

## 고랭지 여름배추 주산지의 기온을 기준으로 한 수준별 온도가 배추 ‘춘광’의 생육 및 생리반응에 미치는 영향

손인창<sup>1</sup> · 문경환<sup>1</sup> · 송은영<sup>1</sup> · 오순자<sup>1\*</sup> · 서형호<sup>2</sup> · 문영일<sup>3</sup> · 양진영<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, <sup>2</sup>농촌진흥청 연구정책과,

<sup>3</sup>국립원예특작과학원 감귤시험장, <sup>4</sup>미국농무성 농업연구국

(2015년 9월 14일 접수; 2015년 9월 23일 수정; 2015년 9월 29일 수락)

## Effects of Differentiated Temperature Based on Growing Season Temperature on Growth and Physiological Response in Chinese Cabbage ‘Chunkwang’

In-Chang Son<sup>1</sup>, Kyung Hwan Moon<sup>1</sup>, Eun Young Song<sup>1</sup>, Soonja Oh<sup>1\*</sup>, Hyeongho Seo<sup>2</sup>,  
Young Eel Moon<sup>3</sup> and Jinyoung Yang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science,  
RDA, Jeju 690-150, Korea

<sup>2</sup>Research Policy Planning Division, RDA, Jeonju 560-500, Korea

<sup>3</sup>Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Jeju 699-943, Korea

<sup>4</sup>Crop System and Global Change Lab, Agricultural Research Service, USDA, Beltsville 20705, USA

(Received September 14, 2015; Revised September 23, 2015; Accepted September 29, 2015)

### ABSTRACT

Changes of the growth, quality and physiological response of Chinese cabbage cv ‘Chunkwang’ in response to five different temperature treatments based on climate change scenario were investigated during the growing season. The treatments consisted of normal year temperature -2.0°C (I), normal year temperature (II; Control group), normal year temperature +2.0°C (III), normal year temperature +4.0°C (IV), and normal year temperature +6.0°C (V). Regarding fresh weight, number of leaves, and leaf area were high in group IV, and V before the head formation stage, but it has decreased during the later growth period. Rate of frangibility symptom was the highest in group V as 85.7%, and it was decreased in group IV (64.3%), group III (28.6%), group II (14.3%), and group I (7.1%). Regarding photosynthetic rate, group III, IV, and V showed relatively high photosynthetic rate at 20 DAP but it was reduced dramatically during the later growth period. Transpiration and stomatal conductance showed the similar trend with the photosynthetic rate. When comparing the chlorophyll fluorescence reaction of each treatment group at 50 DAP,  $F_v/F_m$  in group I was highest as 8.04 among all treatment groups and the lowest in group IV as 7.15.

**Key words:** Biotic stress, Global warming, Head formation, Leafy vegetables, Photosynthetic rate

### I. 서 론

온도는 작물의 생육에 필수적인 환경요인 중 하나로,

온도에 따라 작물의 생육양상, 형태분화 및 생리적 반응이 크게 달라지기도 한다(Ahn and Vergara, 1969; Hosoi and Tamagata, 1973; Oh *et al.*, 2014). 또



\* Corresponding Author : Soonja Oh  
(osoonja@korea.kr)

한 적정 범위를 벗어난 온도 조건에서는 다양한 생리 장애와 병 발생의 원인이 되므로(Lim *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2002) 작물의 생산량에 결정적인 영향을 미치기도 한다. 최근 기후변화에 대한 정부간협의체(Intergovernmental panel on climate change; IPCC)는 인류의 온실가스 절감노력 여하에 따라 향후 100년 동안 인류가 직면할 수 있는 기후변화 시나리오를 발표하였다. 그 중 온실가스 감축 노력을 하지 않는다는 전제 하의 기후변화 시나리오(RCP 8.5)를 적용했을 때 21세기 말 기온은 현재보다 약 4.8~5.8°C가 상승할 것으로 전망되었다(IPCC, 2007). 이와 같은 기온 상승은 농업 분야에서 재배작물과 작형 및 재배 적지 등에 있어서 커다란 변화를 유발할 것으로 예상된다.

배추(*Brassica campestris* L.)는 김치의 주재료로 사용되고 있는 대표적인 채소작물 중 하나로 여러 작형을 통해 연중 재배되고 있다. 특히 고랭지 여름배추 작형은 2010년 기준으로 약 5000ha의 면적에서 재배되고 있어 전체 배추 재배면적의 약 10%에 불과하나(Eum *et al.*, 2013), 작황에 따라 가을배추 작형의 가격형성에 영향을 미칠 정도로 중요한 작형이다. 현재 고랭지 여름배추는 강원도 등 해발 600m 이상의 고랭지 지역에서 재배하고 있으나(Eum *et al.*, 2013), 미래에 지구온난화에 의해 기온이 상승하게 되면 생육 저하에 의한 생체중 감소 뿐 아니라, 배추의 고유특성인 결구 형성이 불량해지는 등 품질이 저하될 것으로(Kang *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2009) 예상된다. 또한 현재의 고랭지 여름배추 재배적지가 미래에는 급격히 감소하여 수급물량 확보에 어려움을 겪을 것으로 전망된다. 따라서 기온상승에 따른 배추의 생산량 및 품질 저하 문제에 적극적으로 대응하기 위하여 기후변화 시나리오에 근거한 온도조건을 구현·처리함으로써 생산량 및 품질의 변화 양상을 사전에 파악하는 생산영향 평가 연구가 필요하다.

온도처리가 배추의 생육에 미치는 영향을 규명한 연구는 어느 정도 보고되어 있으나, 대부분 특정 온도 범위에서의 생리적 반응을 규명한 연구가 주를 이루고 있으며(Moe and Guttormsen, 1985; Heide, 1970; Lee *et al.*, 2009), 지구온난화에 따른 온도조건을 구현하여 생산영향평가를 수행한 연구는 상당히 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 고랭지 여름배추 주산지의 기온 자료를 바탕으로 온도, 광, 이산화탄소 등 환경 조절

이 가능한 시설을 이용하여 미래 기후변화 시 예상되는 온도를 처리함으로써 온도가 '춘광' 배추의 생육 및 생리적 반응에 미치는 영향을 규명하는 한편, 기후변화 시 생산량 및 품질 변화를 예측하기 위한 기초 자료를 확보하기 위해 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 공시작물 및 환경요인 설정

본 실험은 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소 내 환경제어챔버(GR96, EGC, Chagrin Falls, USA)를 이용하여 수행하였다. 공시작물은 고랭지 여름배추의 주품종인 '춘광' 배추(*Brassica campestris* L.)로, 파종 후 30일이 경과한 전엽 3-4매의 건전한 유묘를 선별하여 이용하였다. 유묘는 사각포트(용적 15L)에 상토와 펄라이트를 3:1(v:v)로 혼합한 인공토양을 충진 후 정식하였다. 정식 후 시비와 관수는 관주용제 4종 복합비료(Hanbang, Coseal, Seoul, Korea)를 물에 희석하여 포트 당 4L씩 매일 관비하였다.

고랭지 여름배추의 생육기 온도를 구현하기 위해 주산지인 강원도 태백지역의 25년간(1983~2007) 기상자료 중 생육기에 해당하는 6월 1일부터 8월 10일까지 70일간의 기온자료를 이용하였다. 생육기간 중 기온차이를 구현하기 위해 70일간의 생육기간을 10일씩 7단계로 구분하였으며, 각 단계마다 하루 중 최고, 최저, 평균기온을 산출하였다. 수준별 온도처리를 위해 기후변화 시나리오에 근거하여 재배기간의 평년온도를 기준으로 -2.0°C(I), 0°C(II), +2.0°C(III), +4.0°C(IV), +6.0°C(V) 등 총 5 수준으로 설정하였으며(Table 1), 설정된 온도는 태백지역의 하루 중 기온변화 자료를 이용해 1시간 간격으로 구현되도록 하였다(Fig. 1). 광환경은 오전 5시부터 오후 7시까지 800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (day/night, 14h/10h)로 설정하였으며, 이산화탄소 농도는 400ppm, 상대습도는 60%로 실험기간 동안 일정하게 유지되도록 하였다.

### 2.2. 생육 및 생리반응 조사

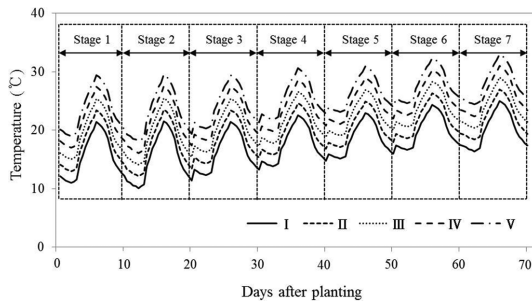
생육조사는 정식일부터 70일 동안 10일 간격으로 처리구별 5주씩 뽑아서 생체중, 엽수 및 엽면적을 조사하였다. 생체중은 뿌리를 제외한 지상부 무게를 측정하였다. 엽수는 엽폭 0.5cm 이상의 잎을 대상으로 조사하였으며, 엽면적은 이들 잎을 엽면적계(LI-3100,

**Table 1.** Temperature values of each treatment group during the growing season

Treatments <sup>z</sup>	Temperature (°C)							
	Stage 1 <sup>y</sup>	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	
I	Min	11.0	10.1	12.3	11.8	15.1	16.6	16.4
	Max	21.4	21.5	21.4	22.6	22.9	24.3	25.0
	Average	15.4	15.0	16.2	17.6	18.4	19.9	20.1
II	Min	13.0	12.1	14.3	15.8	17.1	18.6	18.4
	Max	23.4	23.5	23.4	24.6	24.9	26.3	27.0
	Average	17.4	17.0	18.2	19.6	20.4	21.9	22.1
III	Min	15.0	14.1	16.3	17.8	19.1	20.6	20.4
	Max	25.4	25.5	25.4	26.6	26.9	28.3	29.0
	Average	19.4	19.0	20.2	21.6	22.4	23.9	24.1
IV	Min	17.0	16.1	18.3	19.8	21.1	22.6	22.4
	Max	27.4	27.5	27.4	28.6	28.9	30.3	31.0
	Average	21.4	21.0	22.2	23.6	24.4	25.9	26.1
V	Min	19.0	18.1	20.3	21.8	22.1	24.6	24.4
	Max	29.4	29.5	29.4	30.6	30.9	32.3	33.0
	Average	23.4	23.0	24.2	25.6	26.4	27.9	29.1

<sup>z</sup>Group I, Normal year temperature (NT) -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C.

<sup>y</sup>Stage 1, 1~10 days after planting (DAP); Stage 2, 11~20 DAP; Stage 3, 21~30 DAP; Stage 4, 31~40 DAP; Stage 5, 41~49 DAP; Stage 6, 51~60 DAP; Stage 7, 61~70 DAP.



**Fig. 1.** Changes of temperature used for growing Chinese cabbage cv. Chunkwang in controlled environment chambers. Normal year temperature (NT) was determined using a 25 year average of local air temperatures during the normal growing season. Group I, Normal year temperature (NT) -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C. Stage 1, 1~10 days after planting (DAP); Stage 2, 11~20 DAP; Stage 3, 21~30 DAP; Stage 4, 31~40 DAP; Stage 5, 41~49 DAP; Stage 6, 51~60 DAP; Stage 7, 61~70 DAP.

Li-Cor, USA)로 측정하였다. 중록 부위의 폭과 두께는 정식 후 70일에 일시 수확한 개체의 10~14번째 엽을 대상으로 처리구 당 14반복으로 측정하였으며, 경도는 엽 부위 중 중심맥인 중록 부위를 물성분석기 (EZ Test/CE-500N, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이

용하여 직경 5mm probe로 측정한 후 N (newton)으로 표시하였다. 배추 내부의 무름 증상은 발생은 정식 후 70일에 배추를 종단면으로 절개하여 확인하였다. 무름 증상 피해정도는 발생한 정도에 따라 0(피해없음)~5(매우 심함)로 수치화하였으며 각 처리구 별로 15반복으로 조사하였다.

경시적 광합성률은 전엽 25일의 성엽을 대상으로 광합성 측정기(LI-6400, Li-Cor, Lincoln, USA)를 사용하여 정식 후 20일부터 70일까지 10일 간격으로 측정하였다. 광합성률 조사를 위해  $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량으로 측정하였으며, leaf chamber의 이산화탄소 농도는  $\text{CO}_2$  injector system을 이용하여 400ppm으로 유지하였다. 아울러 기공전도도와 증산률도 동일한 조건으로 측정하였다. 엽록소형광반응은 정식 50일 후에 전엽 후 25일이 된 성엽을 대상으로 25분간 암적응시킨 후 엽록소형광반응측정기(Handy PEA, Hansatech, King's Lynn, UK)를 이용하여 측정하였다.

### 2.3. 통계분석

조사된 자료의 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였

으며, Duncan의 다중검정( $P<0.05$ )으로 평균치간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

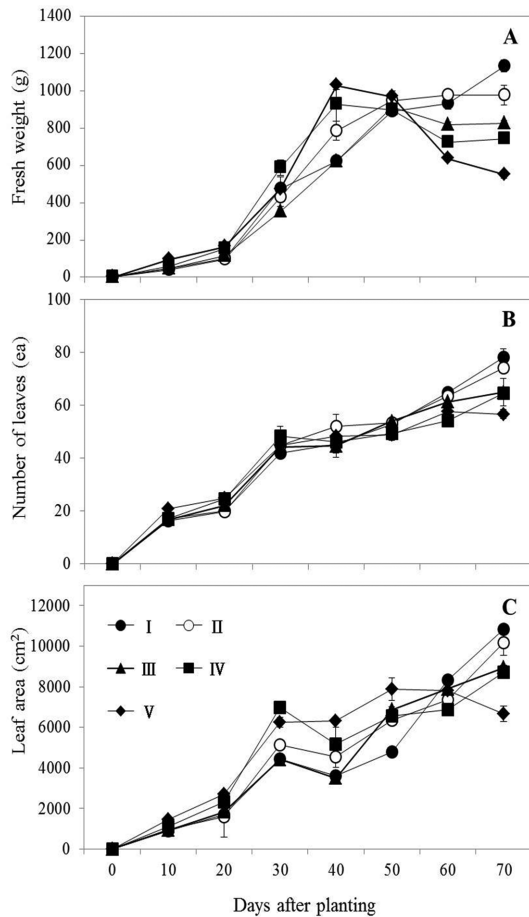
### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 온도처리에 따른 생육양상 변화

생육기 온도가 ‘춘광’ 배추의 생체중과 엽수, 엽면적의 변화에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. 고랭지 여름배추 주산지의 평년온도에서 재배한 II처리구의 생육초기 생체중은 고온처리구에 비해 낮았으나(Fig. 2A), 정식 후 60일까지 지속적으로 증가하다 정식 후 70일에는 다소 감소하였다. 평년온도보다 높은 온도조건인

III, IV, V처리구에서는 초기 생육이 빨라 정식 후 40~50일까지 처리구 중 II처리구에 비해 높은 생체중을 보였으나, 이후 감소하여 정식 후 70일에는 II처리구보다 생체중이 감소하였다. 한편, 고랭지 여름배추 주산지의 평년온도보다 2.0°C 낮은 I처리구는 생육기 동안 II처리구와 비슷하거나 낮은 생체중을 보였으나 수확기 직전 크게 증가하여 정식 후 70일에는 모든 처리구 중 가장 높은 수치를 보였다. 배추의 생육단계별 엽수와 엽면적의 변화도 생체중과 유사한 결과를 보였는데(Fig. 2B and 2C), 특히 고온처리구인 IV와 V처리구에서 엽수 및 엽면적의 증가율은 배추의 결구 형성이 본격적으로 시작되는 정식 30일 이후부터 감소하는 것으로 나타났다. 배추는 서늘한 기후를 좋아하는 호냉성 채소작물이지만, 결구기 이전에는 22°C 정도의 온도범위에서, 결구기부터 수확기까지는 18°C 내외에서 생육이 왕성하고 결구가 정상적으로 이루어진다고 하였다(Hwang *et al.*, 2003). 또한 Ahn *et al.* (2008)은 고랭지 여름배추의 생산량에 중요한 영향을 미치는 요인으로 결구기 이후인 7월의 월평균기온이 21.5°C 이상일 때 생산량이 현저히 감소한다고 보고하였다. 본 실험에서도 III, IV, V처리구는 정식 후 40일 이후의 일평균기온이 배추의 고온한계온도 조건인 21.5°C보다 높았기 때문에 잎의 발생과 발달이 원활하지 못해 생체중이 감소한 것으로 판단되었다.

배추 잎의 특성 및 무름 증상에 미치는 영향을 조사한 결과(Table 2), 배추 잎 중 백색의 중간맥인 중륵의 폭은 I, II, III처리구에서 재배되었을 때 4.7cm 이상으로 컸으나, IV, V처리구에서는 각각 4.0, 3.1cm로 현저히 감소하였다. 중륵 두께 역시 I처리구에서 5.4mm로 처리구 중 가장 두꺼운 반면, V처리구는 3.4mm로 가장 얇아 고온일수록 중륵 두께가 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 반면에 중륵의 경도는 고온에서 높은 수치를 보여 고온일수록 감소한 중륵의 폭과 두께와 상반된 결과를 보였다. 무름 증상은 배추 등 채소작물의 생산에 있어 가장 큰 제한 요인 작용하는 생리장해 중 하나로 심각한 피해를 유발한다(Chung *et al.*, 2003). 특히 고랭지 여름배추는 결구기 이후 온도가 20°C 보다 높을 경우 무름병을 발생시키는 세균의 발생이 크게 증가하여 배추의 생산량과 품질을 저하시킨다(Oh *et al.*, 2014; Opeña *et al.*, 1988). 본 실험에서도 무름 증상은 V처리구가 85.7%로 처리구 중 가장 높은 수치를 보였으며, IV (64.3%),



**Fig. 2.** Changes of fresh weight (A), number of leaves (B), and Leaf area (C) in response to five temperature conditions of ‘Chunkwang’ Chinese Cabbage. Group I, NT -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C. Bars represent ±S.E. of means of 5 replicates.

**Table 2.** Characteristics of leaves (midrib) and soft rot occurrence as affected by five temperature conditions in 'Chunkwang' Chinese cabbage

Treatments <sup>z</sup>	Midrib					Frangibleness symptom			
	Width (cm)		Thickness (mm)		Firmness (N)	Rate (%)		Index	
I	4.7	a <sup>y</sup>	5.4	a	12.2	abc	7.1	c	0.1b
II	4.9	a	4.7	b	10.6	c	14.3	c	0.3b
III	5.0	a	4.8	b	11.2	bc	28.6	bc	0.6b
IV	4.0	b	4.2	c	13.7	ab	64.3	ab	2.1a
V	3.1	c	3.4	d	14.6	a	85.7	a	2.2a

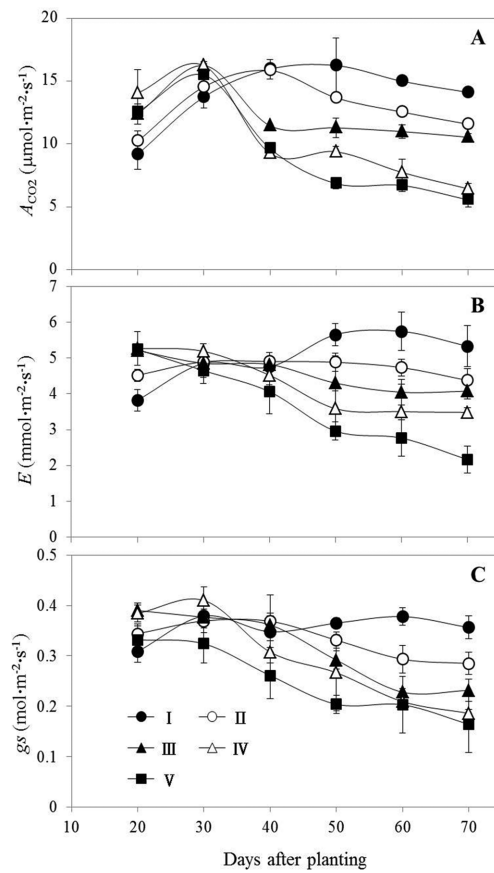
<sup>z</sup>Group I, Normal year temperature (NT) -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C.

<sup>y</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test (P 0.05)

III (28.6%), II (14.3%), I (7.1%) 처리구 순으로 감소하여 생육기 온도가 높을수록 무름 증상 발생이 증가하였으며, 특히 평년온도보다 4.0°C 이상인 IV 처리구부터 무름 증상의 발생률이 크게 증가하였다. 엽채류인 배추는 엽수와 엽면적 등에 의해 생체중이 결정되기 때문에 엽수와 엽면적이 제한을 받거나 잎이 소실되면 생체중이 크게 감소한다. 본 실험에서는 결구기 이후의 고온에 의해 엽수와 엽면적의 생장이 억제되었으며, 특히 IV와 V 처리구의 경우 무름 증상 발생으로 인해 배추 내부 잎이 부패하여 소실되었기 때문에 생체중이 크게 감소한 것으로 생각되었다.

### 3.2. 온도처리에 따른 생리반응 변화

생육기 온도처리가 '춘광' 배추의 광합성률 변화에 미치는 영향은 Fig. 3A와 같다. 결구 이전인 정식 후 20~30일까지는 고랭지 여름배추 주산지의 평년온도와 이보다 -2.0°C 낮은 I, II 처리구의 광합성률이 평년온도보다 높은 III, IV, V 처리구보다 낮은 수치를 보였다. 하지만 결구기를 지나면서 I, II 처리구는 결구전보다 약 50% 광합성률 증가를 보인 반면, 고온처리구일수록 광합성률이 크게 감소하는 경향을 보였다. Oh *et al.*(2014)은 결구기 이전의 배추를 대상으로 광합성률을 측정한 결과, 높은 온도조건에서 탄소 고정률과 생육이 왕성하다고 하였으며, Lee *et al.*(2009)은 결구기 이후에 고온에 의해 광합성률이 크게 감소하여 생육을 제한된다고(Hwang *et al.*, 2003) 보고하였다. 본 실험에서도 이와 유사한 결과를 보였는데 이는 배추의 광합성률에 대한 호적온도가 생육단계에 따라 달라지기 때문이라고 생각되었다. 정식 후 20일째의 증산량과 기공전도도 역시 IV와 V 처리구가 높았으나



**Fig. 3.** Changes of photosynthetic rate (A), Transpiration (B), and stomatal conductance (C) in response to five temperature conditions of 'Chunkwang' Chinese Cabbage. Group I, NT -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C. Bars represent  $\pm$ S.E. of means of 3 replicates.

(Fig. 3B and 3C), 정식 후 40일을 기점으로 급격히 감소하여 광합성률과 유사한 결과를 보였다. 증산은

엽은 상승 시 고온의 엽 내 수분을 기공을 통해 대기로 방출시켜 식물체 온도를 유지시키는 생리현상으로 기공의 개폐는 잎 내부와 대기의 증기압차가 의해 좌우된다(Carmo-Silva and Salvucci, 2012; Kirschbaum, 2000, 2004). 본 실험에서 정식 후 20일째의 증산량과 기공전도도가 고온처리구일수록 높은 이유는 고온 처리에 의해 엽온이 상승하였기 때문에 잎 내부와 대기의 증기압차가 커져 기공이 열리고 증산량이 증가한 것이라(Eamus *et al.*, 2008; Mott and Parkhurst, 1991) 추정되었다. 다만 정식 후 30일 이후 고온처리구일수록 기공전도도와 증산량이 지속적으로 감소하는 이유는 생육초기 왕성한 생육으로 증산 부위가 넓어졌을 뿐 아니라, 적온범위를 초과한 고온조건으로 증산이 왕성하게 이루어졌던 반면, 뿌리에서 흡수되는 수분량은 한정되어 수분스트레스 상태에 노출되었기 때문에 식물체가 자체적으로 기공폐쇄를 통해 증산량을 억제한 것이라(Choi and Lee, 1996) 추정되었다. 실제로 IV, V처리구의 경우 정식 후 40일 이후부터 배추 엽의 위조현상을 쉽게 관찰할 수 있었다.

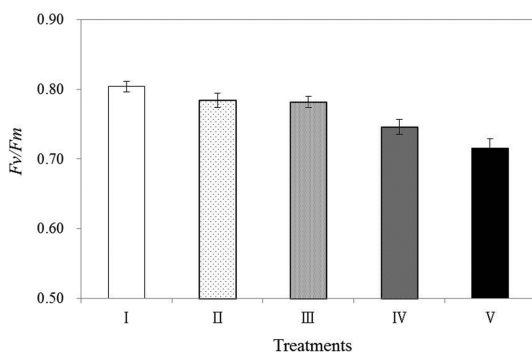
일반적으로 최대양자수율( $F_v/F_m$ ) 값은 건전한 식물체에서 8.0~8.5 범위이나 환경 스트레스 하의 식물체에서는 감소하기 때문에(Weiguo *et al.*, 2012; Lichtenthaler and Burkart, 1999) 식물체의 스트레스 정도를 확인할 수 있다. 정식 후 50일째 처리구 별  $F_v/F_m$ 을 측정된 결과(Fig. 4), I, II, III처리구는 0.78이상으로 비교적 건전하였으나, IV, V처리구는 각각 0.74와 0.71로 유의하게 감소하였다. 이러한 결과는 앞서 언급한 고온 처리구의 생육 후반 증산량 및 기공전도도 감소가 수

분스트레스에서 기인한 것으로 유추할 수 있었다.

이상의 결과를 종합했을 때 지구온난화에 의해 고랭지의 온도가 현재보다 상승한다면 고온에 의한 배추의 생육 저하 뿐 아니라, 무름병에 의해 배추 생체중이 크게 감소할 것이라 예측되며, 수분스트레스에 보다 쉽게 노출되기 때문에 재배관리 상 수분요구량이 증가할 것이라 판단되었다.

### 적 요

본 연구는 미래 기후변화 시나리오에 근거한 5가지 온도처리가 ‘춘광’ 배추의 생육, 품질 및 생리반응에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행하였다. 처리구는 -2.0°C (I), 평년온도(II), +2.0°C (III), +4.0°C (IV), +6.0°C (V) 등 5 수준으로 설정하였다. 생체중, 엽수 및 엽면적의 경시적 변화를 조사한 결과, 결구 이전에는 고온 처리구인 IV, V처리구가 높은 수치를 보였으나, 결구기 이후 현저히 감소하여 정식 후 70일에는 고온처리구일수록 감소하는 경향을 보였다. 배추 내부의 무름 증상은 V처리구가 85.7%로 가장 높았으며, IV(64.3%), III(28.6%), II(14.3%), I(7.1%)순으로 감소하였다. 광합성률을 측정된 결과, 정식 후 30일전에는 III, IV, V처리구의 광합성률이 높은 수치를 보였으나, 생육후반에는 크게 감소한 반면, I, II처리구는 크게 증산량과 기공전도도 역시 비슷한 경향을 보였다. 정식 후 50일의 엽록소 형광반응을 비교한 결과,  $F_v/F_m$ 은 I처리구가 8.04로 처리구 중 가장 높았으며 IV처리구가 7.15로 가장 낮았다.



**Fig. 4.** Maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ) according to five temperature conditions in ‘Chunkwang’ Chinese cabbage at 50 DAP. Group I, NT -2.0°C; group II, NT; group III, NT+2.0°C; group IV, NT+4.0°C; group V, NT+6.0°C. Bars represent ±S.E. of means of 15 replicates.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 “RCP시나리오를 적용한 배추의 생육 및 생산성 분석(세부과제번호: PJ00929202)”의 지원에 의해 이루어진 것임.

### REFERENCES

Ahn, S. B., and B. S. Vergara, 1969: Studies on responses of the rice plant to photoperiod. III. Responses of Korean varieties. *Korean Journal of Crop Science* 5, 45-49.  
 Carmo-Silva, A. E. and M. E. Salvucci, 2012: The temperature response of CO<sub>2</sub> assimilation, photochemical activities and rubisco activation in *Camelina sativa*, a potential

- bioenergy crop with limited capacity for acclimation to heat stress. *Planta* **236**, 1433-1445.
- Choi, S. Y., and K. S. Lee, 1996: Effect of soil water potential on stomatal conductance and photosynthesis of wasabia japonica matsum. *The Korean Society of Medical Crop Science* **4**(4), 288-293.
- Chung, E. K., X. Z. Zhang, Y. R. Yeoung, and B. S. Kim, 2003: Screening of effective control agents against bacterial soft rot on Chinese cabbage in alpine area. *The Korean Journal of Pesticide Science* **7**, 32-37.
- Eamus, D., D. T. Taylor, C. M. O. Macinnis-Ng, S. Shanahan, and L. De Silva, 2008: Comparing model predictions and experimental data for the response of stomatal conductance and guard cell turgor to manipulations of cuticular conductance, leaf-to-air vapour pressure difference and temperature: feedback mechanisms are able to account for all observations. *Plant Cell and Environment* **31**, 269-277.
- Eum, H. L., B. S. Kim, Y. J. Yang, and S. J. Hong, 2013. Quality evaluation and optimization of storage temperature with eight cultivars of kimchi cabbage produced in summer at highland areas. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **31**(2), 211-218.
- Weiguo F., P. Li, and Y. Wu, 2012: Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae* **135**, 45-51.
- Heide, O. M., 1970: Seed-stalk formation and flowering in cabbage. I. Day-length, temperature, and time relationships. *Meldinger fra Norges Landbrukshogskole* **49**, 1-21.
- Hosoi, N., and N. Tamagata, 1973: The study of interaction of environmental factors for rice plant heading. *Japanese Journal of Breeding* **23**, 110-111.
- Hwang, S. U., J. Y. Lee, H. S. Chang, Y. H. Park, Y. S. Gil, and M. H. Park, 2003: High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* **36**(6), 417-422.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: Climate change 2007 (The physical science basis), Summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions. WMO & UNEP, 142pp.
- Kang, H. J., J. S. Lee, K. R. Ryu, and J. T. Lee, 2002: Chinese cabbage cultivation. RDA. Korea.
- Kirschbaum, M. U. F., 2000: Forest growth and species distributions in a changing climate. *Tree Physiology* **20**, 309-322.
- Kirschbaum, M. U. F., 2004: Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology* **6**, 242-253.
- Lee, S. G., J. H. Moon, Y. A. Jang, W. M. Lee, I. H. Cho, S. Y. Kim, and K. D. Ko, 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.
- Lichtenthaler, H. K., and S. Burkart, 1999: Photosynthesis and high light stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* **25**, 3-16.
- Lim, M. S., K. Y. Shin, J. G. Woo, Y. S. Kwon, S. W. Jang, W. B. Kim, J. N. Lee, J. T. Lee, H. J. Kwon, J. T. Seo, J. H. Ahn, Y. G. Kang, Y. I. Ham, M. Kwon, and K. R. Ryu, 2000: *Vegetable cultivation technique in highland area*. Kwahakwonyae press, Seoul, 52-26.
- Moe, R., and G. Guttormsen, 1985: Effect of photoperiod and temperature on bolting in Chinese cabbage. *Scientia Horticulturae* **27**, 49-54.
- Mott, K. A., and D. F. Parkhurst, 1991: Stomatal responses to humidity in air and helox. *Plant Cell and Environment* **14**, 509-515.
- Oh, S., 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.
- Opeña, R. T., C. G. Kuo, and J. Y. Yoon, 1988: Breeding and seed production of Chinese cabbage in the tropics and subtropics. *Technical Bulletin* **17**. Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua, Taiwan
- Park, S. H., J. S. Lee, M. H. Seo, and J. S. Lee, 2002: *Radish Cultivation*, RDA, Suwon, 39-40.