

## 국화 “백마”의 생육 일수 및 누적 온도에 따른 건물중과 엽면적의 성장 회귀 모델 개발 및 비교

김성진<sup>1</sup> · 김정환<sup>2</sup> · 박종석<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학 원예학과 대학원생, <sup>2</sup>충남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 대학원생,

<sup>3</sup>충남대학교 농업생명과학대학 원예학과 교수

### Development and Comparison of Growth Regression Model of Dry Weight and Leaf Area According to Growing Days and Accumulative Temperature of *Chrysanthemum* “Baekma”

Sungjin Kim<sup>1</sup>, Jeonghwan Kim<sup>2</sup>, and Jongseok Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student, Department of Computer Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Computer Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**Abstract.** This study was carried out to investigate the growth characteristics of standard *chrysanthemum* ‘Baekma’, such as fresh weight, dry weight, and leaf area and to develop prediction models for the production greenhouse based on the growth parameters and climatic elements. Sigmoid regressions models for the prediction of growth parameters in terms of dry weight and leaf area were analyzed according to the number of the day after transplanting and the accumulate temperature during this experimental period. The relative growth rate (RGR) of the *chrysanthemum* was 0.084 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> on average during the period. The dry weight and leaf area of ‘Beakma’ increased exponentially according to the number of day after transplanting and the accumulated temperature, in the case of dry weight increased by an average of 39.1% until 63 days (accumulated temperature of 1601°C), after that dry weight increased by an average of 7.4% before harvest. The leaf area increased by an average of 63.3% until the 28th day after transplanting, and by an average of 6.5% until the 84th day before flower bud differentiation occurred, and increased by an average of 10.6% before harvest. This experiment can be used as a useful data for establishing a cultivation management system and a planned year-round production system for standard *chrysanthemum* “Baekma”. To make a more precise growth prediction model, it will need to be corrected and verified based on various weather data including accumulated irradiation.

**Additional key words :** accumulate temperature, day after transplanting, dry weight, leaf area, the relative growth rate, standard *chrysanthemum*

## 서 론

국화는 화훼류 중 세계적으로 소비가 많은 3대 절화로 알려져 있고, 우리나라 절화류 중 판매량이 많고 재배면적이 가장 넓을 뿐만 아니라 수출액도 높은 비중을 차지하고 있다(Yoo 등, 2016). 국화의 재배면적은 2017년에 비하여 2019년도 재배면적이 감소하였지만, 2018년 314ha로 가장 넓었다(MAFRA, 2019). 절화류 중에서 국화는 장미에 이어 판매액이 455억으로 두 번째로 많고, 대부분 일본으로 수출하고 있으며 2018년

수출액은 144만 달러로 집계되었다(MAFRA, 2019). 이처럼 중요 화훼 작물인 국화의 시설재배는 환경조절을 통한 연중 생산이 가능하고, 생육에 적합한 환경 조건을 구현하여 생산의 객관화, 지능화, 자동화 기술 개발을 통해 생산성 향상 및 소득 증대 등 많은 경제적 이점을 취할 수 있다(KREI, 2016). 하지만 작물 생육에 적합한 환경정보는 품종, 생육단계별, 재배 시기 등 수많은 생육 정보와 환경정보의 수집을 통해 구명 가능하나, 국내에서 개발된 스탠다드 국화 ‘백마’의 성장 회귀모델에 관한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

스탠다드 국화 ‘백선’, ‘신마’, ‘백마’ 3 품종을 국내에서 주로 재배하고 있고, 그 중 ‘백마(Baekma)’는 국립원예특작과학원에서 육성한 대륜 국화이다(Shin 등, 2005). ‘백마’는 하

\*Corresponding author: jongseok@cnu.ac.kr

Received September 02, 2020; Revised September 29, 2020;

Accepted October 06, 2020

추적으로 자연 개화일이 9월 하순으로 300장 내외의 많은 꽃잎 수를 가지고 있으며, 노심현상이 발생하지 않고 꽃잎 전개가 고르게 전개되는 장점과 측아발생이 많은 단점이 있지만, 꽃잎의 중앙부가 녹색을 띠고 절화수명이 우수하여 소비자들로부터 호평을 받고 있다(Lee와 Cho, 2011; Lee와 Nam, 2011). 일본에서는 꽃의 중앙부가 녹색을 띠고 볼륨감이 우수하여 맑고 깨끗한 이미지를 주기 때문에 인기가 높아 일본으로 수출량이 증가하고 있으나, 국내 농가에서는 측아 제거를 위한 생산비가 높아지는 단점으로 수요를 맞추지 못하고 있는 실정이다.

현재 ‘백마’의 주요 생산 지역은 전남 전북에 집중되어 있는데, 재배 환경이 다른 충남지역에서 ‘백마’의 특성을 유지하면서 재배 안정성 및 수량성을 높이는 작물 재배기술을 확립할 필요가 있다. 국화의 품질은 개화시기 전 일조량, 습도, 기온과 같은 기상 환경에 많은 영향을 받는다. 전남지역과 충남지역의 여름철 평균 온도는 전남지역이 3.3°C 높고, 일조량 또한 여름을 기준으로 1.88% 정도 전남지역이 높다. 따라서 충청 지역에서 여름 고온기에 재배 생산할 때 전남지역보다 평균 온도가 낮으므로 개화가 지연되거나 기형화 발생을 줄일 수 있고, 우수한 품질의 ‘백마’ 생산이 가능하다(Kim 등, 2009; Yoo 등, 2016). 우리나라에서 국화는 봄, 가을철 강우 시 다습 조건이 되거나 주야간 온도 차가 심할 경우 흰 녹병 발생으로 품질 하락 및 생산량 감소의 원인이 되고 있다(Park 등, 2013). 이러한 계절적 변화가 심한 시기에 국화를 수확할 경우 품질이 떨어지는 문제가 발생될 수 있다. 기온은 재배 환경 요인 중에서 식물의 지리적 분포와 생산량에 직결되기 때문에 생육 적온보다 낮거나 높으면 저온 및 고온 스트레스를 받게 된다(Oh 등, 2014). 이러한 환경의 변화는 성장량의 변화를 가져오고 목표로 하는 수확 시기를 달성하기 위해서는 작물의 성장 속도 및 성장량을 예측하는 것이 필요하다. 작물 모델은 작물 생리학에 대한 지식을 통합하고 균일한 재배를 하게 하는 지표이기에 국화 생육 환경을 고려하여 성장을 예측할 수 있는 다양한 생육 모델이 개발되었다(Larsen과 Persson, 1999). 국화의 개화예측 모델, 국화의 양분 흡수 예측모델, 엽의 기공 전도도에 관한 모델, 온도에 따른 온실 꽃 발달 모델, 줄기 신장 모델, 일사와 재식 밀도에 대한 국화 영양 산물 분배를 예측하는 모델, 일사와 온도 조건을 이용한 국화 외관 품질을 예측하는 모델, 온도와 일장에 따른 국화 출엽 예측모델 등이 개발되었다(Charles-Edwards 등, 1979; Willits 등, 1992; Karlsson과 Heins, 1994; Larsen과 Persson, 1999; Lee 등, 2002; Nothnagl 등, 2004; Yang 등, 2007; Li 등, 2012; Seo 등, 2016).

식물의 성장량을 예측하기 위해 지수 함수와 선형 함수를 결합하여 선형 지수(exponential) 함수로 사용해 왔다(Goudriaan

과 Van Laar, 1944). 즉, 생육 초기에는 지수 함수로 성장하다가 잎이 겹치는 시기에 도달하거나 다른 환경에 의해서 영양 성장에서 생식 성장으로 변하는 곳에서는 선형 형태로 수렴한다. 시설원에 분야에서 대부분의 작물생육 곡선은 이러한 선형 지수 함수식으로 표현할 수 있고, 이러한 함수식을 이용하면 시간 또는 환경의 변화에 따른 작물의 성장량 예측할 수 있다(Cha 등, 2014). 충남의 지역적 특성에 따른 국화 삽수의 정식 및 수확 시기의 조절을 위하여 정식 후 누적 온도에 따른 성장량 예측은 매우 중요하다. 최근 재배환경에 따른 작물의 성장량 및 수확량 변동 등에 관한 연구들이 이루어지고 있으나, 대륜 국화에 있어서 수확량 예측을 위한 재배환경에 따른 성장량 모델에 관한 연구는 기초단계이다(Lee 등, 2018). 따라서, 본 연구는 생육 일수 및 누적 온도에 따른 스탠다드 국화 ‘백마’의 성장 해석과 성장 회귀모델 개발을 목표로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재배 조건 및 식물 재료

본 연구를 위해 스탠다드 국화 ‘백마’의 삽수를 구입하여 2018년 6월 19일 모종판 128공 트레이(W 53.9cm × D 28cm × H 5cm)에 원예용 상토(바이오상토, Heungnong Bio, Dongbo Farm Hannong, Seoul)로 충진하여 다섯 개의 트레이에 발근 시켰다. 육묘 온실의 평균 기온은 22.1°C로 약 한 달간 육묘한 후, 7월 18일 충청남도 금산군 진산면 부암리에 위치한 ‘OO팜’(36.142°N, 127.382°E) 비닐하우스 본포에 정식하였다. 단동 비닐하우스는 북남방향(N-S)으로 폭 6m 측고 1.1m 동고 2m 길이 110m, 하우스 간 거리는 0.5m이었다. 하우스는 1층 구조로 되어 있으며 PO 필름(제품)으로 피복되었다. 비닐하우스 내 높이 30cm로 만든 두둑에 10 x 10cm 간격으로 총 500주 정식하였고, 타이머 방식의 점적 관수를 이용하여 하루에 8분간 관수하였다. 정식 후 60일이 지났을 때 단일처리를 위해 암막을 이용하여 오후 5시부터 차광하였고, 비닐하우스 시설 내 환경은 기상관측대(WeatherSmart2, CEM Co. Ltd., China)를 설치하여 10분 간격으로 하우스 내의 온도, 습도, 광도 데이터를 수집하였다.

### 2. ‘백마’의 생육 특성 조사

‘백마’를 수확 후 폴리에틸렌 소재의 필름에 수확한 국화를 담아서 차량으로 약 30분 걸리는 학교에 도착 후 연구실에서 생육조사를 실시하였다. 실험구 배치는 완전 임의배치법을 사용하여, 총 500주의 삽수를 정식 후 3주 후부터 13주 동안 매주 10개체의 국화를 임의로 샘플링하였고 생체중, 건물중, 엽면적 등을 조사하였다. 생체중은 전자저울(CAL MW-2N,

CAS Co. Ltd. Seoul, Korea)을 이용하여 측정하였고, 건물중 분석을 위하여 분리된 지상부와 지하부를 각각 시료 분석용 봉투에 넣은 후 70°C 조건에서 1주일간 완전히 건조한 후 동일한 전자저울을 이용하여 측정하였다. 엽면적은 LI-COR사의 LI-3100 엽면적 측정기(LI-COR, Lincoln, NE, USA)을 이용하여 측정하였다.

3. ‘백마’의 생장과 상대생장률에 대한 해석 및 통계 분석

SigmaPlot 10.0(Systat Software, Inc, USA)를 이용하여 정식 후 일수(DAT; Day after transplanting)와 누적온도(accumulated temperature)를 독립변수로 생육 특성 결과를 종속 변수(건물중, 엽면적)로 하여 회귀모형을 도출하고 상관 분석을 하였다.

Time (정식 후 일수, day after transplanting)

$$Temp. = \sum \frac{Max\ temp. + Min\ temp.}{2}$$

(누적온도, accumulated temperature), 일 최고 및 최저기온(Max and Min temperature).

상대생장률(RGR)의 조사는 1주간 10주씩 생육 조사를 실시하고 Hoffmann과 Pooter(2002)의 방법에 따라 계산하였다. 성장 요인에 대한 회귀모형은 sigmoidal 함수 형태의(3 Parameter)을 이용하였다.

$$RGR = \frac{\ln W_{n+1} - \ln W_n}{t_{n+1} - t_n}$$

[RGR; 상대생장률(g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), W<sub>n+1</sub>: 정식 n+1주 후 식물체 건물중(g), W<sub>n</sub>: 정식 n주 후 식물체 건물중(g)]

$$Growth(dryweight, leafarea) = \frac{a}{1 + e^{-\frac{-(t-t_0)}{b}}}, a, b \text{는 변수}$$

결과 및 고찰

충남 금산 온실에서 재배한 ‘백마’의 건물중 상대생장률(RGR)은 평균 0.084 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> 이었다(Fig. 1). 정식 후 재배 기간에 따른 건물중에 대한 상대 생장률은 정식 초기부터 단일 처리 전까지 높았으며, 최고 0.133 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>까지 증가하였고, 63일째 단일 처리가 시작된 후 0.030 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>으로 감소하는 경향을 보였다. 작물의 생체중은 경제적 측면에서 건물중은 작물의 생산성과 환경과의 관계를 표현하는 요인이기 때문에

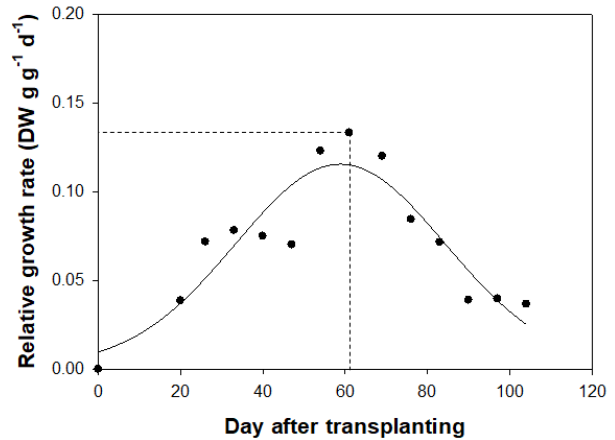


Fig. 1. Relative growth rate (RGR) of dry weight of *Chrysanthemum* ‘Baekma’ in a green house during cultivation period. RGR = [(log (A) - log(B))/day after transplanting period(days), A and B were after and before growth measurements, respectively.

생체중과 건물중의 관계를 예측하는 것은 매우 중요하다 (Both 등, 1997; Lin, 2002). Common ice plant의 상대생장률은 0.24 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>으로 보고되었으나, 인공광을 이용한 식물생장실에서 3파장 형광등으로 바닥면에서 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>의 광 조건에서 실험한 결과이며(Cha 등, 2014), Bloom과 Troughton(1979)은 일반 노지에서 작물의 최대 상대생장률은 0.17 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>이라 보고하였다. 국화 삼수는 초기 엽면적이 타 원예작물과 비교하여 작은 편이고 노후된 시설의 광투과량(58%)이 낮은 점 등으로 상대생장률이 낮았던 것으로 판단된다. 이와 유사한 반응은 어린 토마토, 오이, 파프리카와 유사한 상대 성장률을 보였고, Larsen과 Persson(1993)의 온도 함수와 국화 품종 꽃 발달 추정 모델과 Lee 등(2003)의 최대 상대생장률이 일일 광량과 쌍곡선 관계를 가지는 것과 유사한 반응을 보였다(Nilwik, 1981; Bruggink과 Heuvelink, 1987; Bruggink, 1992; Challa 등, 1994). ‘백마’의 개체당 지상부 건물중은 생체중의 16.2% 정도였고, 생체중에 대한 건물중의 증가율은 선형 관계를 보였다(Fig. 2). 개체당 지상부 생체중과 건물중을 선형 함수식 Y = 4.566·X + 4.426(R<sup>2</sup> = 0.94)로 예측할 수 있었다. 그러나, Common ice plant의 생체중에 대한 건물중 비율의 결정계수는 0.999로 보고되었고 씬바귀의 경우 0.988로 보고되었다 (Cha, 등, 2014a; Cha 등, 2014b). Common ice plant와 씬바귀의 경우 줄기가 발달하지 않은 특성으로 국화와는 차이가 날 수 있으며, 금산 현장에서 샘플링 후, 학교로 이동하여 측정하는 시간이 약 30분 정도 차이가 나기 때문에 사료된다.

온실에서 재배된 ‘백마’는 정식 후 일수에 따른 건물중의 변화 양상은 선형 지수적인 형태를 보였으며 모델식을 통하여

건물 증가량을 정식 후 일수에 따라서 예측할 수 있었다(Fig. 3A). 누적 온도에 따른 건물중 변화 곡선 또한 선형 지수적인 형태를 보였으며 모델식을 통하여 건물중 증가량을 예측할 수 있었다(Fig. 3B). 건물 생산 증가율은 정식 후 63일(누적온도 1601°C)까지 매주 평균 39%씩 증가하였고, 단일처리를 시작한 63일 이후 영양생장에서 생식생장으로 전환이 유도되면서 건물 생산 증가율은 평균 7.46%씩 증가하였다. 일반적으로 식물의 생장은 sigmoid 형태를 보이기 때문에 어느 일수 이상 또는 적산온도 이상에서 생육은 포화될 수 있다. 특히 대륜국화의 경우 화아분화를 위하여 단일처리를 하기 때문에 건물 생산률 또한 단일처리 이후 생식생장으로 변환되면서 더딘 성장을 보이는 것은 Kwon 등(2013)과 Kwon 등(2014)의 연구 결과와도 일치하였다. 또한, Cockshull (1982)은 온도 조절된 환경 조건에 관계없이 국화가 개화 될 때 건물중 증가율이 일정하게 증가된다고 보고와 일치하였고, Körner와 Challa (2004)에서는 개화기때 기관별로 엽의 건물중 증가율은 감소하는 경향을 보였지만 국화의 총 건물중 증가율은 증가하였다고 보고하였다.

정식 후 일수와 누적 온도에 따른 건물중 예측 회귀 모델식은 다음과 같다.

$$Dryweight = \frac{7.26}{1 + e^{-\frac{(time - 5.297)}{1.921}}}$$

$$Dryweight = \frac{9.083}{1 + e^{-\frac{(temp - 1.626)}{4.991}}}$$

a는 ‘백마’의 정식 후 일수와 누적 온도에 따른 건물중의 잠재적 최대값으로, 각각 7.26 g/plant 및 9.08 g/plant였다. 지수 함수적으로 생장이 줄어드는 시점은 63일경 단일처리가 시작되는 지점이었고, b값 역시 1.921 및 4.991으로 유사하였다(Fig. 3).

‘백마’의 정식 후 일수에 따른 엽면적 증가율 또한 건물중과 비슷한 선형 지수적 증가 양상을 보였다(Fig. 4A). 누적 온도에 따른 엽면적 변화 곡선도 선형 지수적인 증가 양상을 나타내었다(Fig. 4B). 엽면적 증가율은 정식 후 28일차 까지 평균 63.3%씩 증가하였고, 화아분화가 발생하기 전인 84일차까지는 평균 6.5%씩 증가하였으며 출하 전에는 평균 10.6%씩 증가하는 경향을 보였다. Kemplkes와 Braak (2000)은 난방 시스템을 사용하여 온도를 높여서 재배하였을 때 기존 재배법과 비교하여 엽면적 지수(LAI)와 줄기 생체중에는 유의적 차이를 보이지 않았지만, 난방을 사용할 때 작물의 하부층에서 습도가 감소하여 엽면적 증가율이 감소하였고 이는 추가적인 높

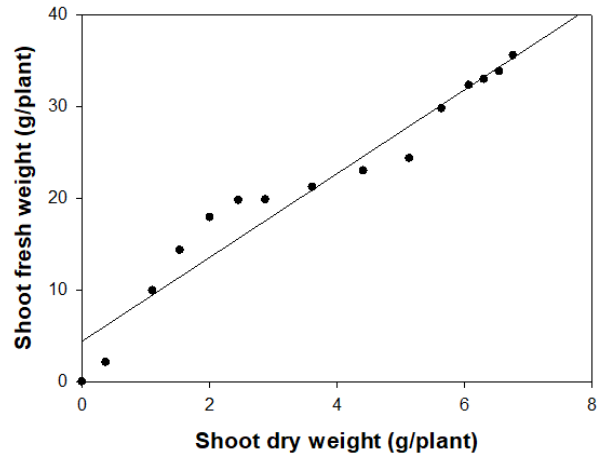


Fig. 2. Relationship between shoot dry and shoot fresh weights of *Chrysanthemum* ‘Baekma’. Regressive equation was  $y = 4.566 \cdot x + 4.426$  ( $R^2=0.9414$ ).

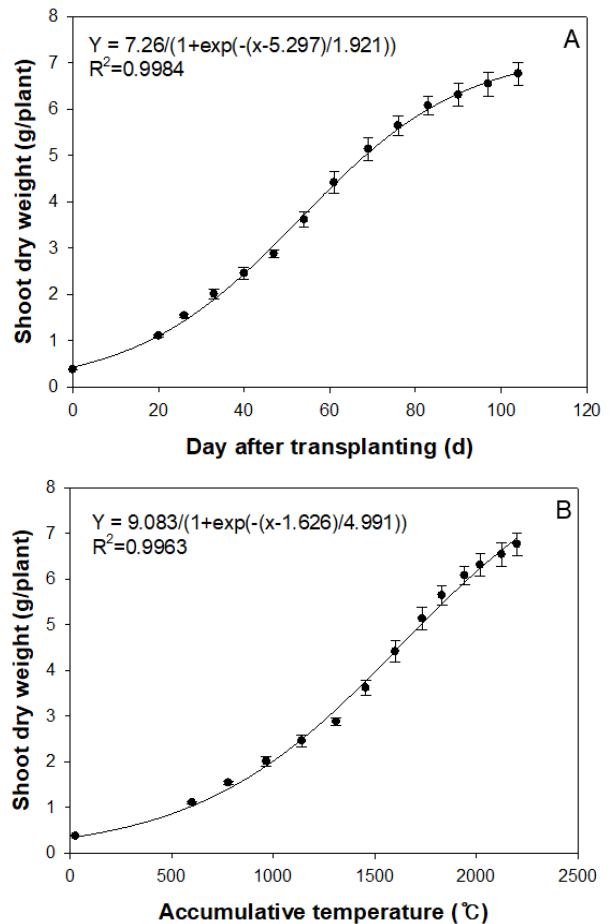
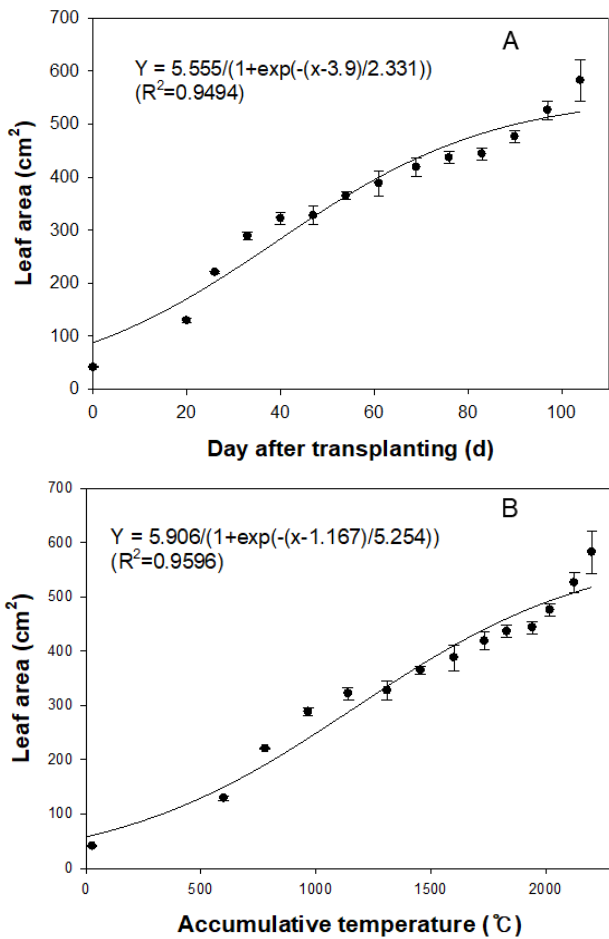


Fig. 3. Shoot dry weight (g/plant) of *Chrysanthemum* ‘Baekma’ with days after transplanting (A), accumulative temperature (B) respectively. Vertical bars indicate standard error (SE) of the means of ten replications.



**Fig. 4.** Leaf area (cm<sup>2</sup>) of *Chrysanthemum* 'Baekma' with days after transplanting (A), accumulative temperature (B) respectively. Vertical bars indicate standard error (SE) of the means of ten replications.

은 습도를 통하여 촉진될 수 있다고 보고되었다(Gisleørd와 Nelson, 1997; Mortensen, 2000).

정식 후 일수와 누적 온도에 따른 엽면적 예측 회귀 모델을 개발하였다.

$$Leafarea = \frac{5.555}{1 + e^{\frac{-(time - 3.9)}{2.331}}}$$

$$Leafarea = \frac{5.906}{1 + e^{\frac{-(temp - 1.167)}{5.254}}}$$

a는 '백마'의 정식 후 일수 및 누적온도에 따른 건물중의 잠재적 최대값으로, 각각 5.555 cm<sup>2</sup>/plant 및 5.906 cm<sup>2</sup>/plant였다. 지수 함수적으로 생장이 줄어드는 시점은 정식 후 28일부터 83일차까지 엽면적 증가율이 감소하다 출하 전에 엽면적

증가율이 증가하는 경향을 보였고, b값 역시 2.331 및 5.254로 유사하였다(Fig. 4).

작물은 정식 후 일수도 중요하지만 누적 온도 즉 생육도일온도 또한 발아부터 성숙까지의 전체 생육단계를 이해하는 데 매우 중요하고(Kim 등, 2018), 특히, 작물의 누적온도 조건에 따른 작물의 개화시기, 성숙기, 수확기 등과 같은 생육단계를 예측하는 데 도움이 될 수 있다(Baskerville과 Emin, 1969). '백마'가 주로 재배되는 전남지역이 아닌 충남지역의 누적 온도 값을 계산하여 개발된 회귀모델식을 이용하여 잠재적 생장 예측이 가능할 것으로 기대되며, 최적의 온도를 선택하여 '백마'를 재배 시 정식 시기 및 단일처리 시기 등을 결정시에도 활용 될 수 있다. 연차간의 재배 환경변화에 따른 '백마' 생육 모델들을 통한 예측 함수 값들의 오차가 발생 될 수 있기 때문에 모델의 교정 및 검증이 지속적으로 필요하다고 판단된다.

본 연구는 대륜 국화 '백마'의 재배관리 체계와 계획적인 연중 생산 체계를 구축하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 선형 지수함수는 대륜 국화 '백마'의 생육을 예측하는데 유용한 함수였고, 이러한 함수식을 이용하여 정식 후 일수와 적산 온도로 '백마'의 생장을 예측할 수 있었다. 온실에서 작물을 재배할 경우, 지역 환경에 따라 작물의 생육차이가 발생하기 때문에 온실의 환경제어 시스템을 갖추고 시장의 가격 상황을 고려하여 작물의 생육관리가 필요하다. 본 연구에서 제시된 회귀모델을 이용하면 충남지역 온도 조건에 대한 '백마'의 생육을 예측 할 수 있지만, 타지역에서의 환경 요인이 다를 경우 생육 차이가 발생 할 수 있다. '백마'의 생육 예측 모델을 정밀하고 정확하게 만들기 위해서는 더욱 다양한 환경요인 및 생육에 대한 연구가 필요하다 생각한다.

## 적 요

본 연구는 대륜 국화 '백마'의 생육 특성인 생체중, 건물중, 엽면적을 조사하여, 생장 및 기후요소에 따른 생장 예측모델 개발을 위하여 수행되었다. 정식후 일수 및 누적온도에 따른 국화의 건물중 및 엽면적 분석에 기반한 '백마'의 생장예측을 위한 시그모이드 회귀모델을 개발하였다. '백마'의 건물중 상대생장률(RGR)은 재배기간 평균 0.084 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>이었다. 정식 후 재배 기간에 따른 건물중에 대한 상대 생장률은 정식 초기부터 단일처리 전까지 높았으며 최고 0.133 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>까지 증가하였고, 63일째 단일처리가 시작된 후 수확 시기에서는 0.030 g·g<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>으로 감소하는 경향을 보였다. 누적온도에 따른 국화의 건물중, 엽면적에 대한 생장 모델(sigmoid 곡선)을 개발하였다. 정식 후 일수와 누적온도에 따른 '백마'의 건물중 및 엽면적은 지수함수적으로 증가하였으며, 건물중의 경우

63일(누적온도 1601°C)까지 평균 39.1%씩 증가하였고, 이후 평균 7.4%씩 증가하였다. 엽면적의 경우 정식 후 28일차까지 평균 63.3%씩 증가하였고, 화아분화가 발생하기 전인 84일차까지 평균 6.5%씩 증가하였으며 화아 분화가 발생하기 전 84일까지 평균 6.5%로 증가했고, 이후 수확 전까지 평균 10.6%씩 증가하는 경향을 보였다. 본 실험은 충남지역에서 대륜 국화 ‘백마’의 재배관리 체계와 계획적 연중 생산 체계를 구축하는데 유용한 자료로 활용될 수 있다. 보다 정밀한 생육 예측 모델을 만들기 위해서는 누적 일사량을 포함한 다양한 기상자료를 바탕으로 하여 교정 및 검증이 필요하다.

**추가 주제어:** 건물중, 엽면적, 상대생장률, 누적일수, 누적온도, 스탠다드 국화

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ0138832020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- Baskerville, G. L. and Emin, P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology*. 50:514-517.
- Bloom, A. J. and Troughton, J. H. 1979. High productivity and photosynthetic flexibility in a CAM plant. *Oecologia*, 38:35-43.
- Both, A.J., L.D. Albright, R.W. Langhans, R.A. Reiser, and B.G. Vinzant. 1997. Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environmental facility: Experimental results. *Acta Hort*. 418:45-51.
- Bruggink, G. T. and E. Heuvelink. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Sci. Hort*. 31:161-174.
- Bruggink, G. T. 1992. A comparative analysis of the influence of light on growth of young tomato and carnation plants. *Sci. Hort*. 51:71-81.
- Cha, M.K., J.E. Son., and Y.Y. Cho. 2014a. Growth model of sowthistle (*Ixeris dentata* Nakai) using expolinear function in a closed-type plant production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 32:165-170.
- Cha, M.K., J.S. Kim., and Y.Y. Cho. 2014b. Growth model of common ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) using expolinear functions in a closed-type plant production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 32:493-498.
- Challa, H., Heuvelink E., and Van Meeteren U. 1994. Crop growth and development. In: Bakker JC, Bot GPA, Challa H, Ven de Braak, eds. *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Wageningen: Wageningen Press, 62-84.
- Charles-Edwards, D. A., K. E. Cockshull, J. S. Horridge, and J. H. M. Thornley, 1979. A model of flowering in *Chrysanthemum*. *Ann. Bot*, 44:557-566.
- Cockshull, K. E. 1982. Disbudding and its effect on dry matter distribution in *Chrysanthemum morifolium*. *J. Hortic. Sci. Biotechnol*. 57:205-207.
- Gislerod, H. and P.V. Nelson. 1997. Effect of relative air humidity and irradiance on growth of *Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitamura. *Gartenbauwissenschaft*. 62:214-217.
- Goudriaan, J. and H.H. Van Laar. 1994. Modelling potential cropgrowth processes: Textbook with exercises. Current issues in production ecology 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hoffmann, W.A. and H. Pooter. 2002. Avoiding bias calculations of relative growth rate *Ann. Bot*. 80:37-42
- Karlsson, M. G., and R. D. Heins, 1994. A model of *chrysanthemum* stem elongation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 119:403-407.
- Kempkes, F.L.K. and N.J. Van de Braak. 2000. Heating system position and vertical microclimate distribution in chrysanthemum greenhouse. *Agri. For. Meteorol*. 104:133-142.
- Kim, B.R., and S.H. Chai. 2016. Policy for vitalizing greenhouse farming. Korea Rural Economic Institute (KREI), Korea.
- Kim, S.K., J.H. Lee, H.J. Lee, S.G. Lee, B.H. Mun, S.W. An, and H.S. Lee. 2018. Development of prediction growth and yield models by growing degree days in hot pepper. *Protected Hort. Plant Fac*. 27:424-430.
- Kim, Y.H., E.J. Huh, S.Y. Choi, Y.C. Lee, and J.S. Lee. 2009. Effect of high temperature and day length on flower abnormality and delayed flowering of spray *chrysanthemum*. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 27:530-534.
- Körner, O. and H. Challa, 2004. Temperature integration and process-based humidity control in chrysanthemum. *Comput. Electron. Agric*. 43:1-21.
- Kwon, Y.S., B.S. You, J.A. Jung, S.K. Park, H.K. Shin, and M.J. Kil (2014). Growth and flowering of standard chrysanthemums according to the light source and light quality in night break treatment. *Protected Hort. Plant Fac*. 23:263-268.
- Kwon, Y.S., S.Y. Choi, M.J. Kil, B.S. You, J.A. Jung, and S.K. Park. 2013. Effect of night break treatment using red LED (660 nm) on flower bud initiation and growth characteristics of *chrysanthemum* cv. ‘Baekma’, and cv. ‘Jinba’. *Kor. J. Agri. Sci*. 40:297-303.
- Larsen, R.U. and L. Persson. 1999. Modelling flower development in greenhouse chrysanthemum cultivars in relation to temperature and response group. *Sci. Hort*. 80.1-2:73-89.

- Lee, C.H. and M.K. Nam. 2011. Enhancement of stem firmness in standard *chrysanthemum* 'Baekma' by foliar spray of liquid calcium compounds. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:298-305.
- Lee, C.H. and M.W. Cho. 2011. Control of unseasonable flowering in *chrysanthemum* 'Baekma' by 2-chloroethylphosphonic acid and night temperature. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:539-548.
- Lee, J. H., E. Heuvelink, and H. Challa, 2002. Simulation study on the interactive effects of radiation and plant density on growth of cut chrysanthemum. *Acta Hort.* 593.
- Lee, S.G., S.K. Kim, H.J. Lee, H.S. Lee, and J.H. Lee. 2018. Impact of moderate and extreme climate change scenarios on growth, morphological features, photosynthesis, and fruit production of hot pepper. *Ecology and evolution*, 8:197-206.
- Li, G., L. Lin, Y. Dong, D. An, Y. Li, W. Luo, X. Yin, W. Li, J. Shao, Y. Zhou, J. Dai, W. Chen, and C. Zhao. 2012. Testing two models for the estimation of leaf stomatal conductance in four greenhouse crops cucumber, chrysanthemum, tulip and liliun. *Agr. Forest.* 165:92-103.
- Lin, W.C. 2002. Crop modeling and yield prediction for greenhouse grown lettuce. *Acta Hort.* 593:159-164.
- Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA). 2019. Present condition of flower production 2018. MAFRA, Gwacheon, Korea.
- Mortensen, L.M. 2000. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. *Scien. Hortic.* 86:299-310.
- Nilwik, H.J.M. 1981. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 2. Interacting effects of irradiance, temperature and plant age in controlled conditions. *Annals of Botany* 48:137-145.
- Nothnagl, M., A. Kosiba, and R.U. Larsen, 2004. Predicting the effect of irradiance and temperature on the flower diameter of greenhouse grown *chrysanthemum*. *Sci. Hort.* 99:319-329.
- Oh, S., 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. Hortic. Sci. Technol.* 32:318-329.
- Park, S.R., I.P. Ahn, D.J. Hwang, A.C. Chang, K.B. Lim, and S.C. Bae. 2013. Current status of ecology and molecular detection in *Puccinia horiana*. *Flower Res. J.* 21:128-132.
- Shin, H.K., J.H. Lim, H.R. Cho, H.K. Lee, M.S. Kim, C.S. Bang, Y.A. Kim, and Y.J. Kim. 2005. A new standard *chrysanthemum* cultivar, 'Baekma' with large white flower. *Korean J. Breed.* 37:119-120.
- Willits, D. H., P. V. Nelson, M. M. Peet, M. A. Depa, and J. S. Kuehny. 1992. Modeling nutrient uptake in *chrysanthemum* as a function of growth rate. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117:769-774.
- Yang, Z.Q., W.H. Luo, F.D. Chen, J.J. Gu, X. M. Li, Q. F. Ding, C. B. Zhao, and Y. F. Lu, 2007. Quality prediction model of greenhouse standard cut *chrysanthemum* based on light-temperature effect. *Chin. J. Appl. Ecol.* 18:877-82.
- Yoo, Y.K., Y.S. Roh, and B.C. Nam. 2016. Occurrence of white rust and growth of chrysanthemum 'Baekma' by control of relative humidity with night ventilation and heating in the greenhouse. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 34:845-859.
- Yoo, Y.K. and Y.S. Roh. 2015. Effects of shipping temperature and harvesting stage on quality and vase life of cut flowers in *Dendranthema grandiflorum* 'Baekma' for export. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:61-69.