

평년기상을 활용한 우리나라의 콩 재배지역 구분

윤동경¹ · 박재성^{2,†} · 서진희² · 원옥재² · 최만수³ · 이현수² · 이채원⁴

Classification of Cultivation Region for Soybean (*Glycine max* [L.]) in South Korea Based on 30 Years of Weather Indices

Dong-Kyung Yoon¹, Jaesung Park^{2,†}, Jinhee Seo², Okjae Won², Man-Soo Choi³, Hyeon Su Lee², and Chaewon Lee⁴

ABSTRACT A region can be divided into cultivation zones based on homogeneity in weather variables that have the greatest influence on crop growth and yield. This study classified the cultivation zone of soybean using weather indices as a prior study to classify the agroclimatic zone of soybean. Meteorological factors affecting soybeans were determined through correlation analysis over a 10 year period (from 2013 to 2022) using data from the Miryang and Suwon regions collected from the soybean yield trial database of the Rural Development Administration, Korea and the meteorological database of the Korea Meteorological Administration. The correlation between growth characteristics and the minimum temperature, daily temperature range, and precipitation were high during the vegetative growth stages. Moreover, the correlation between yield components and the maximum temperature, daily temperature range, and precipitation were high during the reproductive growth stages. As a result of k-means clustering, soybean cultivation zones were divided into three zones. Zone 1 was the central inland region and southern Gyeonggi-do; Zone 2 was the southern part of the west coast, the southern part of the east coast, and the South Sea; and Zone 3 included parts of eastern Gyeonggi-do, Gangwon-do, and areas with high altitudes. Zone 1, which has a wide latitude range, was further subdivided into three cultivation zones. The results of this study may provide useful information for estimating agrometeorological characteristics and predicting the success of soybean cultivation in South Korea.

Keywords : agricultural geography, climate factor, cultivation zone, k-means clustering, soybean

우리나라는 다양하고 복잡한 지형적 특성을 가지고 있어 기후 특성으로 지역을 구분하고 분석하는 연구가 꾸준히 수행되어 왔다(Park & Moon, 1998; Lee et al., 2005; Park et al., 2009). 지리정보 관점에서 살펴보면 Geographic Information System (GIS)를 이용하여 기후지역을 구분한 연구에서 남한의 기후환경을 3구분으로 유형화시킨 결과를 제시하였다(Park & Moon, 1998). Lee et al. (2005)은 우리나라의 기후에 영향을 미치는 지리적 인자와 식생, 작물, 가옥 구조

의 지리적 분포를 조사하여 우리나라를 총 48개의 상세기후지역으로 구분한 바 있으며, 기상학 관점에서 기온, 강수 특성과 같은 기상요소들을 고려하여 군집분석을 통해 남한의 기후지역을 구분한 보고도 있다(Park et al., 2009). 농업 분야에서는 농업과 밀접한 관계를 가지는 기후조건인 농업 기후지수를 분석하는 연구(Ahn et al., 2010)가 주로 이루어져 농업기후지수를 바탕으로 작물의 수확량을 예측하는 연구(Kim et al., 2015)와 벼를 기준으로 기후변화가 농업

¹⁾국립식량과학원 남부작물부 생산기술개발과 박사후연구원 (Postdoc, Crop Production Technology Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

²⁾국립식량과학원 남부작물부 생산기술개발과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Crop Production Technology Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

³⁾국립식량과학원 남부작물부 생산기술개발과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Crop Production Technology Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

⁴⁾국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Crop Cultivation and Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Korea)

[†]Corresponding author: Jaesung Park; (Phone) +82-55-350-1278; (E-mail) phsr1234@korea.kr

<Received 18 January, 2024; Revised 21 February, 2024; Accepted 21 February, 2024>

기후지수에 미치는 영향(Shim *et al.*, 2008) 등의 연구가 수행되었다.

농업기후지대는 기후대별로 재배하기에 적합한 작물과 품종을 주요 기후 인자 및 생육 특성의 관점에서 구분하는 것으로 기후 요소의 동질성을 바탕으로 구분할 수 있으며 (Jung *et al.*, 2015; Jung *et al.*, 2019a), 농업적으로 기후지대 및 재배지역을 구분하는 것은 그 지역에 적합한 작물과 품종 선택 등을 판단하는 지표가 될 수 있기 때문에 농업 생산력과 안정성 제고에 기여할 수 있다(Jung *et al.*, 2015; Jung *et al.*, 2019a). 그러나 우리나라에서 농업기후지대에 관한 연구는 대부분 대기학적 관점이나 주식작물인 벼를 중심으로 이루어져 왔다(Choi & Yun, 1989; Chang *et al.*, 2015; Shim *et al.*, 2014). Choi *et al.* (1985)은 우리나라의 10년 간의 기후 자료를 이용하여 벼 재배를 위한 농업기후지대를 19개로 구분하였고, Jung *et al.* (2019b)은 농업기후지대를 바탕으로 논 농업에서의 증발산량을 추정하고 분석하였다.

한편, 지속적인 논 중심의 농업 구조는 쌀 수급 불균형 문제를 발생시켜 우리나라의 사회적 문제로 대두되었다(Woo *et al.*, 2011). 따라서 정부는 논에 밭작물 재배를 권장하여 쌀 과잉을 줄이는 동시에 밭작물의 자급력 또한 높일 수 있는 밭작물 재배 관련 연구를 추진하고 있다(Cho *et al.*, 2006; Seo *et al.*, 2010; Woo *et al.*, 2011). 그 중에서도 특히 소득 면에서 중요한 작물 중 하나인 콩을 논에서 재배하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다(Kim *et al.*, 2007; Lee & Kang, 2001). 콩과 관련된 국내의 기후적 연구로는 경기북부지역에서 작성된 정밀 수치기후도를 기반으로 생육을 모의하여 해당지역에 적합한 품종과 수량 등을 탐색한 사례(Kim *et al.*, 2004), 기상 정보와 작물재배 모형에 의한 농업기상학적 작황 진단(agrometeorological crop forecasting) 기법을 이용하여 발육단계와 잠재수량을 예측한 사례(Kim *et al.*, 2012) 및

작물 생육 모델을 이용하여 개화시기와 잠재수량(Chung *et al.*, 2017)을 예측한 보고(Ban *et al.*, 2017) 등이 있다. 그러나 이들 보고는 작물 생육 모델을 이용한 수확량 예측이 주된 연구로 실제 재배를 위한 재배 지역 구분을 중심으로 한 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라의 주요 밭작물 중 하나인 콩의 지역별로 기상에 맞는 재배 양식 개발을 위한 농업기후지대 구분의 선행 연구로 기상 및 작황시험 생육 정보로 재배지역 구분을 수행하였다.

재료 및 방법

콩 작황시험 자료

콩 생육 및 수량에 영향을 미치는 기상요소를 추출하기 위해 밀양과 수원에서 2013년부터 2022년의 작황시험 자료를 활용하였다(Table 1). 매년 6월 20일에 파종한 대원콩의 생육특성, 수량구성요소 및 수량과 각 연도의 기상자료를 이용하여 기상요소를 추출하였다. 경장, 경태, 분지수 및 주경절수는 영양생장기인 6~7월 기상과 비교를 하였고, 개체당 협수, 협당 립수, 백립중 및 수량은 생식생장기인 8~10월 기상과 비교하였다. 또한 지역을 세분화하기 위해 연천, 수원, 청주, 전주, 밀양, 나주 6개 지역에서 2019년부터 2022년까지 매년 6월 20일 파종한 대원콩 작황 데이터를 활용하였다.

기상 자료

재배지역 구분을 위한 기상자료는 기상청 기상자료개발포털(data.kma.go.kr)에서 제공하는 월별 평년 기상자료(1991~2020)를 이용하였고, 종관기상관측장비를 이용해 기상 정보를 측정하는 종관기상대 85개소 지역과 자동기상관측장비를 이용해 기상 정보를 측정하는 방재기상대 134개소의

Table 1. Growth and yield components of ‘Daewon’ soybean sown on June 20 from 2013 to 2022 in the Miryang and Suwon regions.

| Components | Index | Region | | t-test | P-value |
|----------------------------|-------------------------------|----------|----------|--------|---------|
| | | Miryang | Suwon | | |
| Growth components | Stem length (cm) | 61±16.3 | 65±15.0 | 0.829 | 0.214 |
| | Stem diameter (mm) | 7.3±0.8 | 7.0±1.1 | -1.121 | 0.146 |
| | No. of branches | 2.9±0.9 | 3.1±1.2 | 0.322 | 0.377 |
| | No. of nodes | 13.2±0.9 | 14.4±1.1 | 4.616* | 0.001 |
| Yield and yield components | No. of pods per plant | 45±10.9 | 62±20.3 | 2.138* | 0.031 |
| | No. of seeds per pod | 1.66±0.3 | 1.73±0.1 | 0.626 | 0.273 |
| | 100-seed weight (g) | 25.3±4.1 | 25.6±3.3 | 0.197 | 0.424 |
| | Yield (kg 10a ⁻¹) | 267±78.9 | 235±55.2 | -0.720 | 0.245 |

데이터를 활용하였다. 콩 생육에 영향을 미치는 기상요소를 추출하기 위해 밀양과 수원의 2013년부터 2022년까지의 기상자료를 사용하였고, 기상자료요소는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 월 강수량, 일조시간 합을 이용하였다.

GIS 자료

콩 생육 및 수량은 기상요소뿐만 아니라 위도와 해발고도의 영향을 받는다(Major *et al.*, 1975; Lin *et al.*, 2021; Ok *et al.*, 2008; Capelin *et al.*, 2022). 일반적으로 콩 개화는 위도의 영향을 받고(Abugalieva *et al.*, 2016; Major *et al.*, 1975; Lin *et al.*, 2021), 개화 전후가 영양생장기에서 생식생장기는 전환하는 시기이기 때문에 개화기를 콩 재배 지역을 구분하는 요소로 판단하여 분석에 사용하였다. 해발고도가 높아질수록 콩 수량이 낮아진다는 보고(Basnet *et al.*, 1974; Capelin *et al.*, 2022)에 따라 해발고도 또한 재배 지역을 나누는 요소로 분석에 사용하였다. 국가공간정보포털(nsdi.go.kr)의 행정구역 시군구 경계 자료를 활용해 위도 데이터를, 수치표고모델(DEM) 자료를 이용하여 해발고도 데이터를 추출하였다.

자료 분석방법

격자 기상도 작성

1 km 해상도의 격자 기상도를 작성하기 위하여 1 km 격자 지리정보를 생성하였다. 국가공간정보포털 행정구역 시군구 경계 데이터를 오픈 소스인 Q-GIS 프로그램을 이용하여 가로 세로 1 km 지역을 격자화하고 각 격자별 중심점의 위도와 경도를 추출하였다. 해발고도는 국가공간정보포털에서 제공하는 90 m 해상도의 수치표고모델 데이터를 1 km 해상도로 재배열하였다. 1 km 해상도의 기상자료를 생산하는 방법은 평년 기상자료에서 관측된 지점별 기상자료를 공간내삽기법인 IDW (Inverse Distance Weighting)를 이용하여 작성하였다(Eum, 2015; Hong *et al.*, 2007). 이때 85개소 종관기상대 및 관측소에서만 측정된 일조시간을 제외한 평균기온 등 기타 기상자료는 모든 지점(219개소)의 측정값을 활용하였다.

통계분석

밀양과 수원지역의 생육 및 수량 간 유의성을 확인하기 위해 파이썬(python 3.7)을 이용하여 t-검정을 실시하였고, 생육 및 수량 기상요소 간 연관성을 분석하기 위해 Pearson 상관분석을 수행하였다. 또한 지역별 생육 및 수량 비교를 위해 분산분석(Analysis of Variation, Anova)을 실시하였고-tukey 검정으로 5% 유의수준에서 검정하였다.

군집분석

콩 재배지역을 구분하기 위해 k-means 군집분석을 사용하였다. k-means는 비 계층적 군집 방법으로 군집의 개수 k 를 먼저 정하고, 관측값에서 k 개의 중심점까지의 거리를 계산하여 중심점 가까운 군집에 관측합을 할당한다. 그 후 각 군집의 중심을 군집에 속한 샘플의 평균으로 대체하는 과정을 반복해 분석한다(Koo *et al.*, 2013). 농업기후지대 구분을 위해 상관분석을 통해 추출한 기상 요소를 이용하여 클러스터링을 진행하였고, 각 기상 요소는 단위의 크기에 의한 영향력을 없애기 위하여 정규화(0~1)한 값을 적용하였다.

결과

기상요소 추출

밀양과 수원의 콩 생육 및 수량 관계를 비교해본 결과 두 지역 간 생육특성에서는 주경절수가, 수량구성요소에서는 개체당 협수가 통계적으로 유의한 차이를 보임에 따라(Table 1), 지역을 구분해상관분석을 실시하였다. 각 지역의 생육 특성과 영양생장기의 기상 간의 상관분석 결과는 Table 2, 수량구성요소와 생식생장기의 기상 간의 상관분석 결과는 Table 3과 같다. 기상요소와 분석한 상관계수의 전체 절대값 평균이 0.29임에 따라 상관계수의 절대값 평균이 0.29보다 높은 값을 추출해 콩의 생육과 수량에 영향을 미치는 기상요소로 판단하였다. 영양생장기에서는 최저온도(Tmin)와 일교차(DIF), 강수량(PRE)이 콩 생육에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 생식생장기에서는 최고온도(Tmax)와 일교차(DIF), 강수량(PRE)의 절대값 평균이 각각 0.3 이상으로, 콩 수량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 기상요소의 지역별 분포는 Fig. 1과 같고 기상요소와 생육 및 수량특성과의 상관계수는 Table 3과 Fig. 2와 같다.

콩 재배지역 구분

추출한 기상요소(Fig. 1)와 GIS 정보인 위도, 해발고도를 이용하여 콩의 재배지역 구분을 위한 군집분석을 실시하였다. 단일 식물인 콩은 위도에 따라 개화에 영향을 받으므로 (Major *et al.*, 1975) 위도를 군집분석 요소로 사용하였으며, 해발고도가 높아짐에 따라 콩 수량이 감소한다는 Ok *et al.* (2008)과 Capelin *et al.* (2022)의 보고에 따라 해발고도 또한 군집분석 요소로 채택하였다. 군집분석은 K-means clustering 방법을 사용하여 수행하였다. 지역의 개수 k 를 결정하기 위하여 지역 개수의 증가에 따른 중심점에서의 평균거리와 학습시간을 분석하였고, 평균거리와 학습시간

Table 2. Correlation between growth components and meteorological factors at the vegetative stages.

| Region | Index | Tavg | Tmax | Tmin | DIF | PRE | SLH |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Miryang | SL ^z | -0.17 | -0.07 | -0.21 | 0.11 | -0.24 | -0.23 |
| | SD | -0.16 | 0.03 | -0.33 | 0.41 | -0.30 | -0.08 |
| | NB | 0.24 | 0.16 | 0.34 | -0.12 | -0.44 | -0.60 |
| | NN | -0.29 | -0.11 | -0.50 | 0.37 | -0.45 | 0.04 |
| Suwon | SL | -0.27 | 0.07 | -0.51 | 0.56 | -0.17 | 0.30 |
| | SD | 0.25 | 0.24 | 0.12 | 0.14 | 0.31 | 0.26 |
| | NB | 0.54 | 0.42 | 0.59 | -0.13 | 0.51 | 0.24 |
| | NN | 0.05 | 0.40 | -0.26 | 0.67 | 0.15 | 0.56 |

^zSL - stem length; SD - stem diameter; NB - number of branches; NN - number of nodes; Tavg - average temperature; Tmax - highest temperature; Tmin - lowest temperature; DIF - daily temperature range; PRE - precipitation; SLH - sunshine duration

Table 3. Correlation between yield components and meteorological factors at the reproductive stages.

| Region | Index | Tavg | Tmax | Tmin | DIF | PRE | SLH |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Miryang | PP ^z | 0.05 | 0.39 | -0.04 | 0.43 | -0.34 | 0.25 |
| | SP | 0.16 | 0.09 | 0.09 | -0.01 | -0.18 | 0.16 |
| | 100W | 0.09 | -0.14 | 0.24 | -0.41 | -0.19 | -0.16 |
| | Yield | -0.24 | 0.14 | -0.32 | 0.50 | -0.37 | 0.35 |
| Suwon | PP | 0.16 | 0.15 | 0.18 | -0.02 | 0.05 | -0.01 |
| | SP | -0.45 | -0.72 | -0.20 | -0.55 | 0.81 | -0.37 |
| | 100W | 0.03 | -0.36 | 0.31 | -0.68 | 0.19 | -0.59 |
| | Yield | -0.22 | -0.62 | 0.07 | -0.70 | 0.55 | -0.42 |

^zPP - number of pods per plant; SP - number of seeds per pod; 100W - 100-seed weight; Tavg - average temperature; Tmax - highest temperature; Tmin - lowest temperature; DIF - daily temperature range; PRE - precipitation; SLH - sunshine hours.

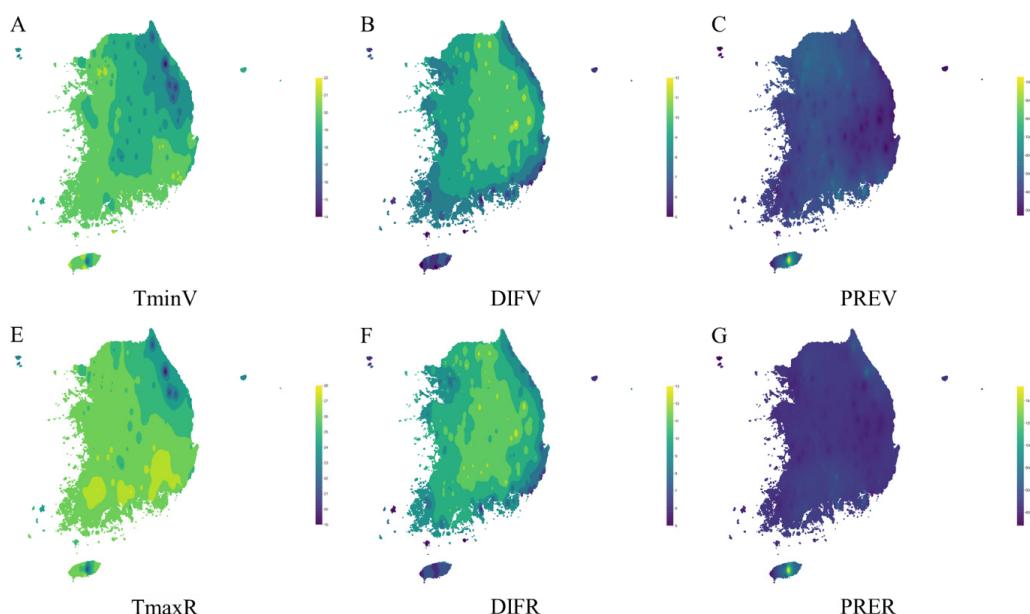


Fig. 1. Climatic factors for the classification of cultivation zones. A: lowest temperature at vegetative stages, B: daily temperature range at vegetative stages, C: precipitation at vegetative stages, E: highest temperature at reproductive stages, F: daily temperature range at reproductive stages, G: precipitation at reproductive stages.

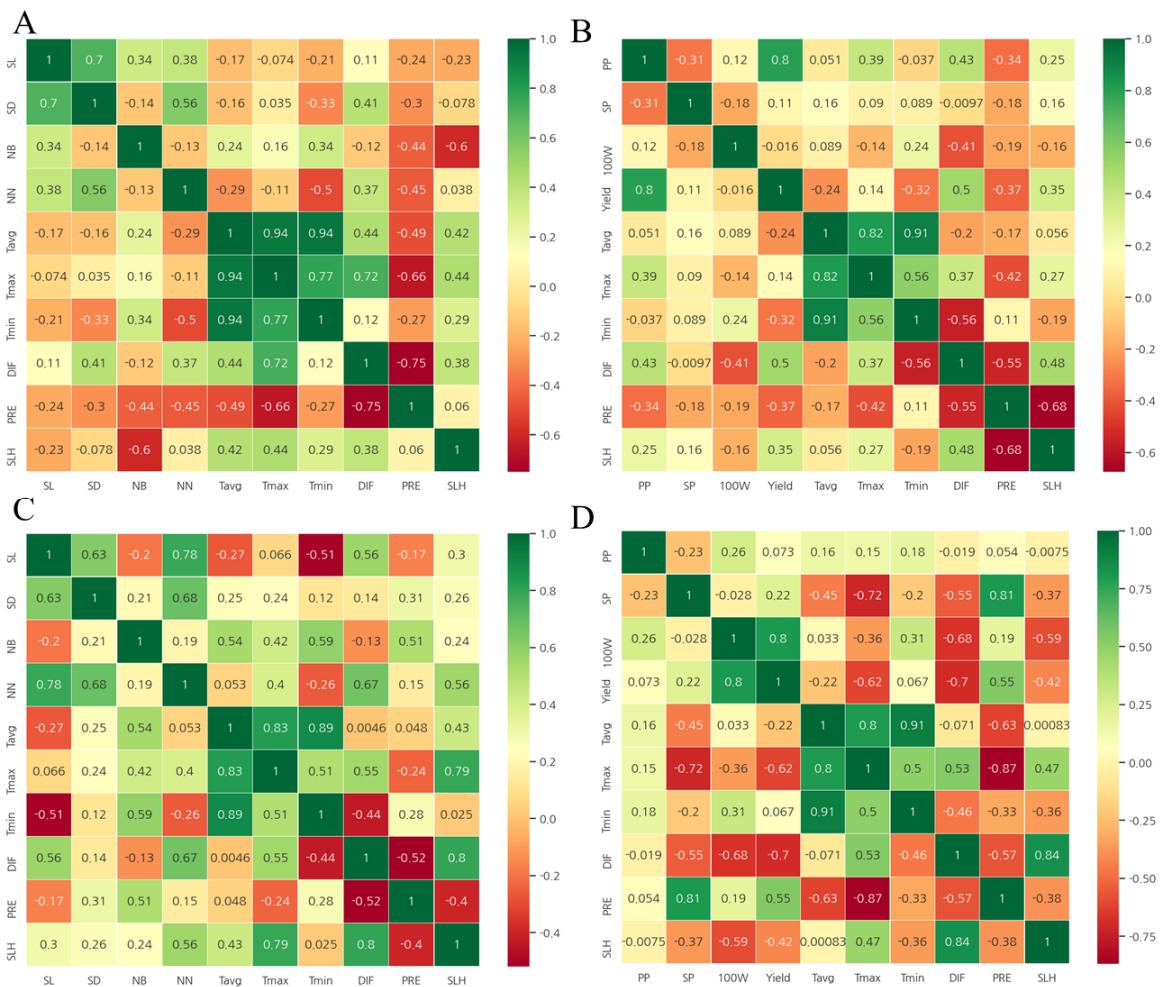


Fig. 2. Spearman's correlation heatmap of data from the soybean yield trial database and meteorological factors during the 10-year study period (from 2013 to 2022) in Miryang and Suwon regions. A: growth characteristics and meteorological factors at vegetative stages in the Miryang region; B: yield components and meteorological factors at reproductive stages in the Miryang region; C: growth characteristics and meteorological factors at the vegetative stages in the Suwon region; D: yield components and meteorological factors at reproductive stages in the Suwon region.

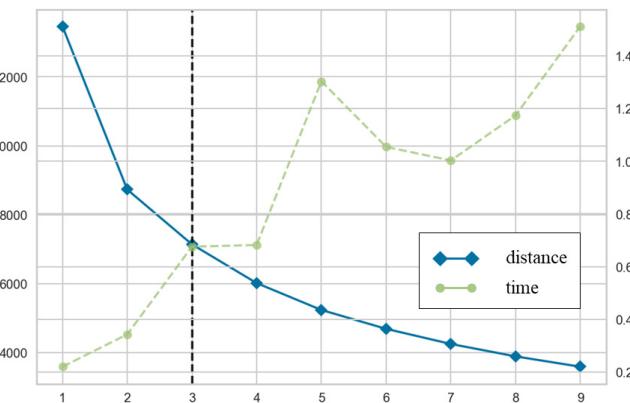


Fig. 3. Average distance to the center point and learning time during cluster analysis to obtain the k number of k-means clustering for cultivation zone classification.

이 모두 짧아지는 3개($k=3$)의 지역으로 구분하여 적용하였다(Fig. 3). 재배지역의 지역적 분포와 지역적 분포에 영향을 미치는 기상 요소는 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 군집분석을 활용하여 국내 콩 재배를 위한 지역을 구분한 결과, 총 세 개의 지역으로 나누어졌다(Fig. 4). 먼저, Zone 1은 중부내륙지역과 경기도 남부 지역이 포함되며(Fig. 4A), Zone 2는 서해안 남부지역, 동해안 남부지역과 남해 지역이 (Fig. 4B), Zone 3은 경기도 동부 일부지역과 강원도 및 평균 해발고도가 높은 지역이 포함되었다(Fig. 4C). 재배지역 별 기상특성(Fig. 5, Table 4)을 살펴보면 zone 1은 강수량이 다른 지역에 비해 적은 특징을 보였으며(Fig. 5H), 콩 작황시험 지역 중 연천, 수원, 청주, 전주가 포함되고 다른 재배지역에 비해 넓은 면적을 차지하였다. Zone 2는 위도와

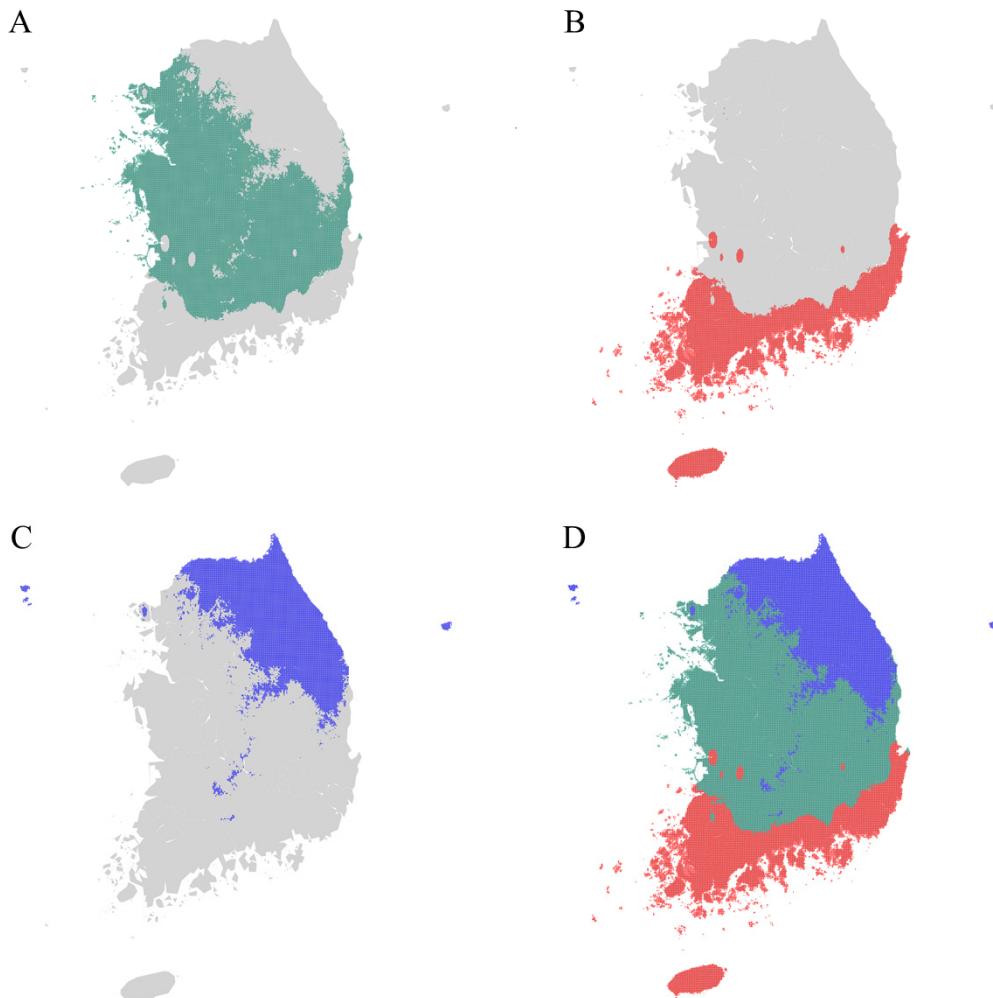


Fig. 4. Cultivation zones. A: Zone 1; central inland region and southern Gyeonggi region, B: Zone 2; southern coastal area, C: Zone 3; Gangwon and high-altitude areas, D: the entire cultivation zone.

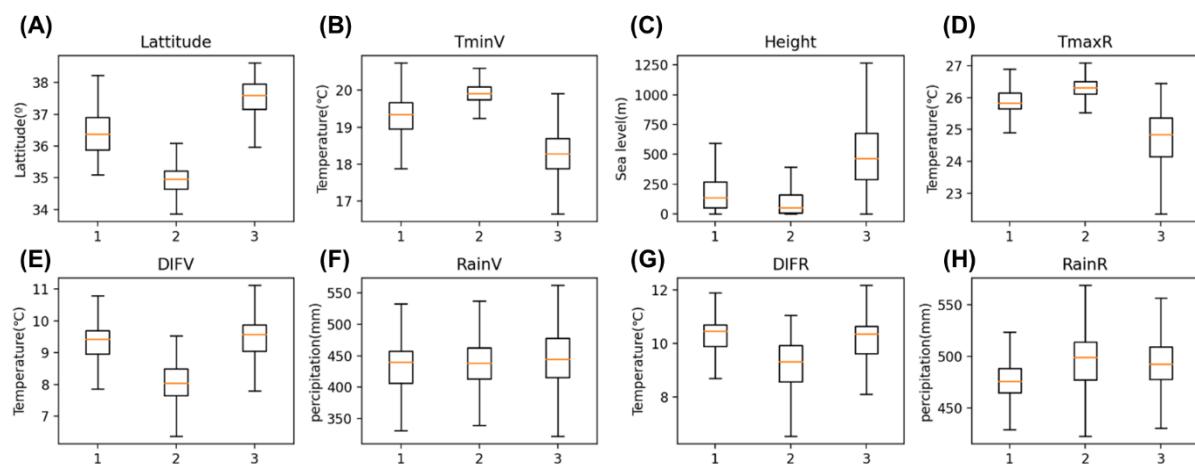


Fig. 5. Box plots for climatic factors by cultivation zones. ^aTminV - lowest temperature in the vegetative stage; Height - height above sea level; TmaxR - highest temperature in the reproductive stage; DIFV - daily temperature range in the vegetative stage; RainV - precipitation in the vegetative stage; DIFR - daily temperature range in the reproductive stage; RainR - precipitation in the reproductive stage.

Table 4. Averages of climatic factors by cultivation zone.

| Zone | TminV ^z | DIFV | PREV | TmaxR | PRER | DIFR |
|------|--------------------|------|------|-------|------|------|
| 1 | 19.3 | 9.3 | 433 | 25.9 | 10.3 | 477 |
| 2 | 19.9 | 8.0 | 445 | 26.2 | 9.1 | 514 |
| 3 | 18.2 | 9.4 | 442 | 24.6 | 10.1 | 498 |

^zTminV - lowest temperature in the vegetative stage; DIFV - daily temperature range in the vegetative stage; PREV - precipitation in the vegetative stage; TmaxR - highest temperature in the reproductive stage; PRER - precipitation in the reproductive stage; DIFR - daily temperature range in the reproductive stage.

Table 5. Growth and yield components of ‘Daewon’ soybean sown on June 20 from 2019 to 2022 in Yeoncheon, Suwon, Cheongju, and Jeonju regions.

| Index | Region | | | | F | P-value |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| | Yeoncheon | Suwon | Cheongju | Jeonju | | |
| ^z SL | 66±6.3 | 66±12.0 | 82±5.7 | 50±10.9 | 8.23* | 0.003 |
| SD | 7.5±0.50 | 8.5±1.19 | 8.5±0.61 | 8.6±1.57 | 0.90 | 0.471 |
| NB | 2.3±1.66 | 3.4±0.29 | 3.4±0.52 | 3.3±1.27 | 1.01 | 0.424 |
| NN | 13.3±0.63 | 14.9±0.90 | 15.5±0.88 | 12.8±1.05 | 8.45* | 0.003 |
| PP | 40±15.3 | 60±18.2 | 40±13.2 | 45±11.5 | 1.70 | 0.220 |
| SP | 2.0±0.14 | 1.8±0.17 | 1.8±0.06 | 1.6±1.08 | 0.30 | 0.823 |
| 100W | 26.3±2.86 | 27.9±3.47 | 29.7±3.86 | 27.5±4.08 | 0.59 | 0.632 |
| Yield | 290±79.9 | 286±42.2 | 304±77.5 | 210±25.4 | 1.92 | 0.181 |

^zSL - stem length; SD - stem diameter; NB - number of branches; NN - number of nodes; PP - number of pods per plant; SP - number of seeds per pod; 100W - 100-seed weight.

해발고도가 낮고(Fig. 5A, C) 일교차가 적으며(Fig. 5E, G), 기온이 높은(Fig. 5B, D) 특성을 보였다. 콩 작황시험 지역 중 밀양과 나주가 포함되며, 개화기가 빨라 다른 지역에 비해 영양생장 기간이 짧고, 성숙기가 빨라 이모작이 가능한 지역이었다. 마지막으로 zone 3은 경기도 지역 및 일부 해발고도가 높은 지역으로 다른 지역에 비해 기온이 낮고(Fig. 5B, D) 위도와 해발고도가 높은(Fig. 5A, C) 지역으로 기온이 낮고 위도가 높은 점으로 보아 개화기는 느릴 것으로 예상되며 등숙 기간이 짧아 수량이 낮을 것으로 예상된다(Lee *et al.*, 2019).

중부지역 세분화

중부지역인 zone 1은 콩 작황시험이 진행되는 연천, 수원, 청주, 전주 4개의 지역이 포함된 기후대로 zone 2와 zone 3와 비교하여 광범위한 지역이 하나의 재배지역으로 구분되었기 때문에 보다 상세한 구분이 필요하다고 판단하여 세분화 분석을 실시하였다. 4개 지역 작황시험 자료를 이용해 분산분석을 실시한 결과 경상과 주경질수에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다(Table 5). Zone 1 지역의 세분

화는 분산분석 시 통계적 유의성이 나타났던 영양생장기 기상요소를 사용하였다. 콩의 영양생장기인 6, 7월 기상요소와 생육특성과의 상관관계가 높은 기상요소를 추출해 분석에 이용하였다. Zone 1 지역의 영양생장기 기상과 생육 특성과의 상관분석 결과는 Tables 6, 7과 같다. 영양생장기의 생육 특성과 높은 상관관계를 보인 기상요소는 6월의 평균기온, 최저기온, 일교차와(Table 6) 7월의 강수량, 일조시간(Table 7)임에 따라 5가지 기상요소와 위도, 해발고도를 이용하여 zone 1에 포함된 지역에 대해 k-means clustering 을 실시하였다. K-means clustering에서 기후지대의 개수 k 를 결정하기 위해 Fig. 6과 같이 세 가지(k=3)의 지역으로 구분하여 적용하였다.

Zone 1의 세부적인 구분은 Fig. 7과 같다. Zone 1-1은 전라북도와 경상북도 남부지역, 경상남도 북부지역을 포함한다. Zone 1-2는 경기 지역과 충청도 일부지역을 포함하며, zone 1-3은 충청도 및 경상북도 북부 지역을 포함한다. 세부 지역별 기상특성(Fig. 8, Table 8)을 살펴보면 zone 1-1 은 위도가 낮으며 일조시간이 길고, 강수량이 적은 특징을 보였다(Fig. 8. A, D, F). 작황시험 지역으로는 전주가 zone

Table 6. Correlation between growth components and meteorological factors every June from 2013 to 2022.

| Region | Index | Tavg6 | Tmax6 | Tmin6 | DIF6 | PRE6 | SLH6 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Miryang | SL ^z | -0.33 | 0.09 | -0.38 | 0.34 | 0.21 | 0.14 |
| | SD | -0.24 | 0.36 | -0.52 | 0.65 | 0.06 | 0.23 |
| | NB | 0.00 | -0.19 | 0.23 | -0.30 | -0.29 | -0.57 |
| | NN | -0.85 | -0.30 | -0.89 | 0.43 | -0.23 | -0.01 |
| Suwon | SL | -0.21 | -0.25 | -0.23 | 0.03 | 0.28 | -0.04 |
| | SD | -0.19 | 0.06 | -0.35 | 0.31 | 0.25 | 0.21 |
| | NB | 0.47 | 0.20 | 0.39 | -0.19 | -0.04 | -0.17 |
| | NN | -0.44 | 0.27 | -0.70 | 0.70 | -0.29 | 0.51 |

^zSL - stem length; SD - stem diameter; NB - number of branches; NN - number of nodes; Tavg6 - average temperature in June; Tmax6 - highest temperature in June; Tmin6 - lowest temperature in June; DIF6 - daily temperature range in June; PRE6 - precipitation in June; SLH6 - sunshine hours in June.

Table 7. Correlation between growth components and meteorological factors every June from 2013 to 2022.

| Region | Index | Tavg7 | Tmax7 | Tmin7 | DIF7 | PRE7 | SLH7 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Miryang | SL ^z | -0.06 | -0.12 | -0.03 | -0.20 | -0.46 | -0.46 |
| | SD | -0.09 | -0.10 | -0.09 | -0.10 | -0.44 | -0.32 |
| | NB | 0.27 | 0.24 | 0.28 | 0.15 | -0.37 | -0.33 |
| | NN | -0.01 | -0.01 | -0.07 | 0.06 | -0.43 | 0.07 |
| Suwon | SL | -0.20 | -0.26 | -0.07 | -0.31 | 0.27 | -0.47 |
| | SD | -0.13 | -0.16 | -0.08 | -0.15 | 0.40 | -0.16 |
| | NB | -0.20 | -0.29 | 0.05 | -0.50 | 0.28 | -0.62 |
| | NN | 0.08 | 0.18 | 0.01 | 0.25 | -0.04 | 0.04 |

^zSL - stem length; SD - stem diameter; NB - number of branches; NN - number of nodes; Tavg7 - average temperature in July; Tmax7 - highest temperature in July; Tmin7 - lowest temperature in July; DIF7 - daily temperature range in July; PRE7 - precipitation in July; SLH7 - sunshine hours in July.

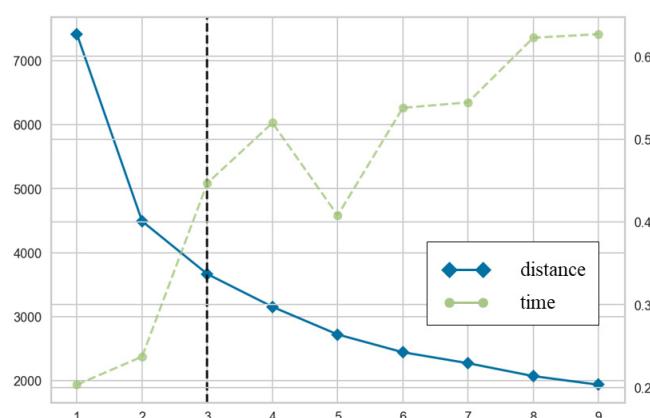


Fig. 6. Average distance to the center point and learning time during cluster analysis to obtain the k number of k-means clustering for segmentation of the central region (Zone 1).

1-1에 포함되며, 밀양과 위도는 비슷하지만 기온이 낮고 강수량이 적어 생육이 다르다는 특징을 가지고 있다. Zone 1-2는 중부지역 세부 지역 중 가장 높은 위도에 위치하였으나 일조시간은 짧았고, 강수량이 많으며 일교차는 적은 특징을 보였다(Fig. 8. A, D, F, G). 콩 작황시험 지역으로 수원과 연천이 포함되며, 다른 지역에 비해 주경절수가 많고 (Table 5) 개화기가 느리다는 특징을 보인다. Zone 1-3은 zone 1-1과 zone 1-2의 중간 기후대로 다른 지역보다 일교차가 높다는 특징을 가진다(Fig. 8. G). 작황시험 지역으로는 청주가 포함되며, 일교차가 높아 등숙에 상대적으로 유리해 수량이 높다는 특징을 보인다(Table 5).

이상의 결과를 토대로, 본 연구에서 콩 재배지역은 크게 3가지로 구분되었으며 작계는 5가지 기후대로 구분되었다 (Fig. 9). Zone 1은 콩 작황시험이 진행되는 4개 지역에서

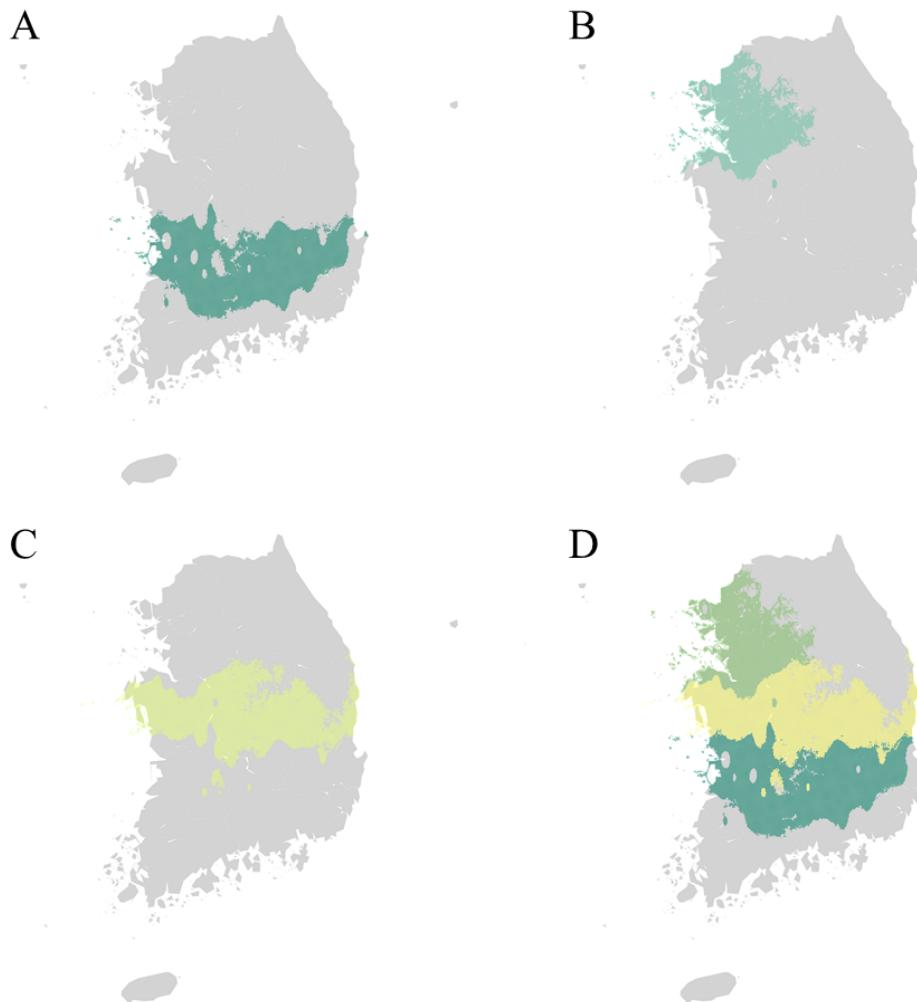


Fig. 7. Segmentation of the cultivation zone in the central region. A: Zone 1-1, Jeollabuk-do, southern Gyeongsangbuk-do, and northern Gyeongsangnam-do; B: Zone 1-2, Gyeonggi-do and parts of Chungcheong-do; C: Zone 1-3, Chungcheong-do and northern Gyeongsangbuk-do; D: the entire cultivation zone of the central region.

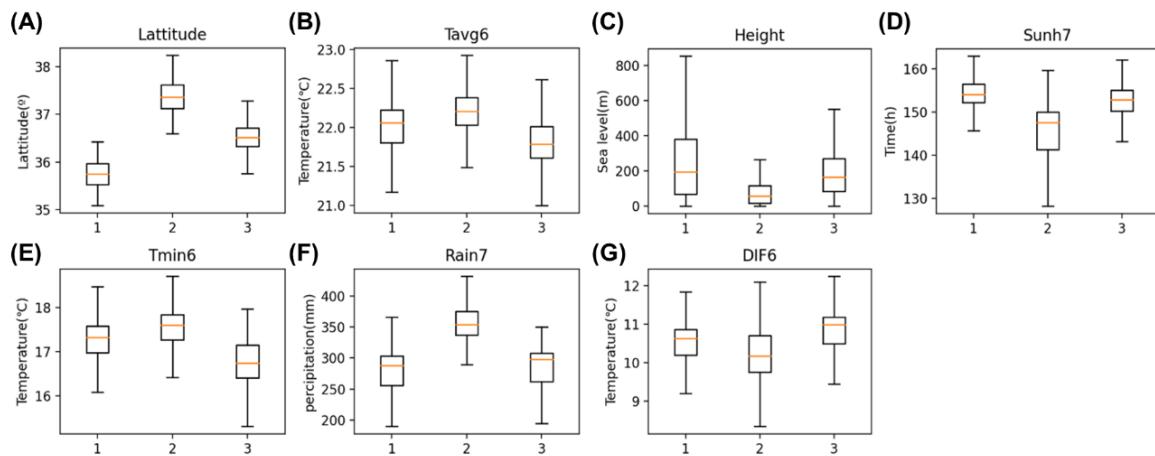


Fig. 8. Box plots of climatic factors by cultivation zone of the central region. 1: Zone 1-1, 2: Zone 1-2, 3: Zone 1-3. T_{avg6} - average temperature in June; Height - height above sea level; Sunh7 - sunshine hours in July; T_{min6} - lowest temperature in June; Rain7 - precipitation in July; DIF6 - daily temperature range in June.

Table 8. Averages of climatic factors by cultivation zone in the central region.

| Zone | Tavg6 ^z | Tmin6 | DIF6 | PRE7 | SLH7 |
|------|--------------------|-------|------|------|------|
| 1-1 | 19.3 | 9.3 | 433 | 25.9 | 10.3 |
| 1-2 | 19.9 | 8.0 | 445 | 26.2 | 9.1 |
| 1-3 | 18.2 | 9.4 | 442 | 24.6 | 10.1 |

^zTavg6 - average temperature in June; Tmin6 - lowest temperature in June; DIF6 - daily temperature range in June; PRE7 - precipitation in July; SLH7 - sunshine hours in July.

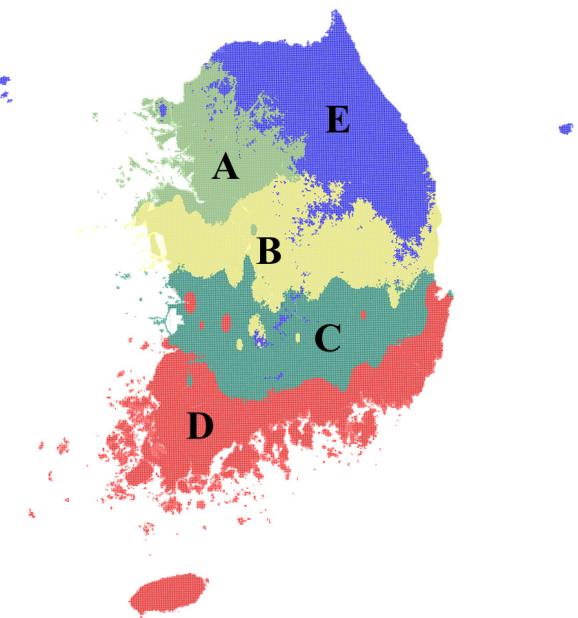


Fig. 9. Soybean cultivation zones in South Korea. A: northern central region; B: central region; C: southern central region; D: southern coastal area, E: Gangwon and high-altitude region.

의 생육 데이터의 유의한 차이로 기후지대를 세분화하였으나, zone 2의 경우에는 기후지대에 포함된 작황시험 지역인 밀양과 나주의 생육 및 수량 데이터 간 유의한 차이가 나타나지 않아 추가적인 구분을 진행하지 못하였다. 또한 zone 3 기후지대에서는 현재 진행하고 있는 작황시험의 지역에 포함되는 지역이 없어 추가적인 세분화가 불가능하였다. 하지만 zone 2 기후지대에 포함된 제주도의 경우 다른 지역과 구분되는 특징적인 기상을 가지며 다른 작물들의 생육에서도 많은 차이를 보이기 때문에(Lee *et al.*, 1983) 보다 상세히 구분할 필요가 있다고 여겨진다. Zone 3 역시 동해안 해안가와 고랭지 지역에서의 작물의 생육이 다르기 때문에(Song *et al.*, 2018) 앞으로 추가적인 구분이 필요할 것으로 사료된다.

고 칠

본 연구에서는 콩 생산 지역을 나누는 기상요소를 콩 작황시험의 콩 생육 특성 및 수량 조사 데이터(2013~2022)를 토대로 추출하였다. 또한, 추출한 기상요소들과 생육 및 수량 특성을 이용하여 k-means 군집분석을 통해 국내 콩 재배를 위한 지역을 새롭게 구분하였다. Kim *et al.* (2016)은 지형 및 지리적 특성을 고려하여 우리나라의 농업기후지대를 6개의 지대로 구분한 바 있다. 본 연구의 결과는 선행연구와 유사하면서도 차이점을 보이는데, Kim *et al.* (2016)의 연구에서는 평균기온이 기후대 구분에 영향을 끼친 주요인이었던 반면, 본 연구에서는 위도의 영향을 받은 것으로 보인다. 이는 콩이 일장 반응에 민감하게 반응하는 단일성 작물이기 때문에 위도와 일조시간에 영향을 받은 것으로 사료된다.

위 내용들을 종합하여 보았을 때 본 연구에서 의미 있는 결과를 도출하였지만, 상관분석에서 지역별로 요소들 간 정의 상관과 부의 상관관계로 나뉘어져 각각 분석에 이용된 점, 밀양과 수원 두 지역의 자료만을 이용했기 때문에 전국을 대표했다고 보기 어렵든 점 등 분석의 한계와 어려움이 존재하였다. 그리고, 기상자료도 IDW 보간법만 사용하여 구축했기 때문에 해안효과, 열섬효과 등의 미세기상 효과가 포함되지 않아 다른 1 km 지역 해상도의 기상자료보다 부정확할 가능성이 있다. 그러나 장기간에 걸친 재배 데이터를 이용하여 콩에 영향을 끼치는 기상요소를 파악하고, 군집분석을 통해 콩의 재배지역을 구분한 연구가 국내에서 처음 진행되었기 때문에 학술적으로 의미가 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 결과는 향후 추가적인 연구를 통해 실제 농업현장에서도 적용될 가능성이 높다고 생각한다. 그러므로 앞으로의 연구에서는 다양한 지역에서의 콩 재배 데이터를 획득하고 지역별 차이를 확인하여 연관성이 높은 기상요소를 추출한다면, 콩 재배를 위하여 보다 정확하게 재배 적지 및 적합 품종 등을 예측할 수 있을 것이고 나아가 콩에 적합한 우리나라의 농업기후지대를 구분할 수 있을 것이다.

적 요

우리나라 주요 밭작물의 하나인 콩 재배에서 기상에 맞는 재배 양식 개발이 필요함에 따라 콩 작황시험 생육 및 수량 조사 데이터를 이용해 콩에 영향을 끼치는 기상요소를 추출하고 재배지역을 구분하였다.

- 밀양과 수원지역의 콩 10년 동안의 작황시험 결과와 기상자료 간의 상관분석을 통해 콩에 영향을 미치는 기상요소를 분석한 결과, 생육 특성과 영양생장기 기상과의 상관관계는 일교차, 강수량과 최저온도에서 높게 나타났으며, 수량특성과 생식생장기 기상과는 일교차, 강수량, 최고온도에서 유의한 상관관계를 보였다.
- 추출한 기상요소와 위도, 해발고도를 포함해 콩의 재배지역 구분을 위해 k-means clustering을 실시한 결과, 지역은 세 가지로 나누어졌으며, zone 1은 중부내륙지역과 경기도 남부지역, zone 2는 서해안 남부지역, 동해안 남부지역과 남해지역, zone 3은 경기도 동부 일부지역과 강원도 및 해발고도가 높은 지역이 포함되었다.
- 세 가지 지역 중 위도의 범위가 넓은 zone 1을 세 가지 지역으로 세분한 결과, Zone 1-1은 다른 두 지역에 비해 위도가 낮았으며, 강수량이 적은 특징을 가진다. Zone 1-2는 다른 두 지역에 비해 짧은 일조시간과 높은 기온이 특징적이었다. Zone 1-3은 위도 상으로는 두 지역의 중앙에 위치해 있으며, 일조 시간이 길면서 일교차가 큰 특징이었다.
- 본 연구에서 콩 재배를 위한 한국의 재배지역은 크게 3 가지로 구분되었으며, 각계는 5가지 지역으로 구분되었다. 기상 요소 및 생육 정보를 기반으로 한 재배지역을 구분함으로써 국내 콩 생산에 기여할 수 있는 새로운 정보를 제공하였다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(콩 생산단지 최적 모델 개발 및 재배기술 체계화 연구(과제번호: PJ017118012023))의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Abugalieva, S., S. Didorenko, S. Anuarbek, L. Volkova, Y. Gerasimova, I. Sidorik, and Y. Turuspekov. 2016. Assessment of soybean flowering and seed maturation time in different latitude regions of Kazakhstan. PLoS One. 11(12) : e0166894.

- Ahn, J. B., J. Hur, and K. M. Shim. 2010. A Simulation of Agro-Climate Index over the Korean Peninsula Using Dynamical Downscaling with a Numerical Weather Prediction Model. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 12(1) : 1-10.
- Ban, H. Y., D. H. Choi, J. B. Ahn, and B. W. Lee. 2017. Predicting Regional Soybean Yield using Crop Growth Simulation Model. Korean Journal of Remote Sensing. 33(5) : 699-708.
- Basnet, B., E. L. Mader, and C. D. Nickell. 1974. Influence of Altitude on Seed Yield and Other Characters of Soybeans Differing in Maturity in Sikkim (Himalayan Kingdom). Agronomy Journal. 66(4) : 531-533.
- Capelin, M. A., L. A. Madella, M. C. Panho, D. Meira, R. A. Fernandes, L. L. Colonelli, and G. Benin. 2022. Impact of altitude on grain yield, oil, and protein content of soybean. Australian Journal of Crop Science. 16(2) : 273-279.
- Chang, Y. J., J. W. Lee, J. K. Park, and H. J. Park. 2015. Study on effects of meteorological elements in the grain production of Korea. Journal of Environmental Science International. 24(3) : 281-290.
- Cho, Y. S., H. G. Park, W. H. Kim, S. D. Kim, J. H. Seo, and J. C. Shin. 2006. Growth and yield related characteristics of soybeans for the estimation of grain yield in upland and drained-paddy field. Korean Journal of Crop Science. 51(7) : 599-607.
- Choi, D. H. and S. H. Yun. 1989. Agroclimatic zone and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. Journal of Korean Society of Crop Science. 34(2) : 13-33.
- Choi, D. H., Y. S. Jung, B. C. Kim, and M. S. Kim. 1985. Zoning of agroclimatic regions based on climatic characteristics during the rice planting period. Korean Journal of Crop Science. 30(3) : 229-235.
- Chung, U., P. Shin, and M. C. Seo. 2017. Exploring ways to improve the predictability of flowering time and potential yield of soybean in the crop model simulation. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 19(4) : 203-214.
- Eum, H. I. 2015. Application of a statistical interpolation method to correct extreme values in high-resolution gridded climate variables. Journal of Climate Change Research. 6(4) : 331-344.
- Hong, K. O., M. S. Suh, D. K. Rha, D. H. Chang, C. Kim, and M. K. Kim. 2007. Estimation of high resolution gridded temperature using GIS and PRISM. Atmosphere. 17(3) : 255-268.
- Jung, M. P., H. J. Park, J. Hur, K. M. Shim, Y. Kim, K. K. Kang, and J. B. Ahn. 2019a. Classification of Agro-Climatic Zones of the State of Mato Grosso in Brazil. Korean Journal of Environmental Agriculture. 38(1) : 34-37.
- Jung, M. P., J. Hur, H. J. Park, K. M. Shim, and J. B. Ahn. 2015. Classification of agro-climatic zones in Northeast district of China. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 17(2) : 102-107.
- Jung, M. P., J. Hur, K. M. Shim, Y. Kim, K. K. Kang, S. K. Choi, and B. T. Lee, 2019b. Reference evapotranspiration estimates

- based on meteorological variables over Korean agro-climatic zones for rice field. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 21(4) : 229-237.
- Kim, D. J., S. O. Kim, K. H. Moon, and J. I. Yun. 2012. An outlook on cereal grains production in South Korea based on crop growth simulation under the RCP8. 5 climate change scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 14(3) : 132-141.
- Kim, J. G., E. S. Chung, J. S. Ham, S. Seo, M. J. Kim, S. H. Yoon, and Y. C. Lim. 2007. Effect of growth stage and variety on the yield and quality of whole crop rice. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 27(1) : 1-8.
- Kim, J., C. K. Lee, H. Kim, B. W. Lee, and K. S. Kim. 2015. Requirement Analysis of a System to Predict Crop Yield under Climate Change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 12(1) : 1-10.
- Kim, S. K., J. S. Park, Y. S. Lee, H. C. Seo, K. S. Kim, and J. I. Yun. 2004. Development and Use of Digital Climate Models in Northern Gyunggi Province - II. Site-specific Performance Evaluation of Soybean Cultivars by DCM-based Growth Simulation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 6(1) : 61-69.
- Kim, Y., K. Shim, M. Jung, I. Choi, and K. Kang. 2016. Classification of agroclimatic zones considering the topography characteristics in South Korea. *Journal of Climate Change Research*. 7(4) : 507-512.
- Koo, J. Y., H. J. Park, D. Choi, and S. S. Kim. 2013. Data mining. KNU Press, Seoul.
- 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. *The Korean Journal of Crop Science*. 64(4) : 406-413.
- Lee, K., B. I. Jeong, K. S. Choi, and S. K. Lee. 1983. A study of gravity and geomagnetism of Jeju Island. *Journal of Geological Society*. 19(1) : 1-10.
- Lee, S. G. and B. H. Kang. 2001. Effect of overhead flooding stress on photosynthesis and growth in rice. *Korean Journal of Crop Science*. 46(3) : 209-214.
- Lee, S., I. Heo, K. Lee, and W. T. Kwon. 2005. Classification of local climate region in Korea. *Journal of the Korean Meteorological Society*. 41(6) : 983-995.
- Lin, X., B. Liu, J. L. Weller, J. Abe, and F. Kong. 2021. Molecular mechanisms for the photoperiodic regulation of flowering in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*. 63(6) : 981-994.
- Major, D. J., D. R. Johnson, J. W. Tanner, and I. C. Anderson. 1975. Effects of day length and temperature on soybean development. *Crop Science*. 15(2) : 174-179.
- Ok, H. C., Y. H. Yoon, J. C. Jeong, O. S. Hur, C. W. Lee, C. G. Kim, and H. M. Cho. 2008. Yields and Isoflavon Contens of Soybean Culitvar in Highland Area. *Journal of the Korean Crop Society*. 53(1) : 102-109.
- Park, C., Y. Choi, J. Y. Moon, and W. T. Yun. 2009. Classification of Climate Zones in South Korea Considering both Air Temperature and Rainfall. *Journal of the Korean Geographical Society*. 44(1) : 1-16.
- Park, H. W. and B. C. Moon. 1998. A Classification of climate region in Korea using GPS. *Journal of the Korean Geographical Society*. 33(1) : 17-40.
- Seo, S., E. S. Chung, K. Y. Kim, G. J. Choi, J. N. Ahn, J. S. Han, and Y. S. Kim. 2010. Comparison of forage productivity and quality of Italian ryegrass and barley mono, and mixtures sown in early spring. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 30(2) : 115-120.
- Shim, K. M., G. Y. Kim, K. A. Roh, H. C. Jeong, and D. B. Lee. 2008. Evaluation of Agro-Climatic Indices under Climate Change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 10(4) : 113-120.
- Shim, K. M., Y. S. Kim, M. P. Jung, I. T. Choi, and S. H. Min. 2014. Agro-climatic zonal characteristics of the frequency of abnormal duration of sunshine in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 16(1) : 83-91.
- Song, E. Y., K. H. Moon, S. H. Wi, and S. Oh. 2018. Growth and bulb characteristics of extremely early-maturing onion by air temperature variation at different altitudes. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 20(4) : 321-329.
- Woo, B. J., M. K. Lee, and H. J. Kim. 2011. A Study on Establishing Rice Replacing Forage Crops Using-System. Korea Rural Economic Institute. Basic Research Report : 1-119.