



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

온도변화에 따른

배추와 마늘의 생육 반응

제주대학교 대학원

원예학과

위 승 환

2017년 8월

# 온도변화에 따른 배추와 마늘의 생육 반응

지도교수 조 영 열

위 승 환

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2017년 6월

위승환의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

제주대학교 대학원

2017년 6월

Growth of Chinese Cabbage and Garlic based on  
Temperature

Seung-Hwan Wi

(Supervised by Professor Young-Yeol Cho)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree  
of Master of Science in Agriculture

2017. 6

Department of Horticultural Science

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

목 차 .....	i
Abstract .....	iv
List of Tables .....	vi
List of Figures .....	vii
서 언 .....	1
인용문헌 .....	3

## Chapter I. 생육도일(GDD)에 따른 '춘광' 봄배추의 적정 재배 작기 예측

Abstract .....	5
서언 .....	6
재료 및 방법 .....	8
공시작물 및 환경요인 설정 .....	8
생육조사 및 GDD와 배추 구중과의 상관관계 분석 .....	9
재배적기 추산식과 주산지 재배적기 자료를 이용한 검증 .....	10
통계처리 .....	10
결과 및 고찰 .....	11
작기 및 온도에 따른 배추의 생육 .....	11
배추 구중과 GDD와의 상관관계 .....	13

GDD를 이용한 봄배추 적정 재배작기 추정 및 검증 .....	14
초록 .....	16
인용문헌 .....	18
<b>Chapter II. 온도에 따른 난지형 마늘 ‘남도’의 생육과 수확기 구생체중 모델 개발</b>	
Abstract .....	21
서언 .....	22
재료 및 방법 .....	24
공시작물 및 환경요인 설정 .....	24
생육조사 .....	25
구생체중 모델 개발 및 검증 .....	25
통계처리 .....	26
결과 및 고찰 .....	27
온도에 의한 마늘의 생육 .....	27
구생육에 대한 적정 생육온도 .....	30
GDD와 수확기 마늘 구생체중의 상관관계 .....	33
수확기 마늘 구생체중 예측 모델 개발 .....	34
구생육 모델 검증 .....	37
초록 .....	38
인용문헌 .....	39

초 록 ..... 42

## Abstract

Global temperature is rising because of climate change. Change of temperature affects plants' growth and character. In Korea, Chinese cabbage and garlic are essential ingredients for Korean food. In This study investigated effects of temperature on Chinese cabbage and garlic. The objective of the first study was to determine optimal cropping season of 'Chunkwang' Chinese cabbage. Chinese cabbage was planted in a step-by-step temperature differences facility (temperature gradient chamber) and set to A, B, C. Sixty-four days after planting, harvest cabbage was harvested and growth was measured to investigate effects of temperature with Growing Degree Day(GDD). The objective of the second study was to investigate optimal temperature of garlic and develop a bulb weight model. Garlic planted in chambers set to 11/7°C, 14/10°C, 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C, 28/23°C(16/8h). We investigated growth and built three growth estimate models. To verify models, examination data was applied. Examination was cultivated in a temperature gradient chamber. A temperature gradient chamber was designed as a step-by-step temperature differences facility. We divided chamber area low to high temperatures and set to 1, 2, 3, 4, 5.

Results of the first study revealed each experiment part had different accumulation GDD. Cabbage fresh weight was significant but leaf area, leaf number, leaf length, leaf width were not significant. Fresh weight was heaviest in the first cropping periods B, C and second cropping period A. The first cultivation period A had bolting cabbage and second cultivate period C, third cultivation period A B C had rot. This issue was inferenced by temperature. Analyzing fresh weight and GDD, fresh weight increased before GDD 587°C and decreased after 729°C. Build moderate cultivation period equation with experiment date and GDD. Equation calculate highest yield of 17,834.4 kg/10a and optimal GDD was 635°C. Set 90 percent of highest yield to moderate growing season and it was GDD 549-738°C. To verify model, we investigate GDD of chief producing districts Haenam's and Teabak's cropping



seasons. Haenam was 581.4-711.8°C, Taebak was 619.5-727.9°C. As a result, optimal cultivation period GDD was 549-738°C and equations may be useful to set cultivation periods.

Results of the second study revealed heaviest bulb weight was in the 20/15°C chamber. Leaf number and area grew slowly in low temperature but were the same at other temperatures except 28/23°C. Build three function with bulb weight and temperature. Function calculate optimum temperature was 18-20°C, minimum growth temperature was 7.1°C and upper temperature threshold was 31.7°C. To estimate yield, fresh bulb growth rate models were developed with divided fresh bulb weight by cultivated day and temperature. To verify models, examination data was applied. Examination was cultivated in temperature gradient chamber. A temperature gradient chamber is a step-by-step temperature differences facility. We divided chamber area low to high temperature and set to 1, 2, 3, 4, 5. Lineal model, quadric model, and logistic distribution model revealed 79.0-95.0 percent, 77.2-92.3 percent and 85.0-95.8 percent accuracy, respectively. As a result, the logistic distribution model has the highest accuracy and viability for explaining moderate temperature, minimum growth temperature and upper temperature thresholds.

***Additional key words:*** temperature, Chinese cabbage, cultivated period, model, garlic, Growing Degree Day, yield

## List of Tables

Table 1-1. Cabbage growth and character on cultivation period and temperature treatment. ....	15
Table 2-1. Garlic growth and character on six temperatures. ....	31

## List of Figures

Fig. 1-1. Changes in daily mean air temperature and GDD(accumulated degree days>5°C) in the temperature gradient chamber. ....	12
Fig. 1-2. Relationship between fresh weight and GDD .....	13
Fig. 1-3. Relationship between yield and GDD and moderate cultivation period GDD equations. ....	15
Fig. 1-4. Comparison of expected moderate cultivation period GDD and chief producing districts GDD. ....	15
Fig. 2-1. Changes in daily mean air temperature in temperature gradient chamber. ..	27
Fig. 2-2. Effect of temperature on number of leaves. ....	30
Fig. 2-3. Effect of temperature on leaf area. ....	30
Fig. 2-4. Fresh bulb weight functions based on temperature. ....	34
Fig. 2-5. Change in fresh bulb weight according to GDD during the growth period of 'Namdo' Garlic. ....	35
Fig. 2-6. Fresh bulb growth rate functions based on temperature. ....	38
Fig. 2-7. Growth model verification with temperature gradient chamber. ....	39

## 서 언

IPCC에서 발간한 2014년 6차 기후변화 종합보고서는 온실가스의 배출로 인한 기후변화에 대한 내용이 수록되어 있다. 경제 및 인구의 증가와 산업화로 인하여 인위적이 온실가스가 배출되어 현재 지난 80만년 내 최고 수준이며 그로 인하여 기후가 변화되고 있다는 것이다. 온실가스의 증가로 인한 기후변화는 온도상승, 강수량 증가, 해수면 증가, 이상기온 등 자연계에 많은 영향을 주며 이는 인류에게도 큰 영향을 줄 것으로 예측 된다. 이중 온도증가의 경우 인류가 온실가스 감축 노력을 하지 않을 경우 최대 4.8℃까지 기온이 오를 것이라고 전망되고 있다(IPCC, 2014).

이와 같은 온도변화는 인간의 식량이 되는 작물들의 생육 및 품질에 큰 영향을 주며 이는 수량에도 영향을 미친다(Hoogenboom, 2000). 또한 생육, 품질, 수량 외에도 작물기간, 재배작기 등에도 큰 영향을 주기 때문에(Yun, 2001) 재배지 변화에 대한 대비 및 기후에 맞춘 영농계획 등 대책이 요구된다.

김치는 한국인의 대표적인 부식으로 1인당 연간 소비량은 25.3kg으로 알려져 있으며 거의 매 끼니마다 기본 식단으로 섭취되고 있다. 김치는 각종 채소들로 다양하게 만들어 지는데 통계청의 2015년 자료에 의하면 김치 판매액 중 72.6%가 배추김치로 배추는 한국인의 주요 부식재료로 사용되고 있다. 배추(*Brassica rapa subsp. Penkinensis*)는 장기간 보관이 힘들며 신선도가 요구되는 만큼 생산량이 소비량과 직결되는 형상을 보인다. 이처럼 배추의 소비시장은 완전경쟁시장의 형태와 유사하며 소비와 생산의 균형이 깨질 경우 가격이 크게 변동되는 경우가 발생되기 때문에 안정적인 공급이 필요하다(Lee, 1996). 또한 배추는 호냉성 작물로 고온에 의하여 생육이 저하하거나 생산량이 감소(Oh et al., 2014; Kim et al., 2015; Son

et al., 2015)하는 경우가 있으며 생육초기 저온의 영향을 받아 추대 되는 경향이 있다. 이처럼 배추는 온도에 대한 영향이 크기 때문에 안정생산을 위해서는 적절한 재배 작기 정보의 제공이 필요하다.

마늘(*Allium sativum* L.)은 우리나라 식생활에서는 필수적인 조미채소로서 이용되고 있으며 김치의 주요 양념재료이다. 대한민국은 1인당 소비량이 가장 많은 나라로 알려져 있으며 이는 양념재료 외에도 다른 부식으로 이용되거나 최근에는 여러 형태의 강장식품으로 이용되는 등(Chun and Paik, 1997) 많은 소비가 이루어지고 있기 때문이다. 마늘은 호냉성 월동 채소로 재배기간이 10월경부터 이듬해 5월경까지로 길며 작형이 정해져 있기 때문에 작기 외에는 추가적인 생산이 어려워 안정생산이 매우 중요하다. 마늘은 생태형에 따라서 난지형과 한지형으로 분류된다(Shin et al., 2004). 이중 난지형 마늘은 마늘 재배면적의 80%를 차지하고 있으며 한지형 마늘보다 수량이 많아 재배지가 북상하는 추세이다. 난지형 마늘의 생육적온은 18~20℃으로 알려져 있으며 25℃이상 고온에는 잎이 마르고 생육이 쇠퇴하는 등 온도에 큰 영향을 받는다(Lee, 2003). 최근 기후변화에 의한 온도증가량이 구체적으로 예측되고 있으며 이를 대비할 마늘의 수량예측 기술에 대한 요구도가 커지고 있다.

본 연구는 주요 채소 작물인 배추와 마늘의 온도에 따른 영향을 평가하고 이에 따라 배추의 적정 작기 구명과 마늘의 수량 예측 모델 개발을 위하여 수행되었다.

## 인용문헌

- Chun HJ, Paik JE** (1997) Effect of heat treatment of garlic added diet on the blood of spontaneously hypertension rat. *Journal of the Korean Society of Food Science Nutrition* 26:123-19
- Hoogenboom G** (2000) Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agricultural and forest meteorology* 103:137-157
- IPCC** (2014) Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- Kim KD, Suh JT, Lee JN, Yoo DL, Kwon M, Hong SC** (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(6):911-922
- Lee JW** (1996) An study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. *KREI R346:39-67*
- Lee JM** (2003) *Special vegetable horticulture*. 1th ed Hyang moon sa Seoul, Korea.p.421
- Lee JW** (1996) An study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. *KREI 346*

**Oh SJ, Moon KH, Son IC, Song EY, Moon YE, Koh SC** (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(3):318-329

**Shin JH, Ju JC, Kwen OC, Yang SM, Lee SJ, Sung NJ** (2004) Physicochemical and physiological activities of garlic from different area. Journal of the Korean Society of Food Science Nutrition 17:237-245

**Son IC, Moon KH, Song EY, Oh SJ, Seo HH, Moon YE, Yang JY** (2015) Effects of differentiated temperature based on frowing season temperature on growth and physiological response in Chinese cabbage 'Chunkwang'. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 17(3):254~260

## Chapter I . 생육도일(GDD)에 따른 ‘춘광’ 봄배추의 적정 재배

### 작기 예측

#### Chapter I . Estimation optimal cultivate period of ‘Chunkwang’ Chinese cabbage based on Growing Degree Day

**Abstract:** To determine optimal spring cultivation period of ‘Chunkwang’ Chinese cabbage, Chinese cabbage was planted three times in a temperature gradient chamber. A temperature gradient chamber is a step-by-step temperature differences facility. We divided chamber area low, medium, high temperature and set to A, B, C. Cabbage was planted on March 6, March 20, April 3. Sixty-four days after planting, we harvested the cabbage and measured growth. Each treatment had different accumulation of growing degree day(GDD). Cabbage fresh weight was significantly different after each treatment but leaf number, leaf area, leaf length, leaf width were not significantly different. Fresh weight was heaviest in the first cultivation period B, C and second cultivation period A. The first cultivation period A had bolting cabbage and second cultivation period C, third cultivation period A B C had soft rot. This issue was influenced by temperature. Analyzing between fresh weight and GDD, fresh weight increased before GDD 587°C and decreased after 729°C. Build moderate cultivation period equation with experiment date and GDD. Equation calculation highest yield was 17,834.4 kg/10a and optimal GDD was 635°C. Set 90 percent of highest yield to moderate growing season and it was GDD 549-738°C. To verify the model, we investigated GDD of chief producing districts Haenam’s and Teabak’s cultivation periods. Haenam was 581-712°C, Taebak was 620-728°C. As a result, optimal cultivation period GDD is 549-738°C and equation may be useful to set cultivation periods.

**Additional key words:** ‘Chunkwang’, spring cabbage, cultivation period, Growing degree day



## 서 언

2014년 IPCC에서 발간한 6차 기후변화 종합보고서에는 향후 기후변화로 인하여 2100년에는 최대 2.6~4.8℃까지 기온이 오를 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2014). 온도의 변화는 작물의 생육 및 품질에 큰 영향을 미치며 이는 수량에도 영향을 준다(Hoogenboom, 2000). 또한 온도증가는 작물기간, 재배 작기를 변화시켜 기후변화 시기에 따른 새로운 영농계획 수립이 요구된다(Yun, 2001).

배추는 한국인의 주요 부식인 김치의 주재료로 평년기준 233만톤을 소비한다. 배추의 저장기간은 길어야 3~4개월이며 신선도를 필요하기 때문에 생산량이 곧 소비량이 된다(Kim et al., 2016). 이러한 특성으로 10~20%의 생산량이 감소하게 되면 가격상승이 2~3배에 이른 경우가 있을 정도로 안정생산이 매우 중요하다(Lee, 1996). 수요를 맞추기 위해 배추는 연중 생산체계가 확립되었으며 1년 내내 파종, 수확하고 있다. 그중 봄배추는 김장배추인 가을배추에 이어 두번째로 많이 생산되는 중요한 작형이다. 봄배추의 작형은 21~35일 육묘 후 정식하여 56~77일 정도 재배한 후 수확되는 것이 경제성이 있는 것으로 알려져 있다(Park and Kim, 2013).

배추는 호냉성 작물로 생육 초기의 적정온도는 18~20℃이며, 결구기인 생육후기의 적정온도는 15~18℃이다. 온도는 배추의 작기 결정에 가장 큰 요소이다. 배추는 종자 춘화형 작물로 생육초기에 저온노출 시 고온 장일 조건에서 추대가 일어난다. 배추의 추대는 12℃ 이하의 저온노출에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있으며 이는 봄작형 재배에 한계요인이 된다(Heido, 1970; Guttormsen and Moe., 1985). 추대가 일어날 경우 영양생장이 억제되어 생산성이 떨어지며 상품으로서 가치도 없어지게 된다. 또한 생육 후기인 결구기에서는 고온에 의한 생리장해가 한계요인이 된다. 배추가 고온에 노출되었을 때 석회결핍증상이 나타나며 이로 인해 속썩음 현상이

나 잎 가장자리마름 현상이 나타나 상품률을 떨어트리며(Hwang et al., 2003), 생육 저하 및 광합성능 저하 등이 일어나 재배에 어려움을 준다(Lee et al., 2009; Oh et al., 2014).

이와 같이 온도는 배추 재배에 중요한 요소로 한계 온도 범위와 그에 따른 영향 등 많은 연구가 보고 되어 있으나, 추대 등 생리 반응은 품종에 따라 차이를 보인다(Lee et al., 2002; Lee et al., 2013). 봄 작형 배추 재배의 경우 주로 ‘춘광’ 품종이 이용 되고 있으며 이에 따라 관리가 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 봄 작형의 상품 생산을 위한 작기 한계를 구명하기 위해서 ‘춘광’ 품종을 이용해 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시작물 및 환경요인 설정

본 연구는 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소의 온도구배터널에 정식시기를 달리하여 수행되었다. 온도구배터널은 긴 터널 모양의 하우스로 정면은 개방되어 있으나 후방은 폐쇄된 형태의 시설이다. 막혀 있는 후면을 기준으로 열려 있는 전면까지 단계적으로 온도차가 나게 되어 있으며 24시간 일정하게 편차를 유지할 수 있다. 각 실험구에 기록된 온도는 다음과 같다(Fig. 1-1.). 온도 대역에 따라 총 3개의 구역으로 구분하여 배추를 재배하였다. 실험재료로는 춘광(Sakada Korea Ltd., Seoul, Korea)을 사용하였다.

작기는 3기간으로 나누어 처리하였다. 파종은 2주 간격으로 시행되었으며 파종일은 각각 2017년 2월 6일, 2월 20일, 3월 6일이다. 온도조절이 가능한 챔버 내에서 72공 플러그트레이에 원예용상토를 충전한 후 1셀당 1립씩 파종하였다. 챔버의 온도는 주야간 23/18°C(12/12h)이며 습도는 40~60%내로 유지되었다. 정식일은 파종 후 28일경에 수행되었으며 각각 2017년 3월 6일, 3월 20일, 4월 3일이다. 온도구배터널에 2개의 처리구를 만들어 60x40cm 간격으로 정식하였으며 관수는 점적관수 시설을 사용하였다. 정식 후 64일경(각각 2017년 5월 8일, 5월 22일, 6월 5일)에 수확조사를 수행하였다. 재배는 배추 표준재배법(Park SH and Kim JK, 2013)에 맞추어 수행하였으며, 재배기간 중 추가 시비는 하지 않았다.

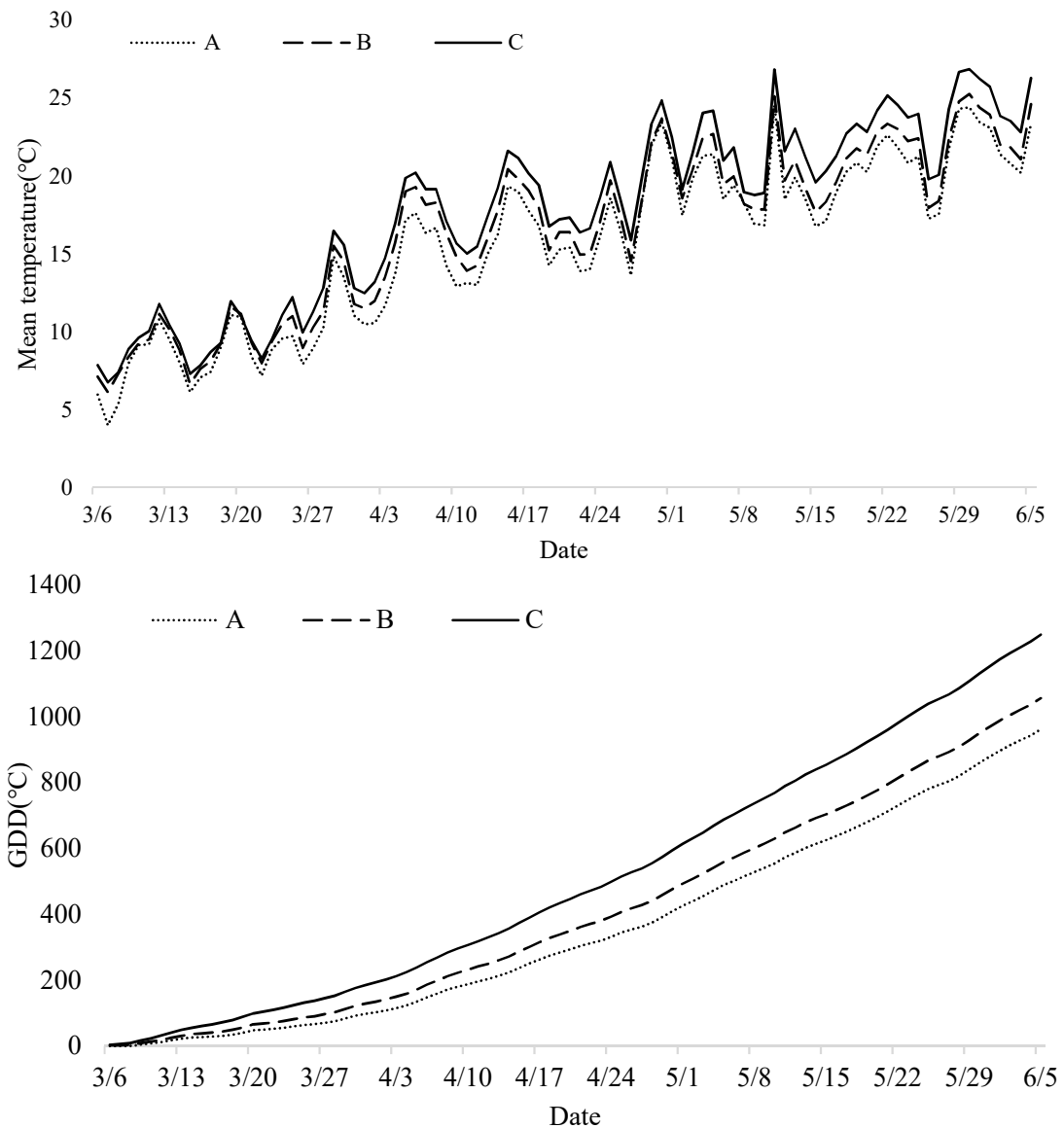


Fig. 1-1. Changes in daily mean air temperature and GDD(accumulated degree days>5°C) in the temperature gradient chamber.

### 생육조사 및 GDD와 배추 구중과의 상관관계 분석

정식 후 64일에 배추를 수확하여 구중, 엽수, 최대엽 엽장, 최대엽 엽폭, 엽면적과 추대 및 속적음 현상을 조사하였다. 또한 작물에 대한 온도의 영향을 분석하기 위하여 선형회귀분석으로 생육도일(Growing degree day, GDD)과 배추 구중과의 상관관계를 분석하였다. GDD는 일 최고온도, 일 최저온도, 기본온도를 조합하여 산

출하는 값으로 온도의 누적으로 작물의 성장을 설명할 수 있다는 개념이다 (McMaster and Wihelm, 1997; Miller et al., 2001). GDD의 계산식은 아래와 같다.

$$\text{GDD}(\text{Growing Degree Day, } ^\circ\text{C}\cdot\text{d}) = \sum [(T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2 - T_b]$$

위 식에서  $T_{\text{max}}$ ,  $T_{\text{min}}$ ,  $T_b$  는 각각 일 최고온도, 일 최저온도, 기준온도를 의미하며, GDD값이 음수가 될 경우 0으로 계산하여 누적한다. 작물에 따라 기준온도를 다른 값을 사용하는데 본 실험에서는 선행연구(Kim et al., 2015)와 동일하게 생육 최저기온인 5°C를 기준으로 하였다.

### 재배적기 추정식과 주산지 재배적기 자료를 이용한 검증

배추의 구중과 생육기간 누적된 GDD를 이용하여 재배적기 추정식을 개발하였다. EXCEL(2016, Microsoft, USA)프로그램을 이용하여 개발하였으며 최대수량의 90%까지를 재배적기로 설정하였다. 이를 검증하기 위하여 노지봄배추 주산지의 작기와 GDD를 분석하여 비교하였다. 노지봄배추의 주산지는 전남 해남군으로 3월 중순부터 4월 하순까지 파종하여 20~30일정도 육묘 후 정식하고 수확은 6월 상순부터 7월 상순까지 이다. 노지봄배추와 조건이 비슷한 고랭지배추로도 검증하였다. 고랭지배추는 주산지 중 태백의 작기와 기준으로 조사하였다. 태백에서는 4월 하순부터 5월 중순까지 파종하여 20~30일정도 육묘 후 정식하고 수확은 7월 하순부터 8월 중순까지 이다. 기상 자료는 주산지의 기상청 자료를 종합하여 GDD를 분석하였다.

### 통계처리

데이터 분석을 위하여 통계 패키지(3.0.3, R Foundation)를 이용하였으며, Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ )로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다. 또한 EXCEL(2016, Microsoft, USA)을 이용하여 회귀관계를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 작기 및 온도에 따른 배추의 생육

작기와 온도에 따른 배추의 영향을 조사하기 위하여 생육을 조사한 결과 다음과 같았다(Table 1-1). 구중은 작기 및 온도구별 고도의 유의성을 보였으나 엽수, 최대엽엽장, 최대엽엽폭, 엽면적의 경우 유의성이 없었다. 구중은 1차 정식 B 실험구와 C 실험구, 2차 정식 A 실험구에서 가장 높았다. 이러한 결과는 같은 각 실험구별 적산된 GDD 차이에 의한 것으로 보이며, 이는 온도가 배추의 구중에 영향을 주는 요소라는 보고와 유사하다(Ahn et al., 2014; Kim et al., 2015). 배추의 엽폭이나 초고 등이 수량을 예측하는데 이용하다는 보고(Kim et al., 2015)가 있어 최대엽엽장과 최대엽엽폭을 조사한 결과 처리구별 유의성이 없었다. 엽면적을 분석한 결과 구중과 달리 처리구별 유의성이 없었다. 이는 엽면적과 구중과 연관성이 있다는 보고(Ahn et al., 2014)와 다른 결과를 보였다.

추대현상을 조사한 결과 3월 6일 1차 정식 A 실험구에서만 5.5% 발견되었다. 1차 A 실험구의 3월 평균 기온은 8.7°C이며 이는 13°C이하의 저온에 감응하여 꽃눈이 생성되어 추대된다는 보고(Guttormsen and Moe, 1985)의 조건에 충분히 부합한다. 그러나 현행 주요 봄배추 품종의 경우 높은 추대저항성을 가지고 있어(Lee et al., 2013) 저온에 의한 추대발생률이 낮게 나온 것으로 보인다. 속썩음 현상을 조사한 결과 3차 정식 A 실험구 5.5%, 2차 정식 C 실험구 11%, 3차 정식 B 실험구 33.3%, 3차 정식 C 실험구 44.4% 발견되었다. 이는 고온에 의한 영향으로 보이며 지속될 시 속썩음 현상이 나타난다는 내용과 유사하다(Park and Kim 2013; Lee et al., 2015).

**Table 1-1. Cabbage growth and character on cultivation period and temperature treatment.**

Cultivation period	Treatment	Fresh weight(g)	Leaf number(ea)	Leaf length(cm)	Leaf width(cm)	Leaf area(cm <sup>2</sup> )	Bolting rate(%)	Soft rot rate(%)
Mar-6 ~ May-8	A	3506.7 bc <sup>z</sup>	96.8 bc	45.7 ab	30.2 ab	22203.3 ab	5.5	0
	B	4415.9 a	103.5 abc	42.5 ab	31.1 ab	24044.0 ab	0	0
	C	4264.2 a	103.3 abc	41.1 b	26.8 b	24984.1 a	0	0
Mar-20~May-22	A	3937.5 ab	101.6 abc	41.3 ab	29.0 ab	24162.8 ab	0	0
	B	3438.4 bc	101.8 abc	43.4 ab	29.8 ab	22882.3 ab	0	0
	C	3291.2 c	93.4 c	43.4 ab	29.4 ab	20986.3 ab	0	11.0
Apr-3~Jun-5	A	3125.6 c	105.4 abc	42.6 ab	30.3 ab	20367.8 b	0	5.5
	B	3092.6 c	109.8 ab	45.5 ab	30.7 ab	21784.6 ab	0	33.3
	C	3371.7 c	112.0 a	46.2 a	32.4 a	23240.5 ab	0	44.4

<sup>z</sup> Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

### 배추 구중과 GDD와의 상관관계

온도에 의한 배추의 생육을 조사하기 위하여 배추 구중과 각 작기의 실험구별 GDD를 선형회귀분석하여 상관관계를 분석하였다(Fig. 1-2). GDD누적은 1차정식A 515℃, 1차정식B 587℃, 2차정식A 665℃, 1차정식C 729℃, 2차정식B 748℃, 3차정식A 847℃, 2차정식C 872℃, 3차정식B 907℃, 3차정식C 1037℃ 순으로 높았다. 조사 결과 구중은 GDD 587℃까지 증가하고 이후 변화가 없으나 GDD 729℃ 이후에는 구중이 감소하는 것을 볼 수 있었다. GDD와 구중과의 상관관계를 구명하기 위하여 선형회귀분석한 결과 음의 기울기를 보였으며 결정계수는 0.35로 낮은 값을 나타냈다. 즉 온도에 의해 누적된 열량과 작물의 성장량 증가가 정비례 한다는 가설과 다른 결과이며 오히려 일정이상의 온도누적이 생육에 해를 주는 것을 확인할 수 있었다. 이는 고온이 호냉성 작물인 배추에 스트레스 작용하여 GDD와 구중과 부의 상관을 보였다는 결과와 유사하다(Kim et al., 2015). 위 결과를 보았을 때 GDD증가에 따른 구중의 증감을 이용하여 적정 재배 작기를 특정할 수 있을 것으로 판단된다

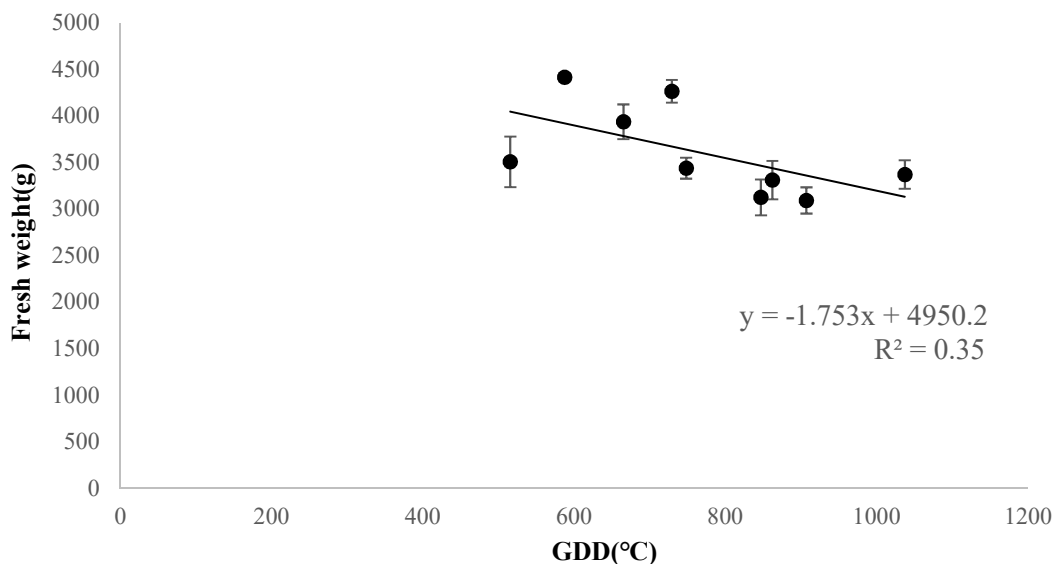


Fig. 1-2. Relationship between fresh weight and cultivation period GDD(n=18)



### GDD를 이용한 봄배추 적정 재배작기 추정 및 검증

봄배추 적정 재배작기를 구명하기 위하여 수량과 GDD와의 연관성을 분석하고 적정 재배작기 추정식을 개발하였다(Fig. 1-3). 수량은 추대와 속썩음 현상에 의한 상품률을 반영하여 산출하였다. 적정 작기 추정식은 EXCEL(2016, Microsoft, USA)을 이용하여 3차함수로 개발하였으며 결정계수는 0.92이다. 최대 기대수량은 정식 후 64일 기준 GDD가 635℃일 때 17,834.4kg/10a가 되는 것으로 산출되었으며 GDD가 이보다 높거나 낮을 경우 수량이 떨어졌다. 최대 수량의 90%인 16,050.9kg/10a 이상으로 산출되는 GDD를 재배적기로 설정하였을 때 적정 재배 작기는 재배 기간 중 GDD가 549~738℃ 되는 기간이다.

본 실험을 검증하기 위하여 주산지 재배적기의 GDD를 조사한 결과는 다음과 같았다(Fig. 1-4). 노지 봄배추의 주산지인 해남의 경우 4월 중순, 4월 하순, 5월 초순에 정식한 것을 기준으로 수확때까지의 GDD를 조사한 결과 각각 581, 642, 712℃로 조사되었다. 고랭지배추의 주산지인 태백의 경우 5월 하순, 6월 초순, 6월 중순에 정식한 것을 기준으로 수확때까지의 GDD를 조사한 결과 620, 651, 728℃으로 조사되었다. 비교 결과 실험구에서 수량이 좋았던 실험구의 GDD가 각 주산지 재배기간 동안의 GDD와 근사하거나 포함되어 있었으며 추정식의 최대값의 90%를 나타내는 구간안에 포함되었다. 이로 보아 봄배추의 적정작형은 정식 후 64일 수확을 기준으로 549~737℃ 범위인 것으로 판단되었다.

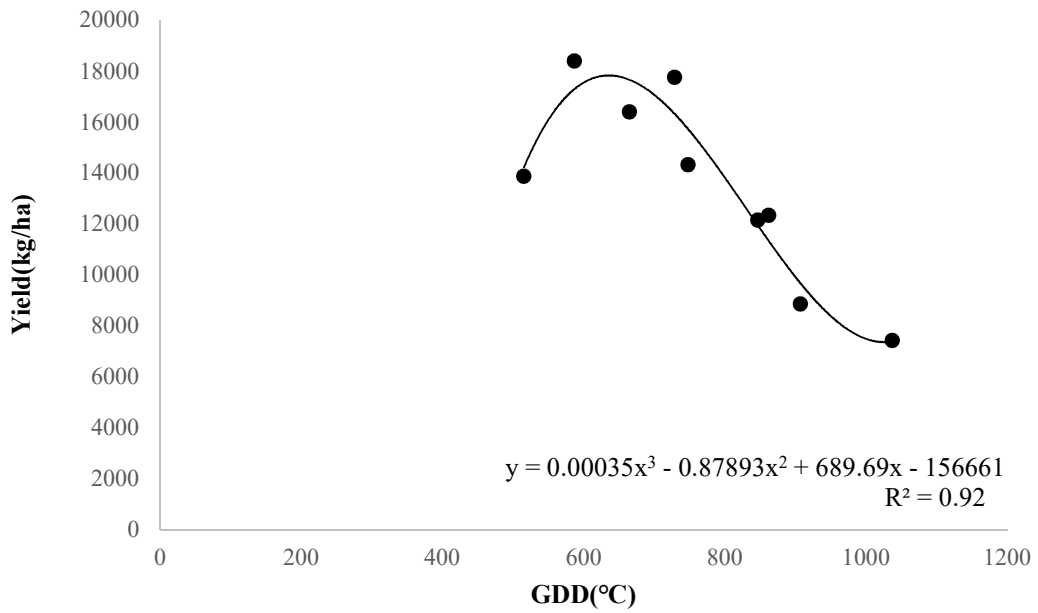


Fig. 1-3. Relationship between yield and GDD and moderate cultivation period GDD equation.

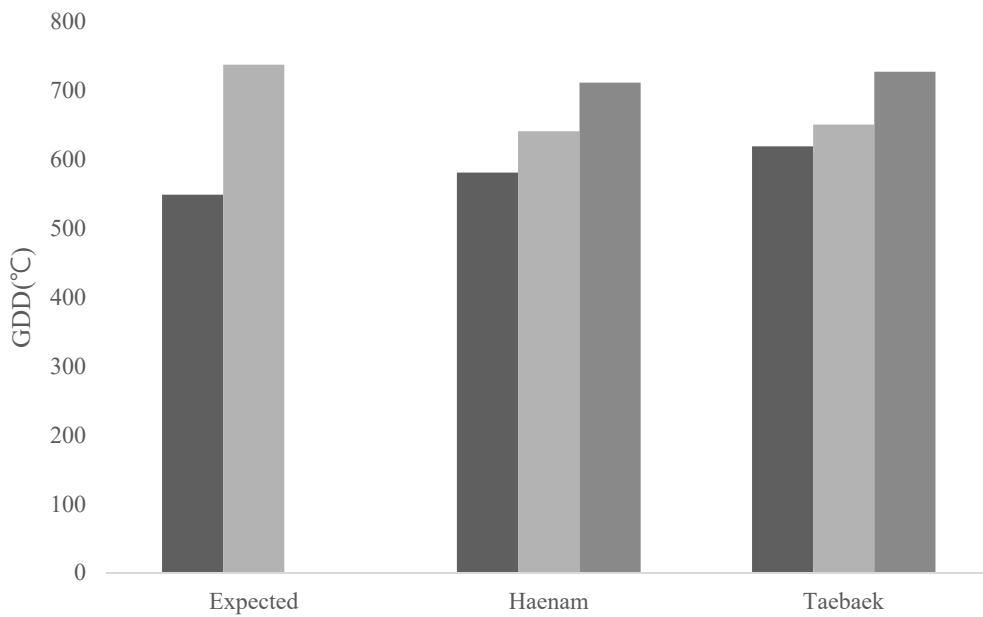


Fig. 1-4. Comparison of expected moderate cultivation period GDD and chief producing districts GDD.

## 초 록

본 연구는 온도에 따른 봄배추 '춘광'의 적정 재배시기를 구명함으로써 농가에 적정 재배시기를 제공하기 위해서 수행되었다. 온도가 단계적으로 차이가 나도록 설계된 온도구배터널을 저온부터 A, B, C 3개의 구역으로 나눈 후 2017년 3월6일, 3월 20일 2개의 작기로 나누어 정식하였다. 재배기간동안 누적된 GDD는 1차 A, 1차 B, 2차 A, 1차 C, 2차 B, 3차 A, 2차 C, 3차 B, 3차 C 순으로 높았다. 생육조사 결과 구중은 고도의 유의성을 보였으나 엽수, 엽면적, 최대엽 엽장, 최대엽 엽폭의 경우 유의성이 없었다. 구중은 1차 B, 1차 C, 2차 A 처리구가 높았다. 1차 A 처리구에서 추대현상이 5.5% 발생하였는데 이는 13℃이하의 저온에 감응하여 일어난 것으로 보인다. 2차 C 처리구, 3차 ABC 처리구에서 속썩음 현상이 각각 11, 5.5, 33.3, 44.4% 발생하였는데 이는 고온으로 인한 생리장해가 원인으로 보인다. GDD와 배추 구중과의 관계를 분석한 결과 구중은 GDD 587℃까지 증가하고 이 이상에서는 변화가 없으나 GDD 729℃ 이후에는 구중이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 호냉성 작물인 배추가 고온에 의한 스트레스로 GDD와 구중과의 부의 상관관계를 보임으로써 GDD를 이용한 한계 작기를 특정할 수 있을 것으로 판단된다. GDD와 수량과의 연관성을 분석하고 적정 재배작기 추정식을 산출하였다. 최대 기대수량은 정식 후 64일 기준 GDD가 635℃일 때 17,834.4kg/10a가 되는 것으로 산출되었다. 최대 수량의 90% 인 16,050.9kg/10a이상으로 산출되는 GDD를 재배적기로 설정하였을 때 적정 재배 작기는 재배 기간 중 GDD가 549~738℃ 되는 기간이다.

배추 재배적기 추정식과 산출된 재배적기를 검증하기 위하여 해남과 태백의 작기와 작기 별 GDD를 조사하여 비교하였다. 해남의 경우 4월 중순부터 4월 초순에 정식한 것을 기준으로 GDD는 581, 642, 712℃이며, 태백의 경우 5월 하순부터 6월

중순에 정식한 것을 기준으로 GDD는 620, 651, 728℃로 조사되었다. 이는 추정식에서 산출된 재배적기인 549~737℃에 포함되는 결과이다. 이로 보아 재배 최적기는 추정식의 최대값인 정식 후 64일 수확기준 GDD 635℃이며 적정 재배기는 GDD가 549~737℃인 것으로 판단된다.

**추가 주요어:** 춘광 배추, 노지봄배추, 적정작형, 생육도일(GDD)

## 인용문헌

- Ahn JH, Kim KD, Lee JT** (2014) Growth modeling of Chinese cabbage in an alpine area. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 16(4):309~315
- Guttormsen G, Moe R** (1985) Effect of plant age and temperature on bolting in Chinese cabbage. Scientia Horticulturae 25:217-224
- Heide OM** (1970) Seed-stalk formation and flowering in cabbage. Day-length, temperature, and tune relationships. Meldinger fra Norgen Landbrukshogskole 49:471-422
- Hoogenboom G** (2000) Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. Agricultural and forest meteorology 103:137-157
- Hwang SW, Lee JY, Hong SC, Park YH, Yun SG, Park MH** (2003) High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 36:417-422
- IPCC** (2014) Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130.
- Kim KD, Suh JT, Lee JN, Yoo DL, Kwon M, Hong SC** (2015) Evaluation of factors related to productivity and Yiedl estimation based on Growth characteristics and growing degree days in highland kimchi cabbage. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 33:911- 922

**Kim SW, Rho HY, Yun SH** (2016) Prediction of Chinese cabbage and radish consumption.  
KREI 18:5-6

**Lee JW** (1996) An study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. KREI R346:39-67

**Lee JW, Yun HK, Kim YC, Kim KY, Seo TC, Lee** (2002) Effect of seedling period and plantin time on the bolting and quality in spring Chinese cabbage. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 20(3) 37-37

**Lee SG, Moon JH, Jang YA, Lee WM, Cho IH, Kim SY, Ko KD** (2009) Photosynthetic Characteristics and cellular tissue of Chinese cabbage are affected by temperature and CO<sub>2</sub> concentration. Journal of Bio-Environment control 18(2);148-152

**Lee JG, Lee JW, Park SH, Jang YA, Oh SS, Seo TC, Yoon HK, Um YC** (2011) Effect of low night-time temperature during seedling stage on growth of spring Chinese cabbage. Journal of Bio-Environment control 20(4);326-332

**Lee JG, Choi CS, Lee SG, Um YC, Nam CW, Lee HJ, Jang YA** (2013) Effect of day and night temperature during seedling stage on bolting of spring Chinese cabbage. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 31:61- 61

**Lee SG, Lee HJ, Kim SK, Choi CS, Park ST, Jang YA, Do KR** (2015) Effect of vernalization, temperature, and soil drying periods and the growth and yield of chinese cabbage. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 31:61- 61

**Mcmaster GS, Wilhelm WW** (1997) Growing degree-days: one equation, two interpretations. Agricultural and forest meteorology 87:291-300

**Miller P, Lanier W, Brandt S** (2001) Using growing degree days to predict plant stages.

Ag/Extension communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Mozeman, Bozeman, MO

**Oh SJ, Moon KH, Son IC, Song EY, Moon YE, Koh SC** (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(3):318-329

**Park SH, Kim JK** (2013) Cabbage. Rural Development Administration 128:46

**Son IC, Moon KH, Song EY, Oh SJ, Seo HH, Moon YE, Yang JY** (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

## Chapter II. 온도에 따른 난지형 마늘 '남도'의 생육과 수확기

### 구생체중 모델 개발

#### Chapter II. Growth and Fresh Bulb Weight Model in Harvest Time of Southern Type Garlic Var. 'Namdo' based on Temperature

**Abstract:** To investigate optimal temperature of garlic and develop bulb weight model in harvest time, garlic was planted in six chambers. Day and night temperature in chambers were set to 11/7°C, 14/10°C, 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C, 28/23°C(16/8h) and cultivation period was October 10, 2014-May 12, 2015. Bulb fresh and dry weight was highest on 20/15°C at harvest time. Leaf number and leaf area increased slowly on 11/7°C and 14/10°C. But at harvest, leaf number and leaf area were not significant, except 28/23°C. Fresh bulb weight models were developed with fresh bulb weight and average temperatures. In fresh bulb weight model, 18-20°C was the certified optimal mean temperature. And minimum growth temperature was estimated at 7.1°C, upper temperature threshold was estimated at 31.7°C. To estimate yield, fresh bulb growth rate models were developed with divided fresh bulb weight by cultivate day and temperature. To verify models, examination was data applied. Examination was cultivated in a temperature gradient chamber. A temperature gradient chamber is a step-by-step temperature differences facility. We divided chamber area low to high temperatures and set to 1, 2, 3, 4, 5. Lineal model, quadric model, and logistic distribution model revealed 79.0-95.0% percent, 77.2-92.3 percent and 85.0-95.8 percent accuracy, respectively. As a result, the logistic distribution model had the highest accuracy and viability for explaining moderate temperature, minimum growth temperature and upper temperature thresholds.



*Additional key words:* bulb weight, garlic, model, temperature

## 서 언

온도는 작물의 생육에 매우 중요한 환경요인으로 작물의 생육과 형태분화 및 생리반응에 큰 영향을 미친다(Cutforth and Shaykewich, 1990; Shaykewich, 1994). 온도의 영향을 이용하여 작물의 생육을 예측하는 방법 중 하나로 growing degree day(GDD)를 사용한다(McMaster and Wilhelm, 1997; Miller et al., 2001). GDD는 일 최고온도, 일 최저온도, 기본온도를 조합하여 산출하며 이 산출된 온도의 누적만으로 작물의 생장과 발달을 예측할 수 있다. 또한 이러한 특성을 이용하여 엽채류의 생체중과 수확기 옥수수의 수량을 예측하는데도 사용한다(Lee 등, 2012; Swan 등, 1987). 이처럼 온도 변수 하나로 작물의 생육과 수량을 설명 및 예측할 수 있다는 장점이 있으나 온도 누적이 직선적이기 때문에 각 온도 영역에서 생육속도와 적정온도 이상의 고온을 설명하기 어려운 단점이 있다. 그 때문에 GDD가 아닌 쌍곡선을 이용한 온도 예측식이나(Hardegree, 2006; Roché et al., 1997; Seefeldt et al., 2002; Yan and Hunt, 1999; Yin et al., 1995) 비선형함수인 베타함수(beta distribution)을 이용한 온도 예측식을(Yan and Hunt, 1999; Yin et al., 1995) 이용하여 예측하고 있다.

마늘(*Allium sativum* L.)은 백합과 파속에 속하는 인경채소작물이며 향신료자원으로 우리나라에서는 다양한 음식에 사용되고 있어 주요 채소자원으로 다루어 진다. 마늘은 호냉성 월동채소로 생육적온은 18~20°C이고 25°C 이상에서는 잎이 마르고 생육이 쇠퇴되며, 인편의 비대는 10°C 이상에서 가능하지만 적온은 20°C 전후로 알려져 있다(Lee, 2003).

온도가 마늘의 생육에 미치는 영향을 구명한 연구는 보고되어 있으나, 멀칭처리 등을 이용한 보온처리로(Hwang and Tae, 2000) 일정한 온도처리가 이루어지지 않아

정확한 온도의 영향을 구명하기에는 다소 무리가 있다. 또한 기존 마늘에 대한 GDD연구는(El-Zohiri and Farag, 2014) 한계온도를 적용하지 않았으며 고온에서의 생육저하 등을 설명하기 어렵기 때문에 추가적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 자연광 상태에서 온도 등의 환경조절이 가능한 SPAR(Soil plant atmosphere research system)챔버에서 난지형 마늘인 '남도'에 여러 수준의 온도처리를 처리함으로써 온도가 생육 및 생리적 반응에 미치는 영향을 조사하였으며, 이를 이용하여 온도에 따른 난지형 마늘 구생체중 예측모델을 개발하고 이후 활용가능성을 검증하였다.

## 재료 및 방법

### 공시작물 및 환경요인 설정

본 연구는 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소의 온도, 이산화탄소 농도, 습도 등 환경요인의 제어가 가능한 SPAR 챔버를 이용해 온도를 다르게 처리함으로써 온도가 마늘의 생육양상 및 성장량에 미치는 영향과 온도 별 생육량을 구명하기 위해 수행하였다. 시험품종으로는 난지형 마늘인 '남도'를 이용하였다. SPAR 챔버 온도처리는 6처리로 주야간(16/8h) 재배온도를 각각 11/7°C, 14/10°C, 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C, 28/23°C으로 일정하게 유지되도록 하였다. 2014년 10월 10일에 재식거리 30x15cm 간격으로 직파하여 2015년 5월 12일에 수확하였다.

SPAR 챔버 생육데이터를 이용하여 개발된 생산예측모델을 검증하기 위하여 온도구배터널에서 마늘을 재배하였다. 온도구배터널은 긴 터널 모양의 하우스로 정면은 개방되어 있으나 후방은 폐쇄된 형태의 시설이다. 막혀 있는 후면을 기준으로 열려 있는 전면까지 단계적으로 온도차가 나게 되어 있으며 24시간 일정하게 편차를 유지할 수 있다. 각 실험구에 기록된 온도는 다음과 같다(Fig. 1).

온도대역에 따라 총 5개의 구역으로 구분하여 마늘을 재배하였다. 2014년 10월 8일에 재식거리 30x15cm 간격으로 직파하였으며 이듬해 4월 28일에 최종 수확하였다. 예측 모델검증을 위하여 위의 5개 시험구의 일 평균온도 자료와 마늘 생육을 조사하였다.

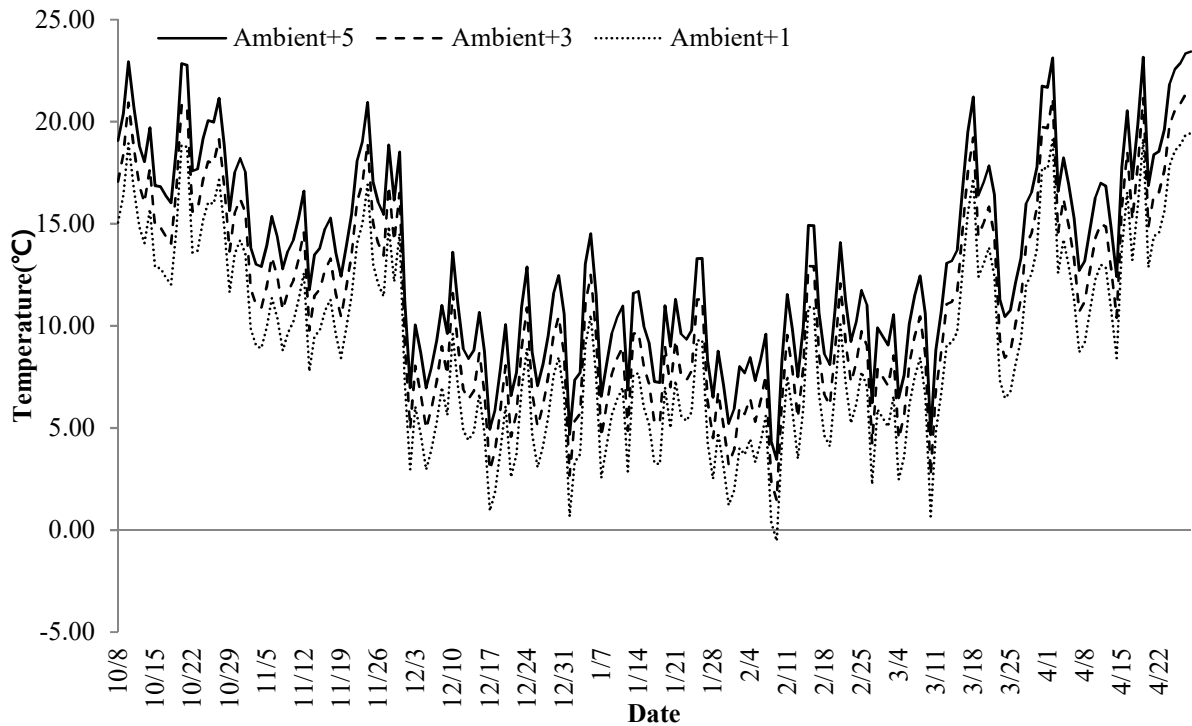


Fig. 2-1. Changes in daily mean air temperature in temperature gradient chamber.

### 생육조사

SPAR 챔버 실험에서는 엽수, 총엽면적, 인편개수, 구생체중, 구건물중 등을 조사하였다. 엽수와 총엽면적 조사는 파종후 49일부터 215일까지 3주간격으로 시행되었으며, 인편개수와 구생체중, 구건물중은 최종수확조사때 조사되었다. 검증을 위한 온도구배터널의 실험은 최종 수확시기에 구생체중을 조사하였다.

### 구생체중 모델 개발 및 검정

위 조사항목 중 SPAR 챔버 구생체중 자료와 온도를 이용하여 평균온도와 구생체중, GDD와 구생체중 등의 상관관계를 조사하였다. 이중 평균온도와 구생체중 자료를 이용하여 마늘의 적정 생육온도 모델과 온도별 구 생장량모델을 개발하였다. 모델은 EXCEL(2010, Microsoft, USA)과 Tablecurve 2D(5.0, Systat, USA) 프로그램을 이용하여 개발하였으며 각 모델의 형태는 다음과 같다.

(1) 선형함수:  $y = ax + b, (c \leq x \leq d)$

(2) 2차함수:  $y = ax^2 + bx + c, (d \leq x \leq e)$

(3) 로지스틱분포 함수:  $y = \text{Logistic}(a, b, c, d) = a + 4bn/(1+n)^2,$

$$n = \exp(-(x-c)/d)$$

a, b, c, d, e=상수, x=온도, y=구생체중 or 구생장량

마늘의 적정 생육온도 모델은 각 처리구별 구생체중을 이용하여 개발하였다. 구중이 크게 예측되는 지점을 생육적정온도로, 구중이 0으로 예측되는 지점을 생육한계온도로 추정하였다. 온도별 구생장량 모델은 구생체중을 총 재배기간으로 나누는 값을 이용하여 개발하였다. 수확시점의 구생체중을 총 재배기간으로 나누게 되면 수확시점을 기준으로 한 일평균온도 당 일일 구생장량을 추정할 수 있다. 여기서 나온 수확시점 기준의 일평균온도 당 구생장량을 이용하여 구생장량 모델을 개발하였으며, 온도구배터널의 환경조건을 이 모델에 적용하여 구생체중을 예측하였다.

## 통계처리

통계 패키지(3.0.3, R Foundation)를 이용하여 분석하였으며, Duncan의 다중검정 ( $p < 0.05$ )으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 온도에 의한 마늘의 생육

온도에 따른 '남도' 마늘의 생육현황을 살펴보기 위하여 재배기간 동안 엽수와 엽면적의 변화를 조사하였다. 엽수는 저온인 11/7°C와 14/10°C 처리구가 다른 처리구보다 적었으나 파종 후 144일에는 모든 처리구가 최종엽수에 도달한것으로 보인다(Fig. 2). 이는 온도가 높을수록 최종엽수에 도달하는 기간이 짧아진다는 보고(Lee et al, 2001)와 일치하였다. 수확기에는 최고온도인 28/23°C가 엽수가 적었으며 나머지 처리구 간에는 통계적인 차이를 보이지 않았다. 총 엽면적은 저온인 11/7°C와 14/10°C은 파종 후 207일, 나머지는 파종 후 186일에 최대엽면적에 도달하였으며 그 이후에는 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3). 최종 수확기에 가장 온도가 높은 처리구인 28/23°C가 엽면적이 낮았으며 다른 처리구 간에 통계적인 차이가 없었다.

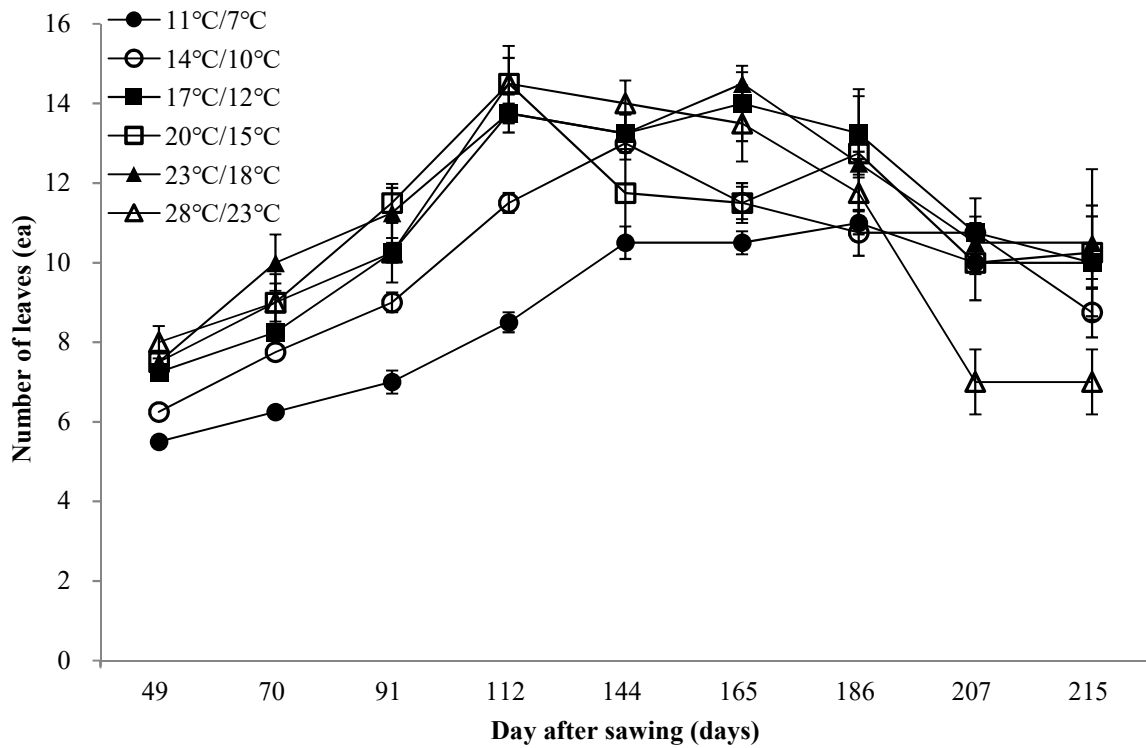


Fig. 2-2. Effect of temperature on number of leaves.

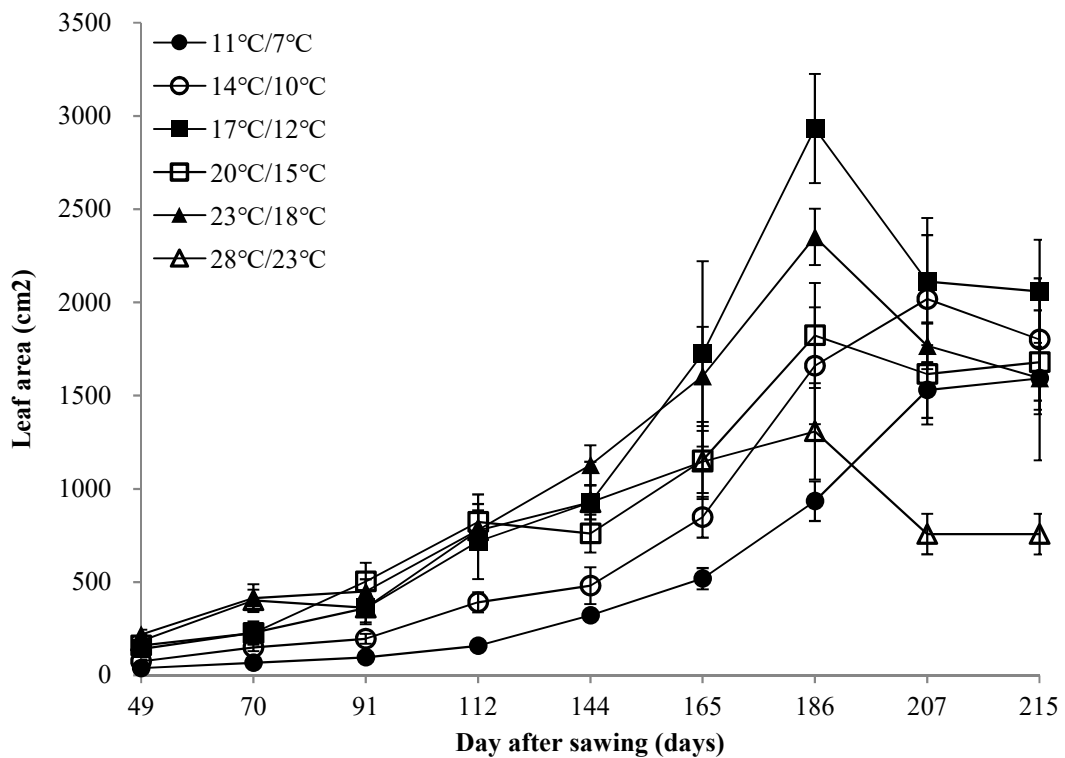


Fig. 2-3. Effect of temperature on leaf area.



최종 수확조사에서는 구생체중과 구건물중, 인편수를 조사하였다. 구생체중은 20/15°C 처리구에서 130.4g으로 가장 높았다. 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C가 통계적으로 같은 결과를 보였고 이를 기준으로 재배온도가 높거나 낮을 때에는 점차 생체중이 감소하는 경향을 보였다(Table 1.). 이러한 결과는 마늘의 적정 생육온도가 18~20°C 이며 적정생육 온도보다 높거나 낮아질수록 생육이 저하된다는 보고와 유사하다 (Lee, 2003). 건물중은 생체중과 유사한 형태를 보였다. 주당 인편수를 조사한 결과 각 온도 영역별 유의성을 보이지 않았으며 온도에 따른 경향성을 보이지 않았다.

**Table 2-1. Garlic growth and character on six temperatures**

Day/night temperature(°C)	Clove(ea)	Bulb fresh weight(g)	Bulb dry weight(g)
11/7°C	8.0 ab <sup>z</sup>	22.7 c	4.7 c
14/10°C	6.8 b	46.4 bc	10.2 bc
17/12°C	10.0 a	111.8 a	26.1 a
20/15°C	8.3 ab	130.4 a	32.3 a
23/18°C	8.3 ab	110.3 a	23.3 ab
28/23°C	9.5 a	81.4 ab	23.2 ab

<sup>z</sup> Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, P=0.05.

## 구생육에 대한 적정 생육온도

구생육에 대한 적정 생육온도를 구명하기 위하여 SPAR 챔버에 각 온도 조건을 설정하였다. 조사된 자료중 수확시점의 구생체중을 이용하여 함수를 개발하였으며 온도에 따른 구생체중 함수식은 Fig. 4 에 나타내었다.

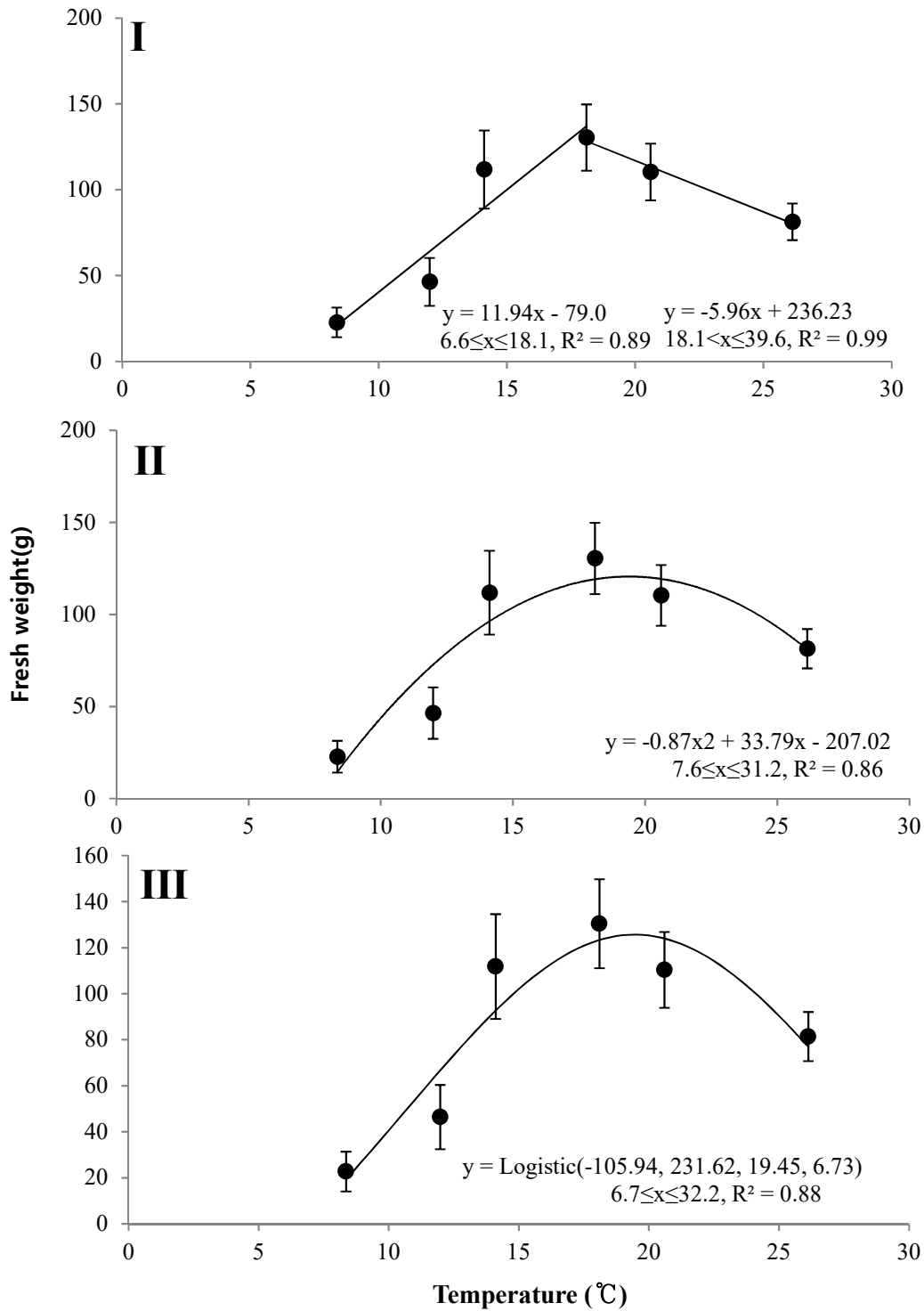
I 번 함수는 온도 별 구생체중의 변화를 두 개의 선형함수로 분석하였다. 가장 구생체중이 높았던 20/15°C을 기준으로 선형함수를 만들었다. 그래프의 범위는 값이 양수를 가지는 범위로  $6.6 \leq x \leq 18.1$ 와  $18.1 < x \leq 39.6$  이며  $R^2$ 값은 0.89와 0.99 이다. 함수가 0이 되는 지점을 확인한 결과 6.6°C와 39.6°C였다. 이 함수는 값이 0이 되는 임계온도가 39.6°C로 매우 높아 구생장에 대한 적정 생육온도 및 생육한계온도를 추정하기 어려웠다. 최대값인 18.1°C에서도 각 함수에서 표현되는 최대값이 137.0g과 128.3g으로 차이를 보이는 등 한계를 보였다.

II 번 함수는 구생체중을 2차함수로 분석하였다. 분석결과 결정계수는 0.8이었으며, 구생장에 대한 적정 생육온도는 19.4°C이며 기대중량은 120.6g이다. 이는 기존에 구명된 마늘 생육 적정온도인 18~20°C 범위에 해당한다. 함수가 0이 되는 한계온도는 7.6°C와 31.2°C였다.

III 번 함수는 구생체중을 로지스틱분포 함수로 분석하였으며 결정계수는 0.88이다. 2차함수와 마찬가지로 구생장의 적정온도는 19.5°C이며 기대중량은 125.7g이고 기존에 구명된 마늘 생육 적정온도인 18~20°C 범위 내에 있었다. 함수의 한계온도는 6.7°C와 32.2°C로 II 번 함수와 유사하였다.

이러한 결과를 토대로 구생장의 적정온도는 기존에 알려진 마늘 적정 생육온도

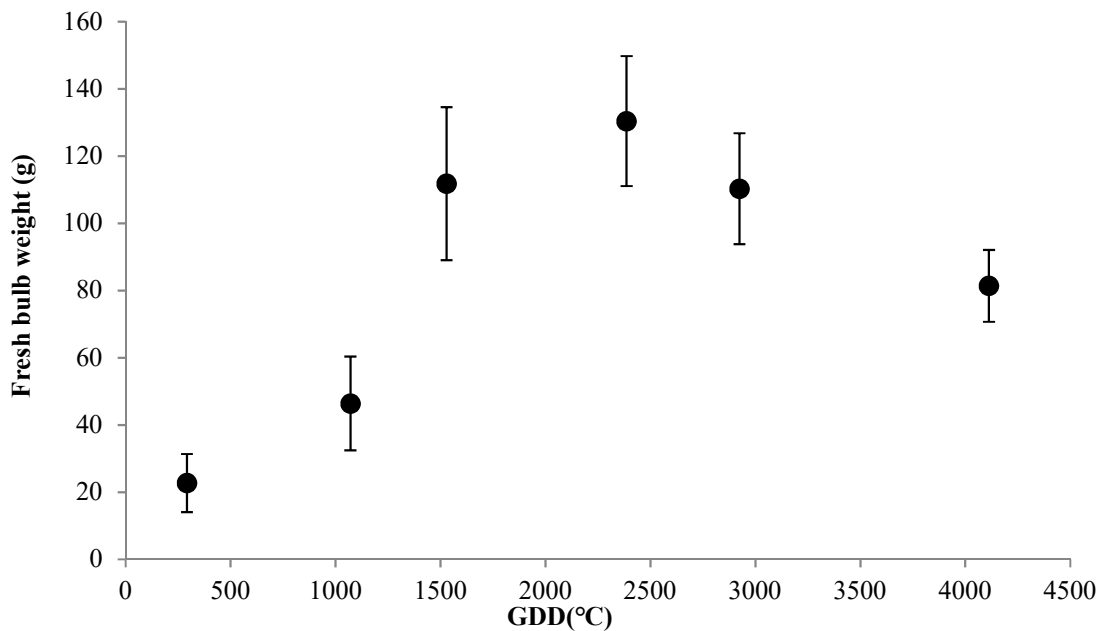
인 18~20°C와 동일한 결과를 보였다. 마늘의 생육 극한온도를 구하기 위하여 I 번 함수를 제외한 나머지 함수의 한계온도를 합산하여 정리한 결과 7.1°C와 31.7°C 이었다. 이중 저온인 7.1°C는 El-Zohiri and Farag(2014)의 실험에서 사용된 GDD 기본온도와 5°C와 근사하였다. 마늘이 위에 개발한 함수에 따라서 성장한다고 보았을 때 이 값은 '남도' 마늘의 구 생육을 위한 한계온도를 유추하는데 좋은 자료가 될 것으로 보인다. 또한 위 함수의 결정계수를 보았을 때 온도영역에 따른 마늘 구 생육 및 적정 생육온도를 표현하는데 효과적 이었다.



**Fig. 2-4. Fresh bulb weight functions based on temperature. I is linear function model. II is quadric model. III is logistic distribution function model (n=4)**

### GDD와 수확기 마늘 구생체중의 상관관계

GDD를 이용하여 구생체중을 예측하기 위하여 GDD와 수확기 구 생체중의 상관 관계를 조사하였다(Fig. 5). GDD 기본온도는 위 함수의 저온 한계온도인 7°C를 적용 하였다. 조사결과 GDD 2,387°C까지는 증가하는 추세를 보이며 이 구간에서 구생체 중은 GDD에 따라 정비례 하는 형태로 증가하고 있다. 그러나 GDD 2924°C에서는 GDD 2387°C보다 생체중이 감소하여 GDD와 반비례하는 양상을 보였으며 GDD 4113°C에서는 더 큰 감소세를 보인다. 이는 고온 한계온도를 넘어서지 않은 온도 범위에서의 온도누적이 성장량의 증가와 정비례 한다는 가설과 다른 결과이며 이 현상을 설명할 수 있는 다른 방법이 필요하다.



**Fig. 2-5. Change in fresh bulb weight according to GDD during the growth period of 'Namdo' Garlic. (n=4)**

## 수확기 마늘 구생체중 예측 모델 개발

GDD와 수확기 마늘 구생체중의 연관성을 분석하였을 때 GDD 2387°C까지는 구생체중과 정비례하였으나 그 이후에는 반비례하는 것을 볼 수 있었다. 이 문제점을 해결하기 위하여 마늘 생육 적온 함수와 GDD의 누적온도 개념을 이용하여 마늘 구생체중 예측 모델을 개발하였다.

SPAR챔버 실험은 마늘의 전 생육기간 동안 설정된 온도를 유지되도록 하였다. 이를 누적온도의 개념으로 보자면 각 실험구는 매일 동일한 온도로 누적되며, 최종 조사시점의 구생체중은 재배기간동안 누적된 온도에 의하여 성장한 총량으로 볼 수 있다. 최종조사시점의 구생체중을 재배기간인 215일로 나누고, 이를 수확시기 기준 온도에 따른 일일 구생장량으로 가정하였으며 그 값에 맞는 함수를 도출하였다(Fig. 6).

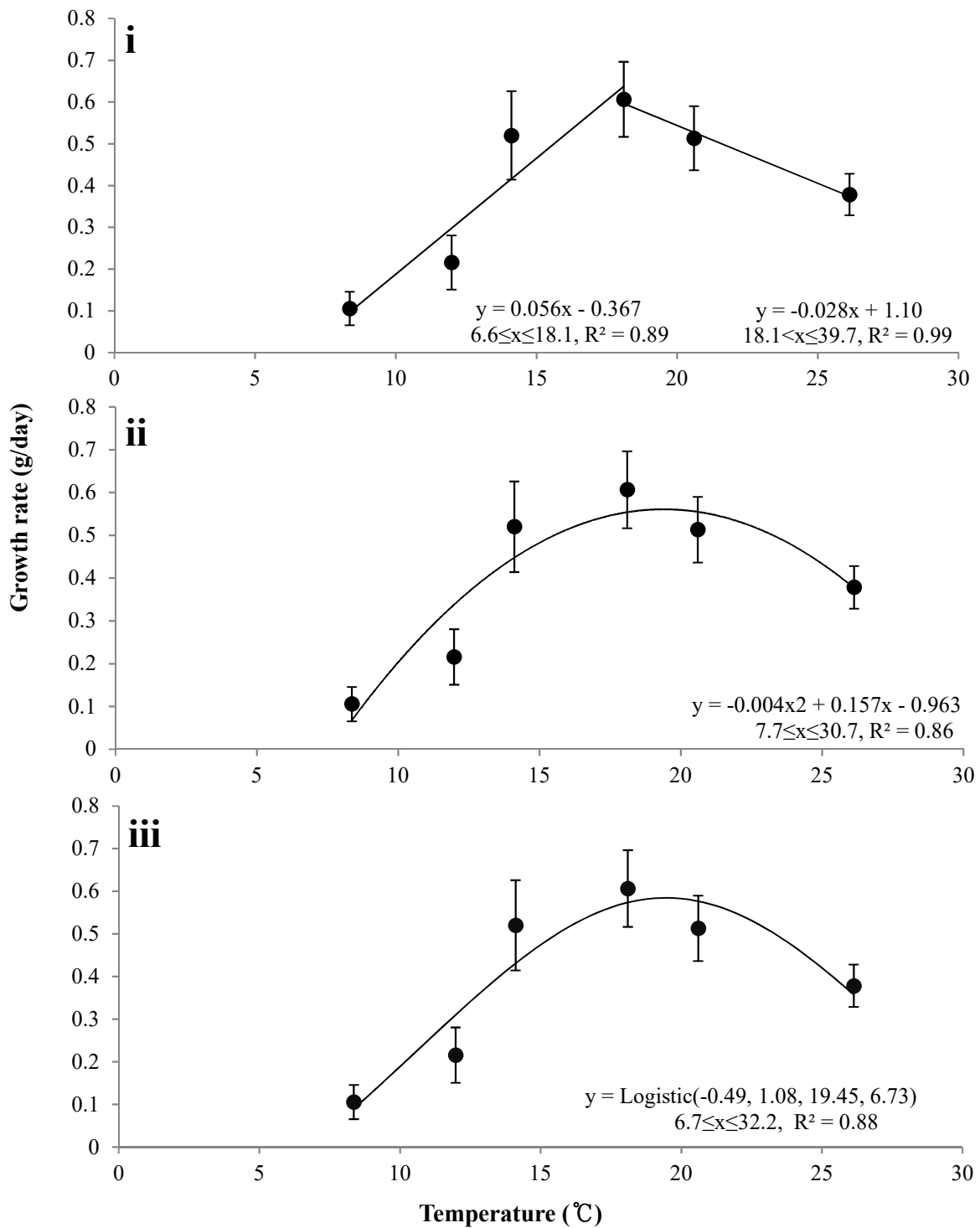
i 번 함수는 수확시점의 구생체중을 재배일로 나눈 데이터를 두 개의 선형함수로 나타내었다. 결정계수는 0.89와 0.99이며 최대값은 18.1°C, 0이 되는 한계온도는 6.6°C와 39.7°C이다. 최대값인 18.1°C에서 값은 더 많은 중량을 예측한 좌측의 식을 사용한다. 0이 되는 온도보다 더 낮거나 높은 값을 입력하여 구생장량이 음수가 되는 구간이 있는데 이 구간은 0으로 처리하는 방법을 사용하였으며 이는 GDD의 기본온도와 한계온도를 이용한 것과 유사하다.

ii 번 함수는 2차함수를 이용하여 나타내었으며 함수의 결정계수는 0.86이다. 함수에서 나타내는 구생체중 최대생장량을 구하기 위하여 함수의 최대값을 조사하였으며 생장이 이루어지지 않는 극한온도도 조사하였다. 최대값이 되는 온도는 19.2°C이고 이때 일당 구생장량은 0.54g이다. 한계온도는 7.7°C와 30.7°C이며 위와 마찬가지로

지로 흡수가 되는 온도영역은 0으로 산출하였다.

iii번 함수는 구생체중을 로지스틱분포 함수로 분석하였다. 분석결과 결정계수는 0.88이며 위와 마찬가지로 상온범위 내에서의 최대값이 되는 온도 19.5°C로 기대중량은 126.9g이며 기존에 구명된 마늘 생육 적정온도인 18~20°C 범위내에 있었다. 한계온도는 6.7°C와 32.2°C이다

구생체중을 분석한 함수와 구생장량을 추론한 함수를 비교하였을 때 유사한 패턴을 보이지만 함수가 최대값이 되는 온도와 그래프가 0이 되는 온도가 조금 다르게 나온다. 다만 일 성장량에서 나온 값을 총재배일수로 곱하였을 때 값이 유사한 점과 로지스틱분포 함수의 경우 c와 d값이 동일한 점, 결정계수가 동일한 점으로 보아 이 차이는 단순히 중량을 재배일로 나누었을 때 값에서 생긴 소수점 절삭 등에서 나오는 차이로 보인다.



**Fig. 2-6. Fresh bulb growth rate functions based on temperature. i is linear function model. ii is quadric model. iii is logistic distribution function model (n=4)**



## 구생육 모델 검증

개발한 구생육 모델을 검증하기 위하여 온도구배터널에서의 온도데이터를 모델에 입력해 생성된 예측중량을 실측중량과 비교하였다. 총 5개의 처리구의 온도를 3개의 식에 입력하였다(Fig. 7). 먼저 선형함수를 이용한 구생체중 예측도는 79.0~95.0%, 2차함수를 이용한 예측도는 77.2~92.3%이었으며 로지스틱분포 함수를 이용하였을 경우 80.0~95.8% 예측도를 보였다. 1, 2, 3번 실험구에서는 모든 함수가 오차범위 내에서 예측을 하였으나, 4번의 경우 로지스틱분포 함수만 오차범위 내에 들어왔으며 5번 실험구는 모든 예측치가 오차범위 밖에 있었다. 실측중량과 예측중량을 비교하였을 때 실측중량이 더 높은 수치를 보였다. 이는 SPAR챔버의 공조기로부터 발생한 강한 공기 흐름으로 인해 마늘의 광합성이 저해되었기 때문에(Yim et al., 2012) 낮은 구중을 보였고, 비교적 낮은 풍속조건에서 재배한 온도구배터널의 구중보다 더욱 감소한 것으로 판단되었다.

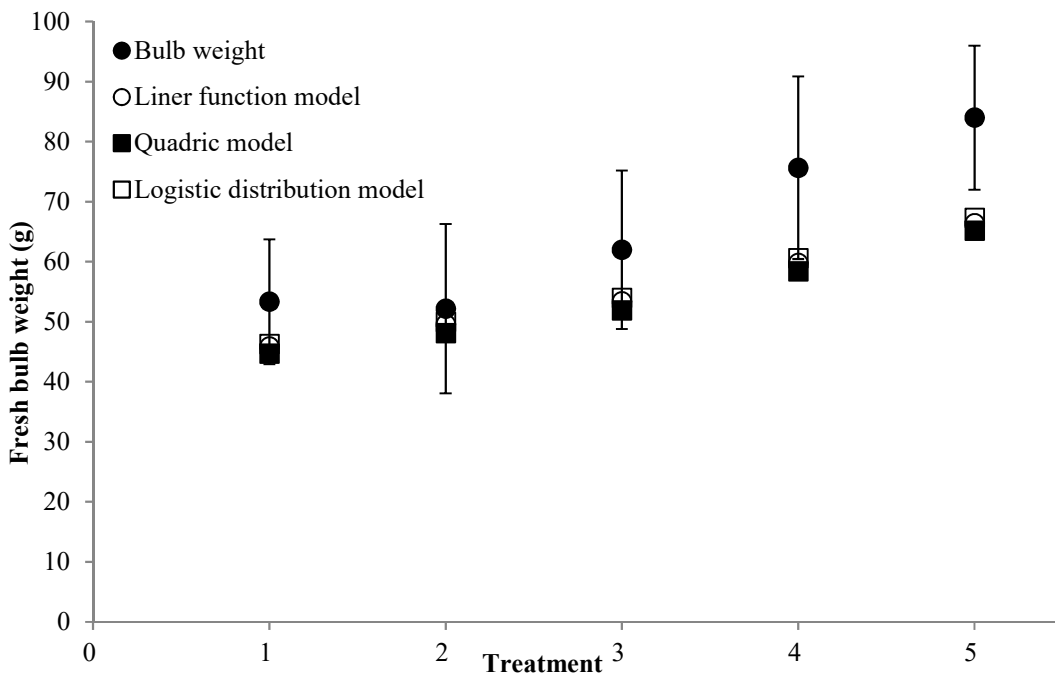


Fig. 2-7. Growth model verification with temperature gradient chamber. (n=6)

## 초 록

본 연구는 난지형 마늘 '남도'의 적정 생육 온도 구명과 일 평균온도를 이용한 구중 예측을 위하여 수행되었다. 온도처리는 주간 16시간 야간 8시간 처리로 11/7°C, 14/10°C, 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C, 28/23°C 로 설정하였다. 구의 생체중과 건물중은 20°C/15°C 처리구에서 가장 높았으며 고온이나 저온으로 갈수록 감소하였다. 엽수와 총엽면적은 저온인 처리구가 고온처리구보다 생장이 느렸으나, 최종적으로는 최고온도인 28/23°C을 제외하고 유사한 경향을 보였다. 구의 생체중으로 6종의 함수를 개발하였으며 이를 통해 '남도' 마늘의 적정 생육온도와 한계온도, 온도에 따른 구생장량을 확인할 수 있었다. 분석 결과 '남도' 마늘의 적정 생육온도는 18~20°C이며 GDD 기본온도와 한계온도는 7.1°C와 31.7°C로 추정할 수 있었다. 일 평균온도를 이용한 수확기 기준 구생체중 모델을 검증하기 위하여 온도구배터널의 기상자료를 이용하여 예측하였다. 선형함수를 이용한 예측은 79.0~95.0%, 2차 함수를 이용한 예측은 77.2~92.3%, 로지스틱분포 함수를 이용한 예측은 80.0~95.8% 예측도를 보였다. 이중 가장 예측력이 좋은 함수는 로지스틱분포 함수이며 생육적정온도와 한계온도도 잘 표현하였다.

**추가 주요어 :** 마늘, 모델, 온도, 구중

## 인용문헌

- Cutforth HW, Shaykewich CF** (1990) A temperature response function for corn development. *Agricultural and Forest Meteorology* 50(3): 159-171.
- El-Zohiri SSM, Farag AA** (2014) Relation planting date, cultivars and growing degree-days on growth, yield and quality of garlic. *Middle East Journal of Agriculture Research* 3(4): 1169-1183.
- Hardegree SP** (2006) Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and sub population-specific regression. *Annals of Botany* 97:1115-1125
- Hwang JM, Tae GS** (2000) Changes of microclimates and garlic growth in outdoor by mulching and tunnel treatments. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 41(1):27-30
- Lee CK, Lee BW, Yoon YH Shin JC** (2001) Temperature response and prediction model of leaf appearance rate in rice. *Korean Journal of Crop Science* 46(3): 202-208
- Lee JM** (2003) *Special vegetable horticulture*. Hyang moon sa, Seoul, Korea. p. 421.
- Lee SG, Seo TC, Jang YA, Lee JG, Nam CW Choi CS, Yeo KH, Um YC** (2012) Prediction of chinese cabbage yield as affected by planting date and nitrogen fertilization for spring production. *Journal of Bio-Environment Control* 21:271-275

- McMaste GS, Wilgelm WW** (1997) Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 291-300
- Miller P, Lanier W** (2001) Using growing degree days to predict plant stanges. Ag/Extension Communications Coordinator, Communication Services, Montana State University-Bozeman, MO 2001.
- Roché, CT, Thill DC, Shafil B** (1997) Estimation of base and optimum temperatures for seed germination in common crupina (*Crupina vulgaris*). *Weed Science* 45:529-533
- Swan JB, Schneider EC, Moncrief JF, Paulson WH, Peterson AE** (1987) Estimating corn growth, yield, and grain moisture from air growing degree days and residue cover. *Agronomy Journal*. 79: 53-60
- Seefeldt SS, Kidwell KK, Waller JE** (2012) Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. *Field Crops Research* 75:47-52
- Shaykewich CF** (1995) An appraisal of cereal crop phenology modelling. *Canadian Journal of Plant Science* 75(5): 329-341
- Yan W, Hunt LA** (1999) An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperature. *Annals of Botany* 84:607-614
- Yim JH, Kim SB, Lee EK, Jin JH, You KP, Choi DG** (2012) Effect of Artificial Wind Time on Photosynthesis and Leaf Characteristics of Growing Period in Apple and Pear. *Journal of the Korean society for Horticultural Science* 30:128-128

**Yin X, Kropff MJ, McLaren G, Visperas RM (1995)** A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 77:1-16

## 초 록

본 연구는 주요 채소인 배추와 마늘의 온도에 대한 영향을 평가하기 위하여 수행되었다. 첫 연구는 '춘광' 배추의 적정 재배 작형을 구명하기 위해 수행되었다. 온도가 단계적으로 차이가 나도록 설계된 온도구배터널을 저온부터 A, B, C 구역으로 나눈 후 14일 시간차를 두어 3번 정식하였다. 정식 후 64일 수확하여 실험구별 생육을 조사하였으며 GDD를 이용해 온도에 따른 영향을 조사하였다. 이를 이용해 적정작기 추정식을 만들었으며 주산지의 적정작기를 분석하여 이를 검증하였다. 두번째 연구는 난지형 마늘인 '남도'의 적정 생육온도 구명과 수량예측을 위해 수행되었다. 마늘의 온도를 주간 16시간 야간 8시간 11/7°C, 14/10°C, 17/12°C, 20/15°C, 23/18°C, 28/23°C 로 처리하였다. 온도에 따른 생육을 조사하였으며 이를 이용해 3개의 생체중 예측 모델을 만들었다. 이를 검증하기 위해 온도차가 나도록 설계된 온도구배하우스에서 재배된 결과로 예측 모델의 예측력을 확인하였다. 첫번째 연구 결과 실험구별 재배기간동안 누적된 GDD는 1차 A, 1차 B, 2차 A, 1차 C, 2차 B, 3차 A, 2차 C, 3차 B, 3차 C 순으로 높았다. 배추의 구중은 각 실험구별 고도의 유의성을 보였으나 엽수, 엽면적, 최대엽 엽장, 최대엽 엽폭은 유의성이 없었다. 구중은 1차 B, 1차 C, 2차 A 처리구가 높았다. 1차 A에서는 추대가 2차 C, 3차 ABC에서는 속썩음 현상이 일어났으며 이는 각각 저온과 고온에 의한 생리장해로 보인다. GDD와 구중과의 관계를 분석한 결과 구중은 GDD 587°C까지 증가하고 729°C부터는 감소하였다. GDD와 실험구별 수량과의 연관성을 분석하고 적정 재배작기 추정식을 산출하였다. 최대 기대수량은 정식 후 64일 기준 GDD가 635°C일 때 17,834.4 kg/10a가 되는 것으로 산출되었다. 생육데이터와 추정식을 검증하기 위하여 주산지인 해

남과 태백의 자료를 분석한결과 작기의 GDD는 각각 581~712, 620~728°C로 조사되었다. 이는 구중이 높았던 실험구의 GDD와 유사하며 추정식의 최대값인 GDD 635°C을 기준으로 분포되어 있음을 확인하였다. 두번째 연구결과 마늘의 구 생체중과 건물중은 20/15°C 에서 가장 높았다. 엽수와 총엽면적은 저온인 처리구가 고온처리구보다 생장이 느리나 최종적으로는 28/23°C를 제외하고 유사한 경향을 보였다. 구의 생체중으로 6종의 함수를 개발하였으며 이를 이용해 적정 생육온도를 18~20°C라는 것을 확인하였으며 GDD 기본온도, 한계온도를 각각 7.1°C, 31.7로 추정하였다. 개발한 구 생체중 예측 모델을 온도구배터널의 생육자료와 온도를 이용해 검증한 결과 선형함수는 79.0~95.0%, 2차함수는 77.2~92.3%, 로지스틱함수는 80.0~95.8% 예측도를 보였다. 따라서 본 연구의 결과 배추의 적정작기는 정식 후 64일 수확을 기준으로 GDD 549~737°C 이며 가장 수확량이 높을 것이라 추정되는 GDD는 635°C이었다. 주산지 자료와 비교 검증 결과 위 결과와 일치하여 배추의 재배작기 추정에 유용할 것으로 추정된다. 마늘의 경우 적정 생육온도는 18~20°C이며 GDD 기준온도와 한계온도는 각각 7.1°C, 31.7°C이었다. 구 생체중 모델을 검증한 결과 로지스틱 분포함수가 80.0~95.8% 예측도를 보여 가장 예측력이 좋았으며 생육적정온도와 한계온도를 잘 표현해 마늘의 수량예측에 적합할 것으로 보인다.

**추가 주요어:** 온도, 배추, 마늘, 재배작기, 모델, 생육도일(GDD), 수량