

한지형 마늘 ‘의성’의 온도구배하우스내 온도상승에 따른 생육 및 생리장애 조사

김병혁¹, 최민선², 김천환¹, 신민지¹, 이성은¹, 문경환¹, 한현희^{*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 파속채소연구소
(2023년 08월 23일 접수; 2023년 09월 14일 수정; 2023년 10월 25일 수락)

Investigation of Physiological and Yield Responses to Temperature Increases in Northern-ecotype Garlic (*Allium sativum* L.) ‘Uiseong’ in Temperature Gradient Tunnels

Byung-Hyuk Kim¹, Min-Seon Choi², Chun Hwan Kim¹, Minji Shin¹,
Seong Eun Lee¹, Kyung Hwan Moon¹, Hyun-Hee Han^{1*}

¹Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Jeju 63240, Republic of Korea

²Allium Vegetable Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Jeonnam, 58545, Republic of Korea

(Received August 23, 2023; Revised September 14, 2023; Accepted October 15, 2023)

ABSTRACT

Garlic (*Allium sativum* L.) is one of the most important vegetables used in various foods in Korea and many countries. The growth of garlic is influenced by various abiotic factors such as cultivation temperature, humidity, minimum temperature duration, and photoperiod. This study investigated the effects of increasing temperatures on the plant growth of the northern-ecotype garlic ‘Uiseong’ in a temperature gradient tunnel. As a result, temperature increase led to decreases in the bulb diameter, weight, and clove pieces of garlic. The rise of cultivation temperature increased the occurrence rate of incomplete bolting in the Northern-ecotype garlic ‘Uiseong’, resulting in decreases in productivity and a decrease in the yield of marketable garlic, indicating that temperature increases affect the development of garlic bulb formation. The findings of this study are expected to contribute as foundational data for understanding the growth responses of the northern-ecotype ‘Uiseong’ to increasing cultivation temperatures. The results of this study can be used to develop designing garlic growth models. In addition, the results of this study can improve understanding the interaction between increased temperature and garlic growth.

Key words: *Allium sativum*, bolting, garlic, Uiseong, TGT



* Corresponding Author : Hyun-Hee Han
(applespur@korea.kr)

I. 서 론

마늘(*Allium sativum* L.)은 백합과(Liliaceae) 파속(*Allium*) 인경채소작물로 향신료 및 약용으로 이용되었다(Oh et al., 2019). 마늘은 매우 오래전부터 재배되어 환경에 따라 인경 모양과 색깔, 주아 발달 등의 다양한 형태학적 특성을 갖는다(Pooler and Simon, 1993). 마늘은 세계 많은 나라에서 재배되고 있으며, 한국의 마늘 주산지에는 남부지역인 제주, 경남, 전남 등이다(Moon et al., 2014; Oh et al., 2019). 일반적으로 마늘은 가을에 파종하여 겨울을 보내며 월동 전·후에 싹이 나는 생태형에 따라 기온이 높은 남부 일부 및 제주지역에서 재배되는 난지형 마늘과 추운지역에서 재배되는 한지형 마늘로 구분되며 난지형 마늘이 약 80%, 한지형 마늘이 약 20%의 생산율을 차지하고 있다(Park et al., 1988; Jung et al., 2000; Kim, 2014). 한지형 마늘은 국내 자생종으로 서산, 의성, 단양 등 중부지방에서 재배되며, 휴면기간이 길고 숙기가 늦은 만생종 계통으로 매운맛이 강하며 저장성이 우수하다고 알려져 있다(Kim and Ra, 2019). 그중 의성마늘은 경상북도 의성, 군위 및 영천 등에서 주로 생산되며, 소비자사이에서 인지도가 높다. 마늘은 재배기술, 온도와 습도, 토양영양성분과 같은 환경요인에 의해 생산량 변화가 매우 크며, 인편의 발아와 출현은 온도에 의한 영향이 매우 크다. 또한, 마늘은 노지에 재배되어 기상에 따라 생육 및 작황의 변화가 매우 크기 때문에 생육에 미치는 환경요인을 찾기 위한 다양한 연구가 수행되었다(Shalom et al., 2015; Oh et al., 2017; Oh et al., 2019).

대기중 CO₂와 같은 온실가스는 지구온난화와 같은 다양한 환경문제를 야기하고 있다(Pittman et al., 2011). 대기중 CO₂농도는 1750년 이후 30%정도 증가하여 현재는 400 ppm 이상으로 확인되었다. 대기중 CO₂ 농도의 증가는 지구온난화에 중요한 역할을 하고 있다(Crowley and Berner, 2001; Chaudhry and Sidhu, 2021). 한국의 안면도 기후변화감시소 CO₂ 관측 결과 2012년 399.9 ppm, 2016년 12월 415.9 ppm, 2021년 12월 426 ppm으로 확인되었으며, 한국의 기후변화감시소 4개소(안면도, 고산, 울릉도, 독도)에서 연중 400 ppm 이상이 관측되고 있다(Korea Meteorological Administration, 2023). 온도는 지리적 분포와 식물의 생장 및 생존을 결정하는 요인 중 하나이며, 각 식물체는 생장 및 발달에 필요한 최적 온도 범위를 가지고

있으며, 그 한계를 넘으면 고사한다(Xu et al., 2012). 일반적으로 온도 증가는 식물의 생장 기간을 연장시키고, 질소의 무기물화를 증가시켜 수목의 생장을 촉진한다고 알려졌다(Kilpelainen et al., 2003). 그러나, 온난화에 따른 기온 상승에 관한 실험 및 모델 연구에 따르면 온난화에 의한 식물의 생장은 수종에 따라 매우 다양한 반응이 확인되었다(Barber et al., 2000; Volder et al., 2004; Danby and Hik, 2006).

이에 본 연구는 기후변화로 인한 지속적인 재배 온도상승이 의성마늘의 생육에 미치는 영향(인경지름, 인경무게, 인편수 및 생리장해)을 조사하여, 온난화에 따른 한지형 마늘 ‘의성’의 생육반응을 파악하고자 본 연구를 수행하였다. 또한, 본 연구의 결과는 지속적인 재배온도 상승과 작물과의 관계를 이해하는데 필요한 기초자료를 제공할 것을 기대한다.

II. 재료 및 방법

마늘품종

본 실험에 사용한 마늘(*Allium sativum* L.)은 한지형인 ‘의성(Uisung)’이며, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 파속채소연구소에서 2021년 8월 종구를 분양받아 재배하였다.

온도구배하우스내 재배조건

온도구배하우스는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소(N33°28' E126°31', 해발고도 200m, Jeju, Korea)의 불소필름으로 피복된 시설을 이용하였으며, 온도는 터널의 입구, 중앙, 후미에 지상으로부터 2.5 m 높이에 설치한 온도센서(1400-101, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 시험기간 동안 터널 입구에 비해 중앙부, 후미부에서는 온도가 각각 4°C와 7°C 더 높게 유지되도록 복합환경제어 시스템(TGC-Soldan, Soldan Crop., Korea)을 이용하여 제어하였다(Fig. 1). 온도구배하우스에 재배한 마늘은 5-6 g 정도의 건전한 인편 600여개를 선별한 후 종구소독을 실시한 후, 농촌진흥청 온난화대응농업연구소의 포장에 정식하였다. 포장내의 토양은 직파하기 15일전에 돈분발효퇴비(50 kg/100 m²)와 복합비료(NPK 21-17-17, 20 kg/100 m²)를 사용하고 토양 20 cm 깊이로 경운하여 토양과 고르게 혼합시킨 후 바닥을 평평하게 한 후, 검정색 유공비닐로 토양피복한 후 인편을 직파하여 재배하였다. 재배기간(2022년 11월~

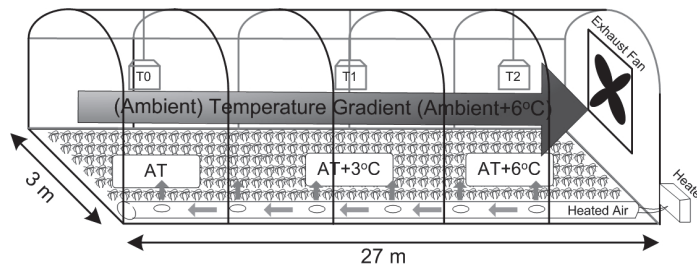


Fig. 1. A construction drawing of the temperature gradient tunnel (TGT).

2023년 5월) 동안의 온도와 일사량은 데이터로거 (CR1000, Campbell Scientific Inc., USA)에 연결하여 1시간 간격으로 기록하였다. 토양 수분은 재배기간 동안 2-3일 간격으로 관수하여 포장 용수량을 유지하였다. 또한, 실험기간 중 WatchDog (Model 2450 Temperature/RH station, IL, USA)을 이용하여 포장의 대기온도를 1시간마다 자동 기록하였다.

생육조사

의성마늘은 온도구배하우스에서 재배되었으며, 최종 수확 후 1 m x 1 m에 생산된 인경지름, 인경무게, 인편수를 조사하였으며, 인경무게를 합산하여 단위면적당 생산량을 조사하였다. 또한, 마늘 추대시기 마늘 화경은 모두 제거하였으며, 수확 후 마늘의 줄기를 확인하여 불안전 추대 마늘을 확인하여 주아 위치를 확인하고 추대률을 조사하였다.

통계분석

마늘의 생육특성에 대한 통계분석은 SPSS통계패키지 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 수행하였으며, ANOVA분석과 tukey의 다중검정(p<0.05)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

의성마늘 생육조건

기후변화 시나리오 RCP 4.5와 RCP 8.5를 적용할 경우 기온이 상승하면 마늘의 파종 적기는 늦어지고 수확 적기는 빨라져 추후 100년 동안 재배기간이 50~90일 정도 빨라질 수 있음을 보고하였으며, 재배환경 중 기온의 증가는 마늘의 생육이 매우 큰 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다(Park et al., 2018). 온도구배하우스 내 마늘의 생육기간동안 일일적산일사량은 기

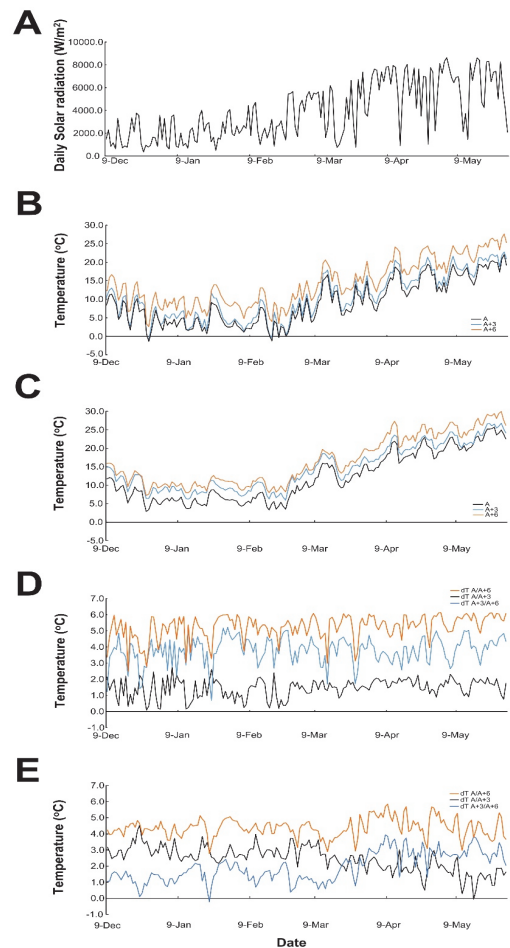


Fig. 2. Changes in daily solar radiation (A), daily air temperature (B), daily soil temperature (C), daily deviation air temperature (D), and daily deviation soil temperature (E) for northern-type garlic (*Allium sativum* L.) cultivation during the experimental period in the temperature gradient tunnel (TGT) (Dec. 2022-May. 2023). A; ambient, A+3; ambient+3°C, A+6; ambient+6°C.

상이 좋지 않은 날을 제외하고 평균 3,900 W · m⁻²의 일일적산일사량을 확인하였으며(Fig. 2A), 일평균 대기 온도는 온도구배하우스 입구(A; ambient)를 기준으로 중앙부(A+3; ambient+3°C)와 후미부(A+6; ambient+6°C)의 온도가 주야를 통해 각각 3.7°C와 5.2°C 차이로 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2B, D). 그리고, 일평균 토양온도는 온도구배하우스 입구와 중앙부와 후미부의 온도가 주야간 평균 2.4°C와 4.4°C로 차이로 유지되었다(Fig. 2C, E). 재배기간동안의 온도구배하우스 입구(A)의 일평균기온은 12.1°C(일최고평균 25.8°C, 일최저평균 2.9°C)였으며, 온도구배하우스 중간(A+3)의 일평균기온은 14.6 °C(일최고평균 26.8°C, 일최저평균 5.9°C), 온도구배하우스 후미(A+6)의 일평균기온은 16.6°C(일최고평균 30.0°C, 일최저평균 7.2°C)로 입구로부터 후미로 갈수록 온도가 상승되는 것을 확인하여 온도증가에 의한 마늘 재배환경이 변하는 것을 확인할 수 있었다.

온도구배하우스 내 의성마늘의 생육조사

의성마늘은 완전 추대종이며, 만생종으로 인편수는 6~8개 정도로 다른 한지형 마늘에 비해 인편수가 적으며 인경의 무게는 30~50 g의 특징을 가진다(Rural Development Administration, 2018). 지구온난화에 따라 온도상승에 따른 의성마늘의 생육 및 생리적 특징을 조사하였다. 이에 온도구배하우스에서 재배온도가 상승된 환경을 만들어 본 연구를 수행하였다. 온도구배하우스의 입구부, 중간부 및 후미부에서 생산된 의성 마늘의 인경 평균 지름은 각각 38.27±7.84 mm, 38.02±4.31 mm, 33.01±4.87 mm로 확인되었으며, 인경 평균 무게는 각각 34.98±12.71 g, 25.85±7.44 g, 18.93±6.77 g으로 조사되었으며, 인경 평균 인편수는

Table 1. The bulb diameter, bulb weight, and clove number of Northern-type Garlic ‘Uiseong’ in Temperature gradient tunnels. A; ambient, A+3; ambient+3°C, A+6; ambient+6°C

	A	A+3	A+6
Bulb diameter (mm)	38.27±7.84	38.02±4.31	33.01±7.87
Bulb weight (g)	34.98±12.71	25.85±7.44	18.93±6.77
Clove number (ea)	8.27±2.26	8.27±1.57	7.53±2.10

8.27±2.26 개, 8.27±1.57 개, 7.53±2.10 개로 확인되었다(Table 1). 온도구배하우스에서 재배된 한지형 마늘 ‘의성’의 인경발달은 난지형 마늘 ‘남도’와 유사한 생육을 확인할 수 있었다. 온도구배하우스에서 재배된 한지형 마늘 ‘의성’의 인경지름(p=0.39), 무게(p=0.15) 및 인편수(p=0.70)는 고온조건에서 작아지는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성을 확인하지 못했다. 난지형 마늘 ‘남도’의 경우, 대기온도와 A+3환경에서 재배된 난지형 마늘 ‘남도’의 인경 발달은 지름이 크고 인편의 크기가 균일하였으나 A+6환경에서 재배된 마늘은 인경지름이 감소하여 본 연구의 결과와 매우 유사하였다. 고온의 재배환경에서 마늘 재배는 생산량 감소와 상품성 하락의 결과를 가져오며, 마늘 생산성 감소의 원인이 될 수 있다(Oh *et al.*, 2019).

그러나, 대기온도와 A+3환경에서 재배된 마늘의 평균값은 유사하지만, 재배된 마늘 인경, 무게 및 인편수 분포도는 온도구배하우스내 재배환경에 따라 상이한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 온도구배하우스 입구부에서 재배된 마늘 인경분포 조사는 0~20 mm, 20~30 mm, 30~40 mm, 40~50 mm, 50~60 mm, 60~70 mm로 구분하였으며, 각각 지름별 우점도는

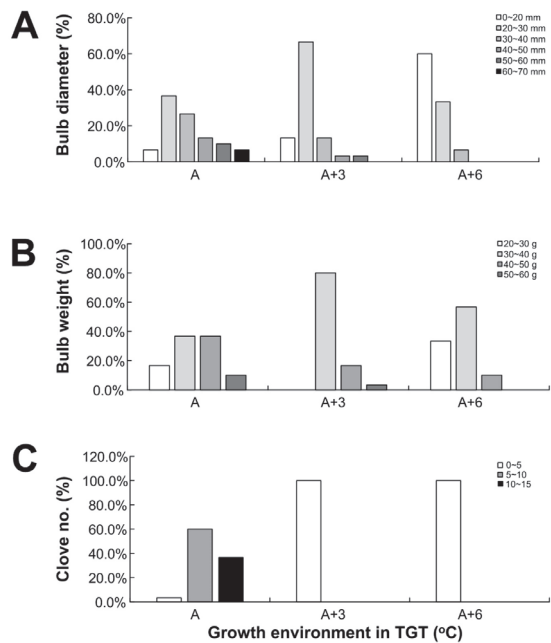


Fig. 3. The Bulb diameter (A), weight (B), and clove number (C) of Northern-type Garlic ‘Uiseong’ in Temperature gradient tunnels. A; ambient, A+3; ambient+3°C, A+6; ambient+6°C.

6.7%, 36.7%, 26.7%, 13.3%, 10%, 6.7%로 확인되었다. 중간부에서 재배된 마늘 인경지름 분포는 13.3%, 66.7%, 13.3%, 3.3%, 3.3%였으며, 60 mm 이하 지름 마늘만 확인되었다. 그리고, 후미부에서 재배된 마늘 인경지름 분포는 60%, 33.3%, 6.7%로 40 mm 이하 지름 마늘만 확인되었다. 또한, 온도구배하우스 입구부는 인경지름 20~30 mm와 30~40 mm의 마늘이 36.7%, 26.7%로 가장 높은 우점도를 보였으며, 중간부는 인경지름 20~30 mm의 마늘이 66.7%로 확인되고, 후미부는 인경지름 0~20 mm와 20~30 mm의 마늘이 60.0%, 33.3%로 확인되어 마늘 지름이 온도증가에 따라 감소하는 것을 관찰하였으며, 온도구배하우스 후미부의 고온의 재배환경일수록 인경지름이 작아지는 것을 확인하였다. 그리고, 온도구배하우스에서 재배된 마늘중 입구부에서 재배된 마늘 무게의 분포는 20 g이하, 20~30 g, 30~40 g, 40~50 g, 50~60 g으로 구분하고 입구부의 우점도는 0.0%, 16.7%, 36.7%, 36.7%, 10.0%로 분석되고, 중간부에서 재배된 마늘 무게 분포는 0.0%, 80%, 16.7%, 3.3%, 0.0%로 확인되었다. 그리고, 후미부에서 재배된 마늘 무게 분포는 33.3%, 56.7%, 10.0%, 0.0%, 0.0%로 확인되었다. 입구부 재배 마늘 중 30~50 g무게를 갖는 마늘이 73.0%를 차지했으며, 중간부 재배 마늘 중 80.0%가 30~40 g 마늘이며, 후미부 재배 마늘은 20~40 g 무게의 마늘이 90.0%로 확인되어 온도가 증가된 재배환경일수록 인경무게가 작아졌다. 또한, 온도구배하우스 재배 마늘 중 입구부 재배 마늘의 인편수 분포는 1~5개, 6~10개, 10~15개의 3개 구간으로 구분하고 입구부 인편 우점도는 3.3%, 60.0%, 36.7%로 분석되고, 중간부와 후미부에서 재배된 마늘의 인편은 1~5개의 인편을 갖는 마늘이 100%로 확인되었다. 마늘 인편수는 고온의 재배환경에서 인편수의 감소를 확인하였다. 마늘의 수확량과 품질 결정 요인은 기온과 강수량등의 재배환경 중 기상요인이 크게 작용하며, 인편의 발아,

인경형성과 발달, 성숙등의 발달단계에 있어 재배 온도가 매우 중요하게 작용하는 것을 확인하였다(Cortés *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2018). 시장에서 요구하는 마늘 품질 결정요소는 인경지름, 인편수, 모양의 균일성, 견고성, 이차생장 및 소인편의 발생과 같은 결함이 없는 것들을 포함한다(Oh *et al.*, 2020). 온도구배하우스에서 한지형 마늘 ‘의성’을 재배한 결과, 재배온도 증가는 마늘의 지름, 무게 및 인편수를 감소시키고 상품성이 떨어지는 마늘의 생산 증가로 이어질 수 있을 것으로 판단된다.

한지형 마늘 ‘의성’의 불완전추대

한지형 마늘 ‘의성’은 완전 추대종으로 분류되어 있으나, 온도구배하우스에서 재배된 의성마늘에서 불완전 추대가 관찰되었다(Fig. 4)(Rural Development Administration, 2018). 이에, 온도구배하우스에서 재배된 의성마늘의 불완전 추대 발생률을 조사하였다. 온도구배하우스 입구부 재배 마늘 중 불완전 추대 발생률은 9.09%로 조사되고, 중간부 재배 마늘 중 불완전 추대 발생률은 25.57%로 확인되었다. 또한, 후미부 재배 마늘 중 불완전 추대된 마늘 발생률은 34.43%로 확인되었다(Table 2). 이 결과, 한지형 마늘 ‘의성’의



Fig. 4. Photo of Incomplete bolting ‘Northern-type Garlic ‘Uiseong’.

Table 2. Amount of occurrence and occurrence rate of incomplete bolting of northern-type garlic ‘Uiseong’ by increased temperature in temperature gradient tunnel. A; ambient, A+3; ambient+3°C, A+6; ambient+6°C

	Incomplete bolting (ea)	complete bolting (ea)	n	the occurrence rate of incomplete bolting (%)
A	18	180	198	9.09%
A+3	67	195	262	25.57%
A+6	63	120	183	34.43%

재배온도가 증가할수록 불완전 추대 발생률이 증가하는 것을 확인하였다. 마늘 주아의 형태와 발달은 성장점으로부터 화경이 자라 정단부에 총포가 발달하며, 총포 배에 꽃과 주아가 함께 존재한다. 주아는 지하부의 마늘 인편과 같은 구조를 가지고 있으나, 크기가 인편보다 작으며 소포가 주아를 둘러싸는 형태를 가진다. 그러나, 불완전 추대종 마늘은 꽃대가 엽초안에 위치하며 꽃을 가지는 총포가 발달하지 못하고 비교적 큰 주아만 형성되는 특징을 보인다. 우리나라 지방종은 대부분 추대종으로 보고되었으며, 이중 꽃대가 긴 것은 많은 수의 꽃이나 주아수를 가지며, 꽃대가 짧거나 불완전 추대종은 꽃의 수나 주아수가 적다고 보고되었다. 꽃이나 주아가 제거되지 않은 마늘은 영양분이 주아 발육을 위해 사용되며, 이로 인해 인편의 비대가 저해되기에 추대발생시 꽃대를 빠르게 제거해주어야 한다(Rural Development Administration, 2018). 한지형 마늘 ‘의성’종은 완전추대성으로 분류되었으며, 인경 비대를 위한 주아 제거시 주아가 공기중에 노출되어 꽃대 제거에 편리성을 가진다. 그러나, 불완전 추대 발생시 줄기 중간에 주아가 화경과 주아가 발생하여 육안으로 구별이 쉽지 않아 주아제거가 쉽지 않은 실정이다(Etoh, 1985). 주아를 제거하지 않은 마늘은 주아 제거된 마늘에 비해 수량이 7% 정도 높게 나온다고 보고되어, 불완전 추대시 마늘 생산 및 품질의 저하를 가져올 수 있다(Lee, 2012).

불완전추대 마늘의 생육조사

주아가 제거되지 않은 마늘은 주아를 제거한 마늘에 비해 생산성이 감소한다고 보고되었다(Lee, 2012). 이에, 온도구배하우스내 온도 증가에 따른 불완전 추대 발생률이 증가하였기에 완전 추대마늘과 불완전 추대마늘의 생육차이를 분석하였다(Fig. 5). 그 결과, 입구부, 중간부 및 후미부에서 재배된 완전 추대 마늘의 인경지름은 각각 40.88±5.84, 38.93±4.62, 31.86±4.69 mm 로 조사되었으며, 불완전 추대 마늘 인경지름은 각각 35.65±8.87 mm, 37.11±3.91 mm, 34.16±4.92 mm 로 확인되었다(Fig. 5A). 그리고, 입구부, 중간부 및 후미부에서 재배된 완전 추대 마늘의 인경무게는 각각 35.31±10.61 g, 27.51±8.22 g, 16.92±6.42 g, 불완전 추대 마늘 인경무게는 각각 34.65±14.89 g, 24.18±6.40 g, 20.95±6.71 g 로 조사되었다(Fig. 5B). 또한, 입구부, 중간부 및 후미부에서 재배된 완전 추대 마늘의 인편수는 각각 9.47±1.73 개, 9.13±1.55 개,

8.67±1.40 개로 확인되었고, 불완전 추대된 마늘의 인경무게는 각각 7.07±2.12 개, 7.40±1.06 개, 6.40±2.10 개로 조사되었다(Fig. 5C).

온도구배하우스 내에서 재배된 의성마늘의 인경지름, 인경무게와 인편수는 온도증가에 따라 완전추대 마늘과 불완전추대 마늘 모두 감소되었다. 온도구배하우스에서 재배된 완전추대 마늘의 지름, 무게 및 인편의 수는 입구부에 비해 후미부 재배 마늘은 각각 77.9%, 47.9%, 91.5%로 감소되었으며, 불완전추대 마늘의 지름, 무게 및 인편의 수는 입구부에 비해 후미부 재배 마늘은 각각 95.8%, 60.4%, 90.6%로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 온도 증가에 따른 마늘 인경지름, 무게 및 인편수의 변화는 완전추대 마늘이 불완전 추대 마늘보다 온도에 대한 반응이 더 큰 것을 확인할 수 있었다.

또한, 마늘의 추대여부에 따른 인경지름, 무게 및 인편수의 변화를 확인해 보았다. 불완전 추대 마늘 인경지름은 완전추대 마늘 인경지름과 비교해 입구부와 중앙부에서 87.2%와 95.3%로 감소하였으나, 온도 상

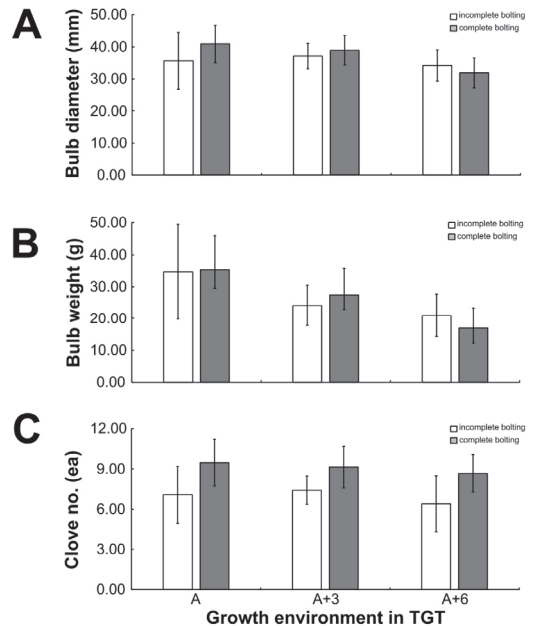


Fig. 5. The Bulb diameter (A), weight (B), and clove number (C) of incomplete bolting garlic (white square) and complete bolting garlic (gray square) in Temperature gradient tunnels. A; ambient, A+3; ambient+3°C, A+6; ambient+6°C.

승 환경인 후미부 불완전추대 마늘은 완전추대 마늘 인경지름에 비해 107.2%로 약 7% 증가하는 것으로 조사되었다. 그리고, 인경무게는 입구부와 중앙부의 마늘 지름은 98.1%와 87.9%로 감소하였으나, 온도 상승 환경인 후미부 불완전추대 마늘은 완전추대 마늘 인경지름에 비해 123.8%로 약 23.8% 증가하는 것으로 조사되었다. 또한, 입구부, 중앙부 및 후미부의 인편수는 완전추대 마늘에 비해 각각 74.6%, 81.0%, 73.8%로 감소하였다.

지구온난화와 더불어 재배온도 상승이 한지형 마늘 ‘의성’ 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해, 재배온도가 증가된 환경을 만드는 온도구배하우스에서 연구를 수행하였다. 본 연구에서 재배온도 상승은 마늘의 인경지름, 무게 및 인편수를 감소시키는 것으로 분석되었다. 또한, 기온의 상승은 의성마늘의 불완전 추대율을 증가시키고, 불완전 추대로 인한 마늘의 생산성 감소와 상품가치가 있는 마늘의 생산을 감소시키는 것으로 분석되었다. 최근, 기후변화에 의한 빈번한 이상 기상 현상이 발생하고 이러한 이상 기상 현상은 향후 더욱 증가할 것으로 예측된다. 이에, 상품성이 좋은 마늘 생산을 위해서는 이상기상에 대한 마늘의 생육반응을 조사하고 온도의 영향을 최소화하는 방안을 모색해야만 한다. RCP 8.5 시나리오는 대기온 현재보다 6°C 까지 상승할 수 있어 고온에서 비상품이 적은 신품종 개발과 고온을 극복할 수 있는 실용적 대응기술 개발이 시급하다(Oh *et al.*, 2020). 이에, 기후변화 대응기술개발을 위해서는 재배 환경 변화에 의한 작물의 생육 특성을 파악하고 재배관리, 파종 및 수확시기 등의 환경변화 대응 재배기술개발이 필요하다. 본 연구의 결과는 재배온도 상승에 따른 한지형 마늘 ‘의성’의 생육을 이해하고, 작물모형 및 생리현상을 이해하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 향후 지속적 연구를 통해 재배온도가 생육에 미치는 영향을 세심히 조사하고, 유전적 분석을 통해 온도가 미치는 유전적 원인을 밝히고자 한다.

적 요

마늘(*Allium sativum* L.)은 한국과 많은 나라에서 다양한 음식에 사용되는 가장 중요한 채소 중 하나이다. 마늘 재배시 재배온도, 습도, 최저온도기간 및 광 주기 등에 의해 생육이 달라진다. 본 연구는 지구온난화에 따른 재배온도 상승이 한지형 마늘 ‘의성’의 생육

에 미치는 영향을 규명하기 위해 온도구배하우스에서 생육을 조사하였다. 그 결과, 재배온도의 상승은 마늘의 인경지름, 인경무게 및 인편수를 감소시키는 것으로 분석되었다. 또한, 재배온도 상승은 한지형 마늘 ‘의성’의 불완전 추대율을 증가시켰다. 또한, 불완전 추대로 인한 마늘의 생산성 감소와 상품성 있는 마늘 생산을 감소시키는 것으로 분석되어, 온도 상승은 마늘의 인경발달에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 재배온도 상승에 따른 한지형 마늘 ‘의성’의 생육을 이해하고, 작물모형을 설계하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 본 연구의 결과가 온난화에 따른 재배온도 상승과 마늘의 성장과의 상호작용을 이해하는데 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ016018)의 지원에 의해 이루어진 것입니다. 본 연구는 2023년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Barber, V. A., G. P. Juday, and B. P. Finney, 2000: Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature* **405**, 668-673.
- Chaudhry, S., and G. P. S. Sidhu, 2021: Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports* **41**, 1-31.
- Cortés, C. F., F. M. De Santa Olalla, and R. L. Urrea, 2003: Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* **59**, 155-167.
- Crowley, T. J., and R. A. Berner, 2001: CO₂ and Climate Change. *Science* **292**, 870-872.
- Danby, R. K., and D. S. Hik, 2006: Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology* **13**, 437-451.
- Etoh, T., 1985: Studies on the sterility in garlic, *Allium sativum* L. *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University* **21**, 77-132.

- Jung, Y., M. Park, I. Jo, C. Park, and D. Noh, 2000: *Taxonomical classification of Korea soils*. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Republic of Korea., Suwon.
- Kilpelainen, A., H. Peltola, A. Ryyppo, K. Sauvala, K. Laitinen, and S. Ellomaki, 2003: Wood properties of Scots pines (*Pinus sylvestris*) grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration. *Tree Physiology* **23**, 889-897.
- Kim, J. S., and J. H. Ra, 2019: Comparison of phytochemical composition and physiological activity of 'Hongsan' and 'Hansan', a new variety of garlic. *Korean Journal of Food Science and Technology* **51**, 147-151.
- Kim, S. W., 2014: Trend of global garlic industry. *World Agriculture* **166**, 93-107.
- Korea Meteorological Administration, 2023: Atmosphere monitoring in Korea. Korea Meteorological Administration, Daejeon, Korea.
- Lee, H. J., S. G. Lee, S. K. Kim, B. Mun, J. H. Lee, H. S. Lee, Y. S. Kwon, J. W. Han, and C. W. Kim, 2018: Effects of combination of air temperature and soil moisture contents on growth, clove initiation, physiological disorders, and yield of garlic. *Protected Horticulture and Plant Factory* **27**, 191-198.
- Lee, J. H., 2012: Increased yield and labor-saving effect according to the time and removal method of garlic bulbil. Nongsaro, RDA.
- Moon, K. H., K. S. Choi, I. C. Son, E. Y. Song, and S. Oh, 2014: A simple emergence model of southern type garlic based on temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**, 343-348.
- Oh, S.-Y., K. H. Moon, E. Y. Song, M. Shin, and S. C. Koh, 2019: Photosynthesis and growth of southern-type garlic (*Allium sativum* L.) in response to elevated temperatures in a temperature gradient tunnel. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**, 250-260.
- Oh, S., K. H. Moon, and S. C. Koh, 2017: Effects of different day/night temperature regimes on growth and clove development in cool-type garlic (*Allium sativum* L.). *Horticultural Science and Technology* **28**, 1-10.
- Oh, S. Y., K. H. Moon, M. Shin, and S. C. Koh, 2020: Shoot growth, bulb development and mineral contents of southern-type garlic in response to elevated temperatures in temperature gradient tunnels. *Horticultural Science and Technology* **38**, 440-450.
- Park, M. H., J. P. Kim, and D. J. Kwon, 1988: Physico-chemical characteristics of components and their effects on freezing point depression of garlic bulbs. *Korean Journal of Food Science and Technology* **20**, 205-212.
- Park, S. H., Y. S. Moon, O. J. Jeong, W. K. Kang, and D. B. Kim, 2018: Analysis of influence on galic crops and its economical value by meteorological and climatological information. *Journal of the Korean Earth Science Society* **39**, 419-435.
- Pittman, J. K., A. P. Dean, and O. Osundeko, 2011: The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology* **102**, 17-25.
- Pooler, M. R., and P. W. Simon, 1993: Characterization and classification of isozyme and morphological variation in a diverse collection of garlic clones. *Euphytica* **68**, 121-130.
- Rural Development Administration, 2018: *Garlic cultivation*. Rural Development Administration, Jeonju, Republic of Korea.
- Shalom, S. R., D. Gillett, H. Zemach, S. Kimhi, I. Forer, Y. Zutahy, Y. Tam, P. Teper-Bamnolker, R. Kamenetsky, and D. Eshel, 2015: Storage temperature controls the timing of garlic bulb formation via shoot apical meristem termination. *Planta* **242**, 951-962.
- Volder, A., E. J. Edwards, J. R. Evans, B. C. Robertson, M. Schortemeyer, and R. M. Gifford, 2004: Does greater night-time, rather than constant, warming alter growth of managed pasture under ambient and elevated atmospheric CO₂? *New Phytologist* **162**, 397-411.
- Xu, Z., T. Hu, and Y. Zhang, 2012: Effects of experimental warming on phenology, growth and gas exchange of treeline birch (*Betula utilis*) saplings, Eastern Tibetan Plateau, China. *European Journal of Forest Research* **131**, 811-819.