재배시기, 정식일에 따른 배추의 생육 모델 개발 및 생산량 예측 평가

이진형 · 이희주* · 김성겸 · 이상규 · 이희수 · 최장선

농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

Development of Growth Models as Affected by Cultivation Season and Transplanting Date and Estimation of Prediction Yield in Kimchi Cabbage

Jin Hyoung Lee, Hee Ju Lee*, Sung Kyeom Kim, Sang Gyu Lee, Hee Su Lee, and Chang Sun Choi

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

Abstract. This study was carried out to estimate growth characteristics of Kimchi cabbage cultivated in two different growing seasons and three transplanting dates in the greenhouses, and to create a predicting model for the production of Kimchi cabbage based on the growth parameters and climatic elements. Kimchi cabbages were transplanted three times at intervals of two weeks in spring and autumn growing seasons. Sigmoidal models for the estimation of fresh weight (Fw) was designed with days after transplanting, which were $Fw=4451.5/[1+\exp\{-(DAT-34.1)/3.6\}]$ ($R^2=0.992$) and $Fw=7182.0/[1+\exp\{-(DAT-53.8)/11.6\}]$ ($R^2=0.979$), respectively. The relationship between fresh weight of Kimchi cabbage and growing degree days (GDD) was highly correlated, and the regression model represented by $Fw=4451.5/[1+\exp\{-(GDD-34.1)/3.6\}]$ ($R^2=0.992$) in spring growing season. The yield of Kimchi cabbage under spring and autumn growing season were estimated 11348.3kg/10a and 15128.2kg/10a, respectively, which were much different than outdoor culture each growing season, while greenhouse cultivation have shown similar results. To estimate the efficacy of prediction yield in Kimchi cabbage, we will need to supplement a predicting model, which was based on the parameters and climatic elements by the field cultivation.

Additional key words : *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*, growing degree days, growth curve, prediction yield, sigmoidal model

서 론

배추(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)는 김치의 주요 재료로 연중 소비되기 때문에 안정적 생산과 공급이 매우 중요한 노지채배 채소이다. 최근 기후 온난화로 고온, 저온, 가뭄, 집중호우 및 태풍이 빈번하게 발생하여 병 또는 생리장해로 인한 배추의 단수가 2016년에는 전년 대비 19% 감소하였다(Lee 등, 2012; Oh 등, 2014; MAFRA, 2014; Kim 등, 2017). 배추는 생산량변동에 따른 가격의 편차가 큰 작물로서 10%의 생산량이 변동하면 가격은 3배까지도 차이가 날수 있다고 알려져 있다(Lee, 1996). 한국농촌경제연구원(Korea Rural Economic Institute, KREI)에서는 가격안정을 위해 다양한 소득 작물들의 가격을 추정하여 관측정보를 제공하고 있고(<http://aglook.krei.re.kr/>), 이러한 관측정보는 농민들의 출

하시기 조정을 유도하여 농산물의 가격을 안정화 시키는 데 도움이 될 수 있으나 보다 체계적으로 생산량을 예측할 필요가 있다.

배추의 생산량은 재배면적과 단수에 의해 결정되지만(Kim 등, 2013), 영농기술은 지역별 혹은 농민 별로 큰 차이가 없다(Lee, 1996). 따라서 배추의 단수를 추정하기 위해 생육 및 품질에 큰 영향을 미치는 기상요소를 활용한 분석이 중요하다. 이전 연구에서 재배지역의 특성을 고려하여 정식시기를 달리하거나 봄배추의 생육도일에 기반하여 생산량 예측을 시도하였다(Kalisz 등, 2012; Lee 등, 2012). 특히 고랭지 배추의 경우 수확시의 생육 변수와 실시간으로 측정한 생육 특성 및 기상 자료를 기반으로 하여 생육지표 변수에 생육도일과, 생육도일에 따른 엽생장량과 실측 생장량의 비, 토양수분에 따른 생육속도, 그리고 생장단계 및 기간에 따른 상대생장률을 적용하여 고랭지 배추의 생산량을 예측할 수 있는 모델에 대한 연구도 수행되었다(Kim 등, 2015). 또한 정식 시기를 달리하여 얻은 결과를 토대로 기온을 변수로 하여 엽면적 추정식을 도출하고, 이를 통해 배추

*Corresponding author: perpetuaa@korea.kr
Received April 28, 2017; Revised July 31, 2017;
Accepted August 01, 2017

생체중의 변화 예측 모델을 연구하였다(Ahn 등, 2014). 이들의 연구는 작물의 원활한 수급을 위한 생산량의 추정, 월별기온, 강수량, 저온일수, 고온일수 등의 기상변수가 독립변수로 활용될 수 있음을 보였고, 이를 토대로 단위면적당 수확량을 추정하는데 도움을 주었다. 그러나 기상변수와 단수간의 회귀분석을 통한 수량 추정은 이상 기상 조건에서 생산량 예측에 부족하며, 더욱이 기상요소들의 영향으로 나타나는 작물 성장량 척도를 포함한 생육 변수를 활용한 수량예측 연구가 필요한 실정이다(Kim 등, 2015). 따라서 본 연구는 봄배추와 가을배추의 정식시기에 따라 실시간으로 측정되는 생육지표 값과 재배기간중의 기상요소를 기반으로 배추의 생산량을 예측하고자 수행하였다.

재료 및 방법

배추의 공시 품종은 봄재배에 ‘춘광’과 가을재배에 ‘불암 3호’를 사용하였다. 봄 배추는 2016년 3월 9일에서 4월 7일까지, 가을 배추는 8월 9일에서 9월 21일까지 2

주 간격으로 각각 3회 파종하였다. 105공 플러그 트레이에 시판용 경량상토(식물세계, 농우그린텍)를 채우고 배추 종자를 파종하고 유리온실에서 15-25°C로 육묘관리하여 35일 후에 국립원예특작과학원의 비가림시설에 정식하였다. 비가림 시설내의 기온, 지온, 상대습도, 토양수분 및 광량을 한 시간 간격으로 데이터로거를 사용하여 측정하였다(Fig. 1).

봄배추와 가을배추는 농업기술길잡이의 표준 시비와 관수방법에 따라 재배하면서 봄배추 정식 후 70일 그리고 가을배추 정식 후 80일 까지 2주 간격으로 5주씩 생체중, 건물중, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽면적, SPAD 등의 생육특성을 조사하였다. 생육 특성 결과를 변수로 정식 후 일수에 따른 생체중과 건물중의 변화에 대한 회귀분석을 실시 하였다. 또한 생육 변수들로부터 도출된 예측식을 보완하기 위해 온도관련 요소인 GDD(growing degree days) 변수를 추가하여 생육도일의 차이에 대한 회귀분석을 실시하였고(SigmaPlot 13.0, Germany), sigmoidal 함수 형태의 회귀모형 $y=a/(1+e^{-(x-x_0)/b})$ (Sigmoidal, Sigmoid, 3 Parameter)을 이용하였다.

Fig. 1. Air temperature, soil temperature, relative humidity, soil moisture, and the intensity of radiation inside the green house during spring(left) and autumn growing season(right).

결과 및 고찰

1. 정식 후 일수에 따른 봄 배추와 가을 배추의 생장 해석

봄 배추의 1차 정식 생체중 및 건물중의 예측 회귀식 (sigmoidal, 3 parameter)은 각각 $y=4451.5/[1+\exp\{-(\text{DAT}-34.1)/3.6\}]$ ($R^2=0.992$) 및 $y=243.8/[1+\exp\{-(\text{DAT}-34.2)/3.3\}]$ ($R^2=0.994$)로 계산되었다(Fig. 2). 정식 후 20일부터 45일까지가 생체중과 건물중이 지수 함수적으로 증가하는 구간이었으며, 정식 후 20일까지 건물중의 초기 상대생장률은 0.17g D.W./day였고, 지수 함수적으로 증가하는 구간은 9.28g D.W./day였다. 2차와 3차 정식의 결과도 1차 정식의 회귀 분석 결과와 유사한 경향이었으나, 생장이 지수 함수적으로 증가하는 것과 관련

된 매개변수 값에 의하여 1차 정식 보다 2차 및 3차 정식한 배추의 초기 생장이 급격히 증가하였다. 봄배추 정식 후 20일에서 40일까지의 평균온도는 각각 21.3°C, 22.9°C, 그리고 24.1°C이고, 40일 이후에는 23.0°C, 25.0°C, 그리고 25.4°C로 측정되었다. 정식 후 40일까지는 2차와 3차 정식의 경우 배추의 생체중이 1차 정식에 비해 약간 높았으나, 40일 이후에는 생육 적정온도를 유지하는 1차 정식의 생체중이 2차와 3차 정식에서 높게 측정되었다.

가을배추의 1차 정식 후 일수에 따른 생체중과 건물중의 예측 회귀식은 각각 $\text{FW}=7182.0/[1+\exp\{-(\text{DAT}-53.8)/11.6\}]$ ($R^2=0.979$)과 $\text{DW}=348.3/[1+\exp\{-(\text{DAT}-55.4)/11.8\}]$ ($R^2=0.986$)로 계산되었다(Fig. 3). 정식 후 20일부터 60일까지가 생체중과 건물중이 지수 함수적으로 증가하는

Fig. 2. Changes in fresh weight (A) and dry weight (B) of Kimchi cabbage as affected by different transplanting dates (1st, April 15; 2nd, April 29; 3rd, May 13) during the spring growing season.

Fig. 3. Changes of fresh weight (A) and dry weight (B) of Kimchi cabbage as affected by different transplanting dates (1st, Aug 24; 2nd, Sep 7; 3rd, Sep 21) during the autumn growing season, 2016.

Table 1. Growth characteristic of Kimchi cabbage as affected by transplanting date in spring season.

Days after transplanting (d)	Leaf length (cm/plant)			Leaf width (cm/plant)			SPAD		
	1st ^z	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
0	7.1d ^y	7.5d	8.3d	3.7e	3.2d	3.2d	27.4b	23.9d	22.8d
14	9.2d	20.7c	24.7c	4.0e	12.9c	15.5b	29.2b	41.0c	44.4c
28	19.3c	40.7b	47.6b	11.9d	26.5b	29.5c	35.1b	46.2bc	45.0c
42	39.6b	47.9a	55.0a	26.1c	28.2ab	31.9a	43.0ab	51.0ab	48.8b
56	44.0a	48.8a	52.1a	28.2bc	29.1a	31.4a	50.7ab	50.4ab	52.6a
70	45.6a	46.2a	52.3a	30.5a	27.4ab	31.8a	54.7a	53.0a	49.9ab

^z Transplanting dates (1st, April 15; 2nd, April 29; 3rd, May 13)^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test (P 0.05)

구간이었으며, 정식 후 20일까지 건물중의 초기 상대생장률은 0.69g D.W./day였으며, 지수 함수적으로 증가하는 구간은 4.80g D.W./day였다. 1차 정식과 2차 정식은 정식 후 20일에서 60일까지의 생장 기간 동안 평균기온이 각각 20.7°C와 17.1°C로 측정 되었으며, 1차 정식의 생체중이 2차 정식에 비해 높게 측정되었다. 이전 연구에서 가을배추인 ‘볼암3호’는 생육의 지수함수적 증가구간에서 평균온도가 적정 생육온도보다 낮을 경우 배추의 생장 지연 및 수확량의 감소가 확인되었다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2015). 또한 고온 환경은 수확단계에서 생체중의 감소와 더불어 무름병 발생율이 증가하지만, 반면에 SPAD값은 재배기간의 기온이 높아질수록 다소 감소하나 통계적으로 유의한 차이가 없다고 보고된바 있다(Oh 등, 2014). 본 연구에서도 SPAD값은 정식 시기 별로 생육 중기까지는 증가하였으나 이후 변화가 없거나 감소하는 경향을 보여 배추의 생육 예측인자로서는 사용할 수 없음을 확인하였다(Table 1). 가을 배추의 정식 후 20일까지 초기 상대생장률은 0.69g D.W./day로 봄배추의 0.17g D.W./day에 비하여 4배 높았으나, 지수함수적으로 증가하는 구간에서의 상대생장율은 가을배추의 경우 4.80g D.W./day로서 9.28g D.W./day인 봄배추에 비해 낮았다. 그리고 배추의 정식일이 늦어짐에 따라 생체중이 감소하는 경향을 보였으나 건물중은 정식시기에 영향을 받지 않았다(Fig. 3).

생육도일(GDD)에 따른 봄배추와 가을배추의 생장 모델과 활용

생육도일(GDD)은 작물이 발아부터 성숙까지 생육단계에 따라서 어느 일정량의 열량을 얻어야 성숙된다는 것을 기반으로 작물의 개화시기, 성숙기 등과 같은 생물계절을 예측하기 위해 사용할 수 있는 온도적산 값이다. 배추의 생산량 예측을 위한 변수로 사용하여 sigmoidal 함수 형태의 회귀모형 $y=a/(1+e^{-(x-x_0)/b})$ (Sigmoidal, Sigmoid, 3

Parameter)으로 봄배추와 가을배추의 정식시기에 따른 생육도일의 차이를 분석하였다. 봄배추의 생체중(FW), 건물중(DW), 엽면적(LA), 그리고 엽수(NL)에 대한 각각의 회귀식을 계산 하였는데(Fig. 4), 봄배추의 정식 후 GDD가 약 400에서 800°C까지 생체중, 건물중, 엽면적은 지수생장을 하고 성장속도가 더더지는 구간인 GDD 800°C에서, 1차 정식한 배추의 생체중은 약 3.7kg으로 2차 및 3차 정식한 배추보다는 1.5배 높았고, 정식 시기가 늦어지면 고온에 의하여 배추의 생체중이 감소하는 것을 확인 하였다. 엽수의 경우에는 200에서 900°C까지 지수 함수적으로 증가하였다. 엽면적과 엽수의 직선 회귀식을 각각 1, 2 및 3차 정식에 따라 작성하여 분석한 결과, 배추의 엽수가 60장일 때 엽면적은 약 1.7m²/plant으로 예측할 수 있었다. GDD의 누적 적산값이 800°C가 되는 기간은 각각 정식 시기에 따라 정식 후 53, 45, 그리고 41일로서, 동일 적산 GDD에서 1차 정식의 생체중, 건물중, 엽면적, 그리고 엽수가 2차와 3차 정식에 비해 높게 측정되었다(Fig. 4).

가을배추의 경우 정식 후 GDD가 약 600°C전후부터 생체중, 건물중, 엽면적이 지수 함수적으로 증가하는 구간이었으며, 정식시기가 늦어질수록 증가구간이 짧아졌다(Fig. 5). GDD 적산값이 600°C인 시점은 정식 시기에 따라 각각 28, 31, 그리고 41일 이었고, 1차와 2차의 경우 44일과 58일에 900°C에 도달하였다. GDD가 600°C일 때는 3차 정식의 생체중이 가장 높았고, 900°C에서는 2차 정식이 1차 정식에 비해 높은 수치를 보여주었다. 그러나 실제 정식 후 55일 시점에서의 생체중은 1차 정식 3,808g, 2차 정식 3,582g, 그리고 3차 정식에서는 2,749g으로 측정 되었다(데이터 미포함). 봄배추에서 실제 생육지표들을 기온과 GDD에 따른 회귀식의 결과와 비교하였을 때 유사한 생장곡선을 보인 반면에 가을배추는 기온과 GDD가 반대의 패턴을 보여주고 있다. 이는 가을배추의 경우, 재배시기가 경과함에 따라 저온으로

Fig. 4. Changes of fresh weight (A), dry weight (B), leaf area (C), and number of leaves (D) with respect to GDD (growing degree days) for Kimchi cabbage cultivated in Jeon-ju by different transplanting dates (1st, April 15; 2nd, April 29; 3rd, May 13) during spring season, 2016.

Table 2. Growth characteristic of Kimchi cabbage as affected by transplanting date in autumn season.

Days after transplanting (d)	Leaf length (cm/plant)			Leaf width (cm/plant)			SPAD		
	1st ^z	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
0	4.5d ^y	3.4e	3.2d	3.0d	2.2e	1.8d	28.3d	28.5d	31.5b
14	18.7c	17.2d	21.3c	11.8c	10.5d	11.3c	35.6c	27.4d	27.6b
28	45.2b	44.4c	43.0b	25.2b	25.9c	26.3b	33.7bc	32.5c	33.2b
42	57.8a	52.7b	51.5a	30.7a	28.1bc	32.0a	38.4bc	35.6b	41.2a
56	59.8a	56.8a	52.4a	31.8a	31.0ab	33.2a	39.9ab	42.7a	42.9a
70	60.1a	58.0a	-	33.1a	32.0a	-	44.5a	42.9a	-

^z Transplanting dates (1st, Aug 24; 2nd, Sep 7; 3rd, Sep 21)

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test (P 0.05)

인한 GDD 누적 값의 제한으로 판단되며, 가을배추의 정식시기에 따른 수확량의 예측 인자로서의 사용여부는 고려해야 할 것이다. 그리고 봄배추와 유사하게 SPAD가 생육 중기까지는 증가하였으나 이후 변화가 없는 경향을 보여 가을배추에서도 SPAD는 생장 예측인자로서는 불가함을 확인하였다(Table 2).

본 연구에서는 배추의 생산량 예측 인자로서 기온을 사용하였다. 저온성 작물인 배추는 이상기온으로 인한 병, 저온, 고온, 가뭄 및 생리장애로 생산량이 감소되고 있는 상황으로, 온도차에 의한 피해가 가장 큰 요인으로 작용하고 있다고 알려져 있다(Lee 등, 2012; Oh 등, 2014; MAFRA, 2014). 배추의 생육 적온은 20°C 정도

Fig. 5. Changes of fresh weight (A), dry weight (B), leaf area (C), and number of leaves (D) with respect to GDD (growing degree days) for Kimchi cabbage cultivated in Jeon-ju by different transplanting dates (1st, Aug 24; 2nd, Sep 7; 3rd, Sep 21) during autumn season, 2016.

로 알려져 있으며, 온도변화에 의한 피해는 12°C에서는 최대 50%, 고온인 32°C에서는 30% 정도 생체중이 감소하고, 건물중의 경우 저온에서는 영향이 없으나 고온에서는 피해를 입는다는 연구가 보고되었다(Rodríguez 등, 2015). 봄배추의 경우, 정식 시기별 평균 기온이 21.2, 23.2, 그리고 24.3°C로 2차와 3차 정식은 생육적온도와 3-4°C 정도 차이를 보이며, 이 온도차이가 실제 생육에 영향을 주었음을 확인하였다. 또한 지온에 의한 영향도 보고된바 있는데, 지온이 적정온도 보다 4°C 낮을 경우 뿌리 생육의 감소에 따라 채소 작물의 생산량에 차이를 보이고, 배추의 경우에는 전체 생산량의 30%내외의 감소율로 높은 영향을 주고 있다(Strauss 등, 2007; Paranhos 등, 2016). 최근 5년간의 농촌진흥청 지역별 농산물 소득자료에 따르면, 전라북도의 봄배추와 가을배추의 단수는 연평균 7,678.4kg/10a과 6,783.2kg/10a으로 보고되었다. 본 연구에서 일반적인 재배기간인 1차 정식의 경우 봄배추는 11,348.3kg/10a 그리고 가을배추는 15,128.2kg/10a로 실제 농가에서의 단수와 큰 차이를 보이고 있다. 반면에 전국의 시설배추 단수는 11,147.3kg/10a로서 봄배추의 단수와 유사하였다. 이는 비가림 시설

에서 배추의 재배가 이루어졌기 때문에 노지배추와 단수의 차이가 난다고 판단되며, 차후 노지 재배와 함께 다양한 기후 인자를 이용한 배추의 생산량을 예측할 수 있는 생장모델을 보정 및 검증할 필요성이 있다고 하겠다.

적 요

본 연구는 배추의 작황 예측프로그램을 개발하기 위한 생육조사로 정식시기를 봄과 가을에 2주 간격으로 3회씩 각각 정식하여, 생체중, 건물중, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽면적등을 정식후 2주간격으로 조사하였다. 정식 후 일수에 따른 생체중과 건물중의 변화와 GDD에 따른 생체중, 건물중, 엽면적 그리고 엽수의 변화에 대하여 회귀분석하였다. 정식 후 일수에 따른 봄배추와 가을배추의 생장을 S자형 곡선으로 분석한 결과 생체중의 회귀식은 각각 $FW=4451.5/[1+\exp\{-(DAT-34.1)/3.6\}]$ ($R^2=0.992$)과 각각 $FW=7182.0/[1+\exp\{-(DAT-53.8)/11.6\}]$ ($R^2=0.979$)였다. 그리고 GDD에 따른 봄배추의 생체중의 모델은 각각 $FW=4411.2/[1+\exp\{-(GDD-585.2)/128.6\}]$ ($R^2=0.992$) 및 $FW=13718/[1+\exp\{-(GDD-1278.6)/219.5\}]$ ($R^2=0.981$)

였다. 봄배추와 가을배추의 단위면적당 생산량은 각각 11348.3kg/10a와 1,5128.2kg/10a로 노지재배의 단수와는 차이를 보인 반면에 봄배추의 경우 시설재배의 단수 1,1147.3kg/10a와 유사한 결과를 보였다. 차후에 노지재배를 통해, 배추의 생산성에 관여하는 주요 요인을 분석하고, 실시간으로 계측한 생육 및 기상자료를 기반으로 하여 보다 정확한 예측프로그램으로 보정 및 검증해야 할 것이다.

추가 주제어 : *Brassica campestris* L., 생육도일, 생장곡선, 예측수량, S자형 곡선

사 사

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01196502)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Ahn, J.H., K.D. Kim, and J.T. Lee. 2014. Growth modeling of Chinese cabbage in an alpine area. *Korean J. Agricultural and forest meteorology*. 15(4):309-315.
- Kalisz, A., J. Kostrzewa, A. Sękara, A. Grabowska, and S. Cebula. 2012. Yield and nutritional quality of several non-heading Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *chinensis*) cultivars with different growing period and its modeling. *Korean J. Hortic. Sci Technol* 30:650-656.
- 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 J. Hortic. Sci. Technol.* 33:911-922 (in Korean).
- Kim, S.W., H.Y. Rho, and H.B. Lim. 2017. Agriculture in future: Kimchi cabbage. *KREI*. 560-577.
- Kim, I.G., K.J. Park, and B.J. Kim. 2013. Analysis of meteorological factors on yield of Chinese cabbage and radish in winter cropping system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15:59-66 (in Korean).
- Lee, J. W. 1996. A Study on the Analysis of Determinant Factors of Production for Radish and Chinese Cabbage, Korea Rural Economic Institute. p. 77.
- 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. *J. Bio-Environ. Cont* 21:271-275 (in Korean).
- 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).
- Lee, S.G., H.J. Lee, S.K. Kim, C.S. Choi, S.T. Park, Y.A. Jang, and K.R. Do. 2015. Effects of vernalization, temperature, and soil drying periods on the growth and yield of Chinese Cabbage. *Korean J. Hortic. Sci. Technol* 33(6):820-828 (in Korean).
- MAFRA. 2014. Current status of vegetable greenhouse and production of vegetables in 2013 (in Korean).
- 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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol* 32:318-329 (in Korean).
- Paranhos, L. G., Barrett, C. E., Zotarelli, L., Darnell, R., Migliaccio, K., & Borisova, T. 2016. Planting date and in-row plant spacing effects on growth and yield of cabbage under plastic mulch. *Scientia Horticulturae*. 202:49-56.
- Rodríguez, V. M., Soengas, P., Alonso-Villaverde, V., Sotelo, T., Cartea, M. E., & Velasco, P. 2015. Effect of temperature stress on the early vegetative development of *Brassica oleracea* L. *BMC plant biology*. 15(1):145-153.
- Strauss, A. J., Krüger, G. H., Strasser, R. J., & Van Heerden, P. D. 2007. The role of low soil temperature in the inhibition of growth and PSII function during dark chilling in soybean genotypes of contrasting tolerance. *Physiol. plant.* 131(1):89-105.