

전 략 체 계	안정 - 6 - 1		수행시기	전반기 (완결)	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C05	작목구분코드	FC0101
과 제 종 류	공동연구		과 제 번 호	RD010349	
과 제 명	콩 생산 자동화 디지털농업 선도모델개발 및 실증				
과 제 책 임 자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	박진기		농업연구사	국립식량과학원 남부작물부	
연 구 기 간	2022 ~ 2024		참여연구기관	국립식량과학원	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
6) 강원지역 콩 디지털농업 시스템 구축 및 현장실증			연구협력과	김경대	'23~'24
키 워 드	콩, 디지털농업, 테스트베드, 실증, 모델				

ABSTRACT

This study developed a soybean yield prediction model using crop survey (1980–2000) and meteorological data, and evaluated digital agriculture testbeds in Gangwon State, Korea. A dataset of 568 rows and 110 columns, integrating 40 agronomic and 70 meteorological variables, was analyzed. Key factors correlated with yield included plant height ($r=0.412^{**}$), seeds per plant ($r=0.242^{**}$), and plant density ($r=0.220-0.236^{**}$). Among meteorological variables, average temperature and accumulated temperature from flowering to September 20 ($r=0.308^{**}$, $r=0.286^{**}$) and sunshine duration ($r=0.212^{**}$) showed the strongest positive correlations, while cumulative precipitation had a negative effect. The nationwide regression model ($R^2=0.2485$) was statistically significant, but regional models were less robust. Incorporating varietal and soil management data is recommended for improved accuracy.

Digital agriculture testbeds in Gangwon, featuring subsurface drip irrigation, drainage, drone monitoring, and remote control, increased yields by 14.0–28.5% in Chuncheon and 21.7% in Yeongwol. While these technologies improved productivity, challenges remain in infrastructure, sensor management, and system maintenance. Integrating agronomic and meteorological data is effective for yield prediction, and digital technologies show promise for enhancing soybean productivity.

1 연구목표

국내 콩 자급률은 약 25%로, 연간 130만 톤을 수입에 의존하고 있으며, 생산비 중 노동비가 52.1%를 차지하는 노동집약적 구조가 지속되고 있다. 특히 강원지역의 경우, 2020년 기준 콩 재배면적이 4,608ha로 20년 전 대비 38.7% 감소하였고, 농가 수도 2015년 대비 31.1% 감소하는 등 생산 기반이 약화되고 있다. 이에 따라 콩 재배 및 생산방식에 디지털 기술을 도입하여 생산성과 자급률을 높이고, 수급 안정화를 도모할 필요가 있다. 본 연구는 콩 작황 데이터를 기반으로 생산성 향상 모델을 개발하고, 강원지역에 콩 디지털 농업 테스트베드를 구축·평가하여 디지털 전환의 기반을 마련하는 것을 목표로 한다.

2 재료 및 방법

〈Q. 제6세부과제 : 강원지역 콩 디지털농업 시스템 구축 및 현장 실증〉

(시험 1) 콩 데이터 기반 생산성 향상 모델

본 연구는 작황조사 데이터를 활용하여 환경, 생육, 수량 간의 관계를 분석하고, 주요 영향 요인을 도출하였다. 분석에 사용된 데이터는 환경 요인(온도, 습도, 일사량, 강우, 토양수분), 생육 요인(초장, 줄기굵기, 분지수 등), 수량 요인(백립중, 단위면적당 수확량)으로 구성되었다. 데이터 전처리 과정에서는 결측치와 이상치를 제거하고, 차원 축소 기법을 통해 주요 변수를 선별하였다. 상관분석을 통해 수량에 영향을 미치는 변수를 탐색하였으며, 회귀분석을 활용하여 생산성 예측 모델을 구축하였다. 또한, 수량이 낮은 시기의 환경 및 생육 특성 차이와 지역별 주요 영향 요인을 분석하고, 기후 요소를 활용한 예측 모델을 개발하였다.

(시험 2) 강원지역 콩 디지털 농업 테스트베드 구축 및 평가

본 연구는 2024년 강원도 춘천(논, 밭)과 영월(밭) 지역에서 콩 품종 '대왕2호'를 대상으로 수행하였다. 춘천에서는 2024년 6월 5일, 영월에서는 6월 20일에 파종하였으며, 파종 간격은 70×20cm로 설정하였다. 시험구에는 관배수 기반 구축, 농작업 기계화, 디지털 재배관리, 통합 관제 시스템을 적용하였다. 재배 기간 동안 토양 수분, 기상 자료, 생육 상태, 수량을 조사하여 디지털 농업 시스템의 효과를 평가하였다.

3 결과 및 고찰

〈Q 제6세부과제 : 강원지역 콩 디지털농업 시스템 구축 및 현장 실증〉

(시험 1) 콩 데이터 기반 생산성 향상 모델

연구는 1980~2000년 콩 작황조사 자료와 기상 데이터를 기반으로 생산성 예측 모델을 개발하고자, (그림 1)과 같은 단계로 진행하였으며, 그 순서는 자료수집, 전처리를 통해 데이터 세트를 작성하여, 이를 바탕으로 요인별 관계를 상관분석하여 주요 요인들을 도출한 후 회귀분석을 통해 모델을 도출 및 설정하고, 이를 검증하여 모델을 확정하는 과정을 거친다. 이는 성 등(2019)의 연구와 비슷하게 나타났다.

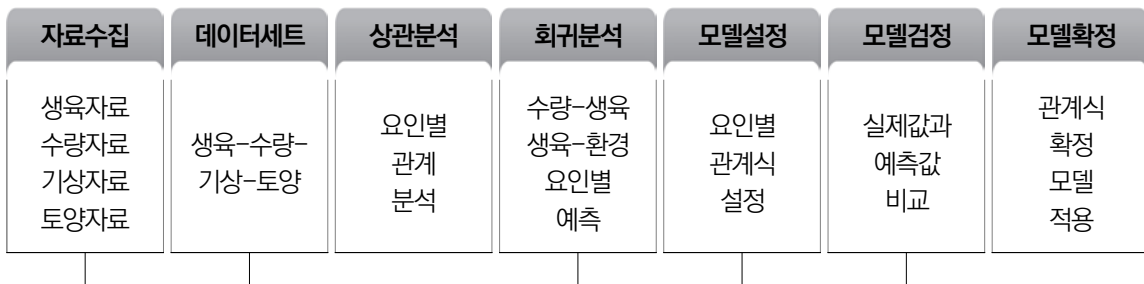


그림 1. 모델 개발 과정 요약 순서도

1. 자료수집 및 데이터세트 작성

수집된 자료는 1980년부터 2000년까지의 콩 작황보고서를 pdf로 수집하고 인력을 활용하여 엑셀로 작성하였으며, (그림 2)과 같이 수집하고, 엑셀로 정리하여 데이터를 디지털화 하였다. 작황조사보고서 항목으로는 시험년도, 시험기관, 담당자, 시험지, 파종기, 공시품종, 재식거리, 시비량, 시험구처리방법, 출현기, 출현율, 개화기, 개화종, 성숙기, 도복, 경장, 분지수, 경태, 주경절수, 제곱미터당 개체수, 개체당 착형수, 개체당 립수, 10립중, 1L중, 입경비율, 10a당 수량을 매년 7월 20일, 8월 20일, 9월 20일, 수확기에 시기별 항목을 조사하여 보고한 자료를 엑셀로 자료를 작성하였다. 시기별로 항목의 누락 및 조사되지 않은 내용도 있다. 엑셀로 작성된 것을 살펴보면, 568행, 40열이 작성되었다. 재배 지역은 24개소로, 공시품종은 33종으로 나타났다.

작황조사 시기에 맞춘 기상자료는 기상자료개방포털에서 시험년도별로 시험지와 가장 가까운 종관기상대 자료를 수집하고, 재배기간별 평균온도, 적산온도, 누적강수량, 누적강수일수, 누적일조시간을 산출하여 작성하였다(그림 3, 표 1).

적용된 종관기상대는 19개소로 재배지역 24개소와 차이가 있었으며, 이는 일부 지역이 같은 종관기상대를 적용하고 있기 때문이다. (표 1)의 기상요인항목은 재배시기와 기후항목을 혼합하여 기상요인의 항목이름으로 설정하였다.

그림 3. 지역별 시기별 기상요인들(평균온도, 적산온도, 강수량, 강수일수, 일조시간)

표 1. 기상요인 항목 작성: 작성된 항목을 기상변수로 사용

적용기간	기간설명	기상요인	
파종-출현	파종일부터 출현일까지	적용기간 동안의 기상요인을 추출하여 기상요인으로 이용하였음.	
파종-개화	파종일부터 개화일까지		
파종-720	파종일부터 7월 20일까지		
파종-820	파종일부터 8월 20일까지		
파종-920	파종일부터 9월 20일까지		
출현-개화	출현일부터 개화일까지		(누적)강수량
출현-720	출현일부터 7월 20일까지		(누적)강수일수
출현-820	출현일부터 8월 20일까지		(누적)일조시간
출현-920	출현일부터 9월 20일까지		
개화-820	개화일부터 8월 20일까지	평균온도	
개화-820	개화일부터 9월 20일까지	적산온도	

※ 영문의 경우 기상항목을 먼저 적고, 기간을 약어로 표시하였음.
예시) Ave_T_Seed-App, AccT0_App-720, Prec_Flow-820 등

공 작황조사 보고서 자료와 지역별 시기별 기상요인 자료를 병합하여 작성한 자료는 (그림 4)와 같으며, 시험년도, 시험지, 공시품종을 포함하는 공 작황관련 40항목과 기상 70항목으로 데이터셋을 구성하고, 구성된 데이터셋을 항목별 상관분석과 모델개발에 이용하였다.

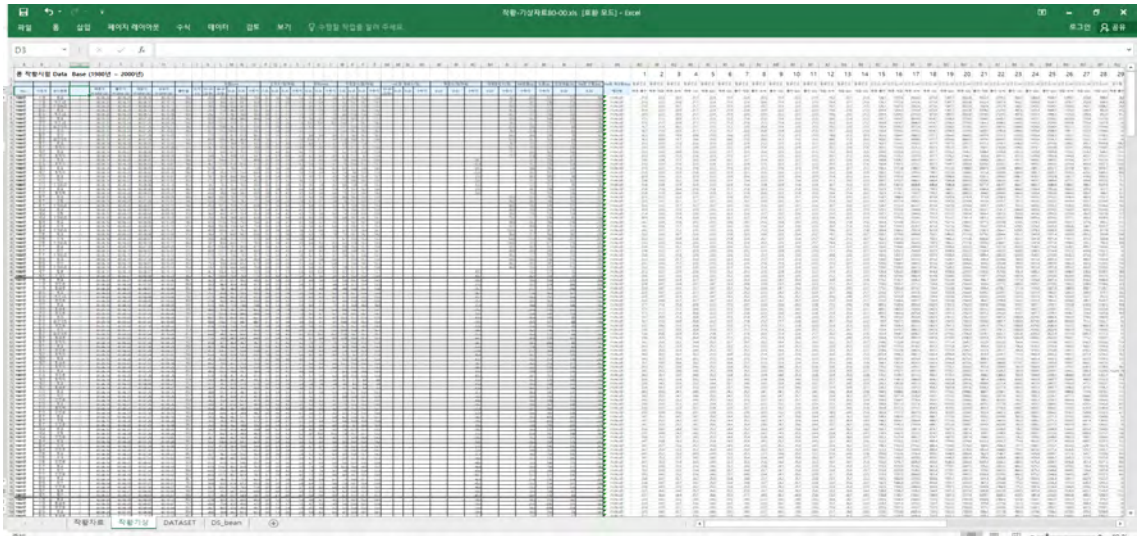


그림 4. 콩 작황-기상 데이터세트: 작황자료(40항목)와 기상요인(70항목) 병합 자료

2. 상관분석

작성된 데이터세트(568행 × 110열)를 이용하여 10a당 수량에 관여하는 생육요인을 상관분석하였으며, 랜덤포레스트 기법을 이용하여 검토한 결과는 (그림 5)와 같이 나타났다.

수량과 생육요인에 대한 상관관계 분석결과는 (표 2)와 같이 나타났으며, 생육요인별로는 [8월 20일 초장 ($r=0.412^{**}$)], [9월 20일 립수/개체($r=0.242^{**}$)], [수확기 립수/개체($r=0.307^{**}$)], [7월 20일 개체수/ m^2 ($r=0.236^{**}$)], [9월 20일 개체수/ m^2 ($r=0.236^{**}$)], [8월 20일 개체수/ m^2 ($r=0.220^{**}$)], [8월 20일 입경비율 ($r=0.208^{**}$)]의 순으로 나타났으며, 랜덤포레스트 기법을 이용하여 검토한 결과는 (그림 5)와 같이 나타났다.

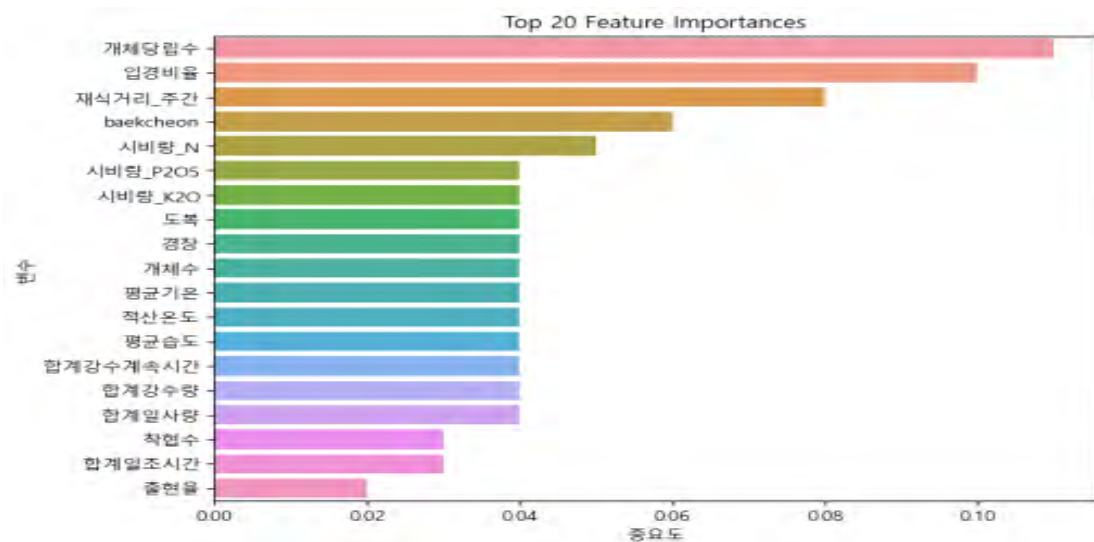


그림 5. 콩 작황-기상 데이터세트에서 요인간 관계분석(Random Forest 기법)($R^2 = 0.52$)

표 2. 수량-생육요인 상관분석: 작황조사보고서의 생육조사 항목

		8월20일 초장	8월20일 경장	9월20일 경장	수확기 경장	8월20일 분지수	9월20일 분지수	수확기 분지수
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	.412(**)	.171(**)	.141(**)	.155(**)	-.128(**)	-.133(**)	-.141(**)
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.002	0.001
	N	344	544	543	544	544	542	543

		수확기 경대	7월20일 개체당절수	7월20일 개체수/㎡	8월20일 개체수/㎡	9월20일 개체수/㎡	수확기 개체수/㎡
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	.093(*)	.150(**)	.236(**)	.220(**)	.236(**)	.195(**)
	유의확률 (양쪽)	.030	.000	.001	.002	.001	.000
	N	544	543	200	200	200	354

		9월20일 협수	수확기 협수	9월20일 립수/개체	수확기 립수/개체	수확기 중량/L	8월20일 입경비율
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	.158(*)	.040	.242(**)	.307(**)	.066	.208(**)
	유의확률 (양쪽)	.026	.364	.001	.000	.151	.000
	N	200	521	200	388	480	510

표 3. 수량-기상요인 상관분석: 수량과 기상요인항목

		평균온도										
		파종-출현	파종-개화	파종-7/20	파종-8/20	파종-9/20	출현-개화	출현-7/20	출현-8/20	출현-9/20	개화-8/20	개화-9/20
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	-.075	-.040	-.030	.062	.149(**)	-.010	.029	.098(*)	.181(**)	.182(**)	.308(**)
	유의확률 (양쪽)	0.091	0.361	0.498	0.163	0.001	0.817	0.503	0.023	0.000	0.000	0.000
	N	513	516	516	516	516	541	541	541	541	544	544

		적산온도										
		파종-출현	파종-개화	파종-7/20	파종-8/20	파종-9/20	출현-개화	출현-7/20	출현-8/20	출현-9/20	개화-8/20	개화-9/20
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	-.058	-.038	.145(**)	.183(**)	.228(**)	.001	.135(**)	.170(**)	.207(**)	.247(**)	.286(**)
	유의확률 (양쪽)	0.190	0.394	0.001	0.000	0.000	0.989	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	513	516	516	516	516	541	541	541	541	544	544

		누적강수량										
		파종-출현	파종-개화	파종-7/20	파종-8/20	파종-9/20	출현-개화	출현-7/20	출현-8/20	출현-9/20	개화-8/20	개화-9/20
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	-.036	-.091(*)	.040	-.045	-.013	-.100(*)	.041	-.060	-.062	.025	.015
	유의확률 (양쪽)	0.420	0.039	0.361	0.308	0.776	0.020	0.339	0.164	0.152	0.565	0.736
	N	511	516	516	516	516	541	541	541	541	544	544

		강수일수										
		파종-출현	파종-개화	파종-7/20	파종-8/20	파종-9/20	출현-개화	출현-7/20	출현-8/20	출현-9/20	개화-8/20	개화-9/20
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	-.051	-.036	.145(**)	.051	.067	-.013	.138(**)	.038	.034	.104(*)	.086(*)
	유의확률 (양쪽)	0.248	0.410	0.001	0.245	0.131	0.762	0.001	0.377	0.430	0.015	0.045
	N	513	516	516	516	516	541	541	541	541	544	544

		일조시간										
		파종-출현	파종-개화	파종-7/20	파종-8/20	파종-9/20	출현-개화	출현-7/20	출현-8/20	출현-9/20	개화-8/20	개화-9/20
9월20일 수량/10a	Pearson 상관계수	-.004	-.043	.063	.069	.008	-.044	.050	.066	.006	.212(**)	.077
	유의확률 (양쪽)	0.932	0.325	0.154	0.119	0.864	0.304	0.248	0.126	0.894	0.000	0.071
	N	513	516	516	516	516	541	541	541	541	544	544

수량과 기상요인에 대한 상관관계 분석결과(표 3)와 같이 나타났으며, 기상요인별로 검토한 결과, 평균온도는 [개화에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.308^{**}$)], [개화에서 8월20일까지의 평균온도 ($r=0.182^{**}$)], [출현에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.181^{**}$)], [파종에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.149^{**}$)] 의 순서로 정의 상관이 높았으며, 적산온도는 [개화에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.286^{**}$)], [개화에서 8월20일까지의 적산온도 ($r=0.247^{**}$)], [파종에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.228^{**}$)], [출현에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.207^{**}$)]의 순서로 정의 상관이 높았으며, 누적강수량은 [출현에서 개화까지의 누적강수량 ($r=-0.100^{*}$)], [파종에서 개화까지의 누적강수량 ($r=-0.091^{*}$)] 의 순서로 부의 상관이 높았으며, 강수일수는 [파종에서 7월20일까지의 강수일수 ($r=0.145^{**}$)], [출현에서 7월20일까지의 강수일수 ($r=0.138^{**}$)] 의 순서로 정의 상관이 높았으며, 일조시간은 [개화에서 8월20일까지의 일조시간 ($r=0.212^{**}$)] 가 가장 높은 정의 상관을 나타내었다.

3. 회귀분석

작성된 데이터셋(568행 × 110열)을 이용하여 10a당 수량을 종속변수로 하고, 생육요인과 기상요인을 각각 회귀분석 기법 중 단계분석을 통해 분석한 회귀방정식은 (표 4)와 같으며, 생육요인을 이용한 수량 회귀방정식은 6항목, [9월20일 립수/㎡], [7월20일 개체수/㎡], [9월20일 분지수], [9월20일 착협수], [7월20일 초장], [7월20일 개체당절수]를 이용하고 있으며, 이는 지속적인 생육조사를 통해 예측가능하며, 결정계수 R^2 은 0.309^{**} 로 나타났으며, 기상요인을 이용한 수량 회귀방정식은 [개화-920 적산온도], [출현- 920 일조시간], [개화-920 강수일수], [출현-820 일조시간], [출현-개화 적산온도], [출현-820 적산온도], [개화-820 강수일수], [개화-920 일조시간], [파종-820 강수일수], [출현-720 적산온도], [파종-개화 일조시간], [파종-920 적산온도] 12항목을 이용하고 있으며, 결정계수 R^2 은 0.249^{**} 로 나타났다.

표 4. 수량예측을 위한 회귀방정식(단계분석 기법 적용)

○ 수량-생육요인 : 9월20일 수량과 시기별 생육특성(작황보고 조사항목)

$$\begin{aligned}
 9\text{월}20\text{일수량}/10a &= 1.257 \times [9\text{월}20\text{일 립수}/\text{m}^2] + 1.627 \times [7\text{월}20\text{일 개체수}/\text{m}^2] \\
 &- 7.531 \times [9\text{월}20\text{일 분지수}] - 1.357 \times [9\text{월}20\text{일 착협수}] \\
 &+ 0.762 \times [7\text{월}20\text{일 초장}] - 4.354 \times [7\text{월}20\text{일 개체당절수}] \\
 &+ 166.772 \quad (R^2 = 0.309^{**})
 \end{aligned}$$

○ 수량-기상요인 : 9월20일 수량과 시기별 기상요인

$$\begin{aligned}
 9\text{월}20\text{일수량}/10a &= 0.522 \times [\text{개화-920 적산온도}] - 1.076 \times [\text{출현- 920 일조시간}] \\
 &- 3.761 \times [\text{개화-920 강수일수}] + 0.557 \times [\text{출현-820 일조시간}] \\
 &+ 0.572 \times [\text{출현-개화 적산온도}] - 0.496 \times [\text{출현-820 적산온도}] \\
 &+ 4.346 \times [\text{개화-820 강수일수}] + 0.669 \times [\text{개화-920 일조시간}] \\
 &- 0.033 \times [\text{파종-820 강수일수}] + 0.120 \times [\text{출현-720 적산온도}] \\
 &+ 0.378 \times [\text{파종-개화 일조시간}] - 0.140 \times [\text{파종-920 적산온도}] \\
 &+ 118.590 \quad (R^2 = 0.249^{**})
 \end{aligned}$$

4. 모델 설정

작성된 데이터셋(568행 × 110열)을 이용하여 수량예측을 위한 회귀방정식을 도출하였으나, 결정계수가 0.309, 0.249 정도로 낮게 나타나는 것은 공시품종이 31종으로 지역별로 서로 다른 품종을 사용하고 있으며, 같은 지역에서도 다른 품종을 재배하고 있어 이에 따른 수량의 차이가 나타난 것으로 판단된다. (그림 6)은 공시품종별 적산온도를 나타낸 것으로 적산온도가 높은 것과 낮은 것을 확인 할 수 있어, 이에 따른 편차가 수량에 일부 영향을 미친 것으로 판단된다.

모델의 정밀도향상을 위해 지역별 모델을 검토하기 위해 지역별 회귀방정식의 결정계수 및 기상변수의 개수를 검토하였다. 검토 결과는 (표 5)와 같이 나타났으며, 회귀분석 기법을 검토하였을 때 input 기법은 결정계수를 높이는 변수를 모두 추가하는 기법으로 대체로 결정계수(R^2)가 높고, 변수의 개수가 많은 편이며, stepwise(단계분석) 기법은 상관계수가 5%이상인 변수를 추가하는 기법으로, 일반적인 통계적 기법을 적용시 stepwise 기법을 주로 적용하고 있으며, 검토결과도 일반적인 결과와 같이 input 기법에서 결정계수가 높고, 기상변수 개수가 많은 것으로 나타났다.

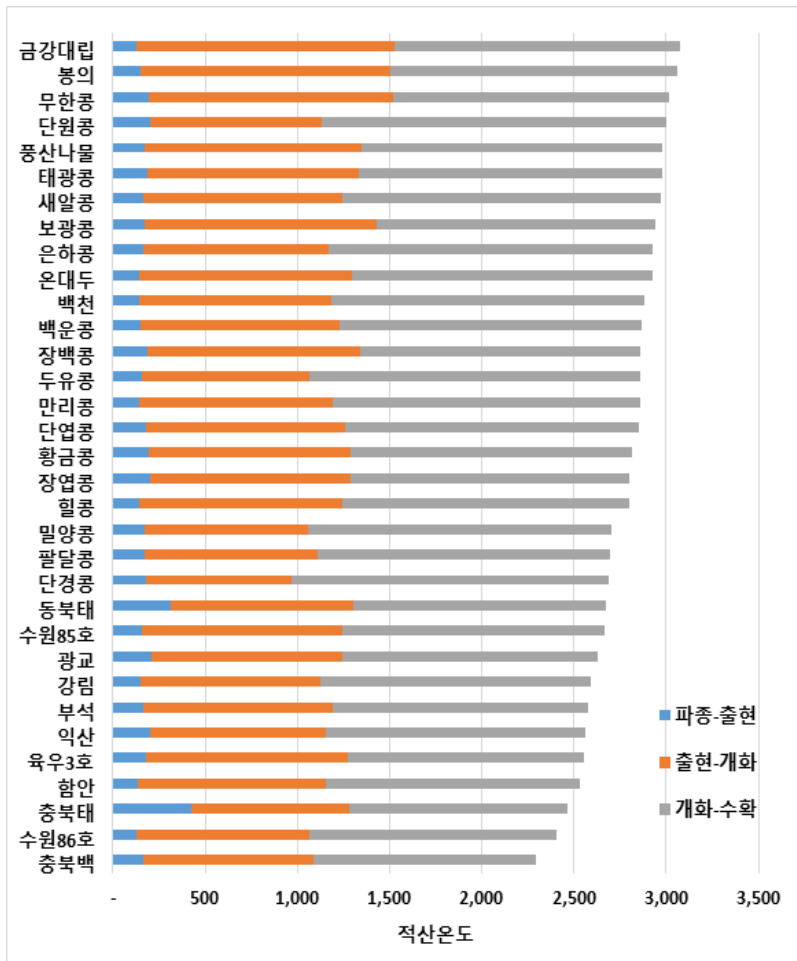


그림 6. 콩 작황조사 공시품종의 시기별 적산온도 비교

표 5. 모델 정밀도 향상을 위한 지역별 지역별 회귀방정식 변수 및 계수 검토

시도	회귀분석 방 법	결정계수 (R ²)	기상변수 개 수	조사지역지역
전국	input	0.302	38	
	stepwise	0.249	12	
강원	input	0.921	27	춘천(32), 홍천(17)
	stepwise	0.744	5	
경기	input	0.858	36	수원(90), 연천(32)
	stepwise	0.457	6	
경남	input	0.667	36	밀양(59), 진주(33), 함양(15)
	stepwise	0.236	1	
경북	input	0.826	24	안동(18), 대구(33)
	stepwise	0.468	3	
전남	input	0.923	27	광주(24), 해남(14)
	stepwise	0.678	3	
전북	input	0.757	35	익산(71), 진안(14)
	stepwise	0.194	1	
제주	input	1	11	제주(12)
	stepwise	0.964	4	
충남	input	0.958	27	예산(18), 유성(33)
	stepwise	0.859	8	
충북	input	0.885	28	제천(32), 청주(17)
	stepwise	0.385	1	

(표 5)의 내용을 검토하면, stepwise 기법의 결정계수와 기상변수 개수를 고려할 때, 경남, 전북, 충북지역은 결정계수가 높으나, 기상변수 개수가 1로 나타나 합리적인 모델로 보기 곤란하였으며, 제주의 경우 input 기법의 결정계수가 1로 나타나 이는 제주라는 특이적 기후와 과적합으로 판단되었다.

이를 통해 강원, 경기, 경북, 전남, 충남 지역의 경우는 지역별 모델 작성이 가능하였으며, 경남, 전북, 충북, 제주지역은 전국 모델로 적용하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.

5. 모델 검증 및 확정

설정된 콩 생산성 모델의 검증을 위해 공개된 농진청 빅데이터 조사자료를 활용하여 검토하였다. 농진청 빅데이터 콩 자료는 강원, 충북 지역에서 조사되어, 강원, 충북지역 모델을 (표 6)과 같이 작성하고, 농진청 빅데이터 콩 조사자료를 전국 및 지역별로 입력하여 검토하였다.

표 6. 모델 정밀도 향상을 위한 지역별 지역별 회귀방정식 변수 및 계수 검토

지역	회귀식
전국	$= 0.522 \times [\text{개화-920 적산온도}] - 1.076 \times [\text{출현- 920 일조시간}] - 3.761 \times [\text{개화-920 강수일수}] + 0.557 \times [\text{출현-820 일조시간}] + 0.572 \times [\text{출현-개화 적산온도}] - 0.496 \times [\text{출현-820 적산온도}] + 4.346 \times [\text{개화-820 강수일수}] + 0.669 \times [\text{개화-920 일조시간}] - 0.033 \times [\text{파종-820 강수일수}] + 0.120 \times [\text{출현-720 적산온도}] + 0.378 \times [\text{파종-개화 일조시간}] - 0.140 \times [\text{파종-920 적산온도}] + 118.590$ $(R^2 = 0.249^{**})$
강원	$= 2.381 \times [\text{출현-개화 일조시간}] - 3.98 \times [\text{파종-개화 강수일수}] + 3.496 \times [\text{개화-920 일조시간}] - 3.308 \times [\text{출현-920 일조시간}] + 0.38 \times [\text{파종-개화 일조시간}] + 430.932$ $(R^2 = 0.744^{**})$
충북	$= 0.218 \times [\text{개화-820 일조시간}] - 178.143$ $(R^2 = 0.385^{**})$

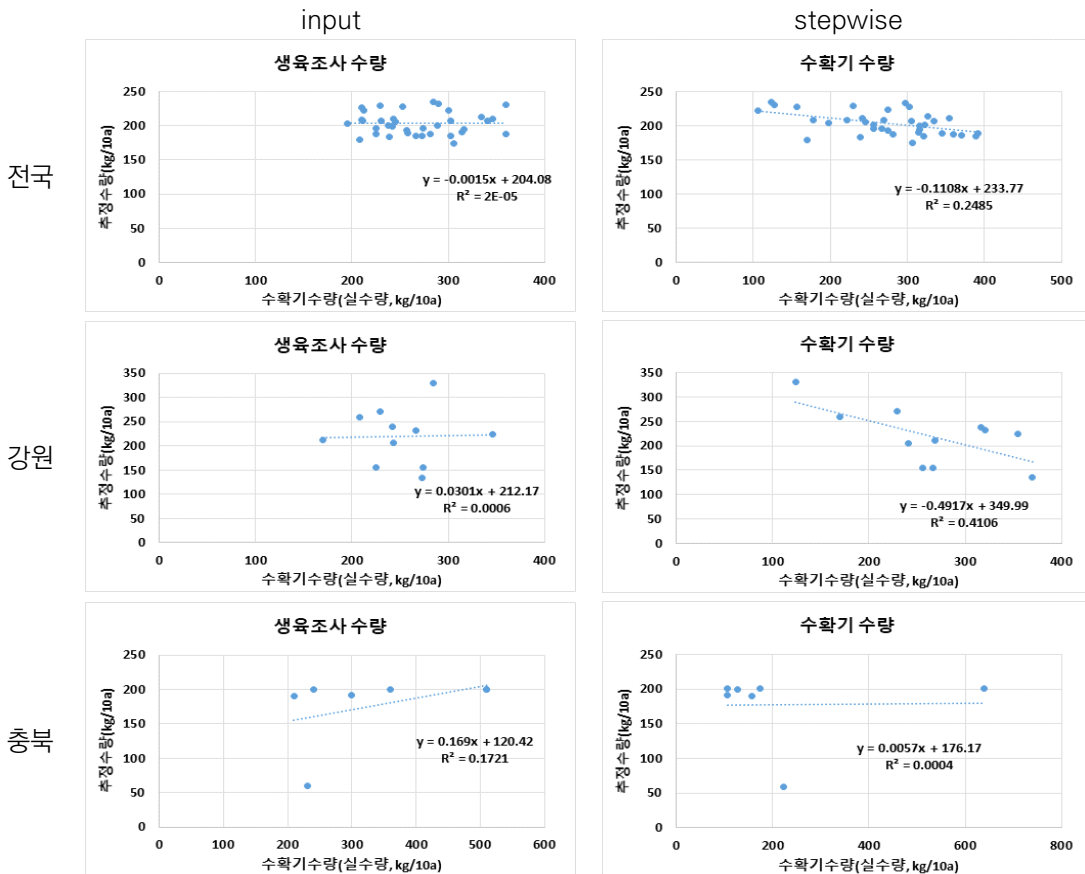


그림 7. 콩 생산성 향상 모델 검정을 위한 모델별 검토 비교

검토한 결과는 (그림 7)과 같이 나타났으며, 강원지역의 경우 stepwise 기법의 회귀방정식 모델이 실증자료를 입력한 경우 예측값과 실측값을 비교하였을 때 결정계수(R^2)가 0.4106으로 나타나 모델의 결정계수(R^2) 0.744 보다 낮게 나타났으며, 충북의 경우 수량예측 모델은 통계적으로 유의하지 않은 결과를 나타내었다. 전국을 대상으로 한 모델의 경우, 예측값과 실측값을 비교하였을 때 결정계수(R^2)가 0.2485로 나타나 모델의 결정계수(R^2) 0.249와 비슷하게 나타나 통계적으로 유의미한 결과를 나타내었다.

따라서 모델은 전국을 대상으로 기상요인 12항목을 적용하는 회귀방정식을 기반으로 하는 콩 생산성 모델을 확정하였다. 추가적인 연구를 통해 정밀도의 향상이 필요할 것으로 생각된다.

정밀도 향상을 위한 고려사항으로는 품종 정보 및 토성, 배수 등급, 토양양분 정보 등을 포함하는 토양관리 요인(최 등, 2019; 최 등 2020)을 고려해야 할 것으로 판단된다.

(시험 2) 강원지역 콩 디지털 농업 테스트베드 구축 및 평가

본 시험은 노지 콩 디지털 농업테스트베드를 강원지역에 구축하고 시범운영후 평가하는 내용으로 구성되었다.

1. 테스트베드 구축

테스트베드 구축시 적용할 수 할 수 있는 기술은 (그림 8)과 같이 지중점적(2), 땅속배수(1), 기계화(4), 재배관리(4), 통합관제시스템(1)의 5개 적용기술과 12개 세부기술이며, 강원지역에 적용된 기술은 자동관개시스템, 지하수위제어시스템, 예찰용 스마트트랩, 생육용 드론생육진단, 그리고 통합모니터링 제어 기술, 5개 세부기술이 적용되었다.

적용 기술	세부 기술	테스트베드(주관)			현장확산(외부)		
		1차년도 (2022)	2차년도 (2023)	3차년도 (2024)	1차년도 (2022)	2차년도 (2023)	3차년도 (2024)
지중점적(밭)	자동관개시스템						
	관비시스템			관비시스템 연계			
땅속배수(논)	지하수위제어시스템						
기계화	기계파종		자율주행트랙터				
	잡초방제(봄스프레이어)						
	드론 잡초방제(토양)						
	콤바인수확			자율주행기트콤바인			
재배관리	예찰			카운팅 기능			
	방제			드론스팀이전 연계			
생육	생육측정(LiDAR)						
	드론 생육진단						
통합관제시스템	통합 모니터링 제어						

그림 8. 노지 디지털농업 테스트베드 적용기술

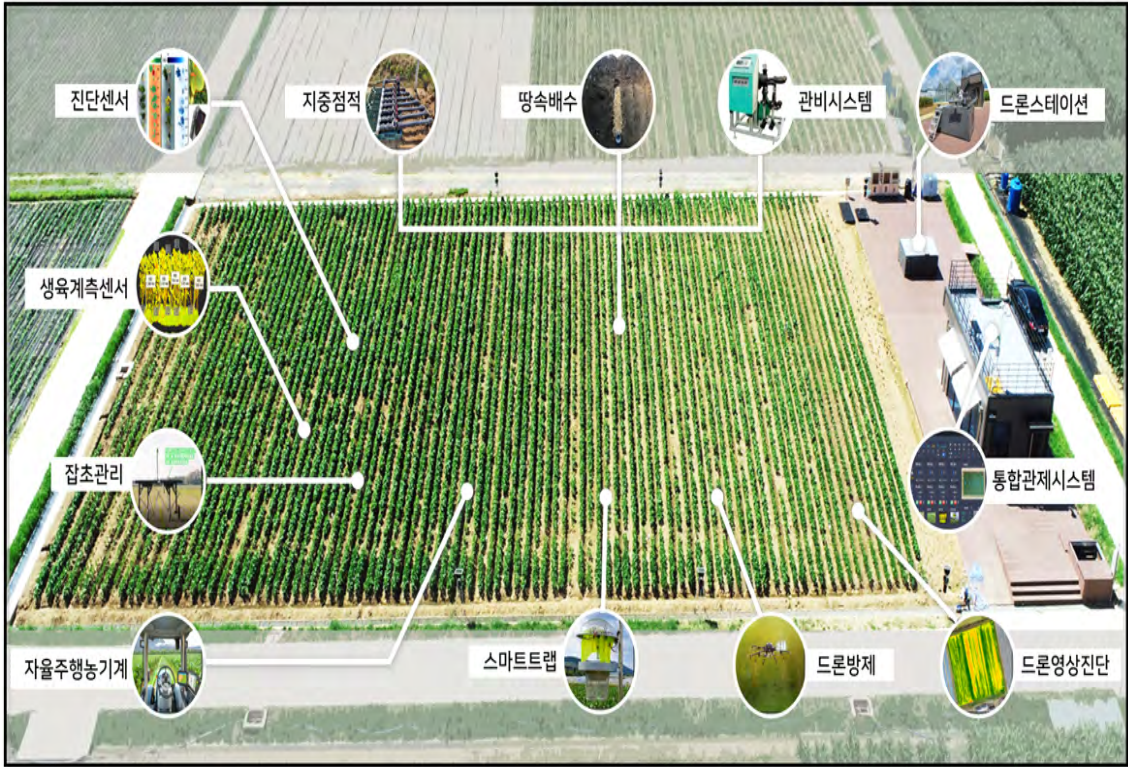


그림 9. 국립식량과학원 남부작물부 시험연구포장 기술 적용 개략도

연구주관기관인 국립식량과학원 남부작물부 시험연구포장에 적용된 기술 개략도는 (그림 9)와 같으며, 앞서 나타난 노지 디지털농업에 적용되는 모든 기술이 적용되어 있다.

표 7. 강원지역 테스트베드 구축 현황

구분	설치장소	면적 (㎡)	주요시설 및 장비	파종	투입기술
2023	지중점적 농업기술원 전작포장 (춘천)	2,500	제어실, 물통	'24.6.5. 대왕2호	지중점적 스마트예찰 드론생육진단. 통합관제
	땅속배수 농업기술원 답작포장 (춘천)	954	지하수위시스템, 배수펌프	'24.6.5. 대왕2호	땅속배수 드론생육진단. 통합관제
2024	지중점적 영월군 옥동리 농가포장	4,000	제어반, 물통	'24.6.20. 대왕2호	지중점적 통합관제

이러한 기술을 적용하여 2023년 춘천 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장의 전작포장 1개소, 지중점적, 스마트예찰, 드론생육진단, 통합관제시스템 세부기술을, 답작보장 1개소에 땅속배수, 드론생육진단, 통합관제시스템 세부기술을 적용 구축하였고, 2024년 영월 옥동리 농가포장에 지중점적, 통합관제시스템 세부기술을 적용 구축하였다(표 7).

2. 테스트베드 평가

구축된 콩 디지털농업 테스트베드의 평가를 위해 수확기 수량을 조사한 결과는 (표 8)과 같이 나타났으며, 디지털농업 기술이 적용된 테스트베드 시험구에서 대조 시험구보다 10a당 수량이 높았음을 확인할 수 있었다. 춘천지역 지중점적 테스트베드 시험구는 대조구에 비해 14.0%, 땅속배수 테스트베드 시험구는 28.5% 증가하였으며, 영월지역 춘천지역 지중점적 테스트베드 시험구는 대조구에 비해 21.7% 증가하였다. 지중점적 기술의 경우, 적정 수분공급에 따른 수량향상과 함께, 여름철 토양수분에 따른 토양온도를 감소시키는 효과도 확인 되었다. 영월의 경우 농가사정에 따라 지속적인 수분공급이 되지 않았음에도 수량이 증가한 것은 여름철 집중호우시기에 지중점적 시스템 조성시 추가 되는 보호관로를 따라 일부 지중 배수효과가 있었던 것으로 판단된다.

표 8. 강원지역 콩 수확시 수량(2024)

구분	면적 (㎡)	주수 (개/㎡)	분지수 (개)	주경		분지경		개체당 립수 (개)	개체당 립중 (g)	수량 (kg/10a)	
				꼬투리 수 (개)	립수 (개)	꼬투리 수 (개)	립수 (개)				
춘천	지중점적	2,500	13.33	6.3	23.5	32.8	17.6	25.1	57.9	21.3	284.3
	땅속배수	954	13.57	4.9	21.5	38.4	19.4	32.9	71.3	23.6	320.3
	춘천대조	675	12.55	5.7	21.9	31.8	11.4	18.0	49.8	18.7	249.3
영월	지중점적	4,000	9.5	10.1	21.8	34.9	48.4	80.4	115.3	38.6	366.7
	영월대조	4,000	9.4	10	23.0	31.3	41.8	64.0	95.3	31.4	301.4

구축된 콩 디지털농업 테스트베드를 운영하고, 결과를 평가하여 검토 의견을 작성하였다(표 9). 검토는 세부 기술별로 설치 용이성, 현장 적용성, 개선 사항으로 작성하였으며, 드론 생육 진단의 경우 현장에서 결과를 해석하는 데 시간이 걸려 검토 의견에는 제외하였으나, 추가적인 데이터의 축적과 진단 후 바로 현장에 피드백할 수 있는 시스템의 구축이 필요하였다.

세부 기술별 검토 결과, 땅속배수시스템의 경우 논 등 침수가 잦거나 지하수위의 조절이 필요한 곳에 사용하는 것으로, 암거배수관의 설치에 시간과 재정이 필요하나 수위 조절 시스템의 설치에 용이하였다. 토양 및 지형의 배수 특성을 고려하여 설치할 경우 수위 조절에 효과가 있는 것으로 판단되었다.

지중점적시스템은 밭에 적용 가능하며, 점적 호스의 설치에 시간과 재정이 투입되었으나, 한 번 설치된 경우 농기계 작업 등이 가능하였다. 다만, 토양 수분 센서의 위치 선정 및 관리가 필요하였다. 원격 관제 시스템의 경우 인터넷 통신과 관련이 있었으며, 통신이 안정될 경우 매우 안정적으로 운영되었으나, 시스템 장애 발생 시 알람 기능이 없어 개선이 필요하였다. 스마트 예찰 트랩은 특정 해충의 출현을 알려주는 좋은 기술이나, 곤충에 따른 적용 페로몬의 유무에 따라 달라지며, 페로몬의 교체 주기 등을 사용자가 직접 관리해야 하는 단점이 있어 이를 보완할 필요가 있었다.

세부 기술을 포함하여 테스트베드를 구축하고 운영한 결과를 종합적으로 검토하였을 때, 노지 디지털농업의 확산을 위한 기반으로 전력망, 통신망, 관수망이 구축되어야 할 것으로 판단되었다. 장점으로 는 인력 소비가 감소하였고, 적정 환경 관리가 가능하였으며, 생산성이 향상된다는 점이 있었다.

그러나 세부 기술별로 땅속 배수 시스템의 경우, 땅속 환경을 고려하여 설치해야 하며, 이를 제대로 고려하지 못할 경우 효과를 보지 못할 수도 있다.

즉, 배수가 잘되는 논에 무조건 설치할 경우 배수 장치가 전혀 작동하지 않는 경우가 발생하였으며, 토성에 따라 암거 설치 위치를 고려하지 않고 깊이 설치할 경우 배수가 되지 않는 상황도 발생하였다. 지중 점적의 경우 일반 점적 관수에 비해 관수량이 3~10배 많이 들어가는 것이 확인되었으며, 원격 관제 시스템의 경우 인터넷이 되지 않거나 시스템 서버에 연결되지 않았을 때 알람 기능이 없어 문제를 인식하는 것이 어려웠다.

표 9. 콩 디지털농업 테스트베드 검토의견

구분	설치용이성	현장적용성	개선사항
땅속배수 시스템	- 논 등 침수가 잦거나 수위가 낮은 논 밭에 적합	- 배수특성 고려 필요 - 사질논의 경우 효과 낮음 - 지하수위 센서 관리 필요	- 측정데이터의 전송이 쉽도록 개선 필요
지중점적 시스템	- 밭에 적합	- 용수 다량 소요 토양수분센서 설치 위치 선정 고려필요	- 데이터 전송방법 개선 - 토양별, 센서위치별 수분함량값 제안 필요
원격관제 시스템	- 통신이 잘되는 경우 안정적	- 무선통신 필요 - 기본적인 전기설비 완료 필요	- 시스템 장애시 알람 필요 - 인터넷 필요, 비용절감 방법 방안 필요
스마트 트랩	- 페로몬 트랩으로 특정해충 포집	- 적용 페로몬 제안 필요 - 페로몬 교체시기 알람 필요	- 시스템으로만 접근 가능, - 기기 자체 저장 또는 사용자에게 직접 전송 등 필요

〈Q〉 제6세부과제 : 강원지역 콩 디지털농업 시스템 구축 및 현장 실증

(시험 1) 콩 데이터 기반 생산성 향상 모델

- 가. 1980~2000년 콩 작황조사 자료와 기상 데이터를 기반으로 생산성 예측 모델을 개발하고자, 자료수집, 전처리, 데이터셋 작성, 상관분석, 회귀분석, 모델 도출, 설정, 검증 그리고 모델 확정의 과정을 거친다.
- 나. 콩 작황관련 40 항목과 기상 70항목으로 568행, 110열로 이루어진 데이터셋을 구성하였다.
- 다. 수량과 생육요인에 대한 상관관계 분석결과, [8월 20일 초장 ($r=0.412^{**}$)], [9월 20일 립수/개체 ($r=0.242^{**}$)], [수확기 립수/개체($r=0.307^{**}$)]. [7월 20일 개체수/㎡($r=0.236^{**}$)], [9월 20일 개체수/㎡($r=0.236^{**}$)], [8월 20일 개체수/㎡($r=0.220^{**}$)], [8월 20일 입경비율 ($r=0.208^{**}$)]의 순으로 나타났다.
- 라. 수량과 기상요인 대한 상관관계 분석결과, 평균온도는 [개화에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.308^{**}$)], [개화에서 8월20일까지의 평균온도 ($r=0.182^{**}$)], [출현에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.181^{**}$)], [파종에서 9월20일까지의 평균온도 ($r=0.149^{**}$)] 의 순서로 정의 상관이 높았으며, 적산온도는 [개화에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.286^{**}$)], [개화에서 8월20일까지의 적산온도 ($r=0.247^{**}$)], [파종에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.228^{**}$)], [출현에서 9월20일까지의 적산온도 ($r=0.207^{**}$)]의 순서로 정의 상관이 높았으며, 누적강수량은 [출현에서 개화까지의 누적강수량 ($r=-0.100^{*}$)], [파종에서 개화까지의 누적강수량 ($r=-0.091^{*}$)] 의 순서로 부의 상관이 높았으며, 강수일수는 [파종에서 7월20일까지의 강수일수 ($r=0.145^{**}$)], [출현에서 7월 20일까지의 강수일수 ($r=0.138^{**}$)] 의 순서로 정의 상관이 높았으며, 일조시간은 [개화에서 8월 20일까지의 일조시간 ($r=0.212^{**}$)] 가 가장 높은 정의 상관을 나타내었다.
- 마. 설정된 콩 생산성 모델의 검증을 위해 공개된 농진청 빅데이터 조사자료를 활용하여 검토한 결과, 지역별 설정모델의 경우 강원 등 일부지역을 제외하고 통계적 유의성을 확인할 수 없었으나, 전국을 대상으로 한 모델은 예측값과 실측값을 비교하였을 때 결정계수(R^2)가 0.2485로 나타나 모델의 결정계수(R^2) 0.249 와 비슷하게 나타나 통계적으로 유의미한 결과를 나타내어, 전국을 대상으로 기상요인 12항목을 적용하는 회귀방정식을 기반으로 하는 콩 생산성 모델을 확정하였다.
- 바. 정밀도 향상을 위해서는 품종 정보 및 토성, 배수 등급, 토양양분 정보 등을 포함하는 토양관리 요인을 고려해야 한다.

(시험 2) 강원지역 콩 디지털 농업 테스트베드 구축 및 평가

- 가. 노지 콩 디지털 농업 테스트베드를 강원지역에 구축하고 시범운영 후 평가하였다.
- 나. 2023년 춘천 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장의 전작포장 1개소, 지중점적, 스마트예찰, 드론생육진단, 통합관제시스템 세부기술을, 답작포장 1개소에 땅속배수, 드론생육진단, 통합관제 시스템 세부기술을 적용 구축하였고, 2024년 영월 옥동리 농가포장에 지중점적, 통합관제시스템 세부기술을 적용 구축하였다.

- 다. 디지털농업 기술이 적용된 테스트베드 시험구에서 대조 시험구보다 10a당 수량이 높았으며, 춘천 지역 지중점적 테스트베드 시험구는 14.0%, 땅속배수 테스트베드 시험구는 28.5% 증가하였으며, 영월지역 지중점적 테스트베드 시험구는 21.7% 증가하였다.
- 라. 세부 기술별 검토 결과, 땅속배수시스템은 논 등에 적용가능하며, 암거배수관의 설치에 시간과 재정이 필요하나 수위 조절 시스템의 설치는 용이하였다. 토양 및 지형의 배수 특성을 고려하여 설치할 필요가 있다. 지중점적시스템은 밭에 적용 가능하며, 점적 호스의 설치에 시간과 재정이 투입되었으나, 한 번 설치하면, 15년 정도 사용 가능하고, 농기계 작업 등에 유리하다. 토양 수분 센서의 위치 선정 및 관리가 필요하다. 원격관제시스템은 안정된 인터넷 통신과 전기시설이 반드시 필요하다. 해충 예찰용 스마트트랩은 특정 해충의 출현을 알려주는 좋은 기술이나, 역시 안정된 인터넷 통신과, 적용 페로몬의 유무와 교체 주기 등을 사용자가 직접 관리해야 하는 단점이 있어 이를 보완할 필요가 있다.

5 인용문헌

- 고지연, 백인열, 강범규, 서정연, 윤영남, 장윤우, 이휘중, 윤희태, 한원영. 2021. 농업기술길잡이 173. 콩. 농촌진흥청.
- 김지용, 김문주, 조현욱, 이배훈, 조무환, 김병완, 성경일. 2021. 수량예측모델을 통한 Alfalfa 수량에 영향을 미치는 기후요인 및 토양요인의 기여도 평가. 41(1), 47-55. 한국초지조사료학회지.
- 성경일, 최기준, 김경대. 2019. 목초 및 사료작물의 생산수량 예측식 정밀화 및 농가용 앱 개선연구. 국가 R&D 연구보고서. 강원대학교.
- 이상훈. 기후변화 대응 노지 발작물의 관수비용 절감을 위한 지중 점적관 국산화 기술 개발. 국가 R&D 연구보고서. 농촌진흥청.
- 최기준, 이기원, 최기춘, 황태영, 김지혜, 김원호, 이은자, 성경일, 정종성. 2019. 중부 및 남부지역에서 재배환경과 재배기술의 차이가 사료용 옥수수의 생산성에 미치는 영향. 39(4) 195-206. 한국초지조사료학회지.
- 최기준, 정종성, 최기춘, 황태영, 김지혜, 김원호, 이은지, 성경일, 이기원. 2020. 중부 및 남부지역에서 초지환경과 관리기술의 차이가 초지의 생산성에 미치는 영향. 40(2), 87-97. 한국초지조사료학회지.
- 한길수, 류종수, 박재성, 박진기, 서은지, 송득영, 원옥재, 홍서연. 노지발작물 디지털농업 테스트베드 구축 연구. 국가 R&D 연구보고서. 국립식량과학원.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목							
2024(3년)	영농정보	공 작황조사자료를 이용한 공 기상-수량 예측 모델							
성과지표	연도	1년차 (2022)		2년차 (2023)		3년차 (2024)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
영농 활용	기술	-	-	-	-	-	-	-	-
	정보	-	-	-	-	1	1	1	1
홍보		5	6	5	-	5	1	15	7
현장컨설팅		1	2	1	-	-	-	2	2
계		6	8	6	-	6	2	18	10

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
					'22	'23	'24
과제책임자	국립식량과학원 남부작물부	농업연구관	박진기	과제 총괄	○	○	○
세부책임자	연구협력과	농업연구사	김경대	세부주관 수행		○	○
	연구협력과	"	최병곤	"		○	
	옥수수연구소	"	노희선	"	○		
공동연구자	연구협력과	농업연구사	맹진희	시험수행 및 평가	○	○	
	연구협력과	"	홍성유	품질조사 지원	○	○	
	연구협력과	농업연구사	김용복	품질조사 지원	○		
	연구협력과	"	이원경	시험수행 및 평가			○
	연구협력과	"	박소현	품질조사 지원	○		○
	연구협력과	"	최주영	품질조사 지원			○
	작물연구과	"	이지애	시험포장 운영	○	○	○
	연구협력과	농업연구관	함진관	시험수행 및 평가	○	○	○
	작물연구과	"	임수정	품질조사 지원		○	○
	작물연구과	"	김용복	품질조사 지원	○	○	○
	연구협력과	공무직	김희진	평가분석 지원	○	○	○
	연구협력과	"	손연희	평가분석 지원	○	○	
	연구협력과	"	박은정	현장조사 지원	○	○	○
연구협력과	"	박영숙	현장조사 지원		○	○	