

양파의 생육시기별 생육요인과 기상요인 간의 관계 탐색

김재휘¹, 최성천¹, 김준기¹, 서홍석^{1*}

¹한국농촌경제연구원 농업관측본부

(2020년 10월 13일 접수; 2021년 2월 26일 수정; 2021년 3월 23일 수락)

A Correlation between Growth Factors and Meteorological Factors by Growing Season of Onion

Jaehwi Kim¹, Seong-cheon Choi¹, Junki Kim¹, Hong-Seok Seo^{1*}

Department of Agricultural Outlook, Korea Rural Economic Institute, 601, Bitgaram-ro, Naju-si, Jeollanam-do, 58321, Korea

(Received October 13, 2020; Revised February 26, 2021; Accepted March 23, 2021)

ABSTRACT

Onions are a representative produce that requires supply-demand control measures due to large fluctuations in production and price by growing season. Accurate forecasts of crop production can improve the effectiveness of such measures. However, it is challenging to obtain accurate estimates of crop productivity for onions because they are mainly grown on the open fields. The objective of this study was to perform the empirical analysis of the relationship between factors for crop growth and meteorological conditions, which can support the development of models to predict crop growth and production. The growth survey data were collected from open fields. The survey data included the weight of above ground organs as well as that of the bulbs. The estimates of meteorological data were also compiled for the given fields. Correlation analysis between these factors was performed. The random forest was also used to compare the importance of the meteorological factors by the growth stage. Our results indicated that insolation in early March had a positive effect on the growth of the above-ground. There was a negative correlation between precipitation and the growth of the above-ground at the end of March although it has been suggested that drought can deter the growth of onion. The negative effects of precipitation and daylight hours on the growth of the above-ground and under-ground were significant during the harvest period. These meteorological factors identified by growth stage can be used to develop models for onion growth and production forecast.

Key words: Correlation analysis, Variable importance, Onion, Above-ground growth factor, Bulb weight, Meteorological factor, Random forest



* Corresponding Author : Hong-Seok Seo
(hongseokseo@krei.re.kr)

I. 서론

양파는 토마토, 수박과 함께 세계 3대 채소작물 중 하나로(Lee, 2019) 2018년 기준 전세계 생산량은 96.8 백만 톤 수준에 다다른다(FAO, 2018). 우리나라에서도 양파는 중요한 양념채소로서 2019년 기준 조미채소 생산량 중 54.1%를 차지하고 있다(KOSIS, 2019). 양파는 농산물의 특성상 수요와 공급이 가격에 탄력적이지 않기 때문에 수급변화에 따른 가격의 변동폭이 커 정부에서는 수매·수입비축, 산지폐기, 출하정지 등 다양한 수급조절 대책을 시행하고 있다. 안정적인 가격 유지를 위한 수급 정책 마련을 위해서는 생산량의 정확한 예측이 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 양파 생육에 영향을 미치는 기상요인 탐색과정이 선제적으로 요구된다.

양파의 생육은 크게 유묘기, 활착기, 월동기, 경엽신장기, 구비대기로 나뉜다. 농촌진흥청은 각 생육단계에 따라 양파 생육에 영향을 미치는 기상요인을 정리하였다(Fig. 1). 예를 들어 2월에서 3월 초까지는 잦은 비로 인한 습해와 병해를 대비해야 하고, 3월 중순부터 5월 말까지는 가뭄으로 인한 피해를 주의해야 한다. 양파의 생산량은 구중으로 결정되는데, 초장, 엽수 등 지상부 생육요인의 성장도 최종 구중에 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다. Lee(2015)에 따르면 양파는 일장과 온도가 비늘잎 형성과 구 비대에 필요한 조건을 충족하면 식물체의 크기에 상관없이 비늘잎을 형성하고 구의 비대가 시작되는데, 최종 구의 크기는 엽수가 많을수록 크다고 하였다. 즉 지상부 생육이 원활하지 않으면 구의 생육이 억제되어 최종 구중에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 기상요인과 구중 간의 관계뿐만 아니라 구중에 영향을 미치는 요인인 지상부 생육과의 관계도 주목해야 한다.

양파는 대부분 노지에서 재배되기 때문에 기상변화에 영향을 크게 받아 생산량의 변동성이 크다. 양파

생산량 또는 단수를 추정하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있지만(Choi and Baek, 2016; Lee *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2020; Na *et al.*, 2017; Oh and Kim, 2017; Song *et al.*, 2017), 생산량의 견고한 추정과 정확한 예측은 어려운 실정이다. 선행연구에서 사용된 양파 생육자료는 조사주기가 1개월 이상으로 길어, 지상부와 지하부의 생육속도가 빨라지는 경엽신장기 이후 생육 관측치가 적기 때문에 기상요인과 생육 간 관계를 정밀하게 추정하는데 한계가 있었다. 또한 관심있는 기상환경 요인을 통제하여 실험한 결과를 토대로 분석한 연구 결과는 주로 노지에서 재배되는 양파의 특성상 실제 환경에서는 적용하기 어렵다는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 한국농촌경제연구원(이하 KREI)은 2020년산 양파를 대상으로 생육 실측조사를 시행하였으며, 짧은 조사주기로 다수 농가를 조사함으로써 양질의 데이터를 생산하였다. 또한, 기존 연구에서는 양파 생육에 영향을 미치는 기상요인을 월별로 계산하여 적용하는 경우가 다수이며(Moon *et al.*, 2005), 분석에 사용된 기상자료와 생육자료의 지역적 범위가 일치하지 않아 분석결과와 신뢰도가 다소 미흡하였다.

본 연구에서는 국립농업과학원의 소기후 모형으로부터 추정된 실측 대상 필지의 기상자료를 사용함으로써 생육자료와 기상자료의 공간적 단위를 일치시키고, 양파 생육단계별 상관관계가 높은 기상요인을 탐색하고자 한다. 또한, 랜덤 포레스트 기법을 이용하여 생육요인과 상관계수가 높은 기상요인들의 영향력 및 중요도를 분석하고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 양파 생육 실측조사 자료

양파를 5년 이상 재배한 전국의 농가 중 106개 농가를 대상으로 실측조사를 실시하였다. 2020년 2월 15일부터 6월 11일까지 총 11회 실시하였으며, 2~3월

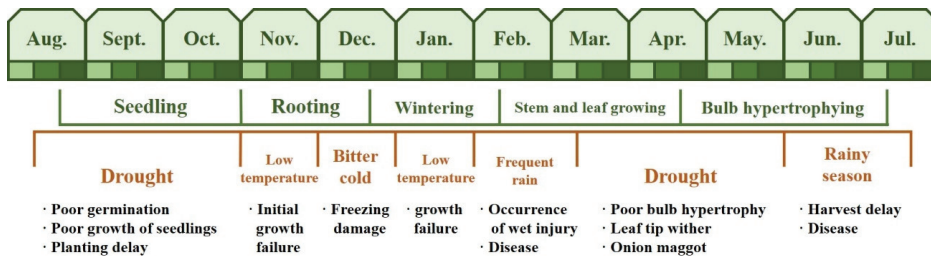


Fig. 1. Lifetime and weather disasters of onions.

Table 1. Summary of growth observation survey date in 2020

Round	Date
1	14 February ~ 21 February
2	28 February ~ 9 March
3	13 March ~ 23 March
4	30 March ~ 8 April
5	9 April ~ 20 April
6	20 April ~ 28 April
7	27 April ~ 8 May
8	11 May ~ 15 May
9	20 May ~ 25 May
10	8 June ~ 10 June

에는 15일 간격으로, 4월 이후에는 10일 간격으로 조사하였다. 조사 대상 농가의 대표 필지에서 약 3.3m²씩 3개의 조사구역을 선정하고, 각 조사구역에서 5개 개체의 지상부 생육요인을 추적 조사하였다. 지하부의 생육자료는 양파를 뽑지 않으면 측정이 불가능하기 때문에 구 비대가 시작하는 5차 조사부터 동일 조사구역 내 추적 조사 대상 개체 주변의 5개체를 선정하여 파괴 조사하였다(Table 1).

생육 실측은 지상부의 초장, 엽수, 엽초장, 엽초경과 지하부의 구중에 대해 조사하였다. 초장(plant height)은 지면에서부터 주중 가장 긴 잎의 생존 부위까지

길이를 생엽장이라고도 한다. 엽수(the number of leaves)는 양파 잎의 수를 말하며, 1cm 이상인 잎만 조사하였다. 엽초장(stem height)은 지면에서부터 잎이 분열되고 있는 지점까지의 길이이며, 엽초경(stem diameter)은 엽초 중 가장 두꺼운 부분의 두께로 지면에서 약 2~3cm 위를 측정했다. 구중(bulb weight)은 지상부 부분을 분리시킨 지하부 부분의 구 무게이다.

분석대상 자료는 연구결과의 신뢰도를 높이기 위해 표본교체, 병해발생, 측정오류, 측정불가 등을 제외한 모든 조사 회차에서 조사가 완료된 필지로 한정하였다. 또한, 전체 양파 재배면적의 약 90%를 차지하여 국내 수급 및 가격에 미치는 영향이 크고, 저장성이 강하며, 연중 소비되는 품목인 중만생종 양파를 분석 대상으로 선정하였고(RDA, 2015), 총 32개 농가의 조사 결과를 분석 자료로 최종 선정하였다. 기상자료는 필지 단위인데 반해 생육 실측자료는 개체 단위이기 때문에 개체 단위의 생육자료를 농가별 평균값으로 산출하여 분석단위를 필지 단위로 통일하였다.

Lee(2015)에 따르면 중만생종 양파의 경우 3월 중순 이후부터 잎이 눈에 띄게 신장한다고 했으며, 구비대기가 시작되면 비늘잎이 형성되어 새로운 잎몸이 나지 않는다고 한다. 또한 구비대기에 양파의 구가 굽어지는 현상을 잎의 엽록체에서 탄소동화작용에 의해 만들어진 탄수화물이 구로 내려가 축적되는 과정이라고 설명한다. Fig. 2는 조사회차별 지상부 및 지하부 생육요인의 생장을 나타낸 상자 도표로 기존 문헌과 유사

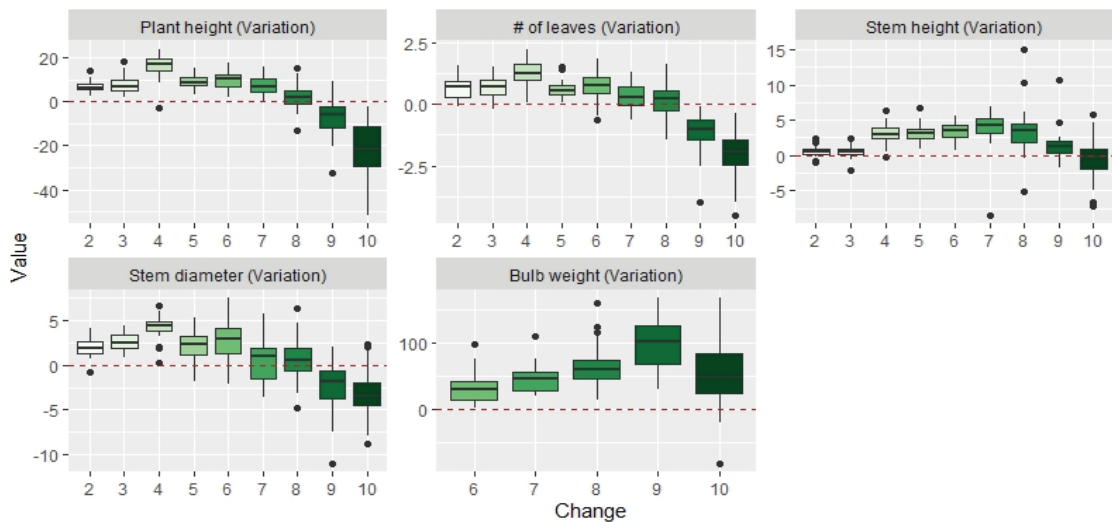


Fig. 2. Box plot of growth factors variation by round (a) Plant height (b) The number of leaves (c) Stem height (d) Stem diameter (e) Bulb weight.

한 결과가 도출되었다. 지상부 생육요인은 대체로 3월 중순~말 시기인 4차 조사에서 가장 큰 변화량이 있었으며, 구비대기에 들어선 후에는 변화량이 음수로 전환되는 모습을 확인할 수 있다. 이와 다르게 구중의 증가폭은 마지막 조사회차를 제외하면, 지속적으로 증가하는 추세를 보인다.

2.2. 소기후 모형의 기상자료

우리나라 농업에 영향을 주는 기상의 특징은 지형이 복잡하여 좁은 지역 내에서도 기상 분포 변이가 크다는 점이다(Kim *et al.*, 2019). 하지만, 현재 기상청에서 제공하는 종관기상관측(ASOS) 자료는 시군 단위로 제공하고 있어 관측소가 설치되어 있지 않은 지역은 기상정보를 얻을 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 농가 필지에 해당하는 기상자료를 좀 더 정확하게 매칭할 수 있도록 소기후 모형을 이용한 기상 추정치를 사용하였다. 소기후 모형은 국립농업과학원에서 독자적으로 개발한 모형으로 우리나라 전역의 기상정보를 농장필지 단위까지 정밀하게 추정할 수 있는 모형이다(Kim *et al.*, 2019). 일별 기상청 종관기상자료를 기반으로 각 요소별 상세화 기술(Table 2)을 통해 30~270m의 격자 해상도의 전국 기본 기상자료를 산출한 후, 각 농가의 필지 단위로 일별 최고기온(maximum temperature, MaxTemp), 최저기온

(minimum temperature, MinTemp), 평균기온(average temperature, AvgTemp), 강수량(precipitation), 일조시간(daylight hours), 일사량(insolation)의 6가지 기상자료를 추정하여 제공한다.

6가지 기상자료 외에 선행연구와 참고문헌을 토대로 양파 생육에 영향을 줄 수 있는 기상 파생변수를 추가로 고려하였다(Table 3). 증발산량(evapotranspiration, ET)은 지면에서 대기로 증발한 수증기량과 식물의 잎 표면에서 대기로 증산된 수분량의 합으로 FAO Penman-Monteith 증발산 모형을 토대로 산출하였다(Hur *et al.*, 2006). 생육도일(growth degree day, GDD)은 평균기온이 4°C 이상인 날들의(평균기온 - 4°C) 값의 합으로 양파의 어린 뿌리가 생장할 수 있는 최저온도를 활용하였다(Lee, 2015). 최적기온일수(optimal temperature days, OTD)는 최고기온이 15°C~25°C 범위에 속한 일수로 양파의 구가 비대하면서 잎이 마르지 않는 적정온도를 참고하여(Lee, 2015) 정의하였고, 일교차(daily cross)는 일 최고기온에서 일 최저기온을 뺀 값이다. 또한 양파는 고온에 비교적 약한 작물로 기온이 30°C 이상이면 잎이 마르고 양파의 생장을 저해하기 때문에(Lee, 2015), 최고기온이 30°C 이상인 일수를 고온일수(hot days)로 정의하였다. 강우일수(the number of days of precipitation, NDP)는 일강수량이 5mm 이상인 일수이며, 강우지수(rainfall index)는 당일과 전날

Table 2. Presenting production of detailed past agricultural meteorological data based on automated synoptic observing system (ASOS) from the Meteorological Administration

Meteorological factor	Detailed description	Resolution(m)
Maximum temperature (MaxTemp)(°C)	After spatial interpolation of the maximum temperature observation value for each station using the IDW (Inverse Distance Weighting) method, dynamic elevation correction and solar radiation effect are applied.	30
Minimum temperature (MinTemp)(°C)	After spatial interpolation of the observed minimum temperature of each station using the IDW method, dynamic elevation correction, urban heat island effect, warming zone correction, and cold airflow correction are applied.	
Average temperature (AvgTemp)(°C)	It is the average of the maximum and minimum temperatures.	
Precipitation(mm)	It is estimated using PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model)	270
Daylight hours (hour)	It is estimated using the shaded undulations by time.	
Insolation (MJ/m ²)	After spatial interpolation of the observed values of daily cumulative insolation for each station using the IDW method, it is corrected using the distribution map of the relative insolation index, which is a topographic correction value for horizontal insolation.	

강수량의 합이 50mm 이상이 되는 날의 강수량 합으로, 강우일수와 강우지수는 강수와 생장 간 관계를 탐색하기 위해 도입하였다.

2.3. 랜덤 포레스트와 변수중요도

랜덤 포레스트(random forest) 기법에 의해 산출되는 변수 중요도는 James *et al.*(2013)의 연구를 참고하여 연구에 활용하였다. 의사결정나무(decision tree)는 반응변수를 설명변수의 일정 규칙에 따라 분류하여 예측하는 지도학습(supervised learning) 기법으로 예측하는 과정이 나무와 유사하여 의사결정나무라고 불린다. 반응변수의 전체 집합인 뿌리 마디(root node)로부터 중간 마디(intermediate node)와 끝 마디(terminal node)로 나뉘며, 마디 사이의 연결을 가지(branches)라고 부른다. 끝 마디는 잎(leaves)이라고도 불린다.

랜덤 포레스트는 앙상블 학습(ensemble learning)의 일종으로 의사결정나무를 베이스 모형(base model)으로 사용하는 동질적 학습(homogeneous learning) 기법이다. 의사결정나무 모형은 대체로 높은 분산을 가진다는 문제점이 있는데 이를 보완하기 위해 여러 개의 붓스트랩 샘플(bootstrap sample)을 생성하고 각

샘플을 다른 의사결정나무에 적합한 후, 결과들의 평균을 구하는 방법이다. 또한, 의사결정나무는 첫 번째 분류규칙에 의해 나무의 전체적인 틀이 형성되는 경우가 많기 때문에 영향력이 매우 큰 변수가 있을 경우 붓스트랩 샘플로 적합한 나무모형의 형태가 유사하게 나타날 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 랜덤 포레스트는 각 샘플마다 전체 설명변수의 1/3만 사용하여 결과를 도출한다.

변수 중요도(variable importance)는 의사결정나무에 사용된 다수의 설명변수 중에서 어떤 변수가 모형에서 중요한 역할을 하는지 보는 척도이다. 중요도의 기준은 크게 두 가지 방법을 이용하여 계산한다. 첫 번째는 OOB (out-of-bag) 자료의 *p*번째 변수를 재배열하여 OOB 오차의 변화를 비교하는 방법이다. OOB 자료는 붓스트랩 샘플 생성 과정 중에서 샘플에 속하지 않는 자료를 말하며, OOB 오차는 OOB 자료를 나무 모형에 적용하여 얻은 추정값과 실제값 간의 오차이다. OOB 오차가 클수록 *p*번째 변수는 결과에 큰 영향을 주는 변수라고 할 수 있으므로 중요한 변수로 판단한다. 두 번째 방법은 마디 중요도(node importance)의 총량을 계산하는 방법으로 각 마디에서 하위 마디로

Table 3. Table of meteorological-derived variable

Derived variable	Formula
Evapotranspiration (ET)	$E[ET_0], \text{ where}$ $ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$ <p> R_n is net radiation at the crop surface, G is soil heat flux density, T is air temperature at 2m height, U_2 is wind speed at 2m height, e_s is saturation vapour pressure, e_a is actual vapour pressure, Δ is slope vapour pressure curve, γ psychrometric constant </p>
Growing degree day (GDD)	$\sum_i \max(0, Y_i - 4^\circ\text{C})$, Where Y_i is average temperature
Optimal temperature days (OTD)	$\sum_i I(15^\circ\text{C} \leq Y_i^{max} \leq 25^\circ\text{C})$, Where Y_i^{max} is maximum temperature
Daily cross	$E[Y_i^{max} - Y_i^{min}]$, where Y_i^{max} is maximum temperature and Y_i^{min} is minimum temperature
Hot days	$\sum_i I(Y_i^{max} \geq 30^\circ\text{C})$, Where Y_i^{max} is maximum temperature
The number of days of precipitation (NDP)	$\sum_i I(Z_i \geq 5\text{mm})$, Where Z_i is daily precipitation
Rainfall index	$\sum_i Z_i^{dm}, \text{ Where}$ $Z_i^{dm} = \begin{cases} Z_i, & Z_i + Z_{i-1} \geq 50\text{mm} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$ <p>Z_i is daily precipitation</p>

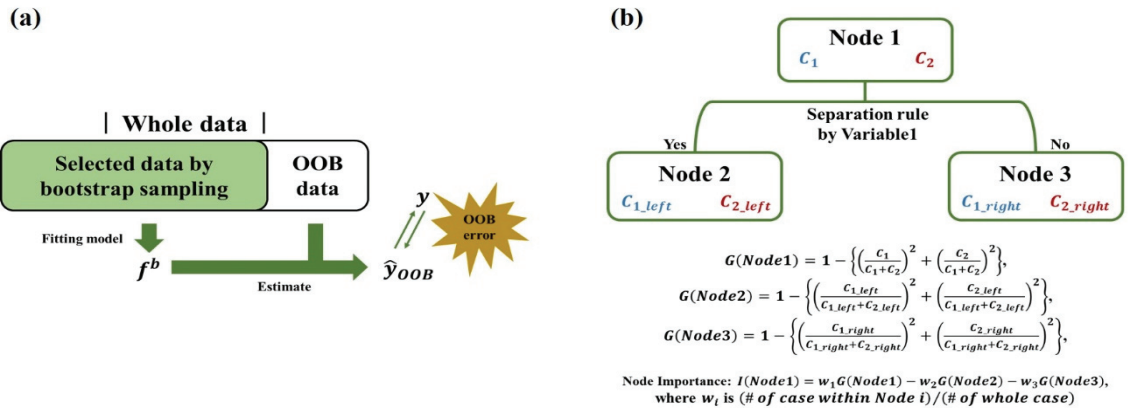


Fig. 3. Variable importance calculation process (a) Calculation process about OOB error (b) Calculation formula about node importance.

분류될 때 감소하는 오차의 양을 마디 중요도라고 한다. p 번째 변수가 사용된 모든 마디에서의 마디 중요도 합이 가장 크다면, 다른 변수에 비해 p 번째 변수가 오차를 많이 줄여 주기 때문에 중요한 변수이자 영향력이 큰 변수라고 할 수 있다. Fig. 3은 변수 중요도의 산출 과정을 설명한 그림으로 (a)는 OOB 오차를 계산하는 과정을 나타냈고, (b)는 마디 중요도를 계산하는 과정과 식을 설명하였다.

2.4. 분석 방법

각 조사회차별 양파의 생육 상황은 과거의 생장 및 기상 요인 등 외부 요인들이 누적되어 나타나기 때문에 특정 시기의 생장과 기상요인 간 관계를 탐색하기 위해 조사회차 간 생육자료의 변화량을 산출하였다. 양파 생장에 영향을 줄 수 있는 기상요인이 지속 기간에 따라 차이가 있을 것이라고 예상되어 조사일 이전 7일, 10일, 15일, 30일부터 조사일까지의 자료를 개별 산출하여 시기별 생장 간의 관계 탐색에 활용하였다. 기상자료는 총 52개(13가지 기상요인과 4가지 지속 기간)의 기상변수를 특성에 따라 누적 또는 평균값으로 변환하였다. 예를 들어 강수량, 일사량은 7일, 10일, 15일, 30일 값들의 누적합을 사용하였으며, 최고기온, 최저기온, 평균기온, 일조시간은 평균을 사용하였다. 파생변수의 경우 각각 정의된 식을 사용하여 정리했다(Fig. 4). 5%의 유의수준에서 상관계수가 유의한 기상요인을 탐색하였으며, 기상요인은 같지만 기상변수의 산출기간이 다른 2개 이상의 변수들이 모두 상관계수가 유의한 경우에는 상관계수가 가장 높은 변수를 중심으로 분석하였다. 예를 들어 7일간 강수량(강수량(7))과 10

일간 강수량(강수량(10)), 이하 기상요인은 동일하게 표현)이 모두 5% 수준에서 상관계수가 유의할 경우 둘 중에 상관계수가 더 높은 요인을 중심으로 탐색하였다.

변수 중요도는 1000개의 붓스트랩 샘플과 각 샘플마다 17개의 기상변수를 무작위로 선별한 랜덤 포레스트 모형을 사용하여 산출하였다. OOB 오차를 이용한 방법과 마디 중요도를 이용하는 방법을 사용하였고, 상관계수가 높은 기상요인을 중심으로 조사회차별 변수 중요도의 순위를 산출하여 비교 분석하였다.

III. 결 과

3.1. 경영신장기 양파 생장과 기상요인간 상관관계

뿌리가 재생하는 시기인 2월에는 초장과 기상요인과의 유의한 상관관계가 가장 많이 나타났다. 초장과 기상요인 간 상관계수는 최고기온(30)이 0.661, 최적기온일수(30)가 0.643, 일교차(7)는 0.512, 증발산량(15)은 0.493, 일사량(30)은 0.480, 일조시간(30)은 0.422로 나타났으며, 이중에서 최고기온(30)과 최적기온일수(30)는 변수 중요도에서 OOB 오차 방식과 마디 중요도 방식 둘다 3위권 안에 드는 변수로 나타났다. 엽초경의 상관계수는 강우일수(7)가 0.421, 최적기온일수(10)가 0.416, 최고기온(10)이 0.353로 나타났다. 최고기온(10)은 변수 중요도 분석 방법 모두에서 2위로 나타난 반면 강우일수(7)는 OOB 오차 방법만 변수 중요도 순위가 4위로 나타났다. 엽수와 엽초장은 일조시간(15)만 유의한 상관관계에 있었으며 상관계수는 각각 -0.606과 -0.353으로 음의 관계가 나타났다. 엽초장에서 일조시간(15)의 변수 중요도 순위는 각각

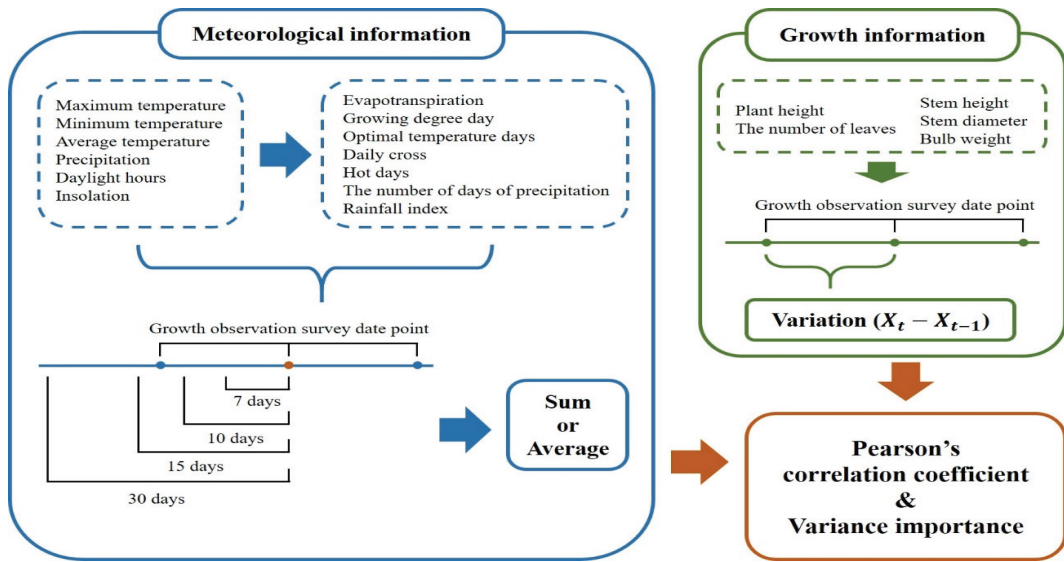


Fig. 4. Schematic of analysis method.

12위와 21위로 중요한 변수로 보기에 어렵지만 엽수에서는 두 방법 모두 1위로 중요한 변수로 판단된다. 일조시간이 초장 생장에는 양의 상관관계로 나타난 반면 엽수 생장에는 음의 상관관계로 나타난 것으로 보아, 같은 기상요인이라도 양파의 개별 생육요인에 미치는 영향력은 다를 수 있음을 확인하였다.

3월 초는 잎이 재생하는 시기로 양파의 생육기간 중 지상부 생육요인과 상관관계에 있는 기상요인이 가장 많은 시기로 분석되었다. 특히 초장의 경우 52개의 기상변수 중 약 71%인 37개가 유의했으며, 유의한 변수 중에서 5개를 제외하고 전부 0.001 이하의 유의확률을 나타냈다. 상관계수 또한 0.6~0.9 사이로 매우 높은 결과를 보였다. 기간은 각기 다르지만 모든 지상부 생육요인은 최고기온, 최적기온일수, 일교차, 일조시간, 증발산량, 강수량과 유의한 관계가 있는 것으로 나타났다. 특이한 사항으로 강수량은 초장과 -0.612, 엽수와 -0.418, 엽초장과 -0.493, 엽초경과 -0.445의 상관계수로 나타나, 3월 초 강수량은 지상부 생육에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 잦은 비로 인해 발생하는 습해 및 병충해 피해를 명시하고 있는 기존 문헌(RDA, n.d.)과 유사한 결과이다. 하지만 변수 중요도에서 가장 높은 순위가 11위로 나타나 예측력 측면에서는 중요한 요인으로 판단하기에 다소 미흡하다. 반면, 일사량(10)의 상관계수는 초장과 0.832, 엽초장과 0.511, 엽초경과 0.626으로 매우 유의한 양의 관계가 있으며 변수 중요도 순위에서도 각각 1위,

8위, 2위로 높은 순위에 위치한 것으로 확인되었다. 분석결과 3월 초 지상부 생육은 강우요인보다 일사량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

3월 중순은 뿌리와 잎이 신장하는 시기로서 특히 잎이 눈에 띄게 신장하는 시기이다(Lee, 2015). 3월 말에는, 초장과 강수량(10) 간의 상관계수가 -0.388, 엽수와 강수량(10) 사이에서는 -0.472, 엽초경과 강수량(7)에서는 -0.378로 선행 연구(RDA, n.d.)에서 명시한 가뭄 피해와 달리 비가 적게 올수록 생육상황이 좋다는 결과가 도출되었다. 위 변수들은 변수 중요도 순위가 엽수와 엽초경에서 두 방법 모두 4위권 내에 위치하였으며, 초장은 OOB 오차 방법에서 강수량이 1위를 차지해 간과해서는 안될 기상요인으로 판단된다. 하지만 4월 초·중순에는 초장과 강수량(10) 간 0.538, 엽초장과 강수량(15) 간 0.485, 엽초경과 강수량(30) 간 0.668로 양의 상관관계로 전환되었으며, 특히 초장의 경우 5월 초까지 이어져 5~6차에서는 강수량(10)과 0.360, 6~7차에서는 0.536의 양의 상관계수를 보였다. 두 차수간 초장에서 강수량의 변수 중요도는 두 방법에서 모두 4위권 내에 위치하여 매우 중요한 변수임이 확인되었으며, 이 결과는 선행 연구(RDA, n.d.)에서 언급한 가뭄 피해 상황과 일치하였다. 4월 중·하순 5~6차에서 엽수와 유의한 상관계수를 가진 기상변수는 최고기온(7), 평균기온(15), GDD(15)로 각각 -0.405, -0.375, -0.375의 상관계수를 보였고, 그중에서 최고기온(7)은 OOB 오차 방법과 마디

중요도 방법을 사용한 변수 중요도 순위가 각각 2위, 3위로 굉장히 중요한 변수로 나타났다. Lee(2015)에서 구비대기에 다다르면 엽수가 더 이상 증가하지 않는다는 연구 내용을 참고하면 온도가 높아질수록 구비대 적정 온도에 도달하고, 시기상 일장도 부합하여 구비대기로 전환되기 시작한 시점으로 판단된다.

3.2. 구비대기 양파 성장과 기상요인의 상관관계

기온이 상승하기 시작하는 구비대기에는 최고기온이 높아질수록 양파 생육상황은 좋지 않은 것으로 분석되었다. 5월 상·중순에는 최고기온(30)이 초장과 -0.496, 엽수와 -0.537, 구중과 -0.277, 최고기온(15)은 엽초장과 -0.389로 통계적으로 유의한 음의 상관관계로 나타났다. 특히 초장과 엽수는 변수 중요도 측면에서도 두 방법 모두 최고기온이 가장 중요한 변수로 나타났다. 5월 중·하순에서도 최고기온(30)은 초장과 -0.480, 엽수와 -0.435로 음의 상관관계에 있는데, 변수 중요도 순위에서는 엽수의 OOB 오차 방법이 3위인 것을 제외하고 높은 순위에 있지 않았다. 이는 선행연구(Lee, 2015)에서 명시한 고온으로 인한 잎 마름 현상을 실증적으로 분석한 것으로, 구비대기 시기에 고온으로 인한 생육 피해를 주의해야 할 것으로 판단된다. 6월 초 초장과 엽수는 강우지수(30)와의 상관관계수가 각각 -0.409, -0.375로 단기간에 내린 강수량이 많을수록 초장과 엽수 등 지상부 생육은 부진한 것으로 분석되었다. 이에 반해 강우지수(30)와 구중간 상관계수는 0.498로 양의 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타났으며, 변수 중요도 순위도 두 방법 모두 1위를 차지해 지하부 생육에는 매우 중요한 기상변수로 분석되었다. 반면, 일조시간은 지상부 생육과는 양의 관계를 지하부 생육에는 음의 관계로 분석되어 강우지수 요인과 반대의 결과가 도출되었다. 즉 초장과 일조시간(15)의 상관계수는 0.523, 엽수와 일조시간(10)은 0.449로 양의 상관관계에 있으며 변수 중요도 역시 높은 순위권에 위치하였으나, 구중과 일조시간(30) 간의 상관계수는 -0.489로 음의 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타났다. 이러한 결과는 수확이 가까워지면서 잎의 엽록체에서 만들어진 탄수화물이 지하부 구로 축적되는 현상이 가시화된 것으로 추론된다. 또한 햇빛이 많은 날보다는 비가 일정량 이상 오는 날이 구 성장에 따른 생산량 증대에 좀 더 긍정적인 효과를 미치는 것으로 판단된다.

IV. 고찰 및 결론

노지 양파의 생육시기에 따라 지상부의 초장, 엽수, 엽초장, 엽초경 성장과 지하부의 구중이 어떤 기상요인과 밀접한 관계가 있는지 실증 분석하여 시기별 생육 성장을 추정하기 위한 중요 기상요인을 탐색하였다. 가장 많은 기상요인과 유의한 상관관계가 나타난 시기는 3월 초로 경엽신장기 중 잎이 재생하는 시기로 분석되었다. 이 시기에는 초장이 대다수의 기상요인과 상관관계수가 0.6~0.9로 매우 높았다. 특이사항으로 강수량은 지상부 성장에 부정적인 관계로 나타난 반면, 일사량은 초장, 엽초장, 엽초경 중심으로 지상부 성장에 긍정적인 관계로 나타났다. 변수 중요도를 분석한 결과, 일사량이 강수량보다 현저히 높은 순위에 위치하여 잎이 재생하는 3월 초에는 강수량보다는 일사량을 주목해야 할 것으로 판단된다. 3월 중순부터 가뭄에 의한 피해를 언급한 기존 문헌과 달리 3월 말 강수량은 지상부 성장과 음의 상관관계를 보였으며, 경엽신장기 후반에는 엽수가 기온 관련 변수들과 음의 상관관계에 있어 구비대기 전환의 조짐을 확인할 수 있었다. 구비대기에서는 최고기온이 높을수록 양파의 성장에 부정적인 영향이 있었고, 이 결과는 고온으로 인한 잎 마름 현상을 실증적으로 설명한 것으로 판단된다. 수확기에 가까워지면 강수량과 일조시간의 경우 지상부 성장과 지하부 구중에 미치는 영향이 통계적으로 유의했으며, 반대로 나타났다. 강수량이 많을수록, 일조시간이 적을수록 양파의 지상부 부분은 시드는데 반해 지하부 구중은 증가하는 현상이 발견되어, 수확 근접 시기에는 해가 쨍쨍한 날보다는 비오는 날이 생산량 증대에 더 긍정적인 것으로 분석되었다. 본 연구는 노지 양파의 생육 실측자료와 기상 상세화 자료를 이용하여 기존에 알려진 생육요인과 기상요인 간 관계에 대해 수치적으로 분석하고 양파의 생육 성장에 영향을 미칠 수 있는 기상요인을 밝혀내 양파 생육모형과 단수예측모형 개발을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 하지만 1년차 자료만으로 분석에 사용되었고, 기상요인 이외에 양파 성장에 영향을 미칠 수 있는 지리 환경적 요인을 고려하지 않아 분석 결과의 신뢰도가 다소 미흡하다. 지속적인 양질의 생육 및 기상자료 뿐만 아니라 다양한 환경요인 자료도 함께 수집하여 분석결과의 신뢰도를 높이는 것은 향후 과제로 남긴다.

Table 4. Correlation and variable importance between meteorological factors and plant height of onion

Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)		Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)	
	Coef	p-value	OOB error	Node importance		Coef	p-value	OOB error	Node importance
1~2*					5~6*				
MaxTemp(30)	0.661	0.000	1	1	Precipitation(10)	0.360	0.043	1	4
OTD(30)	0.643	0.000	3	2	6~7*				
Daily cross(7)	0.512	0.003	10	11	Precipitation(7)	0.536	0.002	2	2
ET(15)	0.493	0.004	8	13	Rainfall index(30)	0.492	0.004	22	43
Insolation(30)	0.480	0.005	13	10	MaxTemp(7)	0.415	0.018	16	16
Daylight hours(30)	0.422	0.016	11	9	Daily cross(10)	0.402	0.023	3	9
2~3*					OTD(15)	-0.397	0.024	6	13
GDD(10)	0.887	0.000	11	6	NDP(7)	0.387	0.028	26	47
AvgTemp(7)	0.886	0.000	10	11	Daylight hours(15)	-0.350	0.050	14	18
ET(30)	0.863	0.000	19	21	7~8*				
MaxTemp(7)	0.843	0.000	8	8	NDP(10)	0.572	0.001	25	46
Insolation(10)	0.832	0.000	1	1	Precipitation(10)	0.533	0.002	7	2
Daylight hours(10)	0.817	0.000	4	7	Rainfall index(30)	0.507	0.003	15	14
NDP(15)	0.753	0.000	27	35	ET(30)	-0.497	0.004	4	15
OTD(15)	0.745	0.000	3	5	MaxTemp(30)	-0.496	0.004	1	1
Daily cross(7)	0.663	0.000	22	22	GDD(10)	0.472	0.006	16	4
Precipitation(10)	-0.612	0.000	35	24	AvgTemp(10)	0.472	0.006	27	5
3~4*					MinTemp(10)	0.469	0.007	40	21
MaxTemp(30)	0.431	0.014	2	4	Daily cross(30)	-0.445	0.011	10	17
OTD(30)	0.413	0.019	14	6	Daylight hours(10)	-0.427	0.015	41	39
Precipitation(10)	-0.388	0.028	1	15	Insolation(10)	-0.425	0.015	20	29
Daily cross(30)	0.360	0.043	11	13	OTD(30)	0.375	0.035	37	41
4~5*					8~9*				
MaxTemp(7)	0.572	0.001	30	21	Daily cross(30)	-0.553	0.001	5	9
NDP(10)	0.561	0.001	36	43	OTD(7)	0.516	0.002	37	42
Precipitation(10)	0.538	0.002	16	23	MinTemp(7)	0.484	0.005	52	10
AvgTemp(10)	0.484	0.005	20	17	MaxTemp(30)	-0.480	0.005	14	21
GDD(10)	0.484	0.005	21	19	Precipitation(10)	0.474	0.006	1	8
Daylight hours(10)	-0.471	0.006	10	8	NDP(7)	0.420	0.017	24	44
ET(30)	0.439	0.012	4	4	ET(30)	-0.416	0.018	4	5
Daily cross(7)	0.435	0.013	5	3	9~10*				
5~6*					Daylight hours(15)	0.523	0.002	1	1
Insolation(10)	-0.375	0.034	13	17	Rainfall index(30)	-0.409	0.020	14	13
ET(15)	-0.371	0.037	5	5	OTD(30)	0.398	0.024	5	11

* (t~t+1) refers to the period from the (t)th survey to (t+1)th survey.

** The numbers in parentheses refer to the number of days used to calculate each meteorological factor.

Table 5. Correlation and variable importance between meteorological factors and the number of leaves of onion

Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)		Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)	
	Coef	p-value	OOB error	Node importance		Coef	p-value	OOB error	Node importance
1~2*					7~8*				
Daylight hours(15)	-0.606	0.000	1	1	MaxTemp(30)	-0.537	0.002	1	1
2~3*					NDP(10)	0.512	0.003	35	44
Daily cross(7)	0.460	0.008	3	10	Precipitation(10)	0.511	0.003	12	12
OTD(30)	0.449	0.010	5	13	OTD(15)	0.430	0.014	8	5
Daylight hours(10)	0.443	0.011	6	7	Rainfall index(10)	0.430	0.014	21	37
MaxTemp(7)	0.428	0.015	13	9	Daylight hours(10)	-0.396	0.025	19	36
Precipitation(10)	-0.418	0.017	17	11	Daily cross(30)	-0.394	0.026	15	15
ET(10)	0.384	0.030	51	30	AvgTemp(30)	-0.385	0.030	27	28
3~4*					GDD(30)	-0.385	0.030	43	31
Precipitation(10)	-0.472	0.006	1	4	MinTemp(10)	0.378	0.033	37	40
MaxTemp(30)	0.354	0.047	3	2	AvgTemp(10)	0.362	0.042	46	17
5~6*					8~9*				
MaxTemp(7)	-0.405	0.022	2	3	Daily cross(30)	-0.455	0.009	4	12
AvgTemp(15)	-0.375	0.035	19	22	Precipitation(7)	0.436	0.013	16	30
GDD(15)	-0.375	0.035	22	28	MaxTemp(30)	-0.435	0.013	3	14
6~7*					OTD(7)	0.433	0.013	25	38
Daylight hours(10)	0.441	0.012	1	1	NDP(30)	0.425	0.015	22	28
ET(10)	0.432	0.014	6	4	ET(30)	-0.380	0.032	19	4
NDP(10)	-0.403	0.022	36	38	9~10*				
Insolation(10)	0.379	0.032	5	8	OTD(30)	0.459	0.008	1	2
OTD(30)	0.351	0.049	7	5	Daylight hours(10)	0.449	0.010	6	3
7~8*					Insolation(10)	0.401	0.023	4	7
ET(30)	-0.589	0.000	4	4	Rainfall index(30)	-0.375	0.035	31	18
Insolation(30)	-0.546	0.001	23	13	Precipitation(7)	-0.371	0.037	13	13

* (t~t+1) refers to the period from the (t)th survey to (t+1)th survey.

** The numbers in parentheses refer to the number of days used to calculate each meteorological factor.

Table 6. Correlation and variable importance between meteorological factors and stem height of onion

Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)		Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)	
	Coef	p-value	OOB error	Node importance		Coef	p-value	OOB error	Node importance
1 ~ 2*					4 ~ 5*				
Daylight hours(15)	-0.353	0.048	12	21	AvgTemp(10)	0.632	0.000	2	2
2 ~ 3*					GDD(10)	0.632	0.000	1	1
MaxTemp(15)	0.676	0.000	4	2	Daylight hours(15)	-0.558	0.001	3	3
Daily cross(7)	0.646	0.000	10	8	NDP(15)	0.526	0.002	30	44
OTD(10)	0.628	0.000	15	22	MaxTemp(7)	0.521	0.002	17	23
NDP(10)	-0.625	0.000	46	35	Precipitation(15)	0.485	0.005	22	17
ET(10)	0.538	0.001	9	11	ET(7)	0.456	0.009	11	10
Insolation(10)	0.511	0.003	6	10	MinTemp(10)	0.386	0.029	13	14
Daylight hours(10)	0.502	0.003	32	25	8 ~ 9*				
Precipitation(10)	-0.493	0.004	30	12	NDP(7)	-0.469	0.007	43	22
AvgTemp(10)	0.486	0.005	14	16	GDD(15)	-0.455	0.009	6	16
GDD(10)	0.452	0.009	16	19	AvgTemp(15)	-0.455	0.009	7	15
MinTemp(7)	-0.397	0.025	50	30	Daylight hours(10)	-0.412	0.019	3	8
3 ~ 4*					ET(15)	-0.405	0.022	1	2
MaxTemp(10)	0.553	0.001	1	1	MaxTemp(15)	-0.389	0.028	2	1
Daily cross(7)	0.472	0.006	18	6	OTD(15)	0.384	0.030	33	41
ET(30)	0.447	0.010	42	9	Insolation(10)	-0.362	0.042	16	13
GDD(30)	0.385	0.029	35	8	9 ~ 10*				
NDP(7)	-0.385	0.030	35	44	OTD(10)	-0.366	0.039	44	43
AvgTemp(30)	0.373	0.035	17	15					

* (t~t+1) refers to the period from the (t)th survey to (t+1)th survey.

** The numbers in parentheses refer to the number of days used to calculate each meteorological factor.

Table 7. Correlation and variable importance between meteorological factors and stem diameter of onion

Meteorological Factor**	Correlation		Variable importance (Rank)		Meteorological Factor**	Correlation		Variable importance (Rank)	
	Coef	p-value	OOB error	Node importance		Coef	p-value	OOB error	Node importance
1~2*					4~5*				
NDP(7)	0.421	0.016	4	23	MinTemp(10)	0.358	0.048	19	13
OTD(10)	0.416	0.018	15	18	5~6*				
MaxTemp(10)	0.353	0.047	2	2	Insolation(10)	-0.638	0.000	7	12
2~3*					ET(10)	-0.608	0.000	6	5
Insolation(10)	0.626	0.000	2	2	Precipitation(7)	0.600	0.000	1	2
AvgTemp(10)	0.601	0.000	1	1	Daylight hours(10)	-0.590	0.000	10	10
GDD(10)	0.598	0.000	3	3	MaxTemp(10)	-0.576	0.001	3	1
OTD(30)	0.595	0.000	28	37	NDP(7)	0.539	0.001	37	43
MaxTemp(7)	0.578	0.001	8	7	Daily cross(10)	-0.460	0.008	32	30
Daylight hours(10)	0.560	0.001	33	26	MinTemp(7)	0.416	0.018	28	26
ET(7)	0.547	0.001	20	12	GDD(10)	-0.398	0.024	24	23
NDP(15)	0.482	0.005	39	41	AvgTemp(10)	-0.398	0.024	18	27
Daily cross(7)	0.472	0.006	13	23	6~7*				
Precipitation(10)	-0.445	0.011	11	22	OTD(30)	0.514	0.003	1	27
NDP(30)	0.356	0.046	38	44	ET(10)	0.470	0.007	2	6
3~4*					Insolation(10)	0.470	0.007	13	8
Daylight hours(10)	0.394	0.028	39	34	NDP(10)	-0.446	0.011	15	47
Precipitation(7)	-0.378	0.036	4	1	Daylight hours(10)	0.354	0.047	5	5
OTD(30)	0.375	0.037	44	21	7~8*				
4~5*					NDP(7)	0.413	0.019	40	35
Precipitation(30)	0.668	0.000	1	1	8~9*				
NDP(30)	0.623	0.000	11	10	OTD(7)	0.438	0.012	21	43
OTD(10)	-0.488	0.005	5	2	Rainfall index(10)	-0.404	0.022	42	2
ET(10)	-0.460	0.009	13	7	MinTemp(7)	0.364	0.041	30	19

* (t~t+1) refers to the period from the (t)th survey to (t+1)th survey.

** The numbers in parentheses refer to the number of days used to calculate each meteorological factor.

Table 8. Correlation and variable importance between meteorological factors and bulb weight of onion

Time point*	Meteorological factor**	Correlation		Variable importance (Rank)			
		Coefficient	p.value	OOB error		Node importance	
5~6	Precipitation(30)	0.498	0.000	58.332	1	1526.465	1
	NDP(15)	0.473	0.000	0.020	21	190.238	27
	OTD(15)	-0.327	0.008	7.152	9	173.199	31
	MaxTemp(10)	-0.302	0.015	-1.345	40	336.687	10
	Daily cross(10)	-0.258	0.039	1.586	14	244.172	21
6~7	ET(30)	0.473	0.000	21.395	2	920.078	4
	MaxTemp(30)	0.421	0.001	10.427	5	382.330	7
	Daily cross(30)	0.369	0.003	-3.427	51	1108.136	2
	OTD(10)	-0.334	0.007	3.002	18	41.083	38
	GDD(30)	0.322	0.009	2.664	21	112.587	34
	AvgTemp(30)	0.322	0.009	6.259	8	169.781	23
	Precipitation(10)	-0.248	0.048	2.949	19	301.893	10
7~8	Daylight hours(15)	-0.361	0.003	18.790	13	1097.118	6
	Precipitation(15)	0.353	0.004	25.550	11	993.862	11
	ET(7)	-0.325	0.009	50.511	3	1057.867	8
	Daily cross(30)	-0.301	0.016	94.333	1	1747.701	1
	MaxTemp(30)	-0.277	0.027	5.843	31	268.170	41
	NDP(10)	0.275	0.028	3.464	37	100.463	45
	MinTemp(30)	0.264	0.035	7.434	27	734.271	13
8~9	Daylight hours(7)	0.265	0.034	4.716	7	979.736	16
	Insolation(10)	-0.264	0.035	-15.527	43	1250.171	9
	ET(7)	0.261	0.037	-4.851	30	966.155	17
9~10	NDP(7)	0.639	0.000	222.194	4	3239.092	7
	Precipitation(7)	0.579	0.000	249.091	2	3753.540	5
	Rainfall index(30)	0.498	0.000	266.009	1	4788.628	1
	Daylight hours(30)	-0.489	0.000	53.046	15	2448.931	11
	Daily cross(30)	-0.478	0.000	98.065	10	2241.380	16
	MaxTemp(30)	-0.465	0.000	115.648	9	2783.775	9
	OTD(7)	0.451	0.000	-0.463	50	12.647	45
	MinTemp(30)	0.379	0.002	76.891	12	1423.384	23
	ET(7)	-0.268	0.033	65.374	13	1393.558	25

* (t~t+1) refers to the period from the (t)th survey to (t+1)th survey.

** The numbers in parentheses refer to the number of days used to calculate each meteorological factor.

적 요

양파는 생산량 변동에 따른 가격 변화폭이 커 수급 조절 대책이 필요한 대표적인 농산물로 대책의 실효성 증대를 위해서는 정확한 생산량 예측이 요구된다. 양파는 주로 노지에서 재배되기 때문에 기상변화로 인해 생산량의 정확한 추정이 어렵다. 많은 선행연구가 다양하게 시도되었지만 신뢰도 높은 분석결과를 도출하

기 위한 양질의 생육 실측자료가 부족한 실정이었다. 선행연구는 기상여건을 통제한 실험설계를 통해 얻어진 자료를 분석하거나 기상자료와 생육자료 간 지역적 범위가 동일하지 않는 연구가 대다수여서 생육요인과 기상요인 간의 관계를 명확하게 규명하기에는 한계가 있었다. 본 연구는 자연적으로 노출된 환경에서 수집한 생육 실측조사 자료와 함께 실측 대상 지역의 추정 기상자료를 사용하여 생육요인과 기상요인 간 관계를

실증적으로 분석하였다. 양파의 생산량은 구중으로 결정되지만 지상부 생육상황에 따라 구의 생장이 부진할 수 있기 때문에 본 연구에서는 구중뿐만 아니라 지상부 생장과 어떤 기상요인이 중요한지 탐색하였다. 시기별로 생육요인과 통계적으로 유의한 상관관계를 갖는 기상요인을 탐색한 후, 랜덤 포레스트 기법을 이용하여 요인들의 영향력 및 중요도를 분석하였다. 주목할만한 결과로 3월 초에는 일사량이 지상부 생육에 긍정적인 영향을 주었으며, 3월 말에는 강수량과 지상부 생장 간 음의 상관관계에 있어 가뭄에 의한 피해를 언급한 기존 문헌과 상이하였다. 또한 수확기에는 강수량과 일조시간이 지상부와 지하부 생육에 미치는 영향이 유의하게 반대로 나타났다. 본 연구에서 밝혀낸 생육시기별 중요 기상요인은 양파의 생육모형과 생산량 예측모형 개발 연구를 위한 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Choi, S., and J. Baek, 2016: Onion yield estimation using spatial panel regression model. *The Korean Journal of Applied Statistics* **29**(5), 873-885. <http://dx.doi.org/10.5351/KJAS.2016.29.5.873> (in Korean with English abstract)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2018: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (2020.09.01)
- Hur, S. O., K. H. Jung, S. K. Ha, and J. G. Kim, 2006: Evaluation of meteorological elements used for reference evapotranspiration calculation of FAO Penman-Monteith model. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **39**(5), 274-279. (in Korean with English abstract)
- James, G., D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani, 2013: *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*, Springer.
- Kim, D. J., S. O. Kim, J. H. Kim, and E. J. Yun, 2019: Establishment of geospatial schemes based on topo-climatology for farm-specific agrometeorological information. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**, 146-157. <http://dx.doi.org/10.5532/KJAFM.2019.21.3.146> (in Korean with English abstract)
- Korea Statistical Information Service, 2018: http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#S
- electStatsBoxDiv (2020.09.01)
- Lee, K. K., K. K. Ko, and J. W. Lee, 2012: Correlation analysis between meteorological factors and crop products. *Journal of Environmental Science International* **21**(4), 461-470. <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2012.21.4.461> (in Korean with English abstract)
- Lee, J., 2015: *Onion: from one year old to organic and no-till cultivation method*, Deulnyeok.
- Lee, J., 2019: *See right in the field - Onion Physiology obstacle Illustrated Book*, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services Onion Research Institute.
- Lee, S., C. Son, and H. Lee, 2020: Effect of meteorological and agricultural input costs on onion yield: Focused on panel regression analysis and Bayesian network model. *Rural Economic* **43**(2), 1-28. (in Korean with English abstract)
- Moon, J. S., I. J. Ha, W. I. Kim, J. T. Lee, C. J. Lee, H. D. Kim, and Y. C. Cho, 2005: Assumption of regression model and analysis of correlation for predicting onion crop situation. *Korean Society for Horticultural Science, Horticulture Abstracts*, 63-63.
- Na, S., C. Park, K. So, J. Park, and K. Lee, 2017: Development of garlic & onion yield prediction model on major cultivation regions considering MODIS NDVI and meteorological elements. *Korean Journal of Remote Sensing* **33**(5-2), 647-659. <http://dx.doi.org/10.7780/kjrs.2017.33.5.2.5> (in Korean with English abstract)
- Oh, S., and M. S. Kim, 2017: Predicting onion production by weather and spatial time series model. *Journal of the Korean Data Analysis Society* **19**(5)(B), 2447-2456. (in Korean with English abstract)
- RDA (Rural Development Administration), 2015: *Agricultural management guide - onion management*.
- RDA (Rural Development Administration), n.d.: *Agricultural work schedule - onion*.
- Song, E. Y., K. H. Moon, S. H. Wi, C. H. Kim, C. K. Lim, S. Oh, and I. C. Son, 2017: Impact of elevated temperature in growing season on growth and bulb development of extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. ce. *Singsingball*). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(4) 223-231. <http://dx.doi.org/10.5532/KJAFM.2017.19.4.223> (in Korean with English abstract)