

기온과 토양수분 함량에 따른 난지형 마늘의 성장, 인편분화, 생리장해 및 수량에 미치는 영향

이희주¹ · 이상규^{2*} · 김성겸¹ · 문보흠¹ · 이진형¹ · 이희수¹ · 권영석¹ · 한지원¹ · 김철우¹

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과
²농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과

Effects of Combination of Air Temperature and Soil Moisture Contents on Growth, Clove Initiation, Physiological Disorders, and Yield of Garlic

Hee Ju Lee¹, Sang Gyu Lee^{2*}, Sung Kyeom Kim¹, Boheum Mun¹, Jin Hyoung Lee¹, Hee Su Lee¹, Young Seok Kwon¹, Ji Won Han¹, and Cheol Woo Kim¹

¹Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Division of SmartfarmDevelopment, National Institute of Agricultural Science, Jeonju 54875, Korea

Abstract. The objective of this study was to determine the effects of combination of air temperature and soil water contents on growth, physiological disorder rate, and yield of garlic. This experiments has been carried out in the typical plastic house (one side open and other side installed ventilation fans) which was maintained gradient air temperature (maximum different value of air temperature : 6°C). The excessive irrigation (EI) set at 0.34 m³/m³ soil moisture contents. The significant differences found in the growth parameters of garlics as affected by air temperature and soil moisture conditions. The plant height of garlic with combination of ambient (A)+6°C and optimal irrigation (OI; set at 0.22 m³/m³ soil moisture contents) treatments represented 47.4 cm/plant, which was the highest among all the tested treatments. The leaf length and width showed the greatest, which were 16.1 and 2.4 cm/plant, respectively, in A+6°C-OI. The physiological disorder ratio was higher as 12.9% at A+6°C-OI and was not occurred at ambient temperature with EI compared with OI treatment. The bulb and clove weight were dramatically decreased at A+6°C temperature treatment. The yields were decreased by 51% in OI at A+6°C and A+3°C temperature treatment. Those results indicated that yields were decreased and ratio of physiological disorders was increased by high temperature treatments.

Additional key words : *Allium sativum* L., bulb, clove, disorder, irrigation

서 론

기후변화로 인하여 지구의 온도는 지난 100년간 약 0.7°C 상승하였고, 최근의 온도 상승속도가 과거에 비해서 2배 이상 빠르게 진행 중이다(IPCC, 2013). 한반도의 온도상승은 지구의 온도 상승속도보다 훨씬 빠른 것으로 발표되고 있으며 온난화의 주범인 온실가스 배출 규제 움직임이 높아지고 있다. 따라서 이산화탄소의 변화에 대한 대표농도경로인 RCP 8.5(Representative Concentration Pathway)를 선택하여 탄소배출을 법적으로 제한할 것을 제시하였다(NIMR, 2011). RCP 8.5 조건은 2100년이 되면 지구의 온도가 현재보다 약 6.0°C 상승하고, CO₂ 농

도는 940μmol·mol⁻¹ 로 높아지며 강수량이 현재보다 20% 정도 증가한다는 가상시나리오이다. 이와 같은 조건이 된다면, 우리나라는 열대 또는 아열대 기후대로 바뀌게 되어 현재 재배되고 있는 작물 품종으로는 생산성이 떨어질 것으로 예상되는 등 농업분야에도 대비가 있어야 할 것으로 생각된다. 실제로 고추(Lee 등, 2018), 배추(Lee 등, 2016)를 대상으로 RCP 8.5 조건에서 재배한 결과 고추는 분지가 활발하게 되지만 낙화 및 불수정과가 다량 발생하여 수량성이 크게 감소하였으며, 배추는 결과가 되지 않으며 속 썩음 증상이 발생한다는 연구결과를 발표하였다. 따라서 기온상승에 따른 농작물에 대한 피해분석 및 영향평가가 필요하며 특히 겨울철 동안의 온도 상승이 마늘에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 실정이다.

마늘(*Allium sativum* L.)은 우리나라 어느 지역에서도 재배가 되는 작물로 남부지역에서는 난지형 마늘, 중북

*Corresponding author: sanggyul@korea.kr

Received February 27, 2018; Revised July 9, 2018;

Accepted July 15, 2018

부지역에서는 한지형 마늘이 재배되고 있으며 항암, 혈압강하 등 다양한 기능이 밝혀지면서 1인당 연간소비량이 6.8kg으로 소비가 많은 작물이다(KOSTAT, 2017). 마늘의 생태적인 특성은 호냉성 채소로 생육에 적합한 최적온도가 18-20°C이고, 인편분화는 10°C에서도 가능하지만 20°C 전후에서 가장 잘 되며(Lee, 2003), 정식 후 초기 저온의 영향을 받은 후 온도가 상승하면서 구비대가 이루어져 수확을 할 수 있다(Bandara 등, 2000; Rahim과 Fordham, 2001; Song 등, 2001). 한편 인경비대는 식물호르몬 등 내적인 요인과 온도 등 외적인 요인의 영향을 받아 인편이 분화되면서 비대가 된다고 알려져 있다(Takagi, 1990; Sohn 등, 2010). 난지형 마늘은 한지형에 비해서 높은 온도를 요구하지만 고온 및 다습 조건이 되면 마늘 구의 무게가 감소하거나 부패증상이 많아져 수량이 떨어지고(Cho와 Lee, 2008), 멸칭장애로 인한 지온상승 역시 벌마늘 등 생리장애 발생을 초래한다(Choi 등, 2009)고 알려져 있다. Oh 등(2016)은 주야간 온도가 생육적 이상이면 잎줄기가 터지거나 마늘구가 갈라지는 등 생리장애 발생이 많아져 수량이 감소한다고 하였다. 그러나 마늘 재배기간 동안의 온도와 토양수분과의 교호 영향에 대한 연구는 미흡하며, 재배 전 생육 기간 동안의 온도와 토양 수분 함량의 차이를 주는 처리구를 설계하기가 어렵다. 본 연구는 온도 차 하우스 내에서 재배기간 중 온도 상승과 토양수분 함량에 따른 난지형 마늘의 생장, 생리장애, 인편분화 및 수량에 미치는 영향을 분석하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료는 난지형 마늘 중 재배면적이 가장 많은 ‘남도’ 마늘을 공시하였다. 마늘 종구는 500배액의 벤레이트 티 용액에 2시간 침지하여 소독하였고, 하루 동안 상온에서 건조시킨 후 파종하였다. 파종은 2016년 11월 10일에 온도차하우스(길이 25m, 폭 2m)에 90cm 이랑 2개를 만들고 유공 흑색 비닐(유공간격 20cm×10cm)으로 멸칭한 후 파종하였다. 파종 시 종구의 윗부분이 위로 향하도록 하였고, 흙으로 윗부분을 2cm 정도 묻어 주었다. 수확은 줄기가 70% 정도 마를 때 하였는데, 고온처리구가 외기처리구보다 일찍 수확하여 2017년 5월 23일(파종 후 195일)에 하였고, 일반 외기 처리구는 6월 7일(파종 후 210일)에 하였다.

처리온도는 온실의 개방 입구로부터 안쪽으로 8-12m 구역은 외기보다 3°C(A+3) 높게, 18-22m 구역에서는 6°C 높게(A+6) 유지되도록 6개의 환기팬으로 온도를 제어하는 시스템(CR1000와 SDM-CD16AC, Campbell Sci. Co., USA)을 이용하였다. 실험이 수행된 토양은 식

양토이며, 토양수분은 적습 처리(OI; optimal irrigation, 0.15-0.28 m³/m³)는 주 1회 290mL 관수하였고, 다습 처리(EI; excessive irrigation, 0.29-0.38 m³/m³)는 주 2회 580mL로 관수량을 달리하였다. 그리고 토양수분 함량 차이를 위하여 이랑의 높이(적습 처리 20cm, 다습처리 5cm)도 달리하였다. 처리 시설 내 온도 프로파일은 온도 센서를(HMP155A, Campbell Sci. Co. USA) 지상으로부터 1.9와 0.5m 높이로 하여 온실의 입구로부터 각각 1.2, 10.5 및 22.4m 떨어진 지점(총 6개)에 설치한 후 데이터 수집 장치(CR-1000, Campbell Sci. Co., USA)를 이용하여 1시간 단위로 기온을 저장하였다. 토양수분은 각 온도 차가 발생하는 지점의 이랑 정 중앙에 0.1m 깊이로 유전율 방식(FDR: Frequency domain reflectometry)의 토양수분 함량 측정 센서(10HS, Decagon Devices, Inc. USA)에 데이터로거(HOBO U30, Onset Computer Co., USA)를 연결하여 1시간 간격으로 수집하였다.

조사항목은 처리구별 3반복 5주씩에 대해서 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 등 파종 후 102일에 비파괴방법으로 조사하였고, 파종 후 195 및 210일에는 처리구별 전수를 대상으로 마늘을 수확하여 구고, 구폭, 생구중, 인편수 및 인편중 등을 조사하였다. 생리장애율은 수확한 마늘 전수를 대상으로 열구, 벌마늘 및 스펀지 마늘을 구분하여 전체 생산된 마늘 대비 비율을 계산하였다. 온도조건별 마늘의 인편분화와 관계를 조사하기 위하여, 파종 후 132일에 마늘구를 세척한 후 칼로 구의 중앙부위를 횡으로 절단하여 광학현미경(Stemi SV2, Zeiss Co., Inc., Jena, Germany) x8배율로 확대하여 구의 횡단면 사진을 촬영하였다.

실험 처리구는 완전임의배치 3반복으로 두었다. 재배 온도와 토양수분처리의 2요인 분산분석을 하였고 각 처리구별 생장 요인들과 수량의 평균에 대하여 Duncan의 다중 검정을 실시하였다. 통계처리는 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Inc., NC, USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

온도 차 하우스의 기온 프로파일을 분석하면, 실험기간 동안 외기 대비 일 평균이 기온이 3와 6°C로 높게 유지 되었다(Fig. 1). 외기 기온보다 3과 6°C 높은 고온처리구에서 재배기간 동안 일 평균 최저 기온은 각각 -1.3 및 0.8°C, 일 평균 최고 기온은 각각 27.0 및 29.3°C이었으나, 외기의 일 평균 최저 기온은 -3.6°C, 최고 기온은 24.7°C으로 제어 목표치인 6°C의 기온 차를 구현하였다. 토양 수분 함량 프로파일을 분석하면(Fig. 2), 외기 기온에서 과다한 관수 처리구와 최적 관수 처리구의 토양 수분 함량은 각각 0.34와 0.31m³/m³였으며(Fig. 2A), 관수처리 개시 후 두 처리구의 수분 함량은 평균

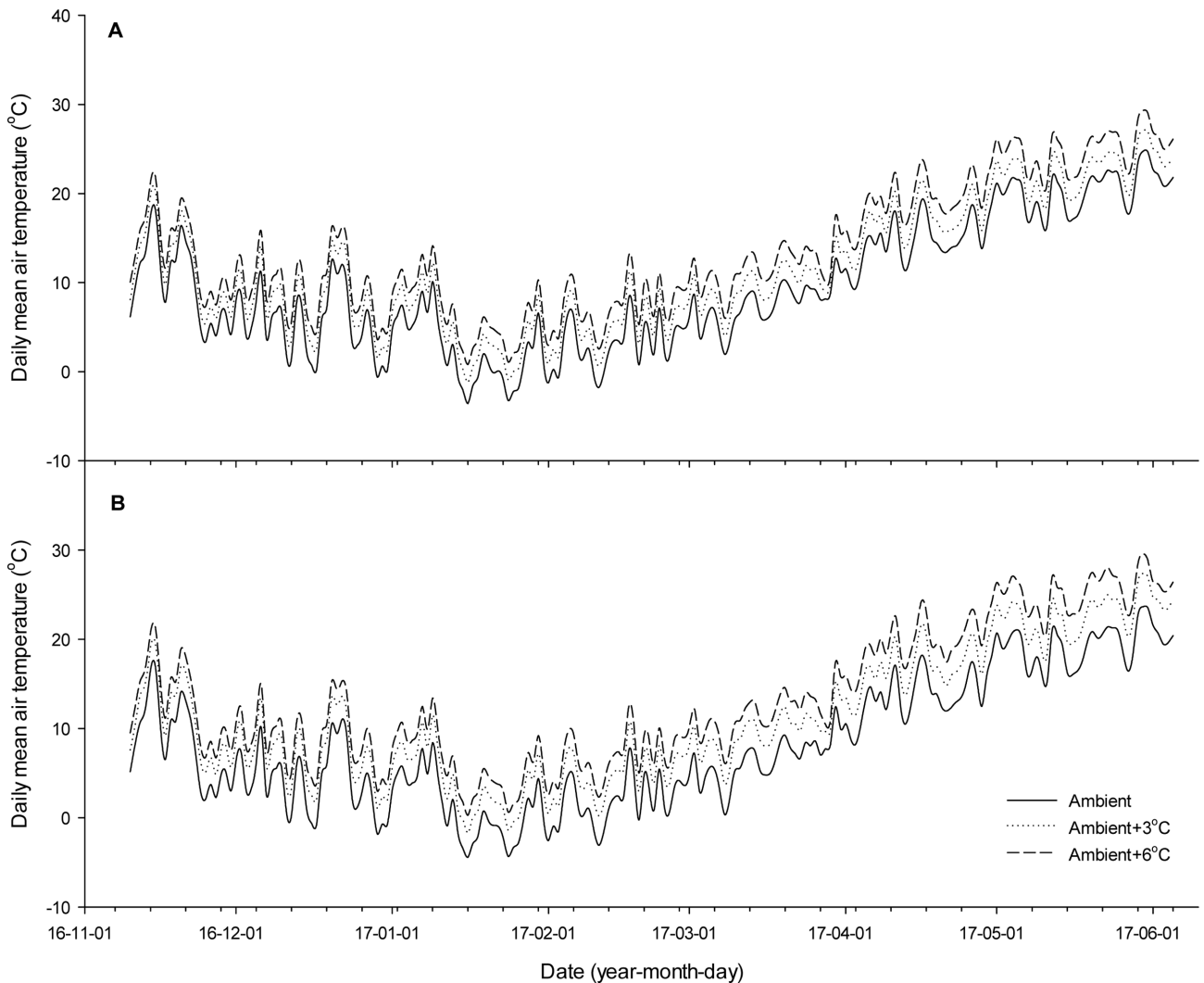


Fig. 1. Changes in daily mean air temperature of a gradient temperature plastic tunnel. A: Upper position, B: Bottom position.

0.11m³/m³의 차이가 있었다. 고온 처리구에서는 관수처리 시작 전부터 두 처리구의 토양 수분함량이 약 0.2m³/m³ 차이를 유지하고 있었다(Fig. 2B와 C).

파종 후 102일의 비파괴 방법으로 생육을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 초장, 엽폭 및 엽수는 온도에 따라 고도의 유의성을 보여 고온일수록 그리고 적습처리구(OI)일수록 컸다. 토양 수분 처리 시작(파종 후 188일)전부터 고온처리구들(외기온+3 또는 6°C)에서는 토양 수분 함량의 차이가 있었으며(Fig 2B와 C), 고온구에서 수증기압포차가 크므로 토양수분 증발산량이 많아 이량의 높이가 별로 토양수분 함량차이가 있었다. 초장은 외기보다 6°C 고온구의 적습처리구에서 47.4cm로 가장 컸으며, 엽폭과 엽수 역시 외기보다 6°C 고온구의 적습처리구가 각각 2.4cm, 7.5cm로 가장 컸다. 엽장과 엽초경은 온도

에 따른 고도의 유의성을 보여 6°C 고온구에서 컸으며 외기처리구에서 작았다. 이와같은 결과는 고추 재배시 6°C 고온구의 초장, 생체중 및 건물중이 3°C 고온구와 외기처리구보다 컸고(Lee 등, 2018), 피망(Lim 등, 1997a)과 토마토(Lim 등, 1997b)에서도 일평균 온도가 증가함에 따라서 엽수나 유묘의 건물중이 증가하였다는 결과와 유사하였다.

마늘 구의 특성을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 마늘 구고는 6°C 고온구의 적습처리구가 41.6mm/bulb 로 가장 컸으며 3°C 고온구의 적습과 다습처리구 및 6°C 고온구의 다습처리구에서 작았다. 마늘의 구폭, 생구중 및 인편수는 온도보다는 토양수분에 의해서 고도의 유의성을 보였는데, 적습처리구가 다습처리구보다 큰 것으로 나타났다. 쪽당 무게는 온도의 영향이 크게 작용하여 외

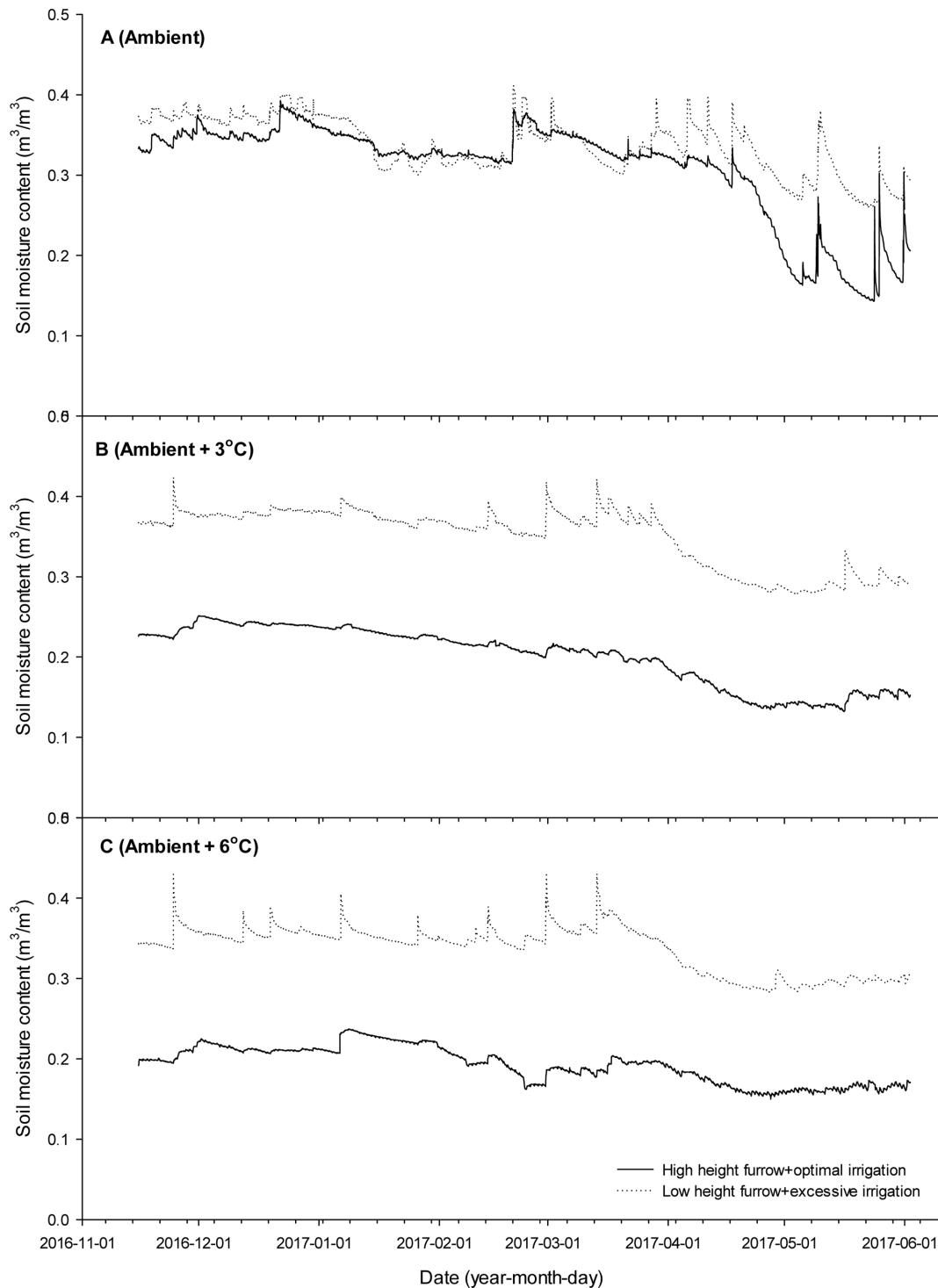


Fig. 2. Changes in soil moisture contents of a gradient temperature plastic tunnel. A: ambient region, B: ambient+3°C region, C: ambient+6°C.

기온도의 적습과 과습처리구가 6.0-7.5g/clove이었으나 6°C 고온의 적습과 다습처리구는 3.5-3.8g/clove으로 크게 감소하였다. 이것은 마늘은 20°C 이상의 온도에서 고

온스트레스를 받고(Oh 등, 2015), 한지형마늘에서 고온 처리구에서 인편중량이 감소(Oh 등, 2016)하였으며, 산마늘은 25°C 이상의 고온에서 생육이 부진하고 양파는

Table 1. Growth characteristics of garlic as affected by combination of air temperature and soil moisture content at 102 days after sowing.

Temperature (A)	Irrigation treatment (B)	Plant height (cm/plant)	Leaf length (cm/plant)	Leaf width (cm/plant)	Pseudostem diameter (mm/plant)	No. of Leaves (/plant)
Ambient	OI	34.8c ^z	10.6d	1.7b	11.4c	6.2b
	EI	28.2d	10.2d	1.5c	10.0d	5.2c
A+3°C	OI	37.8b	13.0c	1.8b	12.0bc	6.7b
	EI	37.9b	12.0c	1.7b	12.4bc	6.5b
A+6°C	OI	47.4a	16.1a	2.4a	15.6a	7.5a
	EI	40.1b	14.9b	1.7b	13.0b	6.5b
Significance ^y	A	***	***	***	***	***
	B	***	*	***	**	***
	A×B	**	ns	**	*	ns

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

^yNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P≤0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

Table 2. Bulb characteristics of garlic as affected by combination of air temperature and soil moisture content at 195 and 210 days after sowing.

Temperature (A)	Irrigation treatment (B)	Bulb height (mm/bulb)	Bulb diameter (mm/bulb)	Bulb weight (g/bulb)	Clove no. (/bulb)	Clove weight (g/clove)
Ambient	OI	38.7ab ^z	61.2ab	72.7a	9.8ab	6.0b
	EI	39.1ab	53.2cd	47.9bc	6.7d	7.5a
A+3°C	OI	36.2b	57.3bc	58.0b	9.2abc	5.7b
	EI	36.2b	50.8d	47.0c	7.7bcd	5.4b
A+6°C	OI	41.6a	63.5a	78.4a	11.2a	3.5c
	EI	38.5b	54.1cd	55.7bc	7.0cd	3.8c
Significance ^y	A	**	*	**	ns	***
	B	ns	***	***	***	ns
	A×B	ns	ns	ns	ns	ns

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

^yNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P≤0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

30°C 이상의 고온조건에서 인편 무게가 감소(Lee 등, 2012)하였다는 결과와 유사하였다. 즉, 저온성 작물인 마늘을 고온조건에서 재배하면 외기온도에 비해서 마늘 구의 무게는 크게 감소하지 않지만 6°C 고온구의 경우 마늘 인편수가 증가하여 마늘 쪽당 무게가 감소한다는 것을 확인할 수 있었다. 마늘의 구의 무게는 온도와 토양수분 함량의 영향이 큰 것으로 나타나 외기처리구일수록 그리고 적습처리구에서 큰 것으로 나타났다. 그러나 인편의 무게는 토양수분의 수준과는 관계없이 고온일수록 낮아졌으며, 이는 고온에서 인편분화가 많아 상품성이 없는 별 마늘이 많이 나온 것을 알 수 있었다. 이러한 고온조건은 이차생장을 일으켜 인편분화를 촉진하기 때문에 인편수가 증가하면서 별마늘이 된 것으로 생각된다.

상품수량 역시 외기처리구의 적습처리구가 1,884kg/

10a 로 가장 컸으며 고온구인 6°C 처리구의 다습처리구가 828kg/10a 로 가장 작았다(Table 3). 수량지수는 외기의 적습처리구를 기준으로 6°C 고온구의 다습처리구는 43.9%, 적습구는 54.2%로 크게 낮아졌고, 3°C 고온구 역시 적습구는 85.7%, 다습처리구는 70.9% 정도를 보였다. 이것은 시험재료로 사용한 남도마늘은 대기온도보다 3-6°C 고온조건이 되면 수량이 감소하며, 특히 6°C 고온조건이 되면 수량이 50% 정도 감소한다는 결과를 얻었다. 따라서 RCP 8.5 조건이 되면 6°C 까지 상승하므로 피해를 줄이기 위한 고온에서 인편분화 및 비상품 과율이 적은 신품종 개발과 계절별동성에 맞게 적정 파종 및 수확 시기 제시와 고온을 극복하여 정상적인 구비대 및 인편분화를 할 수 있는 실용적 대응기술 개발이 시급할 것으로 생각된다.

Table 3. Total clove weight and marketable yields of garlic as affected by combination of air temperature and soil moisture content at 195 and 210 days after sowing.

Temperature (A)	Irrigation treatment (B)	Total clove weight (g/clove)	Harvest weight (kg/10a)	Marketable yield ² (kg/10a)	Yield index
Ambient	OI	57.7a ³	1,904a	1,884a	100
	EI	47.9b	1,580b	1,580b	83.8
A+3°C	OI	50.9b	1,679b	1,615b	85.7
	EI	41.1c	1,356c	1,337c	70.9
A+6°C	OI	35.6c	1,174c	1,022c	54.2
	EI	25.7d	848d	828d	43.9
Significance ⁴	A	***	***	***	
	B	***	***	***	
	A×B	ns	ns	ns	

²Yield was calculated by plant density (33,000/10a)×bulb weight×ratio of marketable yield

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

⁴NS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at *P*≤0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

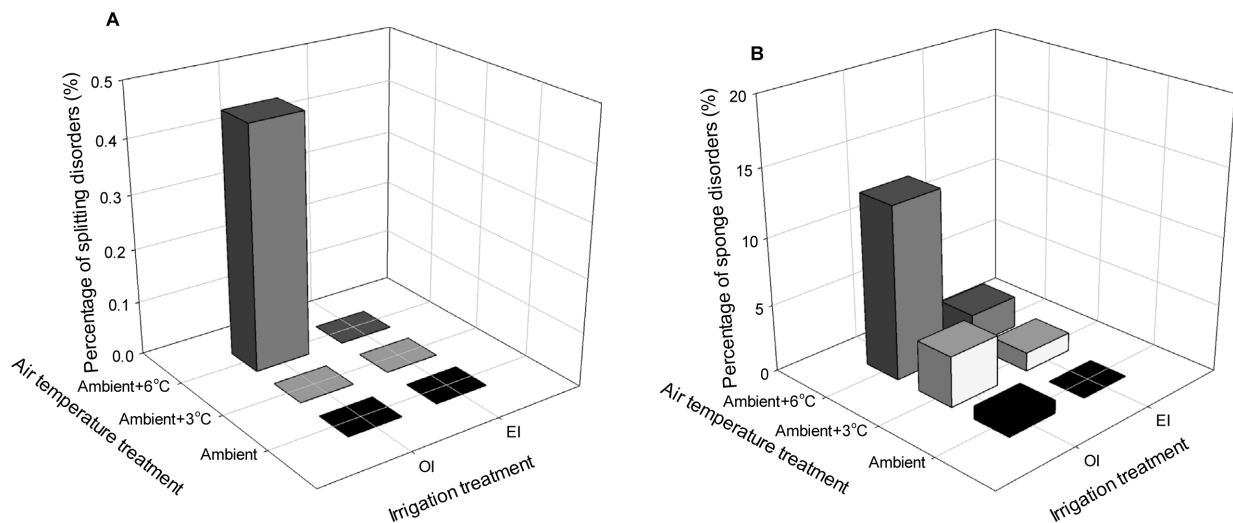


Fig. 3. The percentage of physiological disorders (A: splitting and B:sponge) of garlic as affected by combination air temperature and soil moisture content at 195 and 210 days after sowing. The letter ‘OI’ and ‘EI’ represents optimal and excessive irrigation, respectively.

마늘은 20°C 이상의 온도조건에서 고온스트레스를 받고(Oh 등, 2015), 양파도 30°C 이상의 고온조건에서 인경 무게가 감소하여 수량이 감소하였으며(Lee 등, 2012), 한지형 마늘에서 주야간 온도를 달리하여 재배한 결과, 고온 처리구에서 인편 중량이 감소하였다(Oh 등, 2016)는 결과와 유사하였다. 또한 마늘을 대상으로 주야간 온도를 달리하여 주간온도는 17-23°C, 야간온도는 12-18°C로 유지한 처리구의 마늘 구의 생체중이 가장 컸으며 28/23°C로 처리한 구가 작았다(Wi 등, 2017)는 결과와 유사하였다.

처리별 생리장해 발생은 Fig. 3과 같이 모든 처리구에

서 마늘통이 갈라지는 열구증상이 많이 발생하였지만 식용하는데 문제는 없었다(data not shown). 그러나 식용에 문제가 있는 벌마늘은 6°C 고온구의 적습처리구에서 1개가 발생하였고, 나머지 처리구에서는 발생되지 않았다. 또한 스펀지 마늘은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 마늘 구의 비대가 되지 않고 스펀지처럼 푸석푸석한 마늘로 상품성이 전혀 없는 것으로 6°C 고온구의 적습처리구에서 28개가 발생하여 12.9% 발생률로 가장 많이 발생하였다. 이와 같은 결과는 마늘에서 고온과 저온스트레스 조건에서 이차생장, 벌마늘 등 생리장해가 발생하였다는 결과(Choi 등, 2009)와 유사하여 저온성 작물인



Fig. 4. The cross sections of bulbs of garlic grown for 193 days in ambient+6°C air temperature under optimal irrigation treatment. A, Normal; B, Splitting garlic; C, Spongy garlic.



Fig. 5. The clove initiation of garlic observed through microscope of 8× magnifications at 132 days after planting as affected by combination of air temperature and soil water contents. A, Ambient; B, Ambient+3°C; C, Ambient+6°C.

마늘은 고온과 다습조건이 되면 쪽당 무게가 감소하고, 스폰지마늘 등 비상품과의 발생이 증가하여 상품수량이 감소하는 것으로 나타났다.

마늘 수확은 잎이 70% 정도 말랐을 때 하였는데, 수확까지 소요일자는 외기 대비 6°C 고온구가 2주일 정도 빨랐다(data not shown). 고온에 따른 마늘 인편분화 시기를 보기 위해서 마늘 파종 후 132일(3월 21일)에 마늘 구를 채취하여 현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 5와 같다. 외기온도 조건에서 자란 마늘의 경우 인편분화 증상이 보이지 않았지만, 3°C 고온처리구에서는 인편분화 초기증상이 관찰 되었다. 6°C 고온처리구는 인편분화가 상당히 진행된 것을 관찰할 수 있었다. 마늘의 인편의 형성과 비대 발달에는 일정기간 휴면이 필요하고 (Yamazaki 등, 1995, 1999), 온도 등 환경조건이 좋아지면서 ABA 함량 등 호르몬이 증가하면서 비대가 이루어지는 것으로 알려져 있다(Abdullah 와 Ahmad, 1980; Xu 등, 1998; Yamazaki 등, 2002). 결론적으로 마늘은 외기 온도보다 6°C 고온조건이 되면 수량이 50% 정도 감소하고, 생리장해 발생이 높아지는 것으로 나타났다.

적 요

본 연구의 목적은 온도와 토양수분에 따른 마늘의 생육, 생리장해 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 실험은 온도가 6°C 차이가 나는 온실에서 수행되었는데, 정식부터 수확까지 외기(A)보다 3°C(A+3°C), 6°C(A+6°C) 고온조건, 토양수분은 적습(OI) 대비 수확기

무렵의 다습(EI) 처리를 하였다. 그 결과, 마늘 생육특성은 온도와 토양수분 조건(0.34m³/m³)에 따라 고도의 유의성을 보여 고온일수록 그리고 적습 처리구일수록 컸다. 초장은 외기보다 A+6°C-OI 처리구에서 47.4cm로 가장 컸으며, 엽장과 엽폭 역시 외기보다 A+6°C-OI 처리구가 각각 16.1cm, 2.4cm로 가장 컸다. 마늘재배 기간 중 외기보다 3°C, 6°C 고온조건이 되면 스폰지마늘 발생율이 높아져 A+6°C-OI 처리구는 12.9% 발생하였고, A-EI 처리구에서는 전혀 발생하지 않았으며, 인편무게와 1쪽당 무게는 A+6°C 고온구에서 크게 감소하여 수량이 외기 대비 A+6°C 처리구는 평균 51%, A+3°C 처리구는 평균 22% 감소하였다. 따라서, 마늘재배시 외기보다 6°C 고온조건과 다습조건이 되면 상품수량 감소하고, 생리장해 발생이 많아지는 것으로 나타났다.

추가 주제어: *Allium sativum* L., 관수, 마늘구, 생리장해, 인편

사 사

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01 266602)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Abdullah, Z.N., and R. Ahmad. 1980. Effect of ABA and GA₃ on tuberization and some chemical constituents of potato.

- Plant Cell Physiol. 21: 1343-1346.
- Bandara, M.S., K. Krieger, A.E. Slinkard, and K.K. Tanino. 2000. Pre-plant chilling requirements for cloving of spring-planted garlic. *Can. J. Plant Sci.* 80:379-384. doi: 10.4141/P99-074.
- Cho, J., and S.K. Lee. 2008. Current research status of post-harvest technology of garlic (*Allium sativum* L.). *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 26:350-356.
- Choi, H.S., E.Y. Yang, W.B. Chae, Y.B. Kwack, and H.K. Kim. 2009. Effect of soil temperature, seedtime, and fertilization rate on the secondary growth in the cultivation of the big bulbils of namdo garlic (*Allium sativum* L.). *J. Bio-Environ. Cont.* 18:454-459.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the inter governmental panel on climate change, Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA.
- KOSTAT statistics Korea. 2017. Crop production statistics. <http://www.kosis.kr>. Accessed 30 August 2017.
- Lee, J.M. 2003. Vegetable horticulture. 1th ed., Hyang Moon Sa. Seoul Korea. P. 421. (In Korean).
- Lee, K.C., H.S. Kim, H.S. Noh, J.W. Kim, and S.S. Han. 2012. Comparison of photosynthetic responses in *Allium microdityon* prokh and *Allium ochotense* prokh from atmosphere-leaf vapor pressure deficit (VPD). *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 20:171-176.
- Lee, S.G., S.K. Kim, H.J. Lee, C.S. Choi, and S.T. Park. 2016. Impacts of climate change on the growth, morphological and physiological responses, and yield of Kimchi Cabbage leaves. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 57:470-477.
- 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. *Ecol. Evol.* 8:197-206.
- Lim, K.B., K.C. Son, and J.D. Chung. 1997a. Influences of difference between day and night temperature (DIF) on growth and development of bell pepper plants before and after transplanting. *J. Biol. Prod. Facilities Environ. Cont.* 6:15-25.
- Lim, K.B., K.C. Son, and J.D. Chung. 1997b. Influences of DIF on growth and development of plug seed-lings of *Lycopersicon esculentum* before and after transplanting. *J. Biol. Prod. Facilities Environ. Cont.* 6:34-42.
- NIMR. 2011. Climate change scenario report. National Institute of Meteorological Research pp. 79-99.
- Oh, S.J., K.H. Moon, and S.C. Koh. 2015. Assessment of high temperature impacts on early growth of garlic plant (*Allium sativum* L.) through monitoring of photosystem II activities. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 33:829-838. doi: 10.7235/hort.2015.15078.
- Oh, S.J., K.H. Moon, and S.C. Koh. 2016. Effects of different day/night temperature regimes on growth and clove development cool-type garlic (*Allium sativum* L.). *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 35:1-10.
- Rahim, M.A., and R. Fordham. 2001. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. *Acta Horticult.* 555:181-188. doi:10.17660/Acta Horticult 2001.555.27
- Song, I.G., S.G. Hwang, and J.K. Lee. 2001. Garlic cultivation. Rural Development Administration. Sammi Publishing Company. Suwon. Korea.
- Takagi, H. 1990. Garlic (*Allium sativum* L.) In: Brewster JL, Rabinowitch HD (eds.). Onions and Allied Crops?: Biochemistry, Food Science, and Minor Crops. CRC Press. Boca Raton. Florida. USA.
- Wi, S.H., K.H. Moon, E.Y. Song, I.C. Son, S.J. Oh, and Y.Y. Cho. 2017. Growth and fresh bulb weight model in harvest time of southern type garlic Var. 'Namdo' based on temperature. *Protected Hortic. Plant Factory*, 26:13-18.
- Xu, X., A.A.M. van Lammeren, E. Vermeer, and D. Vreugdenhil. 1998. The role of gibberellin, abscisic acid, and sucrose in the regulation of potato tuber formation in vitro. *Plant Physiol.* 117:575-584.
- Yamazaki, H., T. Nishijima, and M. Koshioka. 1995. Changes in abscisic acid content and water status in bulbs of *Allium wakegi* Araki throughout the year. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 64:589-598.
- Yamazaki, H., T. Nishijima, M. Koshioka, and H. Miura. 2002. Gibberellins do not act against abscisic acid in the regulation of bulb dormancy of *Allium wakegi* Araki. *Plant Growth Regul.* 36:223-229.
- Yamazaki, H., T. Nishijima, Y. Yamato, M. Hamano, K. Koshioka, and H. Miura. 1999. Involvement of abscisic acid (ABA) in bulb dormancy of *Allium wakegi* Araki II. A comparison between dormant and nondormant cultivars. *Plant Growth Regul.* 29:195-200.