232~233℃, 15℃는 13.0~13.8일, 적산온도는 229~247℃, 20℃의 경우 일 평균온도가 20℃이하인 날(5월 18일)에 파종한 경우는 12.8~13.0일, 적산온도는 223~264℃, 그리고 일 평균온도가 20℃이상이 되는 날(6월 10일)에 파종한 경우도 10.8~12.3일이 소요되었고, 적산온도로는 295~312℃정도가 요구되었다.

출현부터 V2까지의 출현일수 및 적산온도는 생태형별, 품종별로는 큰 차이가 없었고 파종시기에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다. 즉 온도가 높을수록 파종부터 V2까지 도달일수가 줄어들었고, 일 평균온도가 20℃이하 처리구인 5월 처리까지는 적산 온도가 감소하는 경향이었으나 일 평균온도가 20℃ 이상 처리인 6월 파종의 경우 일 평균온도가 높아 적산온도가 오히려 증가하는 경향을 나타냈으나 유의성이 없었다.

V2 이후 단계부터는 모든 처리에서 온도가 크게 상승함으로써 온도처리에 따른 생육단계별 생육일수나 적산온도에는 큰 차이가 없어 생태형에 따른 생육단계별 소요일수와 적산온도를 계산하였다(Table 2). V2 이후의 영양생장 및 생식생장단계별 소요일수 및 적산온도를 보면 V2-V3까지는 콩 생태형에 따라 일수로는 약 10일, 적산온도로는 175℃~194℃정도가 요구되었다. V3-V6는 11~12일, 적산온도는 224℃~244℃, V6-V9은 10~13일, 적산온도는 231~289℃, V9-R2는 8~9일, 적산온도는 185℃~217℃, R2-R5는 14~17일, 적산온도는 354℃~431℃, 그리고 마지막으로 R5-R8은 34일~47일, 적산온도 905℃~1,077℃ 정도가 요구되었다. 생태형별로는 조생종이나 중생종 보다 중만생종에서 소요일수와 적산온도가 길어지는 경향을 나타내었고 특히 입비대기와 성숙 시기에 소요일수와 적산온도가 가장 많이 요구되는 것으로 나타났다. 일반적으로 경제적인 콩 생산을 위한 적산온도는 2,500~3,000℃ 정도의 적산온도가 필요한 것 알려져 있다(Lee *et al*., 2019). 본 실험에서도 파종-V2까지의 적산온도와 V2-R8까지의 적산온도를 합산한 경우는 2,428~2,793℃의 적산온도를 나타내었다. 따라서 Tables 1과 2를 종합해보면, 15℃ 파종 조건에서 조생종 품종으로 파종할 경우 파종부터 출현일까지 114.4℃, 출현부터 V2까지 247.4℃가 요구되었고, 이후 V2에서 R8까지는 2,146℃요구되어 전체적으로 2,507℃가 필요하였고, 중생종은 2,603℃, 만생종은 2,696℃가 요구되어 기존 연구결과와 유사함을 확인하였다.

파종-출현, 출현-V2까지는 파종시 온도의 영향을 받아서 파종시기에 따라 적산온도가 많은 차이를 나타내었다. 그러나 V2 이후 부터는 기온이 상승함에 따라 파종시기에 따른 생육단계별 차이는 미비하였고 생태형에 따른 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 콩 생육단계별 소요일수를 예측하기 위해 파종에서 출현, 출현에서 V2 단계는 Table 1의 온도조건 및 생육형에 따른 적산온도를 적용하였고, V2-R8 단계까지는 Table 2의 생태형별로 생육단계별 적산온도를 적용하여 한반도 중부 및 북방지역 생육일수 예측에 이용하였다. 따라서 위의 생육단계별 생육일수 및 적산온도를 한반도 북방지역에 적용 가능한지를 중부지역인 연천지역을 대상으로 2022년에 실제 콩을 재배한 실측치와 앞서 언급한 생육단계별 적산온도(Table 1, Table 2)에 따른 예측치를 비교해 보았다(Fig. 2).

연천 지역에서 파종 적기를 고려하여 6월 10일경에 파종할 경우 조생종, 중생종, 중만생종에 관계없이 파종부터 출현까지는 6월 13~14일경에 출현하는 것으로 예측되었고 실측치 역시 13일경에 출현하였다. V2 단계까지는 조생종, 중생종, 중만생종 모두 6월 28일로 예측되었고, 실측치는 조생종의 경우 6월 25일, 중생종과 중만생종은 모두 6월 26일로 실측되었다. V3 단계까지는 조생종은 7월 5일, 중생종과 중만생종은 7월 6일로 예측되었고, 실측치는 조생종은 7월 6일과 중생종과 중만생종은 7월 4일로 실측되어 V3 단계까지는 실측치와 예측치가 매우 유사하였다. V6 단계는 조생종은 7월 14일, 중생종과 중만생종은 7월 16일로 예측되었고 실측치는 조생종은 7월 12일, 중생종과 중만생종은 7월 13일로 2~3일 정도 차이가 있었다. V9 단계에서는 조생종은 7월 24일, 중생종과 중만생종은 7월 27일로 예측되었고, 실측치는 조생종은 7월 24일, 중생종과 중만생종은 7월 20일로 6~7일 정도의 차이가 있었다. R2 단계에서는 실측치와 예측치간의 차이가 7~8일 정도였고, R5 단계에서는 4~14일 정도 차이가 있어 영양생장 단계보다는 생식생장단계에서 실측치와 예측치간에 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 마지막으로 성숙단계인 R8 단계에서는 조생종의 경우 9월 25일, 중생종은 10월 4일, 중만생종은 10월 22일에 수확이 가능할 것으로 예상되었으나 실측치는 조생종은 9월 20일, 중생종은 10월 5일, 중만생종은 10월 17일로 실측되어 예측치와 5일 내외의 적은 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

따라서 위의 방법을 이용하여 한반도 북방 지역의 7개 농업기후지대에서 콩 파종 한계기 및 수확 가능일 예측에 이

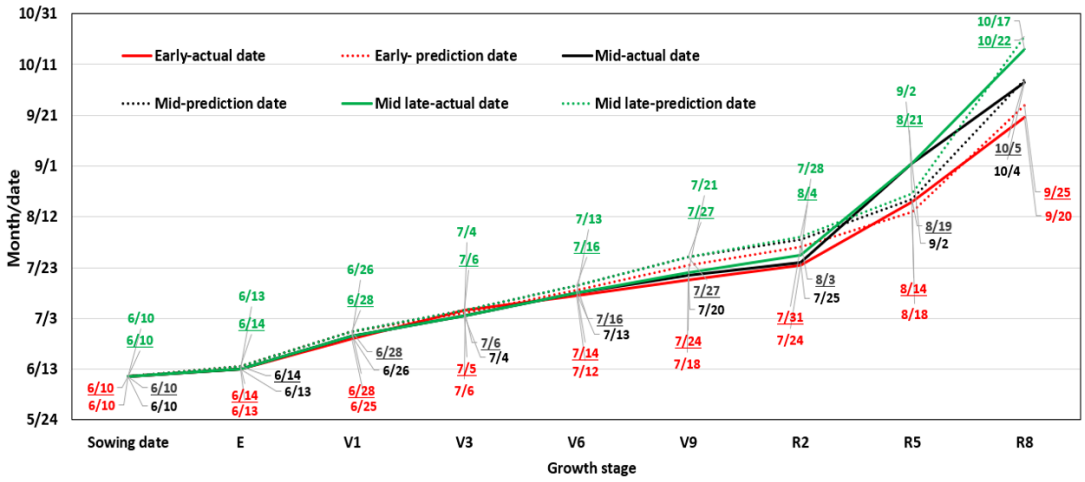

Fig. 2. Comparison of predicted and actual dates according to growth stage with the cultivation of different soybean ecotypes in Yeoncheon region. Early, Mid, and Mid-late: early maturing, middle maturing, and mid-late maturing, respectively, soyabean ecotypes. The solid and dotted lines represent the actual and predicted dates, respectively.

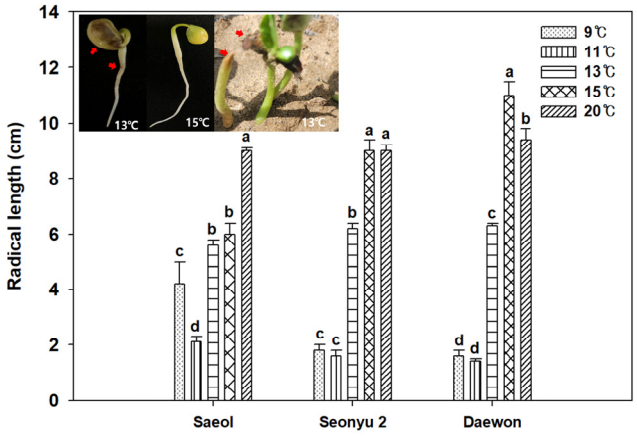

Fig. 3. Radical length at emergence and degree of low temperature damage under different sowing temperature conditions for the different soybean ecotypes. Red arrows in inset pictures show the pattern of low-temperature damage at 13°C and the normal radical at 15°C at emergence. Different letters denote significant differences at $p < 0.05$.

용하였다. 수확 예상일 구명 이전에 먼저 파종 한계온도 구명이 필요함에 따라 온도별(9℃, 11℃, 13℃, 15℃, 20℃)로 파종 실험을 실시하였다. 그 결과 9℃, 11℃, 13℃ 파종에서는 떡잎 또는 상배축에 저온피해가 있는 것으로 나타났다(Fig. 3). 그리고 9℃와 11℃파종 처리에서는 하배축의 신장이 매우 많이 지연되었고, 13℃의 경우에도 15℃와 20℃ 비해 하배축의 신장이 지연되는 것으로 나타났다. 일반적으로 콩의 발아온도는 10℃이상이 요구되고 최적온도는 25℃인 것으로 보고 되고 있으나 이것은 발아 온도만을 가정한 것으로 저온피해나 뿌리 발달정도는 고려되지 않은 것이다(Szczerba *et al*., 2021). 따라서 15℃가 저온피해나 뿌리 발달에 장해가 없는 안정적인 파종 온도라고 할 수 있다.

한반도 북방 지역 파종 한계기 구명을 위한 최저 파종온도 조건을 15℃로 하고 북한 7개 농업기후지대의 지난 10년간(2011~2020년) 평년온도 데이터를 활용하여 각 지대별로 15℃가 되는 날을 파종일로 설정하고 파종 한계기와 수확 가능일을 예상하였다. 그리고 Kim *et al.* (2020)의 보고에 따르면 콩은 전형적인 단일성 작물로 수양산 이남은 개화기가 8월 12일~19일, 수양산 이북과 동해 남부는 8월 2일~6일, 중부산간은 7월 27일~8월 2일, 동해 북부와 북부 고산은 7월 10일~22일이 개화 한계기라고 예측하여 개화기는 이 날짜를 적용하여 분석하였다(Fig. 4).

생육예측 결과 수양산 이남의 경우 4월 30일부터 파종이 가능할 것으로 보이는데 이것은 적산온도를 적용하여 생육일수를 추정해 보면 파종 후 출현까지 생태형에 따라 조·중생종의 경우 114℃, 중만생종은 111℃가 요구되기 때문에 출현까지 소요일수는 7일이 요구되어 출현일은 5월 7일이 예상된다(Fig. 4C). 출현에서 V2까지는 생태형에 따라 229℃~247℃ 내외의 적산온도가 요구되므로 날짜로는 5월 21일~22일로 예상되고, V2-V3는 176℃~194℃가 요구되어 6월 1일, V3-V6는 224℃~244℃로 6월 12일~13일, V6-V9는 231℃~289℃로 6월 23일~26일, V9-R2는 186℃~217℃로 7월 2일~6일, R2-R5는 355℃~431℃로 7월 17일~24일, R5-R8은 905℃~1,077℃가 요구되어 조생종의 경우는 8월 21일, 중생종은 8월 28일, 중만생종의 경우 9월

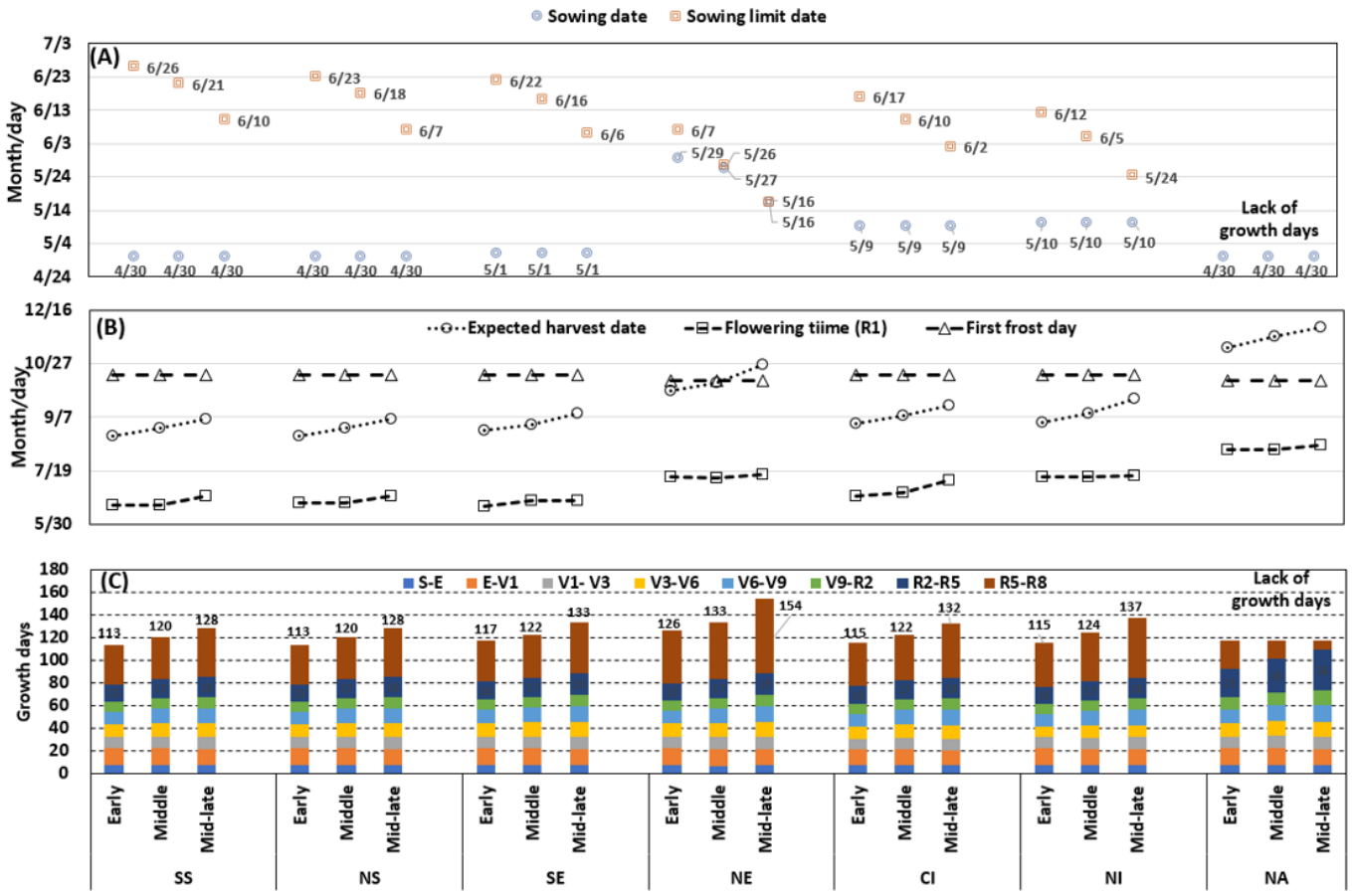

Fig. 4. Prediction of sowing limit date (A), harvest date (B), and number of days by growth stage (C) for different soybean ecotypes in seven agricultural climatic zones of North Korea. Early, Middle, and Mid-late: early maturing, middle maturing, and mid-late maturing, respectively, soybean ecotypes. YC, Yeoncheon; SS, Southern Mt. Suyang; NS, Northern Mt. Suyang; ES, South of the East Sea; NE, North of the East Sea; CI, Central inland; NI, Northern inland; NA Northern alpine.

5일경이 수확일로 예상된다(Fig. 4B). 따라서 수양산 이남, 수양산 이북, 동해 남부 지역은 파종 시기가 같을 경우 연천지역과 생육단계가 유사한 것으로 나타났고, 중부 내륙지역과 북부 내륙지역은 개화기와 수확일이 수양산 이남, 수양산 이북, 동해 남부 보다는 늦어지는 경향이었으나 첫 서리가 내리는 날 이전까지 모든 생태형에서 수확이 가능한 것으로 나타났다. 반면에 북부 고산지역은 생육일수가 부족하여 모든 생태형에서 첫 서리가 내리는 날 이전까지 수확이 불가능하였고, 동해 북부에서도 조생종을 제외한 중생종, 중만생종은 수확이 불가능한 것으로 나타났다. 일반적으로 우리나라 기후에서 조생종의 경우 6월 1일 파종할 경우 성숙기까지 102일 정도 소요되고, 적산온도는 2,512℃정도 요구되며, 중생종은 117일, 2,843℃, 중만생종은 135일, 3,205℃정도인 것으로 보고되고 있다(NICS, 2019). 본 실험에서도 조생종의 경우 성숙기까지 109일 정도 소요되고 적산온도는 2,438℃, 중생종은 118일, 2,576℃, 중만생종은 131일, 2,793℃로 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 적산온도 및 생육일수를 기준으로 파종 한계기를 분석한 결과 수양산 이남은 6월 10일~26일이 파종 한계기로 구체적으로 조생종의 경우 6월 26일까지, 중생종은 6월 21일, 중만생종은 6월 10일까지가 파종한계기인 것으로 나타났다(Fig. 4A). 수양산 이북은 생태형에 따라 6월 7일~6월 23일, 동해 남부 6월 6일~6월 22일, 동해 북부 5월 16일~6월 7일, 중부 산간 6월 2일~6월 17일, 북부 내륙 5월 24일~6월 12일로 나타났다. 그러나 북부 고산지역의 경우 15℃기준 6월 15일 파종할 경우 조생종은 675℃, 중생종은 811℃, 중만생종은 1,020℃의 적산온도가 부족하였고 심지어 9℃기준으로 4월 30일 파종할 경우에도 조생종은 130℃, 중생종은 243℃, 중만생종은 466℃의 적산온도가 부족한 것으로 나타나 정상적인 생육을 할 수 없는 것으로 나타났다.

그리고 북부 고산지역은 예상 개화기는 개화 한계기와 유사한 시기로 예상되나 콩의 경우 엽수가 3매만 있어도 일장에 반응하는 것으로 알려져 있어(RDA, 2018) 7월 14일~7월 17일 정도에 개화 할 것으로 예상된다. 그리고 콩의 등숙적온은 25℃내외인데도 불구하고 북부 고산지역의 경우 7~8월의 일평균 기온이 18~20℃로 등숙적온보다 낮다. 또한 9월 말이 되면 기온이 10℃이하까지 떨어지므로 전체 적산온도(개화기 이후)는 1,253℃내외로 등숙에 필요한 적산온도가 불충분하여 조생종, 중생종 및 중만생종 모두 수확은 불가능할 것으로 보인다.

본 연구는 한반도 남부지역의 콩 생육단계별 소요일수와 적산온도만을 활용하여 한반도 북방지역의 콩 생육 예측을 실시하였다. 콩의 경우 토양수분, 토양양분, 일장과 온도 등 환경조건이 생육에 중요한 영향을 미친다. 특히 개화기 이후 온도가 콩의 성숙에 많은 영향을 미치므로 위도가 높은 북방지역의 경우 성숙기 때의 온도가 급격히 떨어지기 때문에 성숙 후기 온도변화에 대한 연구가 추가적으로 수행된다면 좀 더 정확한 예측이 가능하리라 판단된다.

적 요

한반도 남부지방(진주)에서 콩 생태형에 따라 생육단계별 생육일수를 적산온도로 환산하여 한반도 북방지역 7개 농업기후지대의 콩 생육예측을 실시하였다. 그 결과는 아래와 같다.

1. 수양산 이남, 수양산 이북, 동해 남부, 중부 내륙, 북부 내륙 지역들은 모든 생태형에서 정상적인 생육과 수확이 가능할 것으로 예측되었다.
2. 북부 고산지대는 모든 생태형에서 정상적인 생육이 불가능한 것으로 나타났고, 동해 북부지역은 조생종, 중생종은 정상적인 생육이 가능하지만 중만생종은 생육일수가 부족한 것으로 나타났다.
3. 파종 한계기는 수양산 이남, 수양산 이북, 동해 남부 지역은 생태형에 따라 6월 6일~26일까지, 중부 내륙 6월 2일~17일, 북부 내륙은 5월 24~6월 12일, 동해 북부는 5월 16일~6월 7일경인 것으로 조사되었다. 그러나 북부 고산지대는 9℃기준인 4월 30일 파종하여도 생육일수가 부족한 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ015705022022)의 지원을 받았으며, 이에 감사합니다.

인용문헌(REFERENCES)

Choi, Y. M., M. C. Lee, N. Ro, S. Lee, J. Gwag, and M. Yoon. 2014. Morphological characteristics and SSR profilings of soybean landraces of Korea. Korean Journal of Breeding Science. 46(4) : 353-363.

Heo, S. K., H. P. Mun, E. K. Jung, U. H. Yang, J. K. Lee, and T. Y. Kim. 2018. Improving food productivity in the North Korean region. In Korea Seed Research Society Symposium. pp. 113-167.

Kaschuk, G., M. A. Nogueira, M. J. De Luca, and M. Hungria. 2016. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with Bradyrhizobium. Field Crops Research. 195: 21-27. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.010.

Kim, B. H., H. J. Lee, W. Kim, and S. J. Park. 2020. Estimation of meteorological ecology of soybean (Glycine max Merrill) for crop cultivation regions of North Korea. Korean J. Crop Sci. 65(1) : 56-62. https://doi.org/10.7740/kjcs.2020.65.1.056.

Kim, K. G., S. N. Kim, S. O. Yu, Y. B. Bak, G. H. Kim, C. S. Kim, S. H. Han, S. Y. Kim, and E. J. Cha. 2021. Soybean-Agricultural guideline. Rural Development Administration. pp. 106-119.

Kim, Y. H. and C. H. Lim. 2018. KREI North Korean agriculture trend. KREI. 20(2) : 3-9.

Kim, Y. H. and C. H. Lim. 2019. KREI North Korean agriculture trend. KREI. 21(1) : 3-16.

Korea Meteorological Administration (KMA). 2023. Years report of meteorological observations in north Korea. https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectNkRltmList.do (Last accessed on May 31, 2023).

Lee, H. J., B. H. Kim, W. Kim, and S. J. Park. 2020. Classification of flowering group and the evaluation of flowering characteristics for soybean (Glycine max Merrill) varieties from North Korea. Korean J. Crop Sci. 65(1) : 47-55.

Lee, J. E., Jung, G. H., Kim, S. K., Kim, M. T., Shin, S. H., and Jeon, W. T. 2019. Effects of growth period and cumulative temperature on flowering, ripening and yield of soybean by sowing times. The Korean Journal of Crop Science. 64(4) : 406-413.

National Institute of Crop Science (NICS). 2019. Major research achievements. https://www.nics.go.kr/bbs/list.do?m=100000126&homepageSeCode=nics&bbsId=research (Last accessed on July 31, 2023).

Rural Development Administration (RDA). (2018). Soybean cultivation. Rural Development Administration. Suwon, Korea. http://www.nongsaro.go.kr/ (cited by May 15, 2023).

Szczerba, A, A. Plażek, J. Pastuszak, P. Kopeć, M. Hornyák, and F. Dubert. 2021. Effect of low temperature on germination,

growth, and seed yield of four soybean (*Glycine max* L.) cultivars. Agronomy. 11(4) : 800. https://doi.org/10.3390/agronomy11040800.

United States Development of Agriculture (USDA). 2023. International production assessment division. https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=KN&crop=Soybean. (Last accessed on May 10, 2023)

Wang, C., X. Liu, X. Hao, Y. Pan, C. Zong, W. Zeng, W. Wang, G. Xing, J. He, and J. Gai. 2022. Evolutionary variation of accumulative day length and accumulative active temperature required for growth periods in global soybeans. Agronomy. 12(4) : 962.