

생육기 온도상승이 극조생 양파의 생육 및 구 비대에 미치는 영향

송은영^{1*} · 문경환¹ · 위승환¹ · 김천환¹ · 임찬규¹ · 오순자¹ · 손인창²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과
(2017년 7월 19일 접수; 2017년 10월 23일 수정; 2017년 10월 24일 수락)

Impact of Elevated Temperature in Growing Season on Growth and Bulb Development of Extremely Early-Maturing Onion (*Allium cepa* L. cv. Singsingball)

Eun Young Song^{1*}, Kyung Hwan Moon¹, Seung Hwan Wi¹, Chun Hwan Kim¹,
Chan Kyu Lim¹, Soonja Oh¹ and In Chang Son²

¹Research Institute of Climate Change and Agriculture, NIHHS, RDA, Jeju 63240, Korea

²Planning and Coordination Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Korea

(Received July 19, 2017; Revised October 23, 2017; Accepted October 24, 2017)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the impact of elevated temperature based on climate change scenario on growth and bulb quality of extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Singsingball) in the temperature gradient tunnels. There were treated with 3 groups, one is a control group (ambient temperature, mean temperature at 9.8°C), another ambient temperature +2°C (mean temperature at 12.0°C), and the other ambient temperature +5°C (mean temperature at 14.3°C). Compared with the control, plant height, neck diameter, leaf area, top fresh weight and dry weight were significantly increased at ambient +2°C temperature. Bulb diameter and bulb weight was highest at ambient +2°C temperature (mean temperature at 12.0°C) during the growth period. Bulb/neck diameter ratio, over 2.0 a good indicator of development of bulb, increased rapidly at ambient +2°C temperature. This result suggests that extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Singsingball) could maintain the higher productivity and bulb quality at ambient +2°C temperature. On the contrary, 5°C higher than atmospheric temperature shows negative effects on yields under a future climate change scenario.

Key words: Climate change scenarios, Growth temperature, Bulb quality, Onion

I. 서 론

기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서는 지구온난화로 인한 지구 평균기온은 지난 133년간(1880~2012

년) 0.85°C 상승하였고, 21세기 첫 10년이 가장 높았던 것으로 나타나 지구온난화가 현재에도 진행되고 있는 것으로 보고하였다(IPCC, 2013). 한반도 기후변화 시나리오에 의하면 20세기말(1971~2000)에 비해 2030년경에는 기온이 1.2°C 상승하고, 21세기말(2071~



* Corresponding Author : Eun Young Song
(eysong@korea.kr)

2100)에는 약 4°C 상승할 것으로 예측하고 있다(NIMR, 2011). Houghton *et al.*(1996)은 21세기말 작물은 현재보다 대기 중 CO₂ 농도는 2배, 기온은 2~5°C 높은 환경에서 생육할 것이며, 대기 중 CO₂ 농도의 증가와 기온 상승은 작물 생육에는 물론 궁극적으로는 작물 수량과 인류의 식량생산에 중대한 영향을 줄 것으로 예측하고 있다(Hansen *et al.*, 2000). 기후변화는 기온 상승, 강수량과 강수패턴의 변화, 해수면 상승과 같은 지구 물리적 시스템의 변화가 동반되며(Park *et al.*, 2016), 작물의 개화, 출수시기 변화 등 생리적 변화를 일으키고 작물의 품질변화, 재배적지를 이동시켜 큰 영향을 미칠 것으로 판단하고 있으며(FAO, 2004), 기온 상승은 작물에 따라 다르지만 대체적으로 농업생산에 부정적 영향을 미칠 것으로 예측하고 있다(Wolfe *et al.*, 2005). 우리나라는 지난 100년간 평균 기온이 겨울 1.9°C, 여름 0.3°C 상승하여 겨울이 짧아지고 여름이 길어지며 봄꽃 개화시기가 빨라진 것으로 보고 있으며, 이에 따라 농산물 재배적지의 변동, 병해충 피해 증가, 잡초 피해 증가, 생육기간 단축 및 조기 결실에 의한 농업생산성 저하 등의 현상이 발생하고 있다(Shin *et al.*, 2011).

양파(*Allium cepa* L.)는 세계적으로 중요한 양념채소로서 연중 수요량이 증가되고 있는 추세이며(Lim *et al.*, 2002), 국내 생산량이 1,294 천ton, 재배면적이 20,036 ha로 이중 전라남도도 전국 양파 재배면적의 50% 이상을 차지하고 있다(MAFRA, 2015). 양파 주산지인 남부지방으로 제한되는 것은 동절기 저온으로 인한 동사, 일장과 온도 변화가 원인이 되어 생산이 불안정하기 때문이다(Song *et al.*, 1987). 국내에서 재배되는 양파는 숙기에 따라서 조생종, 중만생종, 만생종으로 구분하며, 조생종은 월동기간이 온난한 제주도와 남부 해안지역에서 주로 재배되고, 중만생종과 만생종은 남부내륙과 중부지방에 주산지를 이루고 있다(Kim *et al.*, 2016). Lee *et al.*(2014)은 봄에서 초여름 사이에 전남지역의 온도가 급상승 및 급강하는 경우가 빈번하게 발생하여 양파의 수량과 품질에 문제가 발생할 우려가 많고, Choi *et al.*(2016)는 주로 노지에서 재배되기 때문에 기상변화에 예민하고, 이상기후 발생 시 예년에 비해 생산량 차이가 크며 지역별 편차도 크기 때문에 선제적인 수급량 조절을 위해 기후변화를 고려한 농작물 생산량 예측이 매우 중요하다고 하였다.

최근 기후변화에 의한 식물의 반응을 파악하기 위하여 작물의 재배적지 변화, 수확량 변동예측 모형 개

발 등에 관한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 그리고, 폐쇄형 챔버(closed chamber) 또는 반폐쇄형 챔버(open-top chamber) 등을 이용하여 변화된 온도 또는 CO₂ 농도 하에서의 작물의 성장과 발달, 수확량 변화 등에 관한 연구들도 진행되고 있다(Hadley *et al.*, 1995; Porter and Semenov, 2005). 그러나 이러한 시스템은 광량 등의 미세 기후를 실제 대기조건과 유사하게 만들기에는 다소 어려움이 있다. 반면에 온도구배터널(temperature gradient tunnel system)은 온도를 제외한 다른 환경인자(광량, 대기 CO₂ 농도 등)를 자연상태와 유사하게 유지할 수 있도록 고안한 반폐쇄형 장치이다. 입구를 개방하여 외부 공기가 터널 내부로 유입되도록 하고, 후미부는 6개의 소형 환기팬을 설치하여 배기속도를 제어함으로써 공기 흡입구에서부터 후미부 쪽으로 연속적인 온도구배가 형성되도록 설계되어 고온에 대한 작물의 반응을 연구하는데 유용한 시스템이다(Oh *et al.*, 2014).

따라서 본 연구에서는 우리나라 대표적인 노지 월동채소인 극조생 양파를 온도구배터널에서 재배하면서 생육기 기온상승이 극조생 양파의 생육 및 구비대 특성을 파악하고, 향후 온난화 기후 하에서 양파의 안정생산 및 품질향상을 위한 대응방안을 마련하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소 내 온도상승 처리가 가능하고 자연광을 이용할 수 있는 온도구배터널을 이용하여 수행하였다. 실험재료는 극조생종 양파인 싱싱볼(*Allium cepa* L. cv. Singsingball)을 사용하였고, 양파 종자는 2016년 9월 2일에 원예용 상토를 채운 406구 육묘용 플러그 트레이에 1립씩 파종하여 20±1°C(주간)/15±1°C(야간)의 조건으로 육묘하였다. 파종 45일 후인 10월 18일경 본엽이 2~3매 나온 균일하게 자란 개체를 선발하여 온난화대응농업연구소내 온도구배터널에 정식하여 수행하였다(Fig. 1). 재식거리는 16×12cm로 정식하였고, 정식 전 10a당 퇴비 3,000kg과 석회 120kg을 전량 기비로 주었으며, 질소-인산-칼리(24-7.7-15.4kg/10a)의 60%(인산은 전량)는 기비로 사용하였고, 질소와 칼리의 나머지 40%를 2회 나누어서 추비로 공급하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준영농재배법에 준하여 관리하였다.

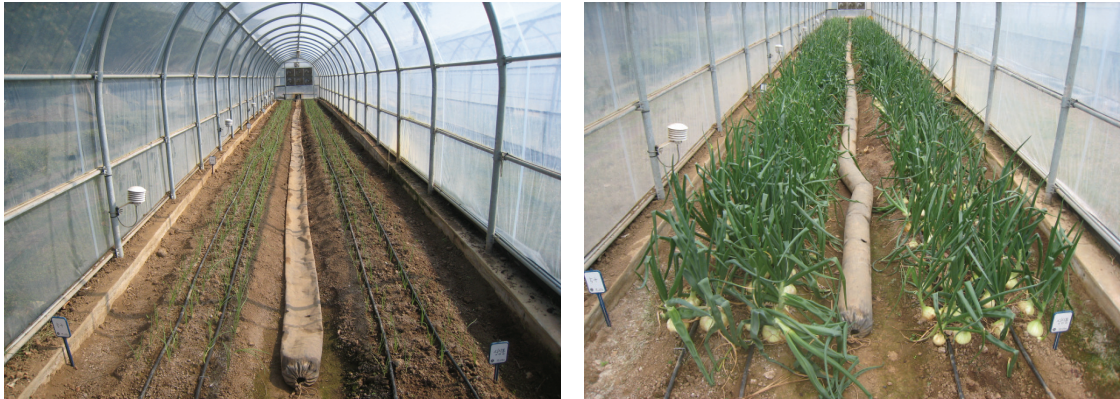


Fig. 1. Photographs of temperature gradient tunnel (TGT) where the extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Singsingball) grown.

온도구배터널 내부의 온도는 터널의 입구, 중앙부, 후미부에서 지상부로부터 2.5m 높이에 설치한 온도센서(1400-101, LI-COR Inc., Lincoln, USA)를 이용하여 측정하였다. 시험기간 동안 대기온도를 유지하는 터널 입구에 비해 중앙부, 후미부에서는 온도가 각각 2°C와 5°C 더 높게 유지되도록 복합환경제어시스템(TGC-Soldan, Soldan Crop., Korea)을 이용하여 제어하였다. 재배기간 동안의 온도는 데이터로거(CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, USA)에 연결하여 1시간 간격으로 기록하였다. 양파에 대한 온도의 영향을 분석하기 위하여 생육도일(growing degree day, GDD)을 조사하였는데, GDD는 생육기 일 최고온도와 일 최저온도의 평균에서 생육의 최저 한계온도인 기준 온도(5°C)를 빼준 온도를 누적하여 계산하였고, GDD값이 음수가 될 경우 0으로 계산하여 누적하였다. 일사량은 지상부로부터 2.5m 높이에 설치한 광센서(LI200X, LI-COR Inc., USA)를 이용해 측정하고 일일적산일사량으로 나타내었다.

양파 생육조사는 정식 후 6개월 동안 2016년 11월 17일, 12월 19일, 2017년 1월 17일, 2월 14일, 3월 14일, 4월 10일까지 총 6차례에 걸쳐 실시하였다. 조사 방법은 시험구에서 처리구별 6주씩 뽑아서 초장, 엽초경, 엽수, 총엽면적(엽면적 측정기, LI-3100, LI-COR, USA), 지상부 생체중, 지상부 건물중 등을 조사하였다. 엽수는 노화된 잎을 제외하고 육안상으로 관찰되는 잎의 개수를 조사하였다.

양파의 구특성 조사는 정식 후 3개월부터 6개월 동안 2017년 1월 17일, 2월 14일, 3월 2일, 3월 14일, 3월 24일, 4월 10일까지 총 6차례 채취하여 구경, 구

중, 구건물중, 구 비대지수를 조사하였다.

조사된 자료의 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였으며, duncan의 다중검정($P < 0.05$)으로 평균치간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

극조생 양파 ‘싱싱볼’의 주 생육기인 2016년 10월 18일부터 2017년 4월 10일까지 온도구배터널 내부의 일평균 대기온도는 터널 입구의 일평균 대기온도가 9.8°C(일최저평균 5.7°C, 일최고평균 14.3°C), 터널의 중앙부에서는 일평균 대기온도 12.0°C(일최저평균 8.0°C, 일최고평균 16.5°C), 후미부에서는 일평균 대기온도 14.3°C(일최저평균 10.5°C, 일최고평균 18.3°C)로 터널입구에 비해 각각 2.2, 4.5°C가 높았다. 온도구배터널 내부의 일평균 대기온도는 터널 입구의 대기온도를 기준으로 중앙부, 후미부의 온도가 주야를 통하여 약 2°C, 5°C가 높게 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2A).

양파 정식일 기준으로 수확 때(4월 10일)까지 생육도일(GDD)를 조사한 결과 터널 입구에서는 944.5°C, 터널 중앙부에서는 1302.7°C, 후미부에서는 1663.1°C로 터널 입구에 비해 각각 358.2°C와 718.6°C가 높았다(Fig. 2B). 양파의 생육기간 동안 온도구배터널 내부의 평균 일일적산일사량은 2,127 $W \cdot m^2$ 으로 측정되었고, 정식일부터 2월 28일까지 평균 일일적산일사량은 1,847 $W \cdot m^2$ 였고, 본격적인 구 비대기인 3월 1일부터 4월 10일까지 평균 일일적산일사량은 3,044 $W \cdot m^2$ 로

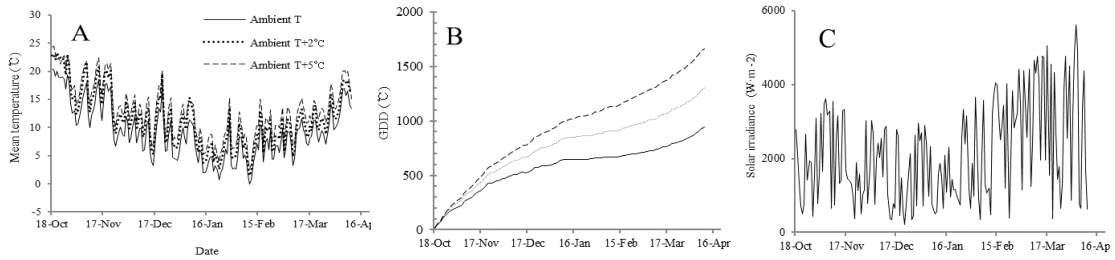


Fig. 2. Changes in daily mean air temperature (A), growing degree day (B) and daily mean solar irradiance (C) in the temperature gradient tunnel (TGT) where the extremely early-maturing onion grown. Solid line in (A) and (B) represents daily mean temperature and GDD in the entrance of the TGT, dot line represents ambient temperature +2°C in the middle part of the TGT and thick dot line represents ambient temperature +5°C in innermost part.

측정되었다(Fig. 2C).

양파 수확시기는 구 비대에 요구되는 해 길이와 온도에 따라 결정되는데 해 길이가 길지 않고 어느 정도 낮은 온도에서 구 비대되는 것을 조생종이라 하고, 그보다 긴 해 길이와 높은 온도에서 구 비대되는 것을 만생종으로 분류하고 있다. 제주 및 남부 해안지역에서는 극조생 또는 조생종 품종이 주로 이용되며, 조생종 양파의 구 비대 한계일장은 12~12.5시간, 극조생 양파인 경우 구 비대 한계일장은 11.5~12.0시간으로 알려져 있다(RDA, 2011). 또한, Huh *et al.*(2002)는 양파는 구 비대에 필요한 한계일장을 기준으로 단일형 양파와 중간형, 장일형 양파로 구분하며, 단일형 양파는 일장이 11~12시간 이상에서 구비대가 가능하며 주로 저위도지방에서 재배된다고 하였다.

본 실험의 경우 극조생 양파인 ‘싱싱볼’을 온도구배 터널내 자연일장 상태에서 재배하였는데 이 시기 일장

을 조사한 결과 10~1월까지의 11시간, 2월에는 12시간, 3~4월에는 13시간으로 조사되었고, 극조생 양파의 구 비대 한계일장에 부합되는 경향을 보였다(Fig. 3A). 이 시기에 월별 24시간동안 평균 일사량을 조사한 결과 10~1월까지의 일조시간이 짧아졌기 때문에 일사량 수치도 낮았는데 특히 1월의 일평균 일사량이 64.5 W·m⁻²로 가장 낮았고 2월부터는 점점 일평균 일사량이 증가되는 경향을 보였는데 일조시간이 13시간으로 길어지는 3월부터는 일평균 일사량이 127.4 W·m⁻²로 2배 이상 증가되었다(Fig. 3B).

생육기 온도상승에 따른 극조생 양파 ‘싱싱볼’의 수체 생육에 미치는 영향을 검토한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 양파를 정식 후 180일간 재배하였을 때, 대조구인 대기온도 조건구에 비해 대기온도 +2°C 고온조건에서 초장이 길게 신장하고, 엽초경도 두꺼워졌고, 총엽면적도 증가하였다. 초장은 대기온도 +2°C

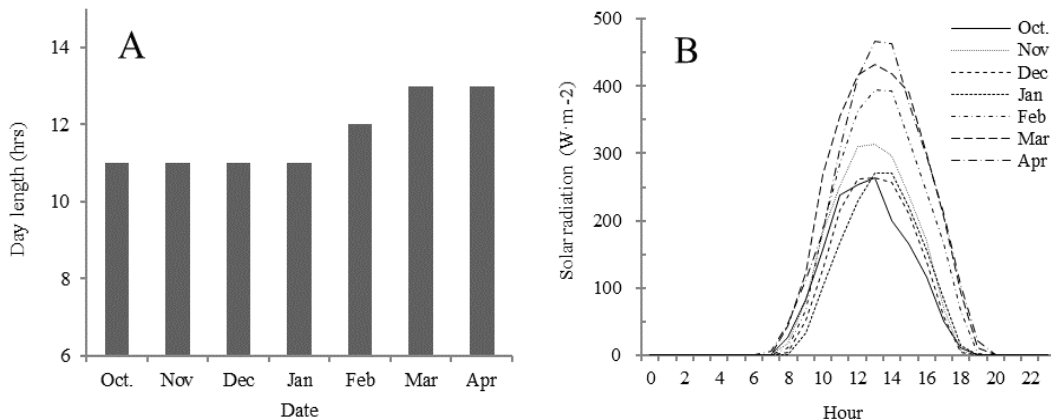


Fig. 3. Seasonal changes in day length (A) and solar radiation (B) in the temperature gradient tunnel (TGT) where the extremely early-maturing onion grown.

고온조건에서 자라는 양파가 98.7cm로 대조구인 대기 온도 조건의 79.0cm보다 신장생장이 좋았다(Fig. 4A). 엽초경도 대기온도에서 재배하였을 때 29.6mm인데 반해, 대기온도 +2°C 조건에서 재배하였을 때 30.5mm로 더 두꺼워지는 경향을 보였다(Fig. 4B).

양파의 초기 잎 발달에 있어서 중요한 시기인 정식 2개월 후(10월 18일~12월 19일) 터널 입구(대조구)의 일평균 온도가 13.2°C(일최저평균 9.7°C, 일최고평균 18.1°C)를 나타내었고, 터널 중앙부(대기온도 +2°C 고온조건)에서는 일평균 15.5°C(일최저평균 12.0°C, 일최고평균 20.6°C), 후미부(대기온도 +5°C 고온조건)에서는 일평균 17.6°C(일최저평균 14.3°C, 일최고평균 21.9°C)로 조사되었다. 양파는 저온에 비교적 강하나 고온에 약한 작물로 경엽 생육시 온도가 높을수록 생장이 빠르나 아울러 노화도 빠르며, 성장과 노화를 감안한 경엽의 생육에 적당한 온도는 17°C 전후라는 보

고가 있는데(RDA, 2011), 본 실험에서도 정식 후 120일까지 엽수 증가가 빨랐는데 대기온도 +5°C(일평균 17.6°C) 조건에서 10.8매로 가장 많이 증가하였고, 대기온도 +2°C(일평균 15.5°C) 조건의 9.0매, 대조구인 대기온도(일평균 13.2°C)의 7.5매에 비해 1.8매, 3.3매 더 많이 증가하였다(Fig. 4C).

식물체당 총엽면적은 생육 중후기에 해당하는 정식 후 4~5개월(2월 14일~3월 14일) 사이에 급속히 증가되는 경향을 보였는데 특히, 이 시기에 대기온도 +2°C(일평균 9.9°C) 조건에서 1,071.4 cm²/plant로 가장 많이 증가하였고, 이에 비해 생육온도가 높은 대기온도 +5°C(일평균 12.3°C) 조건에서는 971.1 cm²/plant로 9.4%나 줄어드는 경향을 보였고, 생육온도가 낮은 대조구(일평균 7.7°C)에서는 684.7 cm²/plant로 36%나 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4D). 양파 정식 후 대기온도 +5°C 고온조건에서는 초기에는 수체 생장은 빠르

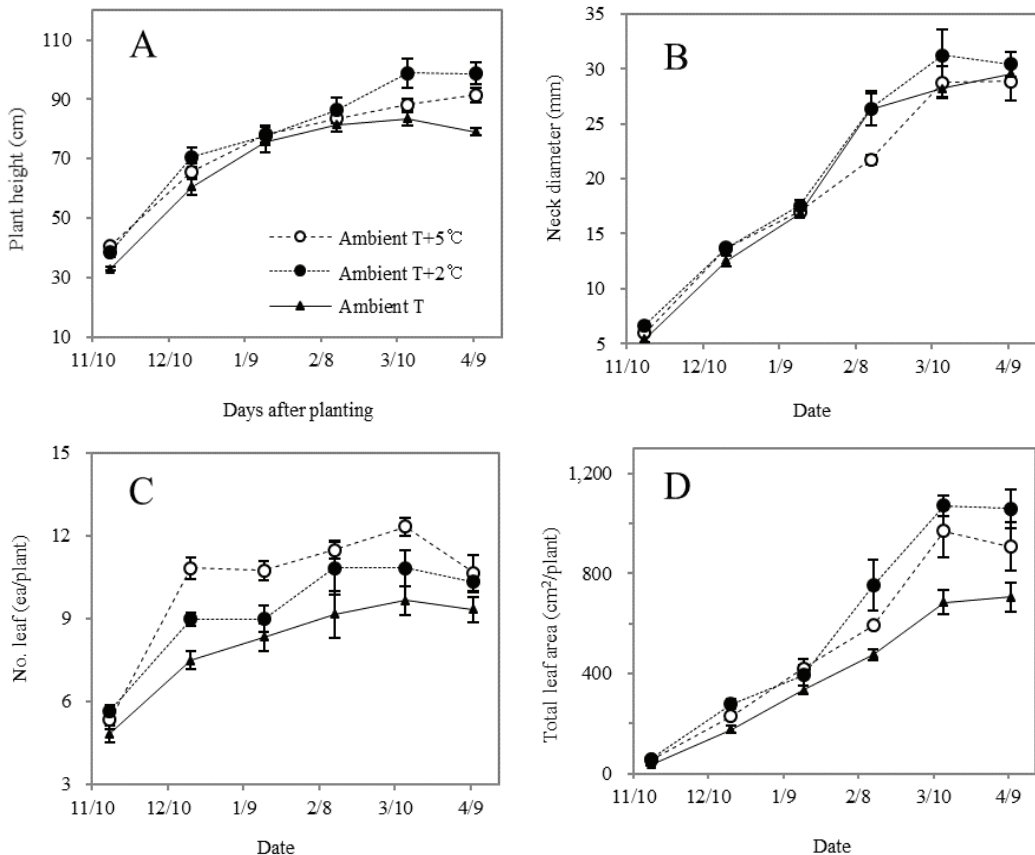


Fig. 4. Changes in plant height (A), neck diameter (B), leaf number (C), total leaf area (D) of the extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Sing싱ball) grown under different temperature in the temperature gradient tunnel.

게 진행되지만 아울러 노화도 빠르기 때문에 생육 중 후반에 갈수록 엽면적은 감소되는 것으로 판단된다.

극조생 양파 생육기 온도상승에 따른 주당 지상부 생체중 및 건물중을 조사한 결과(Fig. 5), 생육 초중기에 해당하는 정식 후 3개월(10월 18일~1월 17일)까지 주당 지상부 생체중은 대조구인 대기온도(일평균 11.5°C) 조건에서 62.0g에 비해 대기온도 +2°C(일평균 13.7°C) 조건에서 66.1g, 대기온도 +5°C(일평균 15.9°C) 조건에서 65.9g으로 약간씩 증가하는 경향을 보였고(Fig. 5A), 주당 지상부 건물중도 대조구인 대기온도 조건에서 4.4g에 비해 대기온도 +2°C 조건에서 4.9g, 대기온도 +5°C 조건에서 5.2g으로 약간 증가하는 경향을 보였으나 처리간 큰 차이는 보이지 않았다(Fig. 5B). 하지만, 생육 중후기에 해당하는 정식 후 4~5개월(2월 14일~3월 14일) 사이에 양파의 생식생장이 가장 빠르게 진행되었고, 지상부 생체중 및 건물중도 급속히 증가되는 경향을 보였다. 특히, 대기온도 +2°C(일평균 9.9°C)에서 238.1g/plant로 가장 많이 증가하였고, 이에 비해 생육온도가 높은 대기온도 +5°C(일평균 12.3°C) 조건에서는 209.8g/plant로 11.9%나 줄어드는 경향을 보였고, 생육온도가 낮은 대조구(일평균 7.7°C)에서는 177.1g/plant로 25.6%나 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5A). 이 시기에 주당 지상부 건물중도 대기온도 +2°C 조건에서 17.1g으로 가장 많았고, 이에 비해 대기온도 +5°C 조건에서는 15.5g로 9.4%나 적었고, 생육온도가 낮은 대조구에서는 12.2g로 28.7%나 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5B).

생육기 온도상승이 극조생 양파의 구 비대 특성을 조사하기 위하여 2017년 1월 17일, 2월 14일, 3월 2일,

3월 14일, 3월 28일, 4월 10일까지 총 6차례 수확하여 양파의 구경, 구중, 구건물중 및 구 비대지수를 조사한 결과(Fig. 6), 극조생 양파의 생육후기로 갈수록 구 크기는 커지는 경향을 보였고, 특히, 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도 +2°C 고온조건에서 구 크기가 더 커지는 경향을 보였다. 양파 생육기 온도상승에 따른 구 크기를 비교해 보면 양파 정식 후 4개월부터 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도 +2°C 조건에서 구경은 더 증가되는 경향을 보였는데 최종 수확기인 4월 10일에 조사한 결과 대기온도 +2°C 조건에서 구경은 101.5mm로 대조구인 대기온도 조건에서 83.4mm에 비해 18.1mm나 더 커지는 경향을 보였다(Fig. 6A). 구중 및 구 건물중도 양파 정식 후 4개월부터 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도 +2°C 조건에서 무거워지는 경향을 보였는데, 4월 10일에 최종 수확하여 조사한 결과 구중은 대기온도 +2°C 조건에서 405.6g로 대조구인 대기온도 조건에서 277.3g에 비해 2배나 더 무거워졌고(Fig. 6B), 마찬가지로 구 건물중도 대기온도 +2°C 조건에서는 30.6g으로 대조구인 대기온도 조건에서 22.9g에 비해 26%나 더 나갔다(Fig. 6C).

구 비대 조건이 계속 유지되어 구가 충분히 비대하게 되면 엽초경내에 동공이 발생하고 도복하게 되는데 이는 양파에 있어 성숙지표로 이용된다(Brewster, 1990). 구 비대 개시점은 Mondal *et al.*(1986)과 Steer(1980)이 수행한 것과 같이 엽초경과 구경이 비율이 1:2가 되는 시점으로 하고, 성숙기는 지상부가 약 50% 도복하였을 때로 하였고, Suh and Ryu(2002)도 양파의 구 비대지수(구경/엽초경)가 2.0 이상이 일

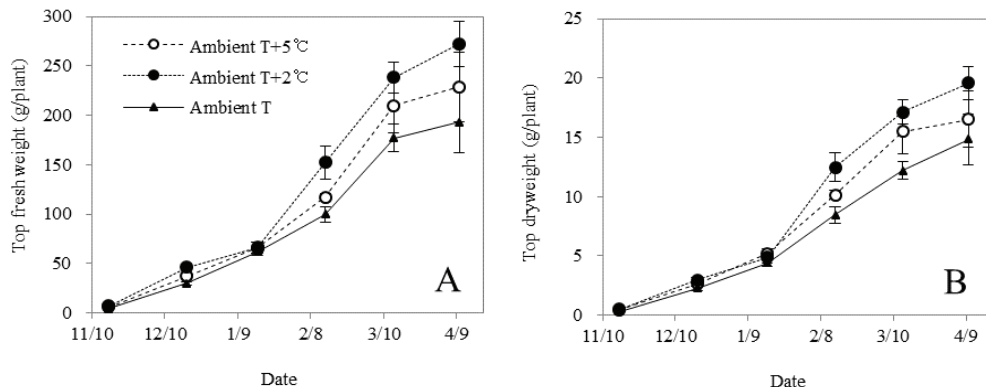


Fig. 5. Changes in top fresh weight (A) and top dry weight (B) of the extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Singingball) grown under different temperature in the temperature gradient tunnel.

때 구 비대 개시점으로 보았다. 본 실험에서는 3월 2일 조사하였을 때 대기온도 +2°C 고온조건에서는 구 비대지수가 2.0으로 타 처리에 비해 구 비대 시점이 가장 빠른 경향을 보인 반면 대조구인 대기온도 조건에서는 1.5, 대기온도 +5°C 고온조건에서는 1.9로 조사되었고, 그 이후 점차 구 비대지수는 증가하는 경향을 보였는데 최종 수확기인 4월 10일경 대기온도 +2°C 고온조건에서는 구 비대지수가 3.4로 가장 높았다(Fig. 6D).

양파는 일장뿐만 아니라 온도도 구 비대에 중요하게 관여하는데(Brewster, 1990), 한계일장 이상의 조건에서는 고온일수록 구비대가 빠르고, 또한 고온조건에서 구 비대를 요구하는 한계일장이 짧아지기도 한다(Steer, 1980). 국내 시판되는 양파 품종들은 11.5~16 시간의 한계 일장에 15~25°C 온도가 구 비대 적온으로 알려져 있다(Suh and Ryu, 1987; Hahn and Choi, 1987). 본 실험에서 구 비대기인 3~4월 상순(4월 10일)까지의 평균기온을 조사한 결과는 터널입구의 일평

균 대기온도가 10.5°C(일최저평균 4.7°C, 일최고평균 14.1°C)를 나타내었으며, 터널의 중앙부에서는 일평균 12.7°C(일최저평균 7.0°C, 일최고평균 15.9°C), 후미부에서는 일평균 15.1°C(일최저평균 9.6°C, 일최고평균 18.0°C)로 터널입구에 비해 각각 2.2, 4.6°C가 높았다. 양파의 구 비대 온도는 품종에 따라 차이가 있으며, 극조생 양파는 구 비대 한계 온도 12~13°C, 조생종은 구 비대 한계 온도는 14~15°C, 중만생종은 20°C 전후가 적당하며 온도가 높을수록 구 비대 성숙은 빠르나 구 크기는 작아지며, 25°C 이상의 고온에서는 생육이 둔해지고 고온이 계속되면 생육이 정지하고 휴면에 들어간다고 하였는데(RDA, 2011), 본 실험에서도 극조생 양파 ‘싱싱볼’의 경우 주 인경비대기에 속하는 봄철에 일평균 12.7°C 온도조건에서 구 비대 성숙이 빠르고 구 크기도 커지는 경향을 보였으나, 일평균 15.1°C 이상의 온도조건에서는 구 비대 성숙이 좀 늦어지고 구 크기도 작아지는 결과를 얻었다.

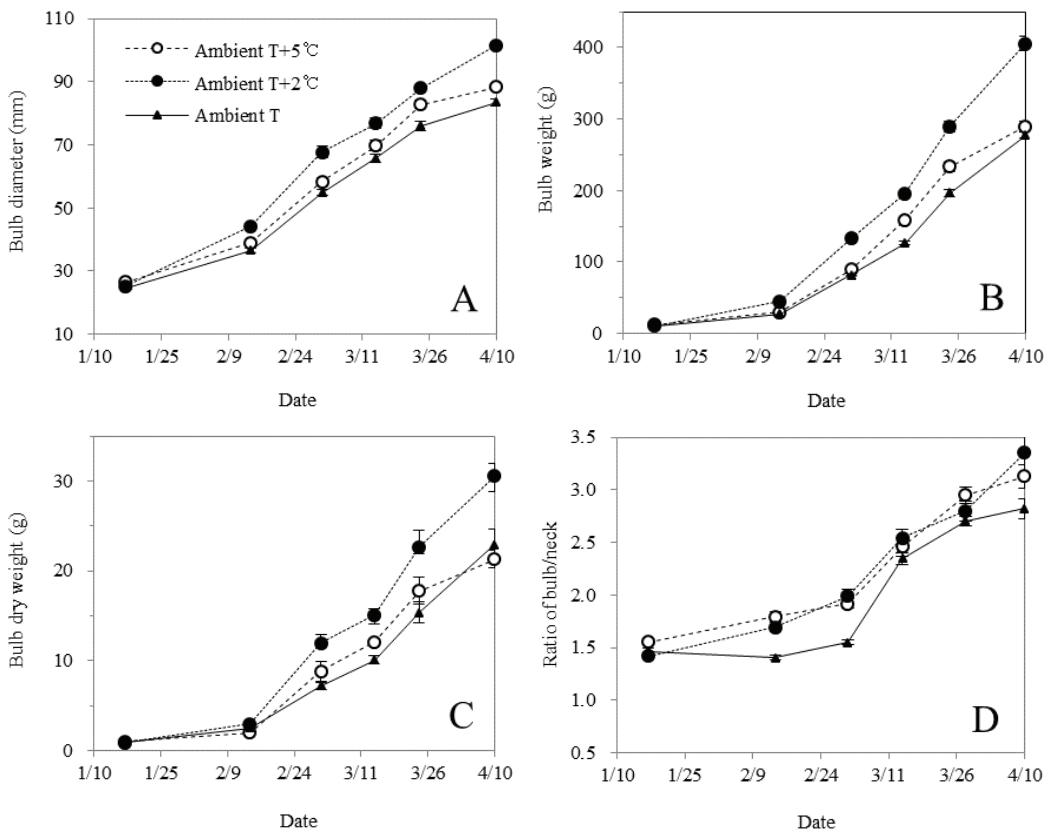


Fig. 6. Changes in bulb diameter, bulb weight, bulb dry weight and bulbing ratio of the extremely early-maturing onion (*Allium cepa* L. cv. Sing-singball) grown at different temperature in the temperature gradient tunnel.

Table 1. Bulb traits of the extremely early-maturing (*Allium cepa* L. cv. Singingball) harvested at 180 days after planting

	Bulb moisture Content (%)	Bulb height (mm)	Bulb Diameter (mm)	Bulb weight (g)	Dry bulb weight (g)
Ambient T	91.7 a ^z	83.2±5.7 b	83.4±4.4 b	277.3± 30.0 b	21.3± 2.6 b
Ambient T +2°C	92.4 a	90.6±8.6 a	101.5±2.2 a	405.6±43.7 a	30.6± 3.6 a
Ambient T +5°C	92.6 a	73.7±4.8 b	88.4±2.7 b	289.5±25.3 b	22.9± 4.6 b

^zThe data are represented as mean ± standard deviation (SD) of three replicates. The different letters in each column indicate significant differences among different temperature levels ($P < 0.05$).

극조생 양파 ‘싱싱볼’의 최적 수확기로 알려진 4월 상순(정식 후 180일)경 수확하여 구의 특징을 살펴보면, 구의 수분함량은 92-93%정도인 것으로 조사되었고 유의성은 나타나지 않았으며, 수량성에 직접적으로 영향을 주는 인자인 구의 크기(구고, 구경 및 구중)는 유의성($p < 0.05$)이 인정되었다(Table 1). 본 실험에서 극조생 양파를 가을철 9월 상순경 파종하고 45일 후 정식하여 4월 상순까지 약 6개월간 재배하였을 경우 대기온도 +2°C(일평균 12.0°C)조건에서는 생육이 원활히 진행되고 수량이 증가되고 및 품질도 유지되는 경향을 보였으나 대기온도 +5°C(일평균 14.5°C) 이상의 고온조건에서는 수량감소 및 품질 저하가 발생될 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 미래 기후변화 시나리오에 근거하여 예측되는 온도 상승조건에서 노지 월동채소인 극조생 양파 ‘싱싱볼’의 생육 및 구 비대에 미치는 영향을 확인하고자 온도구배터널에서 수행하였다. 처리구는 대조구인 대기온도(일평균 9.8°C) 조건, 온도상승구인 대기온도 +2°C(일평균 12.0°C)와 대기온도 +5°C(일평균 14.3°C) 조건 등 3수준으로 설정하였다. 생육기 온도 상승에 따른 양파의 생육을 조사한 결과, 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도 +2°C 고온조건에서 자라는 양파가 초장도 길었고, 엽초경도 두꺼워졌으며, 총엽면적, 지상부 생체중 및 지상부 건물중이 증가되었다. 양파의 구 특성을 조사한 결과, 구경이나 구중은 생육후기로 갈수록 커지는 경향을 보였고, 대조구에 비해 대기온도 +2°C 고온조건에서 구 크기가 더 커지는 경향을 보였다. 구 비대 개시점인 구 비대지수도 대기온도 +2°C 고온조건에서는 타 조건에 비해 가장 빠른 경향을 보였다. 이상의 결과로 보아 대기온도보

다 2°C 상승하였을 때 극조생 양파의 생육이 원활히 진행되고 수량이 증가되고 품질도 유지되겠지만, 대기온도보다 5°C 이상 고온조건에서는 수량이 감소될 것으로 예측된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ012033)의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Brewster, J. L., 1990: The influence of cultural and environmental factors on the time of maturity of bulb onion crops. *Acta Hort* **267**, 289-296.
- Choi S. C., and J. S. Baek, 2016: Onion yield estimation using spatial panel regression model. *The Korean Journal of Applied Statistics* **29**(5), 873-885. (in Korean with English abstract)
- FAO, 2004: Impact of climate change on agriculture in Asia and the Pacific. *Twenty-seventh FAO Regional Conference for Asia and the Pacific*. Beijing, China, 17-21.
- Hadley, P., G. R. Batts, R. H. Ellis, J. I. L. Morison, S. Pearson, and T. R. Wheeler, 1995: Temperature gradient chamber for research on global environment change. II. A twin-wall tunnel system for low-stature, field-grown crops using a split heat pump. *Plant, Cell & Environment* **18**, 1055-1063.
- Hahn, G. P., and S. K. Choi, 1987: Effects of planting time on the advance production of onion in the southern area of Korea. *Research Reports of Rural Development Administration(Horticulture)* **29**(2), 228-232. (in Korean with English abstract)
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, A. Lacis, and V. Oinas, 2000: Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario. *Proceedings National Academy*

- Sciences, USA* 97, 9875-9880.
- Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Katenberg, and K. Maskell, 1996: *Climate change 1995. The science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huh, E. J., K. S. Cho, Y. S. Kwon., and G. W. Jong, 2002: Effects of temperature and photoperiod on bulbing and maturity of spring sown onions in highland. *Korean Journal of Horticultural Science* 43(5), 587-590. (in Korean with English abstract)
- 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 Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kim, C. W., E. T. Lee, I. H. Choi, Y. S. Jang, S. K. Bae, and S. J. Suh, 2016: Early maturing male sterile line 'Wonye 30005' for hybrid seed production of onion (*Allium cepa* L.). *Korean Journal Breeding Science* 48(2), 168-172. (in Korean with English abstract)
- KREI, 2013: *Agricultural outlook*. Korea Rural Economic Institute. 403-411.
- Lim, C. S., T. H. Park, J. L. Cho, and S. M. Kang, 2002: Effect of daylength and temperature after bolting on flower curd and seed yield of early onion 'Samnamjosaeng'. *Korean Journal of Korean Society of Horticultural Science* 20(4), 306-308. (in Korean with English abstract)
- MAFRA, 2015: Statistics of vegetable product amount MAFRA Sejong Korea. 44.
- Mondal, M. F., J. L. Brewster, G. E. L. Morris, and H. A. Butler, 1986: Bulb development in onion. I. Effects of plant density and sowing date in field conditions. *Annals of Botany* 58, 187-195.
- NIMR, 2011: Climate change scenario report. National Institute of Meteorological Research. 79-99.
- Oh, Soonja., 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. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 32(3), 318-329. (in Korean with English abstract)
- Park, S. U., K. K. Ah, C. W. Seo, and W. S. Kong, 2016: Potential impact of climate change on distribution of hederia rhombea in the Korean peninsula. *Journal of Climate Change Research* 7(3), 325-334. (in Korean with English abstract)
- Poster, J.R., and M.A. Semenov, 2005: Crop response to climatic variation. *Philosophical Transactions B* 360, 2021-2035.
- RDA, 2011: *Agricultural Technology Guide: Onion*. Rural Development Administration. 12-35.
- Shin, J. W., and S. C. Yu, 2011: Impact of climate change on fungicide spraying for Anthracnose on hot pepper in Korea during 2011-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 13(1), 10-19. (in Korean with English abstract)
- Song, J. C. N. K. Park, K. D. Cho, I. W. Yoon, and P. J. Han, 1987: Studies on the storage of onions. *Research Reports of Rural Development Administration (Horticulture)* 29(2), 241-247. (in Korean with English abstract)
- Steer, B. T., 1980: The bulbing response to day-length and temperature of some Australasian cultivars of onion (*Allium cepa* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 31, 511-518.
- Suh, J. K., and W. S. Lee, 1987: Effects of seedling and transplanting dates on bulbing of spring crop onion in low land. *Research Reports of Rural Development Administration (Horticulture)* 29(2), 208-214. (in Korean with English abstract)
- Suh, J. K., and Y. W. Ryu, 2002: Short-period test of growth, bulbing, leaf-fall down and regrowth of onion (*Allium cepa* L.) under different daylength controlled by supplemental lighting. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 43(5), 591-595. (in Korean with English abstract)
- Wolfe, D. W., M. D. Schwartz, A. N. Lakso, Y. Otsuki, R. M. Pool, and N. J. Shaulis, 2005: Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology* 49, 303-309.