

온도시간 기반의 배추 생육단계 추정

김진희* · 윤진일

경희대학교 식물·환경신소재공학과

(2015년 10월 27일 접수; 2015년 11월 4일 수정; 2015년 11월 26일 수락)

A Thermal Time – Based Phenology Estimation in Kimchi Cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)

Jin-Hee Kim* and Jin I. Yun

Agricultural Climatology Lab., College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

(Received October 27, 2015; Revised November 4, 2015; Accepted November 26, 2015)

ABSTRACT

A thermal time-based phenology model of Kimchi cabbage was developed by using the field observed growth and temperature data for the purpose of accurately predicting heading and harvest dates among diverse cropping systems. In this model the lifecycle of Kimchi cabbage was separated into the growth stage and the heading stage, while the growth amount of each stage was calculated by optimal mathematical functions describing the response curves for different temperature regimes. The parameter for individual functions were derived from the 2012-2014 crop status report collected from seven farms with different cropping systems located in major Kimchi cabbage production area of South Korea (i.e., alpine Gangwon Province for the summer cultivation and coastal plains in Jeonnam Province for the autumn cultivation). For the model validation, we used an independent data set consisting of local temperature data restored by a geospatial correction scheme and observed harvest dates from 17 farms. The results showed that the root mean square error averaged across the location and time period (2012-2014) was 5.3 days for the harvest date. This model is expected to enhance the utilization of the Korea Meteorological Administration's daily temperature data in issuing agrometeorological forecasts for developmental stages of Kimchi cabbage grown widely in South Korea.

Key words: Kimchi cabbage, Phenology growth stage, Thermal time, Harvest date

I. 서 론

기후변화의 여파로 배추재배 시 이상결구 발생, 수량 감소, 품질 저하 등 문제가 발생하고 있으며, 이에 대응하여 온도에 따른 배추 생육 반응을 구명하기 위한 연구가 다양하게 이루어 지고 있다. Son *et al.* (2015)은 여름배추 생육기간의 기온변화를 그대로 모사하고 지구온난화 시나리오에 따른 다양한 온도를 구

현하여 10일 간격으로 배추의 생육 및 생리반응 영향을 구명한 바 있고, Ahn *et al.*(2008)은 결구개시기 이후 20일간의 적산온도로부터 배추의 고온조건에 의한 수량감소를 정량화하여 안정적인 재배생산이 가능한 지역을 찾을 수 있는 방안을 제시하였는데, 현재보다 2°C 상승하는 경우 고랭지배추의 안전재배지는 70% 가까이 줄어들 것으로 전망하고 있다. 강점순 (2013)과 Oh *et al.*(2014)은 고온조건에서 배추의 생



* Corresponding Author : Jin-Hee Kim
(7jhee@naver.com)

육반응과 생리장해로 인한 피해 정도를 파악하였다. 기후변화는 평균기온의 상승 뿐 아니라 기상이변에 의한 저온피해도 가져오는데, Lee *et al.*(2013)은 생육 초기에 발생하는 저온이 배추의 세포조직에 주는 피해 양상을 구명하여 갑작스런 저온에 대처할 수 있는 방안을 제시하였다.

이처럼 온도는 배추의 생육에 영향을 미치는 주요 기후인자로서 같은 품종이라 하더라도 기상환경에 따라 생육반응은 해마다 1주일 내지 10일 이상 차이가 날 수 있으므로, 온도를 기반으로 생육단계를 추정하는 것은 비배관리, 수확적기 판단, 수량예측 뿐만 아니라 해당 작물의 안전 다수확 작기 설정 등의 기초로서도 매우 유용하게 쓰일 수 있다(Lee *et al.*, 2012; 김광식, 2001). 생육단계는 다양한 방법을 통해 예측이 가능한데, 기상과 식물반응 관측자료를 기반으로 예상하고자 하는 생육단계를 가장 잘 설명할 수 있는 기상요인을 찾아 회귀식으로 표현하는 통계적 방법이 있으며, 각 지역의 2, 3월 평균기온으로부터 봄꽃 개화시기를 예보하는 기상정의 회귀모델이 대표적인 예이다. Jung *et al.*(2005)은 벚꽃의 개화생리에 기상환경이 미치는 영향을 식물계절 이론으로 접근하여 온도 시간으로부터 특정 생육단계나 생장량에 도달할 때까지 필요한 냉각량(저온요구량, chilling requirement)과 가온량(heating requirement)을 찾는 개선된 개화일 예측방법을 소개하였다. 그 외 온도로부터 추정되는 작물의 양적 변화량을 토대로 발육속도(development rate, DVR)를 역산하고 경과시간을 곱해서 발육량을 얻어 발육단계(developmental stage, DVS)로 표현하는 방법이 널리 쓰인다(NAS, 1990).

배추는 정식 후 외부엽이 충실해지면, 옥신(auxin)이 체내에서 생겨나 잎의 뒤쪽을 신장시켜 잎을 서게 하고, 형태적으로 배추의 속이 차는 결구 특성을 나타내는데, 대략 30일 정도가 걸린다(RDA, 2014; Ahn *et al.*, 2008). 일반적으로 배추는 결구 개시기를 경계로 생육 초기에는 비교적 높은 온도에서 생육이 촉진되지만, 후기에는 반대로 고온에 생육이 오히려 불량해지

는 등 생육단계에 따라 온도 적응성이 다르다. 가을배추의 경우 정식을 빨리 하면 결구가 과해지거나 병해충이 발생하고 월동력이 저하되는 현상이 생기며, 정식시기가 늦어지면 결구가 안되거나 묘의 뿌리노화로 인해 장해가 발생하기도 한다. 농가에서 수확시기의 병충해를 방지하고 이상기온에 의한 피해를 줄이는 등 한 해 배추 재배전략을 수립하기 위해서는 정식 후 수확까지 온도 구간에 따라 다른 생육 반응을 모의할 수 있는 방법을 찾아야 한다. 본 연구에서는 온도구간에 따라 다른 배추의 생육을 정량화 함으로써 정식 후 경과기온만으로 수확시기를 추정하는 기술을 개발하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 생장모형 설계

온도조건을 인위적으로 조절할 수 있는 파종 후 정식 이전까지의 육묘기간을 제외하면, 배추의 일생은 정식-결구-수확으로 구분할 수 있다. 정식 후 결구개시 직전까지의 기간을 ‘생육기’(growth stage), 결구개시 이후 수확일 전까지를 ‘결구기’(heading stage)라고 할 때, 연구결과에 따라 조금씩 차이가 있지만(Hwang *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2013; Son *et al.*, 2015; 강점순 외, 2013; 이정명, 2013), 각 단계의 배추 생육 적정온도와 한계온도는 Table 1과 같다. 온도와 광합성속도의 관계에 따라 진정광합성량이 증가하는 0°C부터 30°C까지를 배추의 생육이 유효하다고 가정하여 최저와 최고 한계온도가 설정된다. 하지만 20°C 이상에서 급속히 높아지는 호흡량으로 인해 23°C 이상이 되면 실질광합성량은 급격히 줄어들게 되므로 생육기의 적온구간은 20~22°C로 단축된다. 결구 이후 환경에 대한 내성이 약해지는 결구기의 적정온도는 15~18°C로 파악된다. 각 생육단계의 최저 및 최고 위험온도는 정상적인 생장이 어려워지는 기준을 의미한다.

본 연구에서는 온도시간을 이용한 생육단계 모형을 생육기와 결구기로 나누어 각각 설계하였는데, 배추

Table 1. Cardinal temperatures for each stage in Kimchi cabbage cultivation (in °C; Adapted from Hwang *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2013; Son *et al.*, 2015; 강점순 외, 2013; 이정명, 2013)

| | Minimum Survival | Critical Low | Optimal | Critical High | Maximum Survival |
|---------------|------------------|--------------|---------|---------------|------------------|
| Growth Stage | 0 | 2-5 | 20-22 | 25 | 30 |
| Heading Stage | 0 | 5 | 15-18 | 23 | 30 |

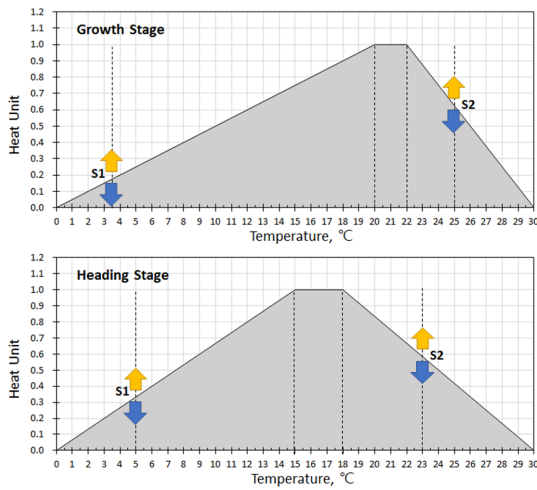


Fig. 1. A linear fitting widely used in existing heat unit - based models for estimating developmental stages of Kimchi cabbage. S1 and S2 indicate the low and high critical temperatures where crop growth rate starts changing abruptly, forming the reflection points.

생육에 영향을 미치는 토양수분이나 광 조건 등 온도의 요인에 의한 영향은 평년수준으로 간주하였다. Table 1을 토대로 일평균기온으로 부터 성장 최적온도 구간의 온도반응값을 온도단위(heat unit)로 나타내어 최대치가 1이 되고, 한계온도를 벗어나면 생장이 멈춰져 온도반응값은 0이 되도록 설정하였다. 정식 다음 날부터 일별 온도반응값을 계산하고, 누적하여 얻은 배추 성장량이 30에 도달하면 결구개시일이 되도록 하였는데, 이는 최적환경에서 정상적으로 자란 배추는 정식 후 30일에 결구를 시작하는 것을 의미한다(Ahn *et al.*, 2008). 온도와 관련된 식물의 성장반응은 일반적으로 시그모이드 곡선으로 나타나는데(김광식, 2001; 변종영 외, 2014), 기존 생육단계 추정모형에서는 온도 구간을 직선으로 이어서 성장반응을 표현하였다(Fig. 1). 반응곡선의 형태를 알아내기 위해서는 생장이 어려워지는 위험온도 시점의 온도반응값을 찾아야 하는데, 최저 위험온도에서의 반응값을 S1, 최고 위험온도에서의 반응값을 S2로 상정하고, S1과 S2의 온도반응값은 각각 생육기와 결구기에서 동일한 값을 갖는다고 가정하였다. 우선 S1과 S2를 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 등으로 바꾸어 가면서 각각의 조합 $5 \times 5 = 25$ 개 가운데 온도에 따른 성장반응을 곡선형으로 가장 잘 표현하는 S1, S2의 조합을 탐색하였다. 후보곡선의 형태는 S1과 S2가 위치한 x축이 한계온도와 적정온도를 직선으로

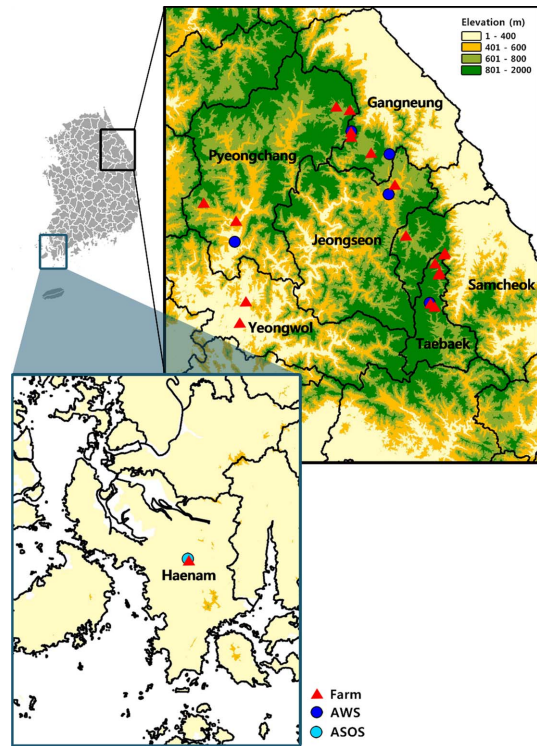


Fig. 2. Locations of the experimental Kimchi cabbage farms in the alpine Gangwon Province (top) and the coastal plains of Jeonnam Province (bottom).

이온 기울기와 만나는 y축값을 기준으로 온도반응값이 기울기보다 위쪽에 있으면 포물선 형태의 exponential saturation 함수를, 기울기보다 낮으면 시그모이드 형태의 logistic 함수를 사용하였다. 이들 함수식의 모수는 통계 프로그램의 비선형 회귀분석을 통해 도출하였다 (SPSS Inc., Chicago, USA).

최적의 모수를 선발하기 위해 농촌진흥청에서 2012년부터 2014년까지 3년간 강원도 준고랭지와 고랭지를 대상으로 봄배추부터 여름배추까지 작형에 따른 기상패턴과 재배여건별 생육특성을 비교·분석한 작황조사자료를 활용하였다(NICS, 2014). 또한 전남 해남 군농업기술센터로부터 2013년 해남 일대의 정식일과 수확일 정보를 수집하여 가을배추 대표 주산지의 생육 특성을 반영하였다(Fig. 2). 국립식량과학원 23개 배추 작황 조사농가 중 2012-2014년 기간 자동기상관측장비(AWS)로부터 기상자료의 수집이 가능한 6개 농가와 해남 종관기상관측소(ASOS) 인근 농가 등 총 7개 지점으로부터 정식일과 수확일 자료를 수집하였다. 이

들로부터 봄배추 2개, 여름배추 4개, 가을배추 2개의 관측자료세트를 확보하여, 온도구간에 따른 $5 \times 5 = 25$ 조합에 따라 수확일까지 누적된 배추 성장량을 비교해 농가간에 편차가 가장 작은 함수식을 선별하였다. 이때 결구개시기에 도달하기 전까지는 배추 생육단계 중 생육기에 해당하는 온도반응 곡선을 적용하여 계산하고, 결구일 이후에는 결구기의 온도반응 곡선에 따라 온도반응값을 계산하였다. 선별된 모형에 의해 7개 지점으로부터 관측된 수확일까지의 누적 성장량을 계산하고, 평균값을 생리적 성숙에 필요한 온도시간 요구도(heat requirement)로 간주하였다.

2.2. 모형 검증

23개 배추농가의 작황 조사자료(NICS, 2014) 가운데 모형제작에 이용하지 않은 17개 지점을 대상으로 성장모형의 성능검증을 수행하기 위해서 2012-2014년에 대한 일 평균기온자료를 복원하였다. 기상청에서 발표하는 종관기상자료에 지리지형의 영향을 고려한 국지기상 추정모형(일명 '소기후모형')을 적용하면 좌표값이 내장된 30m 격자형태의 일별 기온자료를 복원할 수 있다(Yun, 2010; Yun *et al.*, 2013). 이 방법

에 의해 강원도 지역에 대해 2012-2014년의 일별 최고기온 및 최저기온 분포도를 제작하고 여기서 17개 농가의 국지기온 격자값을 추출하였다. 성장반응 모델의 입력자료는 일 최고기온과 최저기온을 평균한 일 평균기온을 사용하였다. 배추작황 조사자료에 기록된 모든 수확일을 검증자료로 사용하지는 않았는데, 기온이 예년에 비해 큰 차이가 없음에도 배추 생장에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인에 의해 수확소요일수가 2주 이상 앞당겨졌거나 늦춰진 경우, 배추의 생육상태와 관계없이 농가의 사회·경제적 요인으로 인한 인위적인 수확이 의심되는 경우는 검증자료에서 제외하였다.

III. 결 과

3.1. 배추 생육단계 예측모형

S1과 S2의 25개 조합 가운데 비선형 회귀분석을 통해 적합한 것으로 판정된 결구개시기 전후의 성장모의용 후보함수 및 그들의 모수가 Table 2에 수록되어 있다. 이들을 이용하여 2012-2014년 기간 기온자료가 확보된 7개 지점에 대해 매일 성장량을 각각 계산했을 때, 관측된 수확일까지의 누적 성장량의 표준

Table 2. Optimal nonlinear functions and their parameters fitted to the thermal time (heat unit) response curves for simulating growth and heading stages

| | Equation | Heat Unit | K | A | B | |
|---------------|----------|-------------------------|-----|-------|-----------|--------|
| Growth Stage | S1 | $K/(1+A*\exp(B*X))$ | 0.1 | 1.0 | 100.0 | -0.688 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.3 | - | 1.276 | -0.077 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.5 | - | 1.022 | -0.192 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.7 | - | 1.001 | -0.343 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.9 | - | 1.000 | -0.658 |
| | S2 | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.1 | 1.0 | 3.900 | 24.438 |
| | | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.3 | 1.0 | 3.424 | 24.753 |
| | | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.5 | 1.0 | 5.344 | 25.000 |
| | | $K-(A*(1-EXP(B*X)))$ | 0.7 | 1.890 | -0.171 | 0.083 |
| | | $K-(A*(1-EXP(B*X)))$ | 0.9 | 1.044 | -0.000007 | 0.396 |
| Heading Stage | S1 | $K/(1+A*\exp(B*X))$ | 0.1 | 1.0 | 100.0 | -0.535 |
| | | $K/(1+A*\exp(B*X))$ | 0.3 | 1.0 | 100.0 | -0.752 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.5 | - | 1.309 | -0.096 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.7 | - | 1.035 | -0.226 |
| | | $A*(1-EXP(B*X))$ | 0.9 | - | 1.001 | -0.459 |
| | S2 | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.1 | 1.0 | 2.299 | 22.044 |
| | | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.3 | 1.0 | 1.981 | 22.572 |
| | | $K-K/(1+EXP(-A*(X-B)))$ | 0.5 | 1.0 | 3.337 | 23.000 |
| | | $K-(A*(1-EXP(B*X)))$ | 0.7 | 1.448 | -0.127 | 0.084 |
| | | $K-(A*(1-EXP(B*X)))$ | 0.9 | 1.029 | -0.000142 | 0.296 |

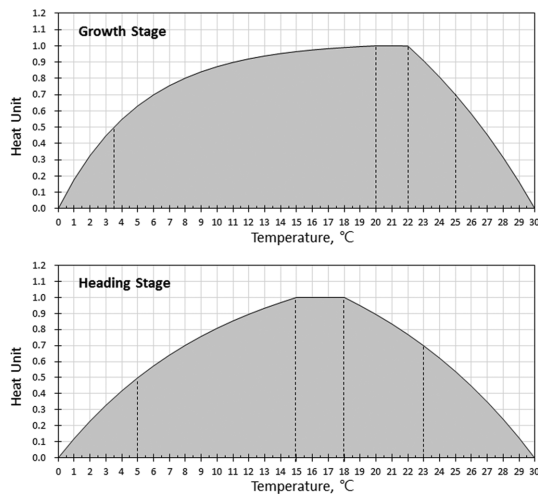


Fig. 3. A non-linear fitting of the heat unit - based response for estimating developmental stages of Kimchi cabbage.

편차가 가장 작았던 함수조합은 S1이 0.5이고, S2는 0.7인 exponential saturation 곡선이었다(Fig. 3).

모형에 의하면 누적 성장량이 30에 도달하면 결구 개시기에 도달하는데 정식 후부터 결구개시기에 도달하기 전까지 생육기에는 0~20°C까지는 매일의 평균기온에 의한 성장량이 $1.022 \times (1 - \text{EXP}(-0.192 \times T_{\text{avg}}))$ 식에 의해 계산되고, 최적온도구간인 20~22°C에서는 성장량의 최대값인 1이 된다. 이후 22~30°C까지는 $1.890 - (-0.171 \times (1 - \text{EXP}(0.083 \times T_{\text{avg}})))$ 식에 의해 계산되어 고온으로 갈수록 성장량이 줄어드는 현상이 반영된다. 이 모형에 의하면 배추의 정식부터 수확까지 필요한 누적 성장량은 60.5로 확인되는데, 결구개시부터 수확직전까지의 일 성장량은 0~15°C까지는 $1.309 \times (1 - \text{EXP}(-0.096 \times T_{\text{avg}}))$ 으로 계산이 되고, 결구기의 최적온도구간인 15~18°C에서는 생육기와 마찬가지로 성장량의 최대값인 1이 부여된다. 이후 18~30°C까지는 $1.448 - (-0.127 \times (1 - \text{EXP}(0.084 \times T_{\text{avg}})))$ 에 의해 계산된다.

3.2. 모형의 신뢰도

이 생장모형을 이용해 고랭지배추 주산단지 17개 농가에서 수집한 2012-2014년 정식일로부터 예상 수확일을 계산하고, 실제 수확일과 비교해본 결과 ME는 -0.4일, RMSE는 5.3일로 나타났다. 연도별로 살펴보면 2012년에 ME가 -2.5, 2013년은 0.2, 2014년은 1.7일로 점차 예상 수확일이 실제보다 늦어지는 경향

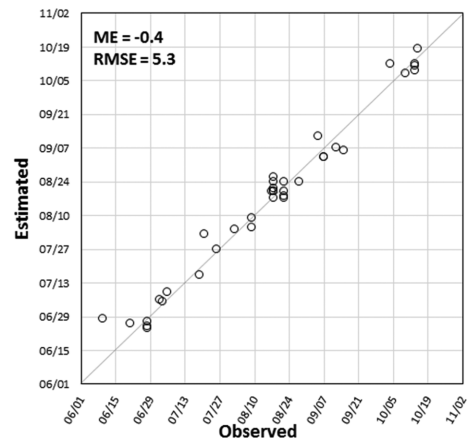


Fig. 4. Comparison of the observed and the estimated harvest dates at validation sites in major Kimchi cabbage production region from 2012 to 2014.

이지만 편향성이 큰 수준은 아니다. RMSE는 2012년에 3.7일, 2013년에 6.3일, 2014년에 5.4일로 2012년의 예측성이 가장 좋았고, 2013년에 실제 수확일과 18일까지 차이가 발생하여 오차범위가 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 4).

비교를 위해 기존의 직선형 생장반응 모형(Fig. 1)에 동일한 검증자료를 적용하여 추정오차를 계산했을 때 ME와 RMSE는 각각 2.0일과 8.7일로서 상대적으로 좋지 않은 결과를 보였다. 특히 2013년의 오차는 -12일부터 +32일까지 비현실적인 예상수확일을 출력하는 경우도 있었다.

IV. 고 찰

배추의 생육단계를 정확하게 예측하는 것은 비배관리, 수확시기 판단, 수확량 예측 등 재배농가의 농작업 일정관리에 필요하다. 뿐만 아니라 앞으로 기후변화에 따른 안전 다수확 작기 설정 등의 기초자료로서도 매우 중요하다. 현재 기상청에서는 미래 10일까지 매일의 기온자료를 제공하고 있으며 실용수준의 신뢰도를 확보하고 있으므로 생육단계를 정확하게 추정할 수 있는 모형만 개발된다면 선행기간 10일 정도의 농업기상예보(agrometeorological forecasting)가 가능하다. 본 연구에서는 일 평균기온에 따른 배추의 매일 성장량을 생육기와 결구기로 나누어 각각 계산하며, 이 과정에서 기존의 직선적인 관계가 아닌 곡선함수를 사용함으로써 정확도를 향상시켰다. 결과적

으로 배추 정식 후 매일의 기온경과와 미래 10일간의 예보기온에 의해 예상 수확시기를 추정오차 5일 내외로 알아낼 수 있게 되었다. 물론 수확예상일 추정오차가 5일이라면 썩 만족스러운 결과는 아니지만, 연구에 사용된 작황조사자료에는 조금씩 차이 나는 개별 농가의 재배기술에, 수확일 결정에 미친 시장가격 동향 등 외부요인들이 반영되어 있음을 감안해야 할 것이다.

배추 생장반응 모형을 개선하기 위해서는 환경조절 챔버는 물론 전국적으로 주요 지점에 배추 시험포장을 조성하여 재배환경과 재배방법을 표준화 해야 한다. 또한 온도 외 배추생육에 영향을 미칠 수 있는 위험 기상이나 병해충, 영양장해 등 요인을 배제하여 오로지 온도조건이 독립변수가 되는 실험을 다년 간 여러 차례 시행해야 한다. 특히 결구 및 수확시기를 객관적으로 판단할 수 있는 기준을 마련하여 관찰자의 주관적인 판단에 의한 오차를 감소시킨다면 더욱 좋은 자료를 얻을 수 있을 것이다.

신뢰도가 개선된 배추 생육단계 예측모형은 기후변화 시나리오와 결합되어 농업부문 적응전략의 기초자료를 생산할 수 있을 것이며, 정식기 이동에 따른 배추 재배적지 판정 및 지역별 최적 작형 개발에 크게 기여할 것으로 본다.

적 요

기온자료만으로 배추의 결구시기 및 수확적기를 정확하게 예측하기 위해 실측자료에 근거한 배추 생육단계 예측모형을 개발하였다. 이 모형에서는 배추의 일생을 생육기와 결구기로 나누고 각각에 대해 매일의 생장량이 최적 함수식에 의해 계산된다. 최적 함수식의 도출에는 강원도 고랭지 여름배추 주산지인 전남 해남의 가을배추 주산지 7개 농가, 8개 작형에서 수집된 2012-2014년 자료가 활용되었다. 예측모형의 성능검증에는 같은 지역의 다른 농가 17개에서 수집된 생육자료와 소기후모형에 의해 복원된 국지기온자료로 구성된 독립자료세트가 사용되었는데, 17개 지점의 3년간 수확예정일 평균추정오차(RMSE)는 5.3일 이었다. 이 모형은 기상청의 일별 기온자료를 이용하여 다양한 지역과 작형에서 재배되는 배추의 결구기와 수확기를 예측하는 소위 '농업기상예보' 목적으로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009292)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 모형의 개발 및 검증을 위한 기초자료를 제공해주신 고랭지농업연구소 김기덕박사에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn, J. H., C. Y. Park, J. S. Ryu, and Y. I. Jin, 2008: Distribution mapping for optimal of highland agricultural zone in current and global warming future in Korea. *Proceeding of 10th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*; Jinju, Korea, Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology, 82-86.
- 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**(3), 254-260. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2015.17.3.254
- Hwang, S. U., J. Y. Lee, H. S. Chang, Y. H. Park, Y. S. Gil, and M. H. Park, 2003: High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* **36**(6), 417-422.
- Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(2), 148-155. (In Korean with English abstract)
- Lee, S. G., T. C. Seo, Y. A. Jang, J. G. Lee, C. W. Nam, C. S. Choi, K. H. Yeo, and Y. C. Um, 2012: Prediction of Chinese cabbage yield as affected by planting date and nitrogen fertilization for spring production. *Journal of Bio-Environment Control* **21**(3), 271-275. (In Korean with English abstract)
- Lee, S. G., C. S. Choi, J. M. Choi, H. J. Lee, S. H. Park, and K. R. Do, 2013: Effects of Growth and Cellular Tissue under Abnormal Climate Condition in Chinese cabbage. *Protected Horticulture and Plant Factory* **22**(2), 87-90. (In Korean with English abstract) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.2.087
- 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. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **32**(3), 318-329. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 63-73. (In Korean with English abstract)

- doi:10.5532/KJAFM.2010.12.1.063
- Yun, J. I., S. O. Kim, J. H. Kim, and D. J. Kim, 2013: Userspecific agrometeorological service to local farming community: a case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 63-73. (In Korean with English Abstract)
- National Institute of Agricultural Sciences (NAS), 1990: 주 요과수재배지역의 기후특성. Rural Development Administration, p121-198.
- National Institute of Crop Science (NICS), 2014: 고랭 지배추 친환경 안정생산기술 개발 (과제번호: PJ008718), 고령지농업연구소 결과보고서.
- Rural Development Administration (RDA), 2014: 배추 농업기술길잡이 128 (발간등록번호 11-1390000-003762-01), Rural Development Administration, 23-27pp.
- 강점순, 서정민, 진경호, 조재환, 홍창오, 신현무, 2013: 이 상고온이 배추의 생육 및 수량에 미치는 영향, *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*, Vol 22, 2013, Korean Environmental Sciences Society, 825-826.
- 김광식, 2001: 신고 농업기상학 환경 과학영농을 위한, 향 문사, 167-192pp.
- 변종영, 윤성중, 이인중, 김도순, 2014: 신고 작물생리학, 향문사, 313pp.
- 이정명, 2013: 채소학각론, 향문사, 292-293pp.