

## 폭염처리에 의한 감자의 수량성과 품질 변화

이규빈<sup>1</sup>, 최장규<sup>1</sup>, 박영은<sup>1</sup>, 정건호<sup>1</sup>, 권도희<sup>1</sup>, 조광룡<sup>1</sup>, 천충기<sup>1</sup>, 장동철<sup>2</sup>, 진용익<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소  
<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소  
(2022년 6월 3일 접수; 2022년 8월 26일 수정; 2022년 9월 6일 수락)

## Changes of Yield and Quality in Potato (*Solanum tuberosum* L.) by Heat Treatment

Gyu-Bin Lee<sup>1</sup>, Jang-Gyu Choi<sup>1</sup>, Young-Eun Park<sup>1</sup>, Gun-Ho Jung<sup>1</sup>, Do-Hee Kwon<sup>1</sup>,  
Kwang-Ryong Jo<sup>1</sup>, Chung-Gi Cheon<sup>1</sup>, Dong Chil Chang<sup>2</sup>, and Yong-Ik Jin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration,  
Pyeongchang 25342, Korea

<sup>2</sup>Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration,  
Muan 58545, Korea

(Received June 3, 2022; Revised August 26, 2022; Accepted September 6, 2022)

### ABSTRACT

Due to abnormal weather conditions caused by climate change, natural disasters and damages are gradually increasing around the world. Global climate change as accompanied by warming is projected to exert adverse impact on production of potato, which is known as cool season crop. Even though, role of potato as a food security crop is expected to increase in the future, the climate change impacts on potato and adaption strategies are not sufficiently established. Therefore, this study was conducted to analyze the damage pattern of potatoes due to high temperature treatment and to evaluate the response of cultivars. The high temperature treatment (35~38°C) induced heat stress by sealing the plastic house in midsummer (July), and the quantity and quality characteristics of potatoes were compared with the control group. Total yield, marketable yield (>80 g) and the number of tubers per plants decreased when heat treatment was performed, and statistical significance was evident. In the heat treatment, 'Jayoung' cultivar suffered a high heat damage with an 84% reduction in yield of >80 g compared to the control group. However, in Jopung cultivar, the decrease was relatively small at 26%. Tuber physiological disturbances (Secondary growth, Tuber cracking, Malformation) tended to increase in the heat stress. Under heat conditions, the tubers were elongated overall, which means that the marketability of potatoes was lowered. The tuber firmness and dry matter content tended to decrease significantly in the heat-treated group. Therefore, the yield and quality of tubers were damaged when growing potatoes in heat conditions. The cultivar with high heat adaptability was 'Jopung'. This result can be used as basic data for potato growers and breeding of heat-resistant cultivars.

**Key words:** Climate change, Cultivar, Firmness, Second growth, Tuber number



\* Corresponding Author : Yong-Ik Jin  
(pyoddae@korea.kr)

## I. 서 론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 세계에서 중요한 식량작물의 하나로서 지난 10년간 평균 생산량이 363MT으로 쌀, 밀 다음으로 생산량이 많은 작물이다(FAO, 2021). 전 세계에서 감자가 재배되는 면적은 1,650만 ha이고 2021년 생산량은 3억 5,900만 톤으로 매년 많은 양이 생산되고 있다(FAOSTAT, 2021). 또한 감자는 시장 가치가 점차적으로 높아지며 세계 빈곤 감소에 기여하고 있는 작물이다(Scott, 1985). 주로 아시아와 유럽을 중심으로 100개국 이상에서 재배되고 있다(FAOSTAT, 2021). 개발도상국은 전 세계 총 감자 생산량의 절반 이상을 책임지고 있으며(FAO, 2009), 대두와 함께 개발도상국이 세계 식량 안보에 기여하는 중요한 작물이다(Walker *et al.*, 2011). 2021년 국내에서 감자가 재배되는 면적은 2만 3,600ha이며 생산량은 55.3만 MT으로 쌀 다음으로 생산이 많이 되고 있는 중요한 작물이다(FAOSTAT, 2021).

기후변화로 인한 이상기온 현상으로 전 세계적으로 자연재해와 피해가 점차 증가하고 있다. 21세기 말까지 지구 일평균 기온은 1.0~3.7°C 상승할 것으로 예상되며(IPCC, 2013), 지구온난화는 열대 및 아열대 지역 뿐만 아니라 온대 지역의 농업에도 심각한 문제가 되고 있다(Teixeira *et al.*, 2013). 한편, 한반도는 온난화 전망에 따라 폭염일수와 같은 고온 관련 극한지수의 증가가 전망되는데, RCP6.0 시나리오에 따르면 한반도의 폭염일수는 지속적으로 증가하여 21세기 전반기에 8.7일, 중반기에 11.4일, 후반기에는 17.2일에 이를 것으로 전망된다(KMA, 2017).

온도는 작물 수확량에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중 하나이며 고온 스트레스는 세계 여러 지역에서 농업 문제로 다뤄지고 있다(Birch *et al.*, 2012). 일반적으로 주위보다 5~10°C 높은 온도의 일시적인 상승은 고온 스트레스로 간주된다(Wahid *et al.*, 2007). 고온 스트레스는 발아율 감소, 유묘 성장 불량, 모종 활력 저하, 불임성 증가를 포함하여 식물의 성장과 생산성에 심각한 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Hasanuzzaman *et al.*, 2013). 온도 스트레스에 대한 식물의 반응은 지속 시간, 강도, 발생 기간(낮 또는 밤), 온도 변화 속도 및 발달 단계에 따라 다르게 나타난다(Shad *et al.*, 2018).

남아메리카 안데스가 원산지인 감자는 저온성 기후에 적응성이 높은 작물로서 온난화가 가속화되는 기후

변화 환경에서 고온에 의한 스트레스로 인해 생육에 피해가 클 것으로 예상된다. 기온 상승으로 인해 2040년에서 2069년 사이에 잠재적 감자 수확량이 전 세계적으로 18~32% 감소할 것으로 추정된다(Chaves *et al.*, 2003). 전 세계 식량안보를 책임지는 감자를 지속적으로 안정 생산하는 것이 중요하기 때문에 온난화 환경하에서 감자를 안정적으로 생산할 수 있는 대응책을 마련하는 것이 시급하다.

감자의 괴경 형성을 촉진하는 환경 및 생리학적 요인에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔다(Hawkes, 1992). 일반적으로 온도는 감자의 성장과 높은 생산성 확보에 가장 중요한 요소이다(Smith, 1968). 감자의 지상부와 지하부인 덩이줄기의 성장에 대한 최적 조건은 다르다(Van Dam *et al.*, 1996). 지상부의 생육에 적합한 온도는 20~25°C이며, 덩이줄기 형성 및 덩이줄기의 최적 성장 범위는 15~20°C인 것으로 알려져 있다(Marinus and Bodlaender, 1975). 낮의 길이가 짧고 온도가 낮으면 덩이줄기 형성이 시작되고 덩이줄기 수가 증가한다. 그러나 감자 재배 시 생육 적온보다 높은 고온에서 감자의 생리적, 생화학적 변화를 일으켜 생산성이 감소된다고 보고된 바 있다(Paul *et al.*, 2014).

우리나라의 봄감자 재배에서 수확량과 괴경 품질을 저하시키는 요인은 생육초기의 저온 조건과 지하부에서 괴경이 한창 성장하는 시기인 괴경비대기의 고온 조건이다(Choi *et al.*, 2014). 고온하에서 감자를 안정적으로 생산하기 위해 우리나라에서 재배되고 있는 감자 품종을 대상으로 고온에서 생산성과 품질이 어떻게 변화하는지를 구명한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 최근 가속화되고 있는 고온현상이 수미 등 우리나라에서 재배되고 있는 주요 감자 품종에 대해 생산성과 품질에 어떠한 영향을 미치는지 구명하여 고온 하에서 감자를 안정적으로 재배할 수 있는 기술을 개발하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료 및 재배조건

본 연구는 2020년부터 2021년까지 2년 동안 강릉시에 위치한 국립식량과학원 고령지농업연구소(Highland Agriculture Research Institute, RDA)의 사천포장(37° 77'N, 128° 94'E)에서 수행되었다. 감자 재배 및 시험구 처리를 위해 비닐하우스 2동을 이용하였는데, 그 규격은 일반 농가에서 많이 이용하는 크기로 길이, 폭, 높이

가 각각 50m, 6m, 5m 였다. 시험 품종은 숙기에 따라 조생종인 ‘수미’(Rieman, 1962), ‘조풍’(Kim et al., 1990), 중생종인 ‘하령’(Park et al., 2006), ‘서홍’(Park et al., 2007), 만생종인 ‘자영’(Park et al., 2009)을 이용하였다. 시험에 이용된 각 품종의 생리적 서령을 균일하게 하기 위하여 각 시험연도의 전년도에 고령지농업연구소의 대관령 망실 포장에서 생산된 기본식물을 씨감자로 이용하였다. 씨감자는 저온저장고에서 출고한 뒤 적정 온도(15~18°C)와 습도(80~90%)를 유지한 그늘에서 25일간 싹을 틔웠다. 맹아가 5~10 mm 가량 출현하였을 때 씨감자 절편 1개의 무게가 30~40g 내외가 되도록 절단하고 절단면을 잘 아물게 한 후 파종에 사용하였다.

파종일자는 각각 2020년 4월 8일, 2021년 4월 7일 이었으며, 수확일자는 폭염처리가 끝난 후인 2020년 7월 29일, 2021년 7월 28일이었다. 폭염처리는 주간(07:00~19:00)에 감자가 자라고 있는 비닐하우스를 밀폐하여 감자의 재배온도 범위가 35~37°C의 환경에 처해지도록 한 것을 말한다. 폭염처리한 시기는 감자의 괴경비대가 가속화되는 시기인 7월 상순에 괴경의 비대가 고온에 의한 피해를 받도록 유도하였다. 수행 연도별 폭염 처리기간은 2020년 7월 6일부터 17일, 2021년 7월 5일부터 16일이었다. 대조구는 폭염처리구와 같은 기간 동안 비닐하우스를 밀폐하지 않고 창을 모두 개방하고 앞과 뒤 출입구 상단에 설치된 팬을 이용해 환기를 하여 주간의 평균 온도가 폭염처리구보다 낮은 29~30°C 내외의 범위로 유지하였다(Fig. 1). 온도처리 이외의 모든 재배관리는 농촌진흥청 감자 표준재배법에 준하여 수행하였다(RDA, 2018).

## 2.2. 괴경 수량 및 품질 특성 조사

수확은 파종 후 100일 경 하였고, 수확 후에 괴경수(개/주), 괴경수량(톤/ha), 비중, 생리장해(열개, 기형, 이차생장, 내부갈색반점), 장폭비, 경도(N), 건물물(%), 괴경 무기양분(N, C, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe) 함량을 감자연구조사분석기준(RDA, 2016)에 의해 조사하였다.

주당 괴경수는 식물체 10주의 괴경을 3반복으로 실험용 전자저울(AX2202KR/E, OHAUS Cor., USA)로 무게를 측정하여 주당 평균값을 산출하였다. 괴경 수량은 주당 생산된 괴경의 수를 활용하여 면적(ha)당 총 수확량을 산출하였다. 또한 상서수량을 알아보기 위해 총수량 중 80g 이상의 상품성 있는 건전한 괴경의 무게를 계산하여 표시하였다.

괴경의 비중(Specific gravity)은 최종 수확 시 Kleinkopf et al.(1987)의 방법을 준용하여 공기중 괴경무게를 측정 후 수중에서 무게를 측정하여 다음의 식으로 계산하였다. “비중 = 공기중 무게 / (공기중 무게 - 수중 무게)”. 괴경의 특이적인 생리반응 및 품질 변화를 확인하기 위하여 이차생장(Secondary growth), 열개(Cracking), 기형(Malformation), 내부갈색반점(Internal brown spot) 등 생리장해 발생 양상을 조사하여 총 괴경무게 중 생리장해 괴경을 비율로 계산하여 표시하였다(Stevenson et al., 2001). 이차생장은 괴경에서 싹이 나거나(Heat sprouts), 그 싹에서 다시 괴경이 달리는 증상(Tuber chaining) 및 작은 괴경이 연속해서 달리는 증상(Secondary tuberization) 보이는 것을 조사하였다. 열개는 괴경의 세로축을 따라서 표면조직이 수확 전부터 얇게 또는 깊게 갈라져있는 ‘생장열개’ 증상만을 조사하였고, 수확 후 충격에 의해 발생하는 손톱자국 모양의 열개(Thumbnail crack) 및 터짐 형태의 열개(Surface crack)는 제외하였다. 기형은 이차생

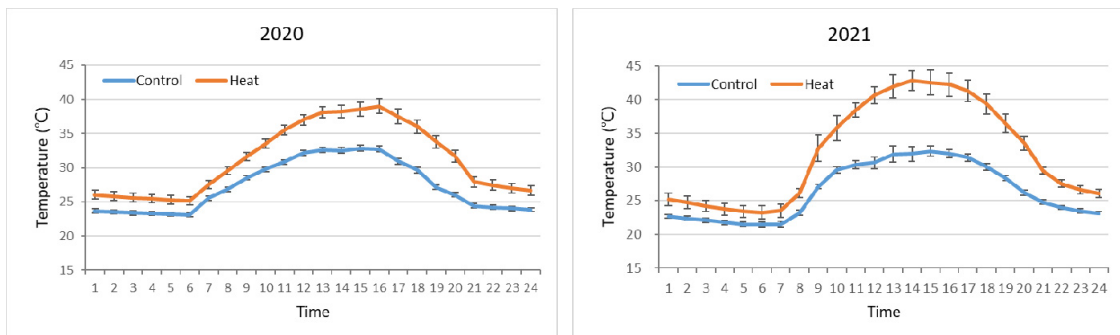


Fig. 1. Changes in diurnal air temperature inside the greenhouse during heatwave treatment in 2020~2021.

장을 제외한 괴경의 모양이 삼각형 또는 길쭉한 모양 등으로 일반적으로 둥근 모양이 아닌 것을 조사하였다. 내부갈변 증상은 감자를 잘랐을 때 육질부에서 특이적으로 관찰되는 작고 둥글거나 불규칙적인 형태의 적갈색 또는 녹슨 모양의 반점이 생긴 내부갈색반점을 조사하였다.

폭염에 의해 감자 고유의 둥근 형태가 비정상적으로 변하는지 살펴보기 위하여 감자 괴경의 형태적인 특성, 즉 길이와 폭의 비율인 장폭비(The ratio of length and width, L/W)를 Vernier calipers (CD-15CP, Mitutoyo Co., Japan)로 측정하여 비교하였다. L값은 괴경의 길이로서 기부(Basal part)부터 정부(Apical part)까지의 축을 따라 측정하였으며, W값은 괴경의 직경으로서 기부와 정부를 잇는 축의 직각 방향으로 측정하였다. 폭염 후 괴경의 질감 변화를 조사하기 위해 경도(Firmness)를 조사하였는데, 괴경의 경도는 물성분석기(Model Z0.5TS, Zwick Roell Ltd., Germany)에 1.5 mm probe를 장착하여 박피한 괴경의 동일한 부위에 5mm 깊이로 측정하였으며, force (N) 단위로 표시하였다.

건물물(%)은 열풍건조기(Vision scientific. Co. Ltd, Korea)를 이용하여 80°C에서 72시간 이상 건조하여 수분히 완전히 제거된 무게(건물중)를 측정 후 건조 전 무게인 생체중으로 나누어 산출하였다. 괴경에 함유된 질소 등 무기성분은 토양화학분석법(NIAST, 2000)의 식물체 분석법에 준하여 분석하였다. 분석항목은 총 질소(T-N), 총 탄소(T-C), 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 철(Fe)이었다. T-N은 Kjeldahl법으로, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 및 Na<sup>+</sup>은 유도결합질량분석기(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co., Norwalk, CT, USA)를 이용하여 분석하였다.

### 2.3. 통계분석

본 실험은 난괴법으로 배치하였고, 처리구 및 대조구 각각 3반복으로 수행되었다. 처리에는 5개의 품종이 포함되어 있다. 통계 분석은 SPSS v25(Statistical Package for Social Science, IBM, USA) 및 MS Excel (Microsoft, USA) 프로그램을 사용하여 수행되었다. 기상 및 토양 데이터는 평균값에 대한 표준편차를 표시하였고, 조사항목의 처리 간 유의성 분석은 이원분산 분석으로 평가하였다(P<0.05).

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 재배토양 및 하우스 내 온도 특성

2020~2021년 수행된 시험토양의 토성과 이화학적 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 토성은 사양토(sandy loam soil)와 양질사토(loamy sand)로 모래가 50~80% 비율을 지닌 배수성이 좋은 사토에 속하였다. RDA (2017)에 따르면 감자 재배에 적합한 이화학적 조건은 pH가 5.5~7.0이고, 유기물(Organic matter)은 20~30 g kg<sup>-1</sup>, 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 250~350 mg kg<sup>-1</sup>, 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 각각 0.5~0.6 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>, 4.5~5.5 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>, 1.5~2.0 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>였다. 처리별 토양의 pH는 7.0~7.5로 감자 재배기준보다 0.5 높았다. EC와 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 2021년의 토양이 2020년에 비해 함량이 1.5배 이상 높았는데, 이는 비닐하우스 내 시험이 연차간 지속됨에 따라 무기염류가 토양 중에 남아 축적된 것으로 판단된다. 유기물 함량(Organic matter)은 18~34.1 g kg<sup>-1</sup>의 범위로 감자 재배에 적합하였다. 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 함량은 감자 재배 기준에 비해 약 1.5배 높았으며, 칼슘(Ca)은 1.6~2.4배 높은 약알칼리성 토양이었다.

**Table 1.** Soil texture and soil chemical properties of potato greenhouse field in 2020~2021

Year	Treatment	Soil texture	pH <sup>2</sup> (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	O.M <sup>3</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cations(cmol+ kg <sup>-1</sup> )		
							K	Ca	Mg
2020	Control	loamy sand	7.0±0.1	1.72±0.1	18.1±0.1	254±10	0.4±0.0	7.6±0.2	2.0±0.0
	Heatwave	sandy loam soil	7.4±0.0	2.47±0.1	34.1±0.1	238± 3	0.7±0.0	12.2±0.2	2.0±0.0
2021	Control	loamy sand	7.1±0.0	3.74±0.1	18.3±0.2	568±16	0.7±0.0	8.2±0.3	2.7±0.1
	Heatwave	sandy loam soil	7.5±0.0	4.45±0.1	28.0±0.3	555±11	1.2±0.0	13.4±0.1	2.6±0.0

<sup>2</sup>potato cultivation proper soil condition(RDA, 2017): pH 5.5~7.0, OM 20~30, Av.P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 250~350, K 0.5~0.6, Ca 4.5~5.5, Mg 1.5~2.0

<sup>3</sup>O.M: Organic Matter

시험 수행기간 동안 폭염처리에 의한 하우스 내 일 온도 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 2020년 대조구의 주간(7:00~19:00) 평균온도는 30°C이고 최고온도는 32°C이었다. 폭염구의 주간 평균온도는 35°C, 최고온도 38°C이었다. 2021년 대조구의 주간 평균온도는 29°C, 최고온도는 32°C이었으며, 폭염구의 주간 평균온도 37°C, 최고온도 42°C이었다. 폭염 처리에 따라 주간 평균온도와 최고온도는 5~6°C 차이를 나타내었다. 2020년보다 2021년이 최고온도가 4°C 더 높았으며 이와 같은 고온은 Paul et al.(2014)의 연구보고와 같이 괴경의 충분한 비대에 피해를 줄 것으로 예상되었다. 야간(20:00~06:00) 평균온도의 경우 대조구는 23.0~23.9°C, 폭염구는 26.1~26.7°C로 연차 간 차이가 적었다. 따라서 발생한 피해는 야간의 온도보다 주간에 상승한 기온에 의한 영향이 큰 것으로 해석된다.

3.2. 괴경 수량 특성

폭염처리에 따른 품종별 총 수량, 상서수량(>80g), 주당 괴경수, 비중을 조사한 결과는 Table 2에 나타내었다. 대조구에 비해 폭염처리의 총 수량, 상서수량 및

주당 괴경수는 감소하는 것으로 나타났다. 2020년보다 2021년에 감소세가 더 가파르게 나타났는데, 총 수량의 경우 2020년은 폭염구 62.4톤/ha에서 대조구 38.3톤으로 감소하였고, 2021년은 51.9톤에서 10.9톤으로 급격히 감소하였다. 연차간의 상서수량 및 주당 괴경수 또한 같은 경향으로 나타났다. 이는 2021년에 최고 온도가 42°C까지 올라가는 등의 고온의 환경에 처했기 때문으로 판단된다. 이는 온도가 5°C 상승할 때 앞에서 생산된 동화산물이 괴경에 제대로 전류되지 못하여 수확기의 평균 괴경중과 괴경 수량이 감소하였다고 발표한 Kim and Lee (2016)의 연구와 같은 경향이었다. 폭염처리 시 평균 총 수량은 57.2톤에서 24.6톤으로 57% 감소하였고, 상서수량은 47.1톤에서 15.0톤으로 68% 감소하였다. 조생종인 조풍, 수미 품종에서 감소율이 적었는데, 총 수량은 ‘수미’에서 45.2톤에서 24.2톤으로 47% 감소하였고, 상서수량은 ‘조풍’이 60톤에서 26.4톤으로 56% 감소하였다. 만생종인 자영 품종은 상서수량이 41.0톤에서 6.7톤으로 감소율이 84%로 높아 폭염처리에 의한 수량 감소 피해가 컸다. Paul et al.(2014)는 감자 재배 시 고온이 지속되면 감자의 생

Table 2. The number of tubers, yield, and specific gravity of 5 cultivars of potatoes according to heatwave treatment

Treatment	Cultivar	Tuber number (no/plant)			Tuber yield (ton/ha)						Specific gravity		
		2020	2021	Mean	Total			>80g			2020	2021	Mean
Control	Superior	6.6	4.9	5.8	50.1	40.2	45.2	38.6	31.6	35.1	1.060	1.054	1.057
	Jopung	6.8	4.5	5.7	76.9	57.0	67.0	67.6	52.4	60.0	1.052	1.052	1.052
	Haryeong	5.9	6.9	6.4	61.5	63.5	62.5	54.4	53.4	53.9	1.048	1.069	1.059
	Seohong	6.5	5.0	5.8	65.2	40.7	53.0	57.2	33.3	45.3	1.069	1.040	1.055
	Jayoung	8.8	9.5	9.2	58.1	58.2	58.2	41.9	40.1	41.0	1.063	1.055	1.059
	Mean	6.9	6.2	6.6	62.4	51.9	57.2	51.9	42.2	47.1	1.058	1.054	1.056
Heatwave	Superior	4.7	2.7	3.7	36.6	11.7	24.2	23.6	5.1	14.4	1.050	1.053	1.052
	Jopung	4.6	2.8	3.7	46.6	20.1	33.4	38.5	14.3	26.4	1.048	1.038	1.043
	Haryeong	3.7	2.4	3.1	40.3	14.7	27.5	32.8	8.2	20.5	1.045	1.072	1.059
	Seohong	3.9	1.3	2.6	30.8	5.3	18.1	11.6	2.5	7.1	1.047	1.046	1.047
	Jayoung	4.3	1.1	2.7	34.9	2.7	18.8	13.0	0.3	6.7	1.053	1.052	1.053
	Mean	4.2	2.1	3.2	38.3	10.9	24.6	23.9	6.1	15.0	1.048	1.052	1.050
Treatment (T)		*** <sup>2)</sup>	**	ns	***	**	ns	***	***	**	***	ns	***
Cultivar (C)		ns	ns	***	*	ns	***	***	ns	***	***	***	***
T × C		ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns	ns

<sup>2)</sup> ns,\*,\*\*,\*\*\* nonsignificant or significant at p<0.05,0.01, and 0.001, respectively

육 속도를 앞당겨서 전체 생육 주기를 단축시키기 때문에 괴경이 충분히 비대하는 기간이 부족하여 총 수량이 감소하게 된다고 설명하였다. 이처럼 조생종인 ‘수미’와 ‘조풍’은 중만생종에 비하여 괴경 형성 및 비대가 빠르게 이루어지므로 중·만생종에 비하여 폭염처리에 의한 수량 감소 피해가 적었던 것으로 해석된다. 주당 괴경수는 폭염처리 시 각 품종의 평균(Mean) 주당 괴경수는 6.6개로 대조구의 3.3개에 비해 52% 감소되었다. 품종별로 비교하면 조생종인 ‘조풍’, ‘수미’에서 폭염처리 시 주당 괴경수는 3.7개로 대조구 5.75개에 비해 36% 감소한 반면 ‘하령’, ‘서홍’은 5.8~6.4개에서 2.6~3.1개로 52~55%, ‘자영’은 9.2개에서 2.7개로 70% 감소하였다. 괴경 비중(Specific gravity) 또한 폭염처리에 의해 감소하였는데, 이는 감자의 생육 온도가 기존 온도에서 5°C 상승하면 비중이 감소하여 고품질 가공원료 생산에 방해가 된다고 발표한 Flavio and Cesar (2010)의 연구결과와 일치하였다.

Table 3은 폭염처리 시 괴경의 생리장해(이차생장·열개·기형·내부갈변) 발생 양상을 조사한 결과이다. 폭염처리를 했을 때 괴경에서 발생하는 생리장해가 전반적으로 증가하는 경향이였다. 자영 품종에서 폭염처

리 시 이차생장·열개·기형의 발생률 증가가 31.6%로 가장 높았으며, ‘조풍’은 발생률이 7.6% 증가하여 상대적으로 피해가 적었다. 이차생장(Second growth)의 경우 처리에 의한 통계적 유의성이 뚜렷하였는데, 폭염처리구의 이차생장 발생률(17.4%)은 대조구(3%)보다 14.4% 더 많이 발생하였다. 서홍 품종은 폭염구에서 이차생장 발생률이 26.1%로 대조구에 비해 발생률이 가장 높았다. Bodlaender *et al.*(1964)는 생육적 온보다 높은 온도는 괴경의 이차생장 발생을 유도하는 가장 큰 환경요인이라고 보고하였다. 열개 증상은 폭염구에서 전반적으로 발생률이 높은 경향이였다. Flavio and Cesar (2010)는 고온은 한 괴경에서 열개와 이차생장을 동시에 발생시키는 요인이라고 보고하였다. 폭염구에서 기형서 발생은 자영 품종이 15.4%로 가장 높았으며, 나머지 네 품종에서는 0.4% 이하로 발생이 미미하였다. 반면 괴경 내부 생리장해인 내부갈변 증상은 폭염처리 시 발생하지 않았다. 괴경 내부갈변 증상은 갈습 함량이 부족할 경우 장해가 많이 발생하는 것으로 알려져 있다(Olsen *et al.*, 1996). 따라서 내부갈변 발생 원인은 고온이 아닌 토양 내 칼슘함량과 관련이 높을 것으로 판단된다.

**Table 3.** Occurrence of tuber physiological disturbances (secondary growth, tuber cracking, malformation, and internal spot) in 5 cultivars of potatoes according to heatwave treatment

Treatment	Cultivar	Secondary growth (%)			Tuber cracking (%)			Malformation (%)			Internal brown spot (%)		
		2020	2021	Mean	2020	2021	Mean	2020	2021	Mean	2020	2021	Mean
Control	Superior	5.7	0.0	2.9	0.0	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Jopung	3.3	0.0	1.7	3.3	2.4	2.9	3.8	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
	Haryeong	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Seohong	5.3	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Jayoung	10.0	5.7	7.9	2.6	0.0	1.3	12.8	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0
	Mean	4.9	1.1	3.0	1.7	0.7	1.2	3.3	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
Heatwave	Superior	0.0	5.6	2.8	15.6	4.2	9.9	0.0	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0
	Jopung	14.9	10.6	12.8	0.0	2.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Haryeong	16.7	26.9	21.8	4.6	1.2	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Seohong	18.1	34.1	26.1	0.0	3.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Jayoung	25.7	20.9	23.3	16.3	0.7	8.5	30.8	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0
	Mean	15.1	19.6	17.4	7.3	2.4	4.9	6.2	0.1	3.2	0.0	0.0	0.0
Treatment (T)		** <sup>2)</sup>	***	ns	ns	ns	***	ns	ns	**	ns	ns	ns
Cultivar (C)		ns	**	ns	ns	ns	ns	***	ns	***	ns	ns	ns
T × C		ns	**	*	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns

<sup>2)</sup> ns, \*, \*\*, \*\*\* nonsignificant or significant at p<0.05, 0.01, and 0.001, respectively

### 3.3. 괴경 품질 특성

폭염처리에 따른 괴경의 품질 특성을 조사하기 위하여 괴경모양(장폭비, L/W), 경도 (Firmness, N), 건물질 (Dry matter content, %) 변화를 조사하였다(Table 4). 괴경의 장폭비는 처리와 품종간 모두 통계적 유의성이 인정되었으며 2020~2021년 폭염구의 평균 장폭비는 1.3으로 대조구의 1.18에 비해 높아졌다. 이는 괴경이 폭염 조건에서 생장할 때 모양이 길어지는 것을 나타낸다. 감자는 둥근 모양이 선호도가 높으므로 감자가 길어지면 상품성이 저하된다. 괴경 모양을 나타내는 장폭비는 ‘수미’에서 2020~2021년 평균 장폭비가 1.23에서 1.32로 7% 증가하였고, ‘하령’, ‘자영’은 1.16~1.17에서 1.30으로 11% 증가하여 ‘수미’에 비해 증가율이 높았다. 괴경의 경도와 건물질은 폭염처리를 받았을 때 유의하게 낮아지는 경향을 보였다. Kaaber *et al.*(2001)에 의하면 감자 괴경의 건물질이 낮아지면 경도는 감소한다고 하였는데, 이는 폭염처리 후 괴경의 경도와 건물질이 유의하게 낮아진 결과와 일치하는 경향이었다.

감자의 괴경 내 무기성분 함량 비율은 품종에 따라, 또는 재배 조건(온도 등)에 의해 영향을 받는다고 하였다(Van Es and Hartmans, 1981). 폭염처리에 따른 괴

경 내 무기양분 함량을 분석한 결과는 Table 5에 나타내었다. 폭염처리 시 괴경 내 인산( $P_2O_5$ ) 함량은 감소하였으나 N, K, Ca, Fe의 함량은 증가하였다. 이는 Kolbe *et al.*(1997)가 발표한 고온 환경에서 재배된 감자의 칼슘과 마그네슘 함량이 증가하고 인산 함량은 감소한다는 결과와 일치하는 경향이었다. 폭염처리에 의해 총 탄소(T-C) 함량은 증가되는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

감자 재배 시 폭염처리가 품종별 괴경의 수량 및 품질에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, 폭염 조건에서 괴경의 수량은 감소하고 생리장해 발생은 증가하였다. 조풍 품종은 상서수량 감소와 이차생장 등의 생리장해 발생률이 낮아서 다섯 품종 중 폭염 적응성이 높은 품종이라고 판단된다. 본 연구결과는 고온에 저항성 높은 감자의 활용을 원하는 재배자 및 육종가에게 육종 소재로의 활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 또한 이상고온이 지속되는 미래 기후 환경 하에서 향후 육성될 신품종의 괴경 수량 특성뿐 아니라 괴경 형성과 연관성이 깊은 지상부인 잎줄기의 폭염반응 연구를 진행하는 것이 기후변화 대응 감자의 안정생산을 위해 필요하다.

**Table 4.** Changes in tuber shape (L/W), firmness and dry matter content of 5 potato cultivars according to heatwave treatment

Treatment	Cultivar	Length/Width Ratio			Firmness (N)			Dry matter content (%)		
		2020	2021	Mean	2020	2021	Mean	2020	2021	Mean
Control	Superior	1.20	1.25	1.23	4.9	4.6	4.8	16.8	12.6	14.7
	Jopung	1.40	1.29	1.35	4.6	4.3	4.5	14.3	12.4	13.4
	Haryeong	1.22	1.11	1.17	5.4	5.5	5.5	15.0	19.5	17.3
	Seohong	1.01	0.99	1.00	5.0	5.3	5.2	20.3	11.5	15.9
	Jayoung	1.13	1.19	1.16	5.3	5.8	5.6	18.7	16.9	17.8
	Mean	1.19	1.17	1.18	5.0	5.1	5.1	17.0	14.6	15.8
Heatwave	Superior	1.38	1.26	1.32	2.8	2.9	2.9	14.5	9.2	11.9
	Jopung	1.53	1.45	1.49	2.2	2.1	2.2	13.2	10.3	11.8
	Haryeong	1.32	1.28	1.30	3.7	4.2	4.0	12.8	17.2	15.0
	Seohong	1.03	1.17	1.10	3.4	3.3	3.4	13.3	10.8	12.1
	Jayoung	1.28	1.31	1.30	3.8	3.6	3.7	17.1	11.8	14.5
	Mean	1.31	1.30	1.31	3.2	3.2	3.2	14.2	11.8	13.0
Treatment (T)		**	***	***	***	***	***	***	***	***
Cultivar (C)		***	***	***	***	***	***	***	***	***
T × C		ns	ns	ns	*	ns	ns	***	ns	*

<sup>2)</sup> ns,\*,\*\*,\*\*\* nonsignificant or significant at  $p < 0.05, 0.01, \text{ and } 0.001$ , respectively

**Table 5.** Analysis of tuber chemical properties of 5 potato cultivars according to heatwave treatment

Treatment	Cultivar	N	C	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe
		(% )		(g kg <sup>-1</sup> )				
Control	Superior	1.12	40.8	6.85	213	1.33	11.5	38.6
	Jopung	1.54	40.5	7.93	239	1.64	12.8	39.3
	Haryeong	0.82	41.0	5.23	189	1.58	9.1	32.8
	Seohong	1.27	40.6	7.41	237	3.26	12.2	34.6
	Jayoung	0.85	40.9	5.97	200	2.13	9.1	48.3
	Mean	1.19	40.8	6.86	216	1.95	10.9	36.3
Heat	Superior	1.88	40.9	5.44	198	1.83	10.9	49.6
	Jopung	2.35	41.1	6.94	238	2.28	12.0	46.6
	Haryeong	1.44	40.9	4.10	218	2.37	9.5	37.3
	Seohong	1.70	40.8	6.28	241	3.55	12.1	44.8
	Jayoung	1.47	40.9	5.40	207	3.19	9.7	40.1
	Mean	1.71	40.9	5.92	222	2.40	11.1	42.9
Treatment (T)		*	ns	**	*	**	ns	*
Cultivar (C)		*	ns	*	***	*	*	ns
T × C		**	ns	**	*	**	**	ns

<sup>2)</sup> ns, \*, \*\*, \*\*\* non significant or significant at p<0.05, 0.01, and 0.001, respectively

## 적 요

기후변화로 인한 이상기온 현상으로 전 세계적으로 자연재해와 피해가 점차 증가하고 있다. 이는 저온성 작물로 알려진 감자 생산에 악영향을 미칠 것으로 예상된다. 향후 식량안보작물로서의 감자의 역할은 증대될 것으로 예상되지만, 감자에 대한 기후변화의 영향과 대응책은 충분히 확립되어 있지 않다. 따라서 본 연구를 통해 폭염처리에 따른 감자의 피해 양상을 분석하고, 품종별 반응을 평가하여 이상고온 환경에 대응하는 감자의 안정 재배기술을 확립하고자 수행하였다. 폭염처리(35~37°C)는 한여름(7월) 비닐하우스를 밀폐하여 처리하였으며, 대조구와 비교하여 감자의 수량 및 품질 특성을 비교하였다. 폭염처리를 했을 때 총 수량과 상서수량 및 주당 괴경수는 감소하는 것으로 나타났다. 폭염처리 시 자영 품종은 대조구에 비해 상서수량(>80g)이 84% 감소하여 고온 피해가 컸으며, 조풍 품종은 36%로 감소폭이 적었다. 괴경 생리장해(이차생장, 열개, 기형)는 폭염구에서 전반적으로 증가하는 경향이였다. 열개 발생률이 가장 적은 품종은 ‘조풍’이었다. 폭염처리 하에서 괴경은 길어졌는데, 이는 감자의 상품성이 낮아지는 것을 의미한다. 괴경의 경

도와 건물률은 폭염 처리를 받았을 때 유의하게 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 폭염 조건에서 감자 재배 시 수량 감소와 품질 피해를 입으며, 폭염 적응성이 높은 품종은 ‘조풍’이었다. 이상의 연구 결과는 감자 재배 농가 및 내서성 품종 육종 등에 기초 자료로 사용될 수 있을 거라 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업(과제명: 온난화 적응 벼 재배시기 재설정 및 폭염 대응 콩, 감자 재배기술 개발, 과제번호: PJ01508303)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Birch, P. R. J., G. Bryan, B. Fenton, E. M. Gilroy, I. Hein, J. T. Jones, A. Prashar, M. A. Taylor, L. Torrance, and I. K. Toth, 2012: Crops that feed the world 8: Potato: Are the trends of increased global production sustainable? *Food Security* 4(4), 477-508.
- Bodlaender, K. B. A., C. Lugt, and J. Marinus,



- 1964: The induction of second-growth in potato tubers. *European Potato Journal* **7**(1), 57-71.
- Chaves M. M., J. P. Maroco, and J. S. Pereira, 2003: Understanding plant response to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* **30**(3), 239-264.
- Choi, S. J., A. S. Lee, S. J. Jeon, K. D. Kim, M. C. Seo, W. S. Jung, J. H. Maeng, and I. J. Kim, 2014: Estimating the yield of potato non-mulched using climatic elements. *Korean Journal of Crop Science* **59**(1), 89-96.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the united nations), 2021: <http://faostat.fao.org/>. Accessed in December 2021.
- FAOSTAT, 2021: Food and Agriculture Organization of the united nations (FAO). FAOSTAT Database.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the united nations), 2009: *New light on a hidden treasure*. FAO, Rome, 136pp.
- Flavio, R. G. B., and A. B. P. P. Cesar, 2010: Genetic gains for heat tolerance in potato in three cycles of recurrent selection. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* **11**, 133-140.
- FAO (Food and Agriculture Organization), "Potato World," 2008: <http://www.potato2008.org>
- Hawkes, J. G., 1992: *History of the potato*. In: *PM Harris (ed), The potato Crop: The Scientific Basis for Improvement, Ed 2. Chapman and Hall, London. pp 1-12.*
- Hasanuzzaman, M., K. Nahar, M. Alam, R. Roychowdhury, and M. Fujita, 2013: Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences* **14**(5), 9643-9684.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013: Summary for policymakers. In: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-30.
- Kaaber, L., E. Branthen, B. K. Martinsen, and I. Shomer, 2001: The effect of storage conditions on chemical content of raw potatoes and texture of cooked potatoes. *Potato Research* **22**, 153-163.
- Kim, K. S., H. J. Kim, and Y. I. Ham, 1990: A new early maturing and high yielding potato 'Jopung'. *Agricultural Experimental Research*, 50-54.
- Kim, Y. U., and B. W. Lee, 2016: Effect of high temperature, daylength, and reduced solar radiation on potato growth and yield. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(2), 74-87.
- Kleinkopf, G. E., D. T. Westermann, M. J. Wille, and G. D. Kleinshmidt, 1987: Specific gravity of russet burbank potatoes. *American Potato Journal* **64**(11), 579-587.
- Kolbe, H., and S. Stephan-Beckmann, 1997: Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). II. Tuber and whole plant. *Potato Research* **40**(2), 135-153.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2017: *Climate Change Prospect Report on the Korean Peninsula in Preparation for the New Climate System*. KMA, Daejeon, Korea, 54pp.
- Marinus, J., and K. B. A. Bodlaender, 1975: Response of some potato varieties to temperature, *Potato Research* **18**(2), 189-204.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology), 2000: *Methods of soil chemical analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Olsen, N. L., L. K. Hiller, and L. J. Mitzel, 1996: The dependence of internal brown spot development upon calcium fertility in potato tubers. *Potato Research* **39**, 165-178.
- Park, Y. E., J. H. Cho, H. M. Cho, K. Y. Ryu, J. Y. Yi, H. W. Suh, Y. K. An, H. K. Lim, H. S. Kim, and S. J. Choi, 2006: A new potato cultivar, "Haryeong" with resistance to late blight and good culinary taste of steamed potato. *Korean Journal of Breeding* **38**(3), 213-214.
- Park, Y. E., J. H. Cho, H. M. Cho, J. Y. Yi, H. W. Seo, Y. G. Lee, Y. K. Ahn, H. K. Lim, H. S. Kim, and S. J. Choi, 2007: A new red skinned potato cultivar, "Seohong" with resistance to common scab and high yield. *Korean Journal of Breeding Science* **39**(3), 341-342.
- Park, Y. E., J. H. Cho, H. M. Cho, J. Y. Yi, H. W. Suh, and M. G. Chung, 2009: A New Potato Cultivar "Jayoung", with High Concentration of Anthocyanin. *Korean Journal of Breeding* **41**(1), 51-55.
- Paul, S., N. Gogoi, B. Sarma, and B. Baroowa, 2014: Biochemical changes in potato under elevated temperature. *Indian Journal of Plant Physiology* **19**(1), 36-42.
- Rieman, G. H., 1962: Superior: A new white, medium-maturing, scab-resistant potato variety with high chipping quality. *American Potato Journal*

- 39(1), 19-28.
- RDA (Rural Development Administration of Korea), 2016: Standard research investigation and analysis for agricultural science and technology. RDA, Jeonju, Korea. 16-290.
- RDA (Rural Development Administration of Korea), 2017: Standard prescription of fertilizer usage for each crop. RDA, Jeonju, Korea, 52-55.
- RDA (Rural Development Administration of Korea), 2018: Standard potato growing practices. RDA, Jeonju, Korea, 31pp.
- Scott, G. J., 1985: Plants, people, and the conservation of biodiversity of potatoes in Peru. *Natureza & Conservacao* 9(1), 21-38.
- Smith, O., 1968: *Potatoes: production, storing, processing*. Avi Publishing Co Inc.
- Shad, F., Z. I. Muhammad, K. Abdul, D. Ihsanullah, S. Shad, A. Saled, N. Wajid, A. Muhammad, A. K. Imtiaz, W. Chao, W. Depen, and H. Jianliang, 2018: Consequence of high temperature under changing climate optima for rice pollen characteristics concepts and perspectives. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64(11), 1473-1488.
- Stevenson, M., M. Segui-Gomez, I. Lescohier, C. Di Scala, and G. McDonald-Smith, 2001: An overview of the injury 369 severity score and the new injury severity score. *Injury Prevention* 7, 10-13.
- Teixeira, E. I., G. Fischer, H. Van Velthuizen, C. Walter, and F. Ewert, 2013: Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. *Agricultural and Forest* 170, 206-215.
- Van Dam, J., P. L. Kooman, and P. C. Struik, 1996: Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, 39(1), 51-62.
- Van Es, A., and K. J. Hartmans, 1981: *Structure and chemical composition of the potato*. Storage of potatoes. Post-Harvest behaviour, store design, storage practice, handling. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands, 17-81.
- Walker, T., G. Thiele, V. Suarez, and C. Crissman, 2011: Hindsight and foresight about potato production and consumption. CIP Working Paper International Potato Center (CIP), Lima, Peru, 43pp.
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. R. Foolad, 2007: Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* 61(3), 199-223.