

빅데이터를 활용한 재배환경이 전라남도 지방 가을배추의 생육과 수량에 미치는 영향 분석

위승환 · 이희주* · 유인호 · 장윤아 · 여경환 · 안세웅 · 이진형

국립원예특작과학원 채소과

(2020년 9월 8일 접수; 2020년 9월 28일 수정; 2020년 9월 28일 수락)

Analysis of Effect of Environment on Growth and Yield of Autumn Kimchi Cabbage in Jeonnam Province using Big Data

Seung Hwan Wi, Hee Ju Lee*, In Ho Yu, YoonAh Jang,

Kyung-Hwan Yeo, Sewoong An, Jin Hyoung Lee

Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

(Received September 8, 2020; Revised September 28, 2020; Accepted September 28, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of environment factors on the growth of autumn season cultivation of Kimchi cabbage using the big data in terms of public open data(weather, soil information, and growth of crop, etc.). The growth data and the environment data such as temperature, daylength, and rainfall from 2010 to 2019 were collected. As a result of composing the correlation matrix, the height and leaf number showed high correlation in growing degree days(GDDs) and daylength, and the yield showed negative correlation in growing degree days and the concentration of clay. GDDs and daylength explained about 89% and 84% of variation in height, respectively. These two environmental factors also explained about 85% and 79% of variation in leaf numbers, respectively. In contrast, the coefficient of determination was low for yield when GDDs and concentration of clay was used. The outcome of regional statistical analysis indicated that relationship between yield and sum of sand and silt were high in Haenam and Jindo areas. Hierarchical cluster analysis, which was performed to verify the association of yield, GDDs, and concentration of clay, showed that Haenam and Jindo were clustered together. Although GDDs and yield vary by year and region, and there are regions with similar concentration of clays, observation data are grouped as the result. These suggests that GDDs and soil texture are expected to be related to yield. The cluster analysis results can be used for further data analysis and agricultural policy establishment.

Key words: Autumn Kimchi cabbage, Big data, Growth, Environment



* Corresponding Author : Hee Ju Lee
(perpetuaa@korea.kr)

I. 서 언

정보통신기술이 발달하면서 다량의 데이터를 보다 쉽게 수집하고 빠르게 분석하여 해결책을 도출하는 시대가 되었다. 이에 따라 빅데이터 처리 및 분석은 공학에만 한정되어 사용되는 것이 아니라 의학, 사회학, 농학 등 다양한 분야로 영역을 넓혀가고 있으며 그에 따른 기술혁신은 성과를 나타내고 있다(Schwab, 2017). 네덜란드, 독일, 프랑스에서는 빅데이터를 자동화 기술, 작황예측, 생산최적화 등에도 적용하여 경쟁력을 강화하고 있다(Lim, 2017).

기상환경은 작물의 생육에 영향을 주는 핵심 요인이며 다양한 방법으로 생육과 환경요인과의 관계를 분석하고 있다. 기온은 작물의 생육을 분석하는데 활용되는 주요 지표로 활용되며, 그중 열단위를 이용한 생육도일(Growing degree days, GDDs)은 개화시기 및 수확시기 예측 등의 영농일정 제공, 적정 재배작기 예측 등의 통해 학술적 연구 및 영농의사결정지원 등에 활용되고 있다(Gilmore and Rogers, 1958; McMaster and Wilhelm, 1997; Wi *et al.*, 2018).

한국인의 주요 부식인 김치의 주재료인 배추는 1인당 년 소비량이 53kg이며 수요가 일정해 안정 생산이 요구되는 작물이다(Park and Kim, 2018). 배추는 가격에 비해 부피가 크고 저장 시 저온보관이 요구되며 저장기간 또한 2~3개월로 짧아 생산량이 곧 소비량이 된다(Kim *et al.*, 2016). 이러한 완전 경쟁적인 특성 때문에 생산량 변동에 따라 가격변동이 크며 이는 물가 불안으로 이어지는 등 사회경제적 문제를 야기하기에 안정생산이 중요하다(Lee, 1996). 따라서 수요에 따른 공급량을 맞추기 위하여 배추는 연중 생산체계가 확립되어 1년 내내 파종, 수확되고 있다. 특히 가을재배는 8월 중순경에 파종하고 9월에 정식하여 11월 중순부터 12월 중순까지 출하하는 김장배추를 공급하는 작형으로 생산면적과 생산량이 가장 크다. 또한 배추의 적정 재배온도는 생육초기는 18~20°C, 생육 후기인 결구기는 15~18°C로 높은 온도에서 시작해 재배가 진행될수록 온도가 낮아지는 가을 작형은 배추 재배에 적합한 기후이므로 품질이 다른 작형보다 좋다(Park and Kim, 2018). 전라남도 지방의 재배면적은 2018년 기준 3,244ha으로 전체의 24.4%로 가장 넓으며 생산량은 38만톤으로 전체의 27.1%를 차지하는 가장 중요한 가을배추 주산지지역이다(KOSTAT, 2019). 농작물의 생산안정 및 수급에 기여하기 위하여 농촌진흥

청에서는 국가농작물병해충관리시스템(ncpms.rda.go.kr)을 운영하고 있다. 농작물 병해충 방제에 대한 정보를 제공하고, 지역 및 작물 별 병해충 예찰 정보를 제공하는 서비스로 농촌진흥청은 병해충 예찰 정보를 생산하기 위하여 주산지 농업기술센터에서 작물의 생육, 수량, 병해충 발생정보를 매년 수집해오고 있다. 근래에는 파괴조사 방식을 넘어서 영상을 통하여 수량을 관측하는 연구(Na *et al.*, 2017; Lee and Kim, 2018)가 이루어져 작물의 생육정보 제공 및 작황 예측에 큰 기여를 하고 있다.

배추의 안정생산을 위해서 기온 등 환경요인에 따른 생육을 분석하고 수량을 예측하며 생리반응을 분석하는 등 많은 연구가 수행되고 있다. 온도에 의한 배추의 생육 및 생리에 미치는 영향이 구명되었으며(Lee *et al.*, 2009; Oh *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2015; Son *et al.*, 2015) 온도 및 일사량 등 다양한 재배환경 요인을 활용해 수량을 예측하고 있다(Ahn *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2015; Moon *et al.*, 2018). 또한 배추 주산지에 유비쿼터스 네트워크를 구축해 환경 관측 품질을 높이는 연구(Cho *et al.*, 2018)도 진행되고 있다. 하지만 대다수의 연구결과 및 작황보고가 짧은 기간동안 수집된 데이터로 매년 달라지는 기후에 따라서 결과가 조금씩 다르게 나타날 가능성이 있으며 시험포장에 해당지역의 특성이 반영되었을 가능성이 크다. 이러한 문제점 때문에 재배에 요구되는 요소와 가중치를 구명하기 어려우며 이를 해결하기 위해서는 장기간 그리고 넓은 지역에서 생산된 데이터를 수집하여 분석하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 배추의 주산지인 전남 지방의 가을배추 생육 빅데이터를 활용하여 재배환경 요소가 가을배추의 생육에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 생육 및 재배환경 데이터 수집

재배환경에 따른 가을배추의 생육과 수량을 분석하기 위하여 조사지역을 가을배추 주산지인 전라남도로 선정하였으며, 국가병해충관리시스템에서 2010년부터 2019년까지 총 388건의 생육 및 수량 빅데이터를 수집하였다. 데이터는 조사시기, 초장, 엽수, 수량, 관측포장의 좌표 등으로 구성된다. 조사일은 매년 9월 15일, 10월 1일, 10월 15일이며 초장과 엽수 데이터를 수집되었다. 초장은 지면에서부터 주중 최장엽 끝까지

Table 1. Information of crop observation field and nearest weather station

Area	Latitude, Longitude	Altitude (m)	Weather station	Soil type	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
HN	34.528, 126.559	4	Haenam	Hh	45.3	38.1	16.6
	34.627, 126.604	31		YxB	34.7	41.6	23.6
JD	34.505, 126.282	5	Haenam Jindo	HIB	22.5	53.7	23.8
	34.534, 126.287	7		IgB	27.6	46.3	26.1
	34.568, 126.282	18		JwC	25.4	52.5	22.2
	35.070, 126.469	10		BeB	41.5	38.45	20.2
	35.084, 126.468	27		SoC2	36.3	31.9	31.5
HM	35.054, 126.541	28	Mokpo	UoC	13.5	57.2	28.3
	35.079, 126.479	23		YaC2	62.5	20.9	16.4
	35.070, 126.467	9		YjB	5.5	65.3	29.1
MA	34.996, 126.481	10	Mokpo	KkB	23.9	50.7	25.4
YA	34.824, 126.672	4	Mokpo	SoC2	36.3	31.9	31.5
NJ	34.975, 126.707	7	Gwangju	Pt	13.8	60.1	26.1

의 길이를 측정하며, 엽수는 주당 잎 길이가 1cm 이상 되는 잎의 수를 조사되었다. 수량은 10a를 기준으로 관측포장에서 10주를 채취 후 외엽을 제거한 구중을 기준으로 조사하며 가을작기의 최종수량을 조사되었다. 데이터는 전라남도 6지방(해남, 진도, 영암, 무안, 함평, 나주)의 관측포장에서 수집되었다. 관측포장의 환경데이터는 기상청의 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)과 농촌진흥청의 흙토람(soil.rda.go.kr) 서비스를 활용하였다. 기상요소는 기온, 강우량, 일조시간을 조사하였으며 관측포장에서 가장 가까운 기상대의 데이터를 사용하였다. 나주는 광주기상대(35.172, 126.891)의 기상자료를 사용하였으며 함평·영암·무안은 목포기상대(34.817, 126.381) 해남은 해남기상대(34.553, 126.568), 진도는 2010~2012년에는 해남기상대를 2013~2019년에는 진도기상대(34.476, 126.323)의 기상자료를 활용하였다. 작황 관측포장의 토성은 흙토람의 필지별 토양정보와 토양통설명서(Jun, 2014)를 활용하였으며 토심 0~50cm까지의 토양 물리성 데이터를 사용하였다(Table 1).

배추 재배력 조사를 위하여 전라남도 농업기술원에서 배포한 주간농사정보 자료와 해당 기술센터의 담당자 인터뷰를 통하여 자료를 수집하였다. 조사된 자료를 토대로 전라남도 지방의 배추 정식일(9월 1일)과 수확조사일(11월 15일)을 설정하였다.

2.2. 재배 환경데이터와 생육 빅데이터 분석

가을배추에 대한 기온의 영향 분석을 위해 생육도 일을 활용하였다. 기상데이터의 해석력을 높이기 위하여 Perry *et al.*(1993)의 연구에 활용된 조합식을 활용하여 산출하였으며 계산 방법은 아래와 같다.

Method 1: $GDD_1 = \sum (T_{ave})$ (Eq. 1)

Method 2: $GDD_2 = \sum [(T_{max} + T_{min})/2]$ (Eq. 2)

Method 3: $GDD_3 = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_b]$ (Eq. 3)

Method 4: $GDD_4 = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_b], (T_{max} \leq T_c)$ (Eq. 4)

Method 5: $GDD_5 = \sum [\{(T_{max} - T_e) + T_{min}\}/2 - T_b], (T_e = T_{max} - T_c, T_e \geq 0)$ (Eq. 5)

위 식에서 T_{ave} , T_{max} , T_{min} , T_e , T_b 는 각각 일 평균온도, 일 최고온도, 일 최저온도, 작물한계온도, 작물 기본온도를 나타내며, GDD값이 음수가 될 경우 0으로 처리하였다. 배추의 한계온도는 발아적인인 25℃로 설정하였으며 기본온도는 선행연구(Kim *et al.*, 2015; Wi *et al.*, 2018)와 동일하게 5℃로 설정하였다. 기상 데이터 중 누적강수량과 함께 일조시간은 일 단위 자료를 합하여 계산하였다.

배추의 생육 빅데이터와 재배환경 데이터를 분석하기 위하여 R 통계 패키지(3.0.3, R Foundation)를 사용하였다. 재배환경 데이터와 생육데이터와의 상관관계를 Corplot 패키지(Wei *et al.*, 2017)를 활용하여 분석하였으며, 수량, 토성, GDD 등을 Duncan검정(Duncan test, $p < 0.05$)을 통하여 통계적인 차이를 판별하였다.

수량과 재배환경과의 연관성분석을 위하여 계층적 군집분석을 수행하였다(Teetor, 2011; Chang, 2012; Yang *et al.*, 2020). NBClust 패키지(Charrad *et al.*, 2014)를 활용하여 분석방법에 적절한 군집의 개수를 추정하였으며, 계층적 군집분석을 통해 요소별 연관성을 검증하고 지역에 따른 유사성을 설명하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 재배환경과 배추의 생육과의 상관관계

배추 생육에 영향을 미치는 주요 환경요인 선별을 위하여 요소별 상관행렬을 작성하였다. 배추의 초장과 생육도일과의 상관계수는 0.89~0.9, 일조시간은 0.84였으며, 엽수와 생육도일은 0.84~0.85, 일조시간이 0.79로 높은 값을 보였다. 수량의 경우 생육도일에서 -0.49~-0.58로 음의 상관관계를 보였으며 일조시간 및 강우량과는 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 1). 계산 방법에 따른 생육도일의 차이를 분석한 결과 5번 계산 방법이 2번 계산 방법의 약 0.72배를 유지하는 등 일정 배수를 유지하여 계산 방법간 상관계수는 1에 가까웠다. 위의 계산방법중 5번째 계산방법의 설명력이 높았으므로 배추 생육분석에 가장 적합한 것으로 판단되어 분석에 활용하였다.

관측포장의 토성이 배추 생육에 미치는 영향 분석을 위하여 수량데이터와 10월 15일의 초장과 엽수를 토성데이터와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 초장과 엽수는 토성과 상관관계를 보이지 않았으나, 수량은 점토와 음의 상관관계를 보였다. 수량과 모래/점토, 수량과 미사/점토에서도 약한 상관관계를 보이나 이는 수량과 분포인 토양의 점토 비율에 의한 결과로 보인다. 이로 보아 수량에 영향을 미치는 요인은 점토의 함량이 아닌 모래와 미사의 합계 함량인 것을 확인할 수 있었으며 이는 배추는 뿌리가 깊게 뻗고 잔뿌리가 많아 물빠짐이 좋은 사질양토가 재배에 적합하다는 보고와 일치하였다(Park *et al.*, 2019).

3.2. 재배환경에 따른 배추의 생육 분석

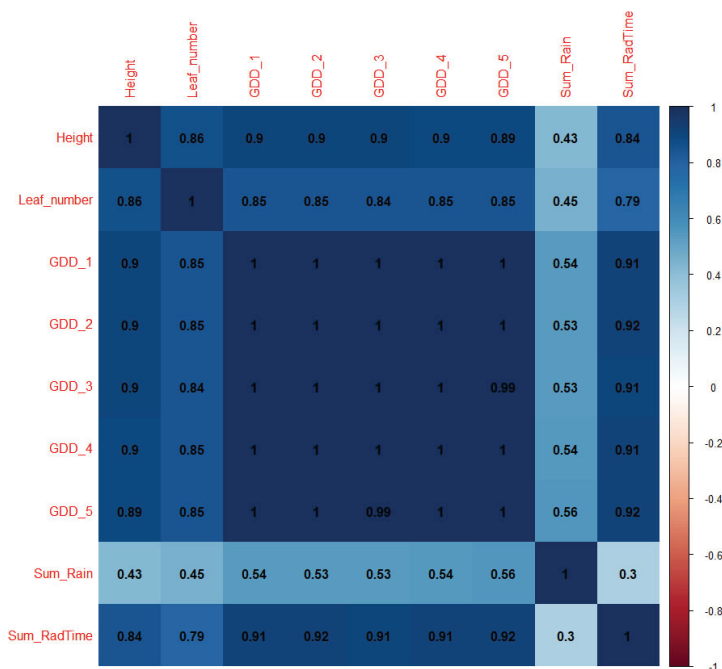
재배환경과 배추 생육과의 상관관계 분석 결과를 통하여 선별한 주요 환경요인과 생육과의 관계를 분석하였다. 초장과 엽수를 생육도일과 일조시간과의 관계를 선형 회귀분석 한 결과 생육도일과 초장, 생육도일과 엽수, 합계일조시간과 초장, 합계일조시간과 엽수의 결정계수가 각각 0.79, 0.71, 0.7, 0.62이었으며 온도 및 일사량 누적에 따라 값이 증가하는 것을 설명할 수 있었다(Fig. 3). 초장에 비하여 엽수의 결정계수가 낮은 것을 확인할 수 있었는데 매년 10월 15일 생육조사 데이터의 지역간 편차가 큰 것이 원인으로 판단된다(Fig. 4). 이는 기간 및 지역별로 조사자가 다르기 때문에 값에 편차가 나타나는 것으로 보인다.

수확시기의 수량과 생육도일, 모래와 미사의 함량을 Duncan분석한 결과 수량이 높게 나온 해남과 진도에서 모래와 미사의 합계 함량이 다른 지역보다 높았으며, 생육도일의 경우 다른 지역보다 낮은 것이 확인되었다(Table 2). 배추의 수량과 생육도일이 음의 상관관계를 보였는데 이는 적정 생육도일보다 높은 값이 누적될 경우 수량이 감소한다는 연구결과(Wi *et al.*, 2018)와 일치하나 추가실험을 통한 확인이 필요할 것으로 판단된다. 수량과 생육도일, 수량과 모래와 미사의 합계함량을 선형회귀분석 하였으나 결정계수가 각각 0.33, 0.22로 상관계수보다 낮은 값을 보였다.

3.3. 군집분석을 활용한 수량과 재배환경의 연관성 검증

배추의 수량에 생육도일 및 토성이 미치는 영향을 요소별 선형회귀로는 설명력이 부족하여 수량과 환경요소를 통합하여 계층적 군집분석을 수행하여 연관성을 검증하였다. 분석 방법에 따른 적정 군집수를 계산한 결과 평균값을 이용하여 분석한 경우 2개의 군집이 적합하였고, 중앙값을 활용한 경우 4개의 군집이 적합하다는 결과가 나왔다(Fig. 5). 계층적 군집분석을 수행한 결과 평균값을 활용한 군집분석은 해남과 진도가 한 군집을 이루고 나머지가 다른 군집을 이루었으며, 중간값을 활용한 군집분석은 해남, 함평 일부, 해남·진도, 그 외지역으로 군집을 나누었다(Fig. 6). 중간값을 이용한 군집분석의 경우 해남과 해남·진도 계층 사이에 함평 군집이 들어가 있어 군집에 대한 설명력이 낮았다. 평균값을 활용한 군집분석의 경우 타 군집과 계층이 같았으며, 해남·진도 군집에 다른 지역이

(A)



(B)

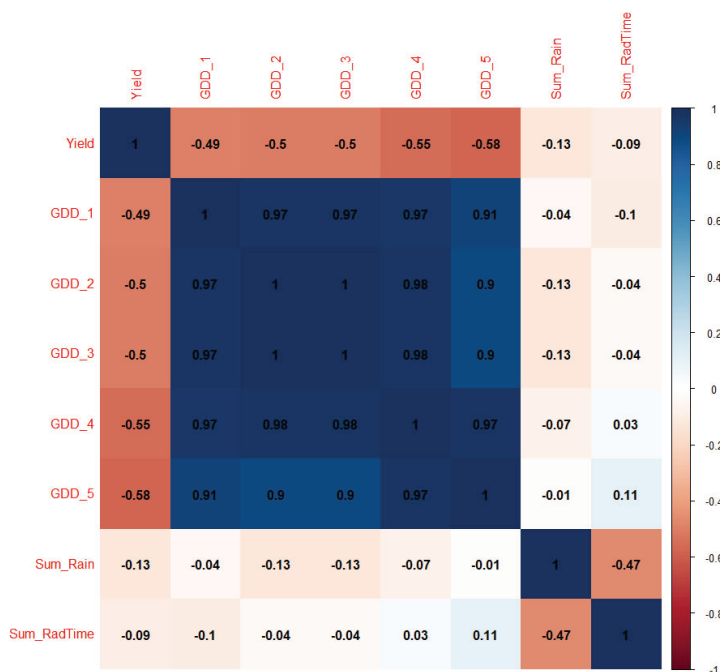


Fig. 1. Correlation between meteorological factors and growth of Kimchi cabbage. (A) Height and leaf number with meteorological factors from Sep 1 to Nov 15, (B) Yield with meteorological factors on Nov 15.

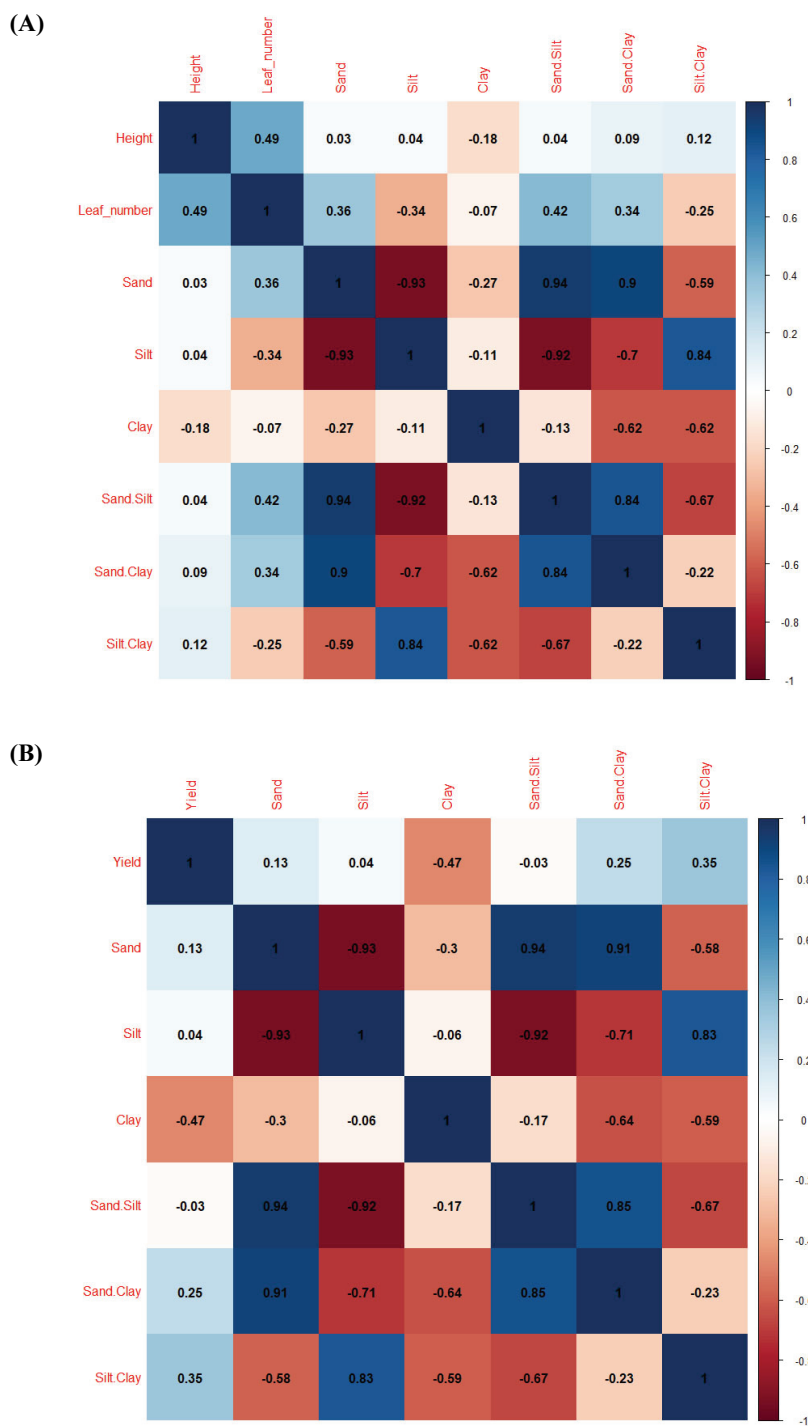


Fig. 2. Correlation between soil texture and growth of Kimchi cabbage. Sand:Silt, Sand:Clay, Silt:Clay mean Sand/Silt, Sand/Clay, and Silt/Clay, respectively. (A) Height and leaf number on Oct 15, (B) Yield.

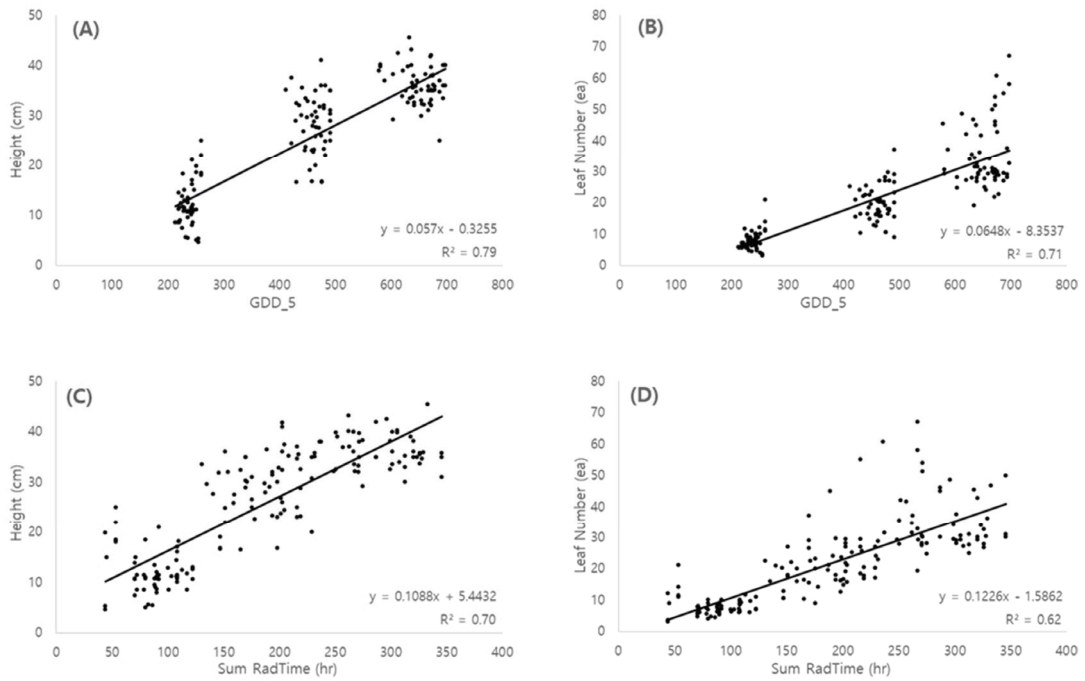


Fig. 3. Growth of Kimchi cabbage according to growing degree days and solar daylength. (A) Height and GDD, (B) Leaf number and GDD, (C) Height and daylength, (D) Leaf number and daylength.

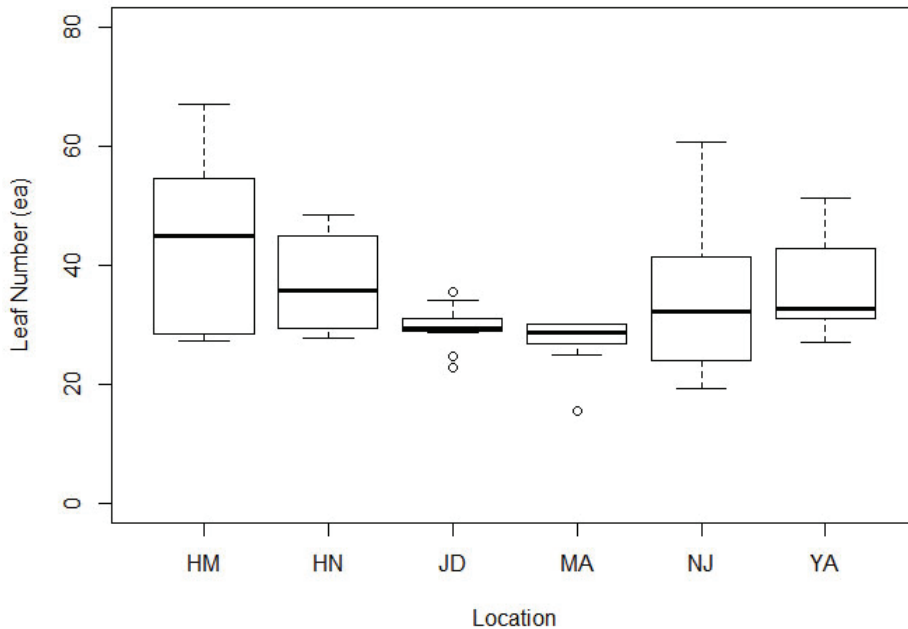


Fig. 4. Observed leaf number of Kimchi cabbage by region. HM, HN, JD, MA, NJ, YA mean Hampyeong, Haenam, Jindo, Muan, Naju, and Yeongam, respectively.

Table 2. Growing degree days, soil texture and yield according to region

Area	GDD_5 (Nov 15)	Sand+Silt (%)	Yield (kg/10a)
HN	846.5 c ^z	78.4 a	9878.0 a
JD	880.1 b	76.2 ab	8583.3 a
HM	955.0 a	75.4 b	7272.3 b
MA	947.9 a	74.6 b	7713.0 b
NJ	921.3 a	73.9 b	7208.8 b
YA	947.9 a	68.5 c	7428.6 b

^z Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan test, P<0.05.

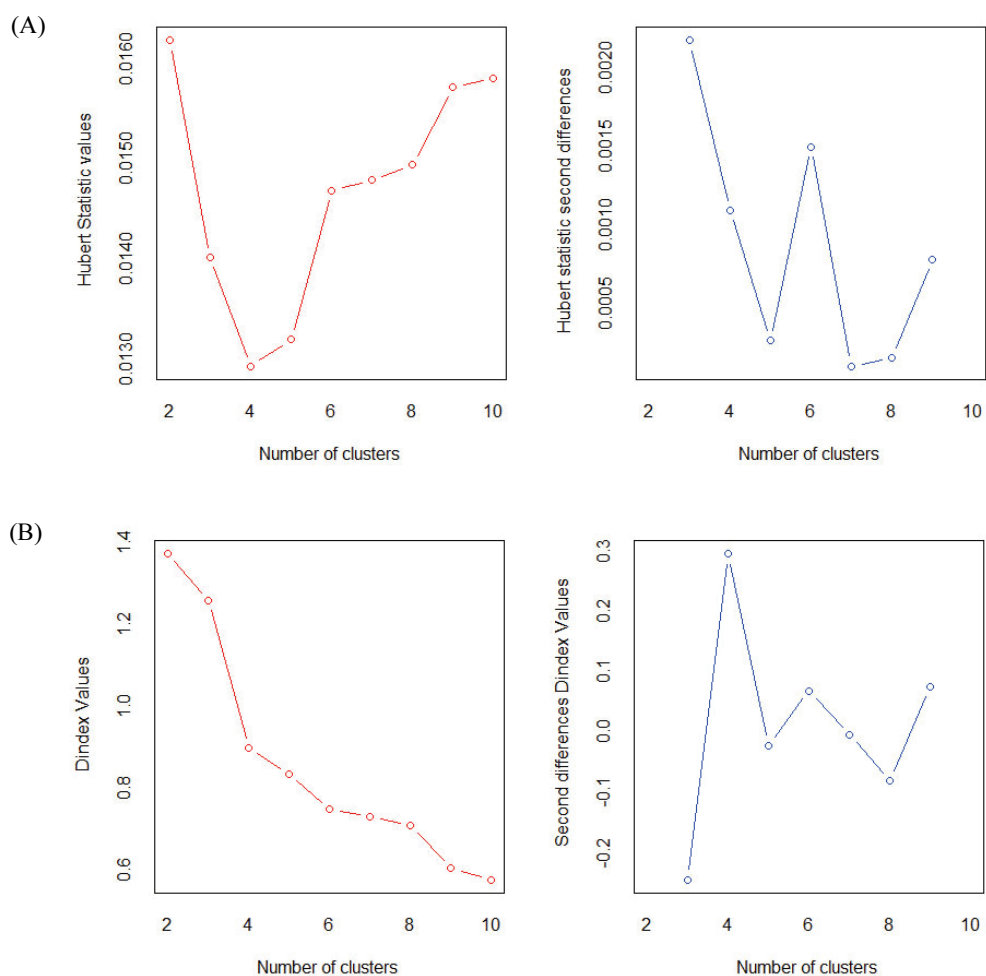


Fig. 5. Determining the optimal cluster number using Nbclust package. (A) Average method, (B) Median method.

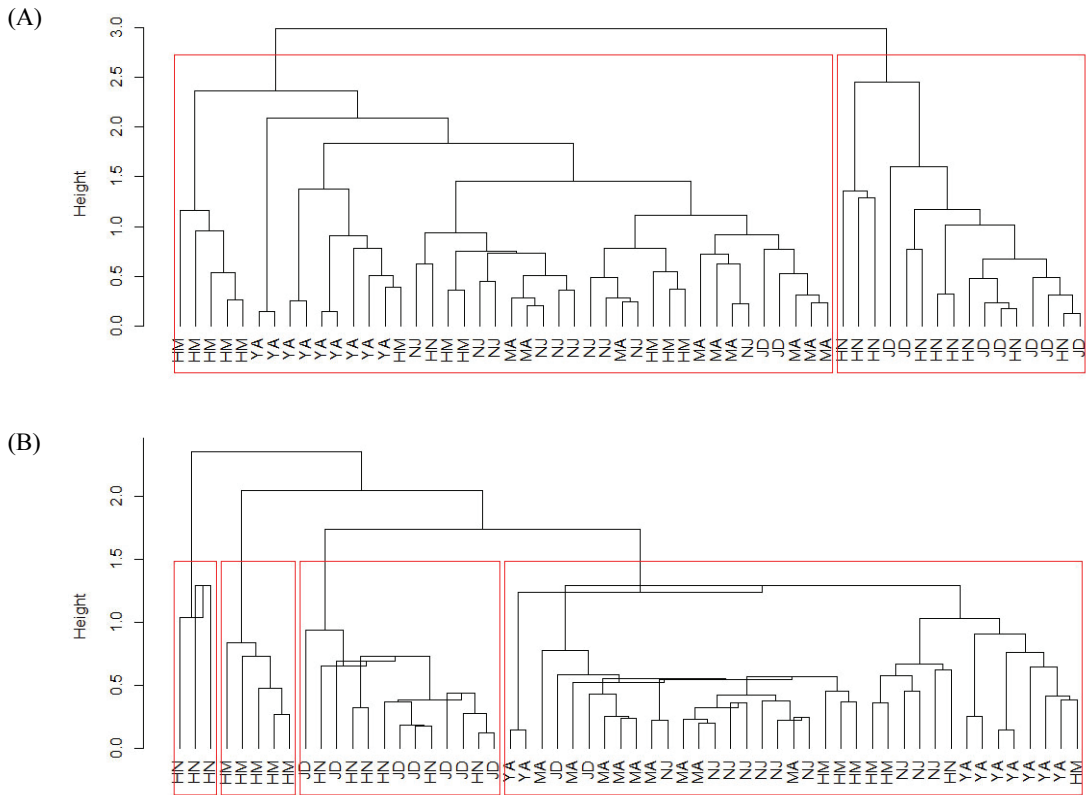


Fig. 6. Cluster analysis of Kimchi cabbage using environmental conditions and yield. HM, HN, JD, MA, NJ, YA mean Hampyeong, Haenam, Jindo, Muan, Naju, and Yeongam, respectively. (A) Average method, (B) Median method.

포함되지 않았고 해당 군집에 관측데이터의 84.2%가 포함되어 높은 설명력을 보였다.

군집분석 결과를 보았을 때 지역별 생육도일과 수량이 매년 달랐으며, 점토 비율의 경우 진도와 함평의 차이가 진도와 해남과의 차이보다 가까움에도 불구하고 10년 간의 관측데이터가 년도와 관계없이 지역별로 군집을 이루고, 해남과 진도가 같은 군집을 이룬다는 점과 해남과 진도가 타 시군에 비하여 생육도일이 낮고 점토함량이 낮으며 수량이 높다는 점을 보았을 때 생육도일과 토성은 수량과 연관성이 있다고 판단된다.

이러한 군집분석 결과는 연관성 검증 외에도 관측포장 선정, 작황 데이터 분석, 영농정책 수립 등 다양한 분야에 활용할 수 있을 것으로 보이며, 도입 시 효율이 향상될 것으로 기대된다.

적 요

본 연구는 배추 주산지인 전남지방의 가을배추 생육 빅데이터를 활용하여 재배환경요소가 가을배추의 생육에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행되었다. 전남지방의 2010~2019년 가을배추 생육데이터를 수집하여 기온, 일조시간, 강수량, 토성 등 재배환경데이터와의 연관성을 분석하였다. 상관행렬을 작성한 결과 초장과 엽수는 생육도일과 일조시간에서 높은 상관계수를 보였고 수량은 생육도일과 점토함량에서 음의 상관관계를 보였다. 상관계수 분석을 통해 선발된 지표들을 선형회귀분석 하였는데 초장과 생육도일, 초장과 함께 일조시간, 엽수와 생육도일, 엽수와 함께 일조시간의 결정계수가 각각 0.79, 0.71, 0.7, 0.62이었으나 수량과 생육도일, 수량과 토성의 경우 결정계수가 낮았다. 수량과 생육도일 토성을 통계분석 한 결과 해남

과 진도 지역의 수량이 높았고 생육도일과 토양내 점토 함량이 낮은 것으로 나타났다. 수량, 생육도일, 토성에 대한 연관성 검증을 위하여 계층적 군집분석을 수행한 결과, 통계적으로 유사 지역으로 분류된 해남과 진도가 같은 군집을 이루었고 그 외 지역이 다른 군집을 이루었다. 연도 및 지역에 따라 생육도일과 수량이 다르고 토성이 유사한 지역이 있음에도 불구하고 관측데이터가 지역별로 군집이 이루어진 것으로 보아 생육도일과 점토 함량은 수량과 연관성이 있는 것으로 판단된다. 연관성 분석 외에도 지역별 군집을 통하여 데이터 분석 및 영농정책 수립 등에 군집분석 결과를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 실험연구사업 과제번호(PJ01196501)의 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- Ahn, J. H., K. D. Kim, and J. T. Lee, 2014: Growth modeling of Chinese cabbage in an alpine area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 309-315.
- Chang, W., 2012: R graphics cookbook: practical recipes for visualizing data. O'Reilly Media, Inc., CA, USA.
- Charrad, M., N. Ghazzali, V. Boiteau, A. Niknafs, and M. Charrad, 2014: Package 'nbclust'. *Journal of statistical software* **61**, 1-36.
- Cho, C., G. Hwang, and S. Yoon, 2018: Development of ubiquitous sensor network quality control algorithm for highland cabbage. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(4), 337-347.
- Gilmore, E. C., and J. S. Rogers, 1958: Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal* **50**(10), 611-615.
- Hoogenboom, G., 2000: Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agricultural and forest meteorology* **103**, 137-157.
- Jun, H. K., 2014: Taxonomical Classification of Korean Soils. Rural Development Administration, WanJu, Korea.
- Kim, K. D., J. T. Suh, J. N. Lee, D. L. Yoo, M. Kwon, and S. C. Hong, 2015: Evaluation of factors related to productivity and Yield estimation based on growth characteristics and growing degree days in highland Kimchi cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **33**, 911-922.
- Kim, S. W., H. Y. Rho, and S. H. Yun, 2016: Prediction of Chinese cabbage and radish consumption. *KREI* **18**, 5-6.
- KOSTAT, 2019: Crop Production Statics 2018. Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Lee, J. W., 1996: A study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. *KREI* **R346**, 39-67.
- Lee, S. G., J. H. Moon, Y. A. Jang, W. M. Lee, I. H. Cho, S. Y. Kim, and K. D. Ko, 2009: Photosynthetic characteristics and cellular tissue of Chinese cabbage are affected by temperature and CO₂ concentration. *Journal of Bio-Environment Control* **18**(2), 148-152.
- Lee, S. G., H. J. Lee, S. K. Kim, C. S. Choi, S. T. Park, Y. A. Jang, and K. R. Do, 2015: Effect of vernalization, temperature, and soil drying periods and the growth and yield of Chinese cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **33**, 820-828.
- Lee, S., and K. S. Kim, 2018: Estimation of fresh weight for chinese cabbage using the Kinect sensor. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **20**(2), 205-213.
- Lim, Y. H., 2017: Policy Trends of Agricultural Science and Technology in Major Countries in Response to the Fourth Industrial Revolution. Naju, Korea.
- McMaster, G. S., and W. W. Wilhelm, 1997: Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and forest meteorology* **87**, 291-300.
- Moon, K. H., E. Y. Song, S. H. Wi, and S. J. Oh, 2018: Development of a Chinese cabbage model using Microsoft Excel/VBA. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(2), 228-232.
- Na, S. I., B. K. Min, C. W. Park, K. H. So, J. M. Park, and K. D. Lee, 2017: Development of field scale model for estimating garlic growth based on UAV NDVI and meteorological factors. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **50**(5), 422-433.
- Oh, S. J., K. H. Moon, I. C. Son, E. Y. Song, Y. E. Moon, and S. C. Koh, 2014: Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature effects of differentiated temperature. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **32**,

- 318-329.
- Park, S. H., J. K. Kim, 2013: Cabbage. *Rural Development Administration*, WanJu, Korea.
- Perry, K. B., D. C. Sanders, D. M. Granberry, J. T. Garrett, D. R. Decoteau, R. T. Nagata, and W. J. McLaurin, 1993: Heat units, solar radiation and daylength as pepper harvest predictors. *Agricultural and forest meteorology* **65**(3-4), 197-205.
- Schwab, K., 2017: *The fourth industrial revolution*. Portfolio Penguin, London, U.K.
- Son, I. C., K. H. Moon, E. Y. Song, S. J. Oh, H. H. Seo, Y. E. Moon, and J. Y. Yang, 2015: Effects of differentiated temperature based on growing season temperature on growth and physiological response in Chinese cabbage 'Chunkwang'. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**, 254-260.
- Teetor, P., 2011: R cookbook: Proven recipes for data analysis, statistics, and graphics. O'Reilly Media, Inc., CA, USA.
- Wei, T., V. Simko, M. Levy, Y. Xie, Y. Jin, and J. Zemla, 2017: Package 'corrplot'. *Statistician* **56**(316), e24.
- Wi, S. H., E. Y. Song, S. J. Oh, I. C. Son, S. G. Lee, H. J. Lee, B. H. Mun, and Y. Y. Cho, 2018: Estimation of optimum period for spring cultivation of 'Chunkwang' Kimchi Cabbage based on growing degree days in Korea. *Agricultural and Forest Meteorology* **20**, 175-182.
- Yang, S. J., S. I. Jo., and Y. B. Jo, 2020: Big data analysis and utilization. Rural Development Administration, WanJu, Korea.