

생리적 요인 활용 이상기상에 의한 배추의 수량저하 평가

이희주 · 이상규* · 김성겸 · 박성태

농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

(2017년 8월 9일 접수; 2018년 1월 8일 수정; 2018년 2월 7일 수락)

Assessment on Yield Decrease of Kimchi Cabbage by Extreme Weather Conditions using Physiological Parameters

Hee Ju Lee, Sang Gyu Lee*, Sung Kyeom Kim and Sung Tae Park

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

(Received August 9, 2017; Revised January 8, 2018; Accepted February 7, 2018)

ABSTRACT

This study evaluated the effects of high air temperature and waterlogging duration on growth and yield of Kimchi cabbage. Air temperature treatments were applied with ventilation; optimal (set 20°C) and delayed (30°C) in the greenhouses. The waterlogging treatment levels were implicated 0, 12, 24, 48, and 72 hours, respectively. The growth of Kimchi cabbage was significantly affected by waterlogging duration. The head weight decreased by combining severe waterlogging and high air temperature. Net photosynthetic rate under the combination of non-waterlogging and optimal air temperature was $22.6 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, which was the greatest, while that of 72 hours-waterlogging was rapidly decreased. The percentage of formality with 0, 12, and 24 hours-waterlogging was over 88%, however, those of 72 hours-waterlogging with optimal and delayed ventilation were 64 and 68%, respectively, which were dramatically reduced. The yields were more affected by waterlogging duration than air temperature treatment because of deducting as increased waterlogging periods. These results indicate that waterlogging treatment reduced the yield and quality of Kimchi cabbage, thus it will be feasible to enhance the harvest time when severe waterlogging in the field.

Key words: Heading strength, High temperature, Photosynthesis, Root activity, Yield

1. 서 언

지난 100년간 지구의 표면온도는 약 0.7°C 상승하였으며, 21세기 말에 현재보다 약 1.0-3.7°C 높을 것으로 예측하고 있다. 특히, 우리나라는 21세기 말에 평균 기온이 현재보다 약 6.0°C 높아질 것으로 예측되어 전 세계의 평균 기온 상승치 보다 상회할 것으로 예측되어 현재보다 기상요인이 다변할 것으로 전망된다

(IPCC, 2013; Hartmann *et al.*, 2013). 이와 같이 기상 요인의 변화는 작물의 생육저하 및 생리장해를 유발하는 원인으로 작용하고 있으며, 이에 따른 피해가 매년 증가하는 추세이다. 노지에서 재배되는 주요 작물인 고추, 배추 등은 기상요인에 직접적으로 노출되어 있기 때문에 이상기상 발생 시 생장 지연, 생리장해 발생 등으로 인한 생산량이 감소될 수 있는 원인으로 작용될 수 있다(Lee *et al.*, 2014). 이상기상에 따른 단기간



* Corresponding Author : Sang Gyu Lee
(sanggyul@korea.kr)

또는 장기간 침수가 광합성 특성, 근활력, 생육 및 수량에 미치는 영향에 대한 연구가 포도(Kang *et al.*, 2007; Kang *et al.*, 2010), 참외(Lee *et al.*, 2004), 고추(Ou *et al.*, 2011; Ou and Zou, 2012), 고추 유묘(Guh and Kuk, 1996a), 녹두(Ahmed *et al.*, 2002), 보리(Pang *et al.*, 2004) 등 여러 작물에서 보고되었다.

배추(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)는 우리나라의 대표적인 식품 중 하나인 김치의 주재료로 연중 안정적인 공급이 필요하나, 고온 조건에서는 생리장해 및 병해충 발생이 많아져 안정적인 생산이 어렵기 때문에 가격 변동이 크다. 따라서 연중 재배가 필요한 배추는 여름철 생산을 위해 주로 고랭지 지역에서만 재배 및 생산하고 있다(Hwang *et al.*, 2003). 근권부가 물에 잠기면 역병과 탄저병 발생을 초래하여 채소의 성장과 수량에 많은 영향을 미친다(Hwang and Tae, 2001; Smittle *et al.*, 1994; Hwang *et al.*, 2010). Heo *et al.*(2008)는 배추 결구 시기에 강우일수가 증가하면 토양 내 수분함량이 높아져 배추 무게를 저하시켜 생산량이 감소한다고 보고하였다.

배추 재배 시 적당한 강우는 생육을 촉진시키고, 수량을 증대시키는 효과가 있으나 지속적인 강우는 일조 부족뿐만 아니라 다습으로 인하여 무름병 등 각종 병 발생의 원인이 되어 안정생산을 위협하는 요인이다. 강우량이 많은 여름철 고온기에는 배추 재배 뿐 아니라, 수확 후 생산된 배추의 수분함량이 높고 표면적이 넓어서 부패될 우려가 큰 것으로 알려져 있고(Eum *et al.*, 2013), 침수 시 작물의 위조, 잎의 황화 등 증상이 발생하는데 주로 에틸렌이 작용을 하는 것으로 알려져 있다(Braford and Yang, 1981). 기후변화에 의해 미래에는 폭우 및 지속적인 강우 등 이상기상 현상이 다발할 것으로 예측되고 있으나(IPCC, 2007), 배추를 대상으로 고온과 침수조건에 대한 피해양상에 대한 연구는 미진한 편이다.

따라서 본 실험은 고온과 강우 등 이상기상 발생 시 가을배추의 안정적인 수급을 위하여 생리·생태적인 피해양상, 수확량을 분석하여 피해를 경감할 수 있는 기초자료로 활용하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

배추는 ‘천고마비’(cv. Cheongomabi, Nongwoo-bio seed co., Suwon, Korea) 품종을 사용하였다. 2015년 8월 6일에 72공 플러그 트레이에 시판용 경량상토인

바이오상토 1호(Hungnong seed co., Seoul, Korea)를 채우고 1셀당 2립씩 파종하여 발아 후에 1주씩 남기고 솟아 주었다. 육묘기간 동안 관수는 오전 10-11시경에 실시하였고, 시비는 엽채류 육묘용 양액(Daeyu co., Seoul, Korea)을 3-4일 간격으로 실시하였다. 본엽 3-5매가 전개된 모종들(파종 후 20일)에 하우스 폭 7 m, 길이 40 m인 비가림 하우스에 정식하였다. 이랑 폭은 90 cm, 주간은 35 cm 간격으로 정식하였으며, 점적호수는 이랑 당 1줄을 설치하였고 그 위에 흑색 폴리에틸렌 필름으로 멀칭을 하였다.

하우스 온도처리는 적온구(대조구)는 18-20°C를 목표로 하우스내 온도가 20°C가 되면 자동으로 환기팬 및 측창이 열려서 환기가 되도록 하였고, 고온구는 28-30°C를 목표로 30°C가 되면 자동으로 환기팬 및 측창이 열리도록 설정하였다. 침수처리는 정식 후 25일에 하우스를 5구획으로 분할하여 무침수(0시간) 처리구와 침수(12, 24, 48 및 72시간) 처리구를 두었고, 침수는 점적호스를 통해 계속해서 물을 관수하는 방법으로 하였다. 구획 구분은 처리구간 중간지점을 70 cm 깊이로 판 후 비닐을 설치하여 물의 이동을 최대한 막아 주었다. 침수처리가 끝난 이후의 관수 관리는 모든 처리를 동일하게 관리하였는데, 배추 식물체와 토양 조건을 육안으로 관찰하여 물 부족증상이 나타나기 전에 관수하였다.

생육조사는 정식 후 63일에 처리구의 반복별로 엽장, 엽면적(LI-3100, Area meter, LI-COR Inc., USA), 생체중 및 건물중을 조사하였다. 광합성은 광합성측정기(LI-6400, portable photosynthesis system, LI-COR Inc., Nebraska, USA)를 사용하여 외엽 중 15-20번째 잎 중 상처가 없는 잎을 표시하여 침수처리 1시간 후 및 15일 후에 동일한 잎을 대상으로 처리구당 3개체씩 3반복으로 조사하였다. 광합성측정기 챔버 조건은 온도 25°C, 상대습도 60%, CO₂농도는 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 광량자속은 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 하였다. 근활력 조사는 Berridge *et al.*(2005)의 방법으로 하였는데, 정식 부위를 중심으로 반경 50 cm, 깊이 30 cm 부위의 뿌리를 처리구별로 3주씩 6반복으로 채취하였다. 채취한 시료는 증류수 세척 후 세근을 약 0.5 cm 길이로 절단하여 균일하게 혼합한 후 0.1 g을 취해 2 mL 튜브에 넣었다. 그 후 1 mL의 증류수를 첨가하여 혼합한 후 Premix WST-1 cell proliferation assay system(Takara Inc., Tokyo, Japan) 시약 10 μL 를 가하였다. 이것을 암상태로 25°C에서 3시간 동안 반응시킨 후 ELISA

reader (Microplate Spectrophotometer, Eon™, BioTekInc., Vermont, USA)를 이용하여 흡광도 420nm에서 분석하였다. Premix WST-1 cell proliferation assay system 시약 10 µL를 증류수에 혼합하여 blank로 이용하였다. 시설 내 환경조건 측정은 데이터로거(HOBO® weather station data logger, Onset, USA)를 이용하여 1시간 간격으로 기온, 상대습도, 광량, 토양수분함량을 조사하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 각 처리구별 생장, 수량, 광합성 및 근활력 차이에 대해 95% 신뢰수준에서 Duncan’s Multiple Range Test(DMRT) 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

하우스 내 주간온도는 적온구인 20°C 처리구는 18-23°C 정도로 유지되었고, 고온구인 30°C 처리구는 27-34°C 정도 유지되었다(data not shown). 가을 배추 정식 후 63일의 생육을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 고온구 12시간 침수처리구에서 배추의 엽장은 56.8 cm/plant로 처리구들 중 가장 컸으며, 적온구의 48과 72시간 처리와 고온구 72시간 침수처리구가 41.7-43.9 cm/plant로 다른 처리구 보다 작았다. 엽수는 고

온구 24시간 침수처리구가 73.3개/plant로 가장 많았으며, 엽수가 가장 적었던 적온구 48시간 침수처리보다 약 1.2배 많았다. 엽면적은 두 온도처리구 모두 24시간 이상의 침수시간이 길수록 작아졌다. 배추는 짧은 시간 동안(1일)의 침수는 생장을 지연 또는 억제하는 영향을 주지는 않지만, 2일 정도까지 지속되면 오히려 생장이 나빠진다는 것을 알 수 있었으며, 고추에 있어서도 침수시간이 길수록 성장량이 감소한다는 보고내용(Guh and Kuk, 1996a; Guh and kuk, 1996b; Lee *et al.*, 2017)과 유사하였다. 작물 재배 시 침수가 되면 뿌리의 혐기성 호흡과 지상부에서는 에틸렌 합성으로 잎의 노화 등 생장을 지연시킨다. 그리고 실제 침관수해를 받은 배추와 무의 광합성과 호흡이 증가하는 경향을 보였고, 에틸렌 발생이 많이 발생하였다(Suh, 1990). 또한, 침수처리 후 봄배추의 생장을 보고한 결과에서도 침수 시간이 증가할수록 생장이 지연되는 유사한 결과를 얻었다(Lee *et al.*, 2016).

침수처리 후 37일의 결구중은 적온구 무침수 처리구가 5,252 g/주로 가장 높았으나, 고온구 72시간 침수 처리구가 2,370 g/주로 가장 낮아 전반적으로 고온구의 침수시간이 길수록 낮아졌다(Table 2). 배추는 결구 후 강우일수가 많아지면 토양 내 수분함량이 증가하여 뿌리활력이나 생리 활성이 약해져서 배추 포기당 무게

Table 1. Effects of air temperature and water logging on growth of Kimchi cabbage on 63 days after transplanting

Temperature (A)	Waterlogging (B)	Leaf length (cm/plant)	Leaf width (cm/plant)	Chlorophyll (SPAD)	No. of leaves/(plant)	Leaf area (cm ² /plant)
20°C	0	51.9bc ^z	34.7a	54.6a	71.0ab	35,424ab
	12	53.8abc	36.3a	47.1b	68.2abc	32,875b
	24	50.5cd	30.2bc	50.2ab	66.8abc	28,639c
	48	43.3f	28.8 c	50.5ab	59.5c	22,520d
	72	41.7f	28.0c	50.5ab	63.3bc	22,843d
30°C	0	54.5abc	32.9ab	51.3ab	68.3abc	32,631b
	12	56.8a	34.4a	49.9ab	67.3abc	37,292a
	24	55.9ab	34.8a	46.8b	73.3a	31,839bc
	48	47.7de	29.5c	48.5b	62.0bc	28,454c
	72	43.9ef	28.3c	47.0b	64.3abc	21,322d
Significance						
A		***	ns	ns	ns	*
B		***	***	ns	**	***
A×B		ns	*	ns	ns	**

^zMean separation within by Duncan’s multiple range test at *p*=0.05.

가 감소하여 생산성이 떨어지는 것(Heo *et al.*, 2008)으로 생각되었다. 그러나 Sammis *et al.*(1988)이 상추와 배추에서 1회당 관수량을 늘렸을 때 수량이 두 품목 모두 유의하게 증가한다는 결과와 상이한 결과를 보였는데, 72시간 이상 계속해서 관수하였으므로 토양의 수분이 포화되어 뿌리활력 등 생리활성이 떨어졌기 때문으로 생각된다. 그리고 배추가 침수피해를 받으면 광합성과 호기적 호흡은 거의 정지될 것이고 따라서 에너지의 획득이나 산소를 이용하는 효율적인 호흡이 불가능할 것임으로 저장양분을 분해함으로써 발생하는 낮은 에너지를 이용하는 혐기성 호흡으로 대사체계가 전환될 것이다(Suh, 1990). 이러한 혐기성 호흡으로 인하여 식물호르몬의 변화와 함께, 불완전한 산화로 발생하는 여러가지의 유독성 물질이 집적되고 이어서 조직의 붕괴도 가능하다.

가을배추의 광합성특성을 처리 후 1시간과 15일에 측정된 결과는 Table 3과 같다. 광합성속도는 처리 후 1시간째에는 30°C 12시간과 24시간 처리구와 20°C 무침수 처리구가 22.6-23.4 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 침수시간이 길어질수록 낮았다. 처리 후 15일에도 20°C 와 30°C 무침수 처리구가 19.3-19.4 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았고, 침수시간이 길어

질수록 낮았는데, 이것은 침수가 지속될수록 뿌리활력이 떨어짐으로써 광합성까지 영향을 미친 것으로 생각된다. 모든 처리구에서 처리 후 1시간째보다는 처리 후 15일에 낮아졌는데 이것은 엽령이 증가한 원인도 있지만, 근활력 조사 결과를 보면 침수 후 15일째에 근활력이 크게 떨어진 것과 연계해서 생리활성이 떨어진 결과로 해석된다. 기공전도도와 증산률은 처리 후 1시간보다 처리 후 15일에 오히려 높아졌다. 본 연구 결과는 대부분의 작물에서 침수가 되면 뿌리활력 감소와 기공이 폐쇄되어 광합성이 감소한다는 결과(Ahmed *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2004), 그리고 서로 다른 고추 종에서 침수처리 후 3일째에 광합성속도가 50% 이하로 감소하였다는 결과(Ou *et al.*, 2011)와 유사하였다.

근활력을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 처리 후 1시간째의 근활력은 적온구의 48시간 침수처리구가 가장 높았고, 고온구의 48, 72시간 침수처리가 가장 낮았는데, 이것은 온도가 높고, 긴 시간 동안 침수로 인해 뿌리 호흡에 방해를 주었기 때문으로 사료된다. 처리 후 15일 조사에서는 고온구 24시간 침수처리구가 가장 높았고 적온구에서 오히려 낮은 경향을 보였는데, 침수에 따른 영향이 15일까지 지속되지는 않는

Table 2. Effects of air temperature and water logging on fresh weight, dry weight, and heading strength of Kimchi cabbage

Temperature (A)	Waterlogging (B)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
		Total	Head	Root	Total	Head	Root
20°C	0	7,330a ^z	5,252a	32.9ab	289a	200a	3.69abc
	12	6,291bc	4,366b	26.7abcd	213cd	119cde	3.17bcd
	24	5,366cd	3,226c	28.0abc	206cd	120cde	3.15bcd
	48	3,852ef	2,583de	24.9bcd	172de	110de	3.01bcd
	72	3,724ef	2,634cde	19.8d	183de	124cde	2.47d
30°C	0	5,748bc	3,878b	33.6a	269ab	174ab	4.37a
	12	6,541ab	4,420b	32.8ab	240bc	154bc	3.88ab
	24	5,717bc	3,933b	26.6abcd	207cd	137cd	2.66cd
	48	4,628de	3,153cd	25.6bcd	198cd	128cde	3.08bcd
	72	3,594f	2,370e	23.5cd	153e	95e	3.05bcd
Significance							
A		ns	ns	ns	ns	ns	ns
B		***	***	***	***	***	***
A×B		**	**	ns	ns	*	ns

^zMean separation within by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

Table 3. Effects of combination of air temperature and waterlogging on the net photosynthetic rate, transpiration rate, and root activity of Kimchi cabbage

Temperature (A)	Waterlogging (B)	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Root activity (Abs., at 420nm)	
		1 hr	15 d	1 hr	15 d	1 hr	15 d	1 hr	15 d
20°C	0	22.6a ^z	19.4a	0.829de	1.078a	5.70b	7.69a	0.250bcd	0.125d
	12	22.2ab	18.8ab	0.965cd	1.502a	7.94a	8.07a	0.315ab	0.140cd
	24	21.1ab	18.4ab	0.840de	1.191a	7.35a	7.98a	0.288ab	0.137cd
	48	16.2d	18.2ab	0.716e	1.059a	5.76b	8.35a	0.341a	0.112d
	72	18.5cd	17.2bc	0.820de	1.196a	5.07b	8.25a	0.204cde	0.143cd
30°C	0	22.4ab	19.3a	0.756e	1.437a	5.11b	7.66a	0.248bcd	0.133d
	12	23.3a	18.6ab	1.196a	1.351a	8.14a	8.23a	0.268bc	0.181ab
	24	23.4a	18.0ab	1.133ab	1.307a	8.00a	8.10a	0.255bcd	0.206a
	48	20.0bc	17.5bc	1.010bc	1.403a	6.12b	8.30a	0.181e	0.170bc
	72	17.6d	16.1c	0.934cd	1.402a	5.40b	8.11a	0.193de	0.146cd
Significance									
A		*	ns	***	ns	ns	ns	***	***
B		***	***	***	ns	***	ns	***	**
A×B		*	ns	***	ns	ns	ns	**	**

^zMean separation within by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

것으로 생각되지만 이에 대한 연구는 필요할 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 참외(Lee *et al.*, 2004)와 사과(Chilelers and White, 1942)는 침수시간이 길어 질수록 뿌리의 활력이 급격하게 감소하였다는 결과와 유사하였다.

가을배추의 정상주 비율은 침수시간이 24시간 이하 일 때 88% 이상으로 높았고, 48시간 침수에서는 적온 구 및 고온구가 각각 80과 74% 로 낮아졌으며, 72시간 침수처리구에서는 적온구와 고온구가 각각 64와 68% 로 많이 낮아졌다(Table 4). 수량은 적온구의 무침수

Table 4. Effects of air temperature and water logging on percentage of formality, head weight, and yield of kimchi cabbage

Temperature (A)	Waterlogging (B)	Percentage of formality (%)			Head weight (g/plant)	Yield (kg/10a)	Index of yield
		16 d	30 d	36 d			
20°C	0	100a ^z	100a	98a	5,252a	14,668a	100
	12	100a	100a	99a	4,366b	12,319b	84.0
	24	99a	99a	98a	3,226c	9,010e	61.4
	48	80bc	80b	80bc	2,583de	5,889f	40.1
	72	71c	66c	64d	2,634cde	4,804g	32.7
30°C	0	100a	99a	88ab	3,878b	9,726de	66.3
	12	99a	99a	90ab	4,420b	11,337bc	77.2
	24	96a	95a	93a	3,933b	10,424cd	71.0
	48	85b	79b	74cd	3,153cd	6,649f	45.3
	72	78bc	70bc	68d	2,370e	4,593g	31.3
Significance							
A		ns	ns	*	ns	**	
B		***	***	***	***	***	
A×B		ns	ns	ns	**	***	

^zMean separation within by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

처리구가 14,668 kg/10a 로 가장 높았으며 적온구 및 고온구의 72시간 처리구가 각각 4,804과 4,593 kg/10a 로 가장 낮았는데, 수량지수를 보면 48시간 침수처리구의 적온과 고온 처리구가 각각 40과 45%이었고, 72시간 처리구에서는 더욱 낮아져 각각 32와 31%로 침수시간이 길어질수록 수확량이 현저하게 떨어지는 것으로 나타나 배추(Heo *et al.*, 2008), 참외(Lee *et al.*, 2004), 마늘(Suh *et al.*, 1987)에서도 침수시간이 길어질수록 수량이 크게 감소하였다는 보고와 같은 결과를 보였다. 이것은 침수시간이 길어질수록 뿌리 호흡 및 근활력이 떨어지고, 지상부 광합성까지 떨어뜨려 생산량 저하로 연결된 것으로 생각된다.

처리별 가을배추의 무름증상이나 속썩음 증상은 발생되지 않았으나 72시간 침수처리 시 적온구 및 고온구에서 길쭉 끝이 타들어가는 팁번 증상이 많이 발생하였고, 침수시간이 길수록 결구력이 약해지는 증상이 나타났다(Fig. 1). 배추의 팁번(Kuoa *et al.*, 1981)은 고온기에 뿌리가 정상적인 기능을 하지 못해 칼슘 흡수가 정상적으로 되지 않아 발생하는 칼슘결핍(Saure, 1998) 장애로 본 실험에서도 침수시간이 길수록 근활력이 떨어진 결과(Table 3)와 연계하여 뿌리 호흡이 정상적으로 되지 않았기 때문에 팁번 증상이 많이 발생한 것으로 생각된다. 따라서 가을배추 재배 시 침수시간이 길어질수록 광합성능력이 저하되고 결구력이 떨어지는 등 상품성이 떨어지므로 침수 후 가급적 일찍 수확을 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

적 요

배추를 대상으로 고온과 침수시간에 따른 생리적 반응과 수량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행하였다. 배추는 온도조건을 적온(하우스 측창 개폐온도 20°C)과 고온(하우스 개폐온도 30°C) 처리를 하였고, 침수처리는 무침수(0시간) 처리구와 침수처리(12, 24, 48 및 72시간)를 하였다. 그 결과 생육은 온도보다는 침수시간에 의해 유의성이 컸는데, 침수시간이 길수록 현저하게 감소하였다. 특히 결구증은 고온구일수록 침수시간이 길수록 적어졌다. 광합성속도는 30°C 12시간과 24시간 처리구와 20°C 무침수 처리구가 22.6-23.4 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았고, 온도에 관계없이 72시간 침수 시에 낮아지는 것으로 나타났다. 가을배추의 정상주 비율은 침수시간이 24시간 이하일 때 88% 이상으로 높았고, 72시간 침수처리구에서는 적온구와 고온구가 각각 64와 68%로 크게 낮아졌다. 수량은 온도의 영향보다는 침수시간의 영향이 매우 컸으며 침수시간이 길수록 현저하게 감소하였다. 이것은 침수시간이 24시간까지는 어느정도 수량을 확보할 수 있지만 더 이상 길어지면 토양내 수분함량이 증가하여 뿌리호흡 및 근활력이 크게 저하되어 광합성능력까지 떨어뜨림으로써 생산성이 낮아지는 것을 의미한다. 또한 배추 재배 시 30°C 이상의 고온이 되지 않도록 하고, 고온시 침수가 되면 결과가 완전하게 되지 않았더라도 가급적 일찍 수확하는 것이 생산량 확보에 유리하다.



Fig. 1. Head of Kimchi cabbage as affected by waterlogging treatments. Description of treatments: A-E (air temperature 20°C combined with waterlogging 0, 12, 24, 48, and 72 hours) and F-J (air temperature 30°C combined with waterlogging 0, 12, 24, 48, and 72 hours). Bar represents 15 cm.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ012666)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

- Ahmed, S., E. Nawata, M. Hosokawa, Y. Domae, and T. Sakuratani, 2002: Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Science* **163**(1), 117-123.
- Berridge, M. V., P. M. Herst, and A. S. Tan, 2005: Tetrazolium dyes as tools in cell biology: new insights into their cellular reduction. *Biotechnology Annual Review* **11**, 127-152.
doi.org/10.1016/s1387-2656(05)11004-7.
- Bradford, K. J., and S. F. Yang, 1981: Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience* **16**(1), 25-30.
- Chilelers, N. F., and D. G. White, 1942: Influence of submersion of the roots on transpiration, apparent photosynthesis, and respirations of young apple trees. *Plant Physiology* **17**(4), 603-618.
- Eum, H. L., S. J. Bae, B. S. Kim, J. R. Yoon, J. K. Kim, and S. J. Hon, 2013: Post harvest quality changes of Kimchi cabbage 'Choongwang' cultivar as influenced by postharvest treatments. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(4), 429-436.
- Guh, J. O., and Y. I. Kuk, 1996a: Effects of depth and duration of flooding on growth and yield at different growth stage in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Environmental Agriculture* **15**(3), 325-334.
- Guh, J. O., and Y. I. Kuk, 1996b: Effects of depth and duration of water-logging on growth and yield at transplanting and flowering stage in pepper. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **15**(4), 425-433.
- Hartmann, D. L., A. M. G. Klein Tank, M. Rusticucci, L. V. Alexander, S. Bronnimann, Y. Charabi, F. J. Dentener, E. J. Dlugokencky, D. R. Easterling, A. Kaplan, B. J. Soden, P. W. Thorne, M. Wild, and P. M. Zhi, 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.
- Heo, I. H., S. Kim, K. Lee, W. T. Kwon, and S. Lee, 2008: Impacts of climate change on agriculture in Naju. *Journal of Climate Research* **3**(1), 17-30.
- Hwang, J. M., and G. S. Tae, 2001: Changes in the growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) and soil moisture according to irrigation and cultivating methods. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science* **42**(3), 295-299.
- Hwang, S. W., J. Y. Lee, S. C. Hong, Y. H. Park, S. G. Yun, and M. H. Park, 2003: High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **36**(6), 417-422.
- Hwang, S. M., T. R. Kwon, E. S. Doh, and M. H. Park, 2010: Growth and physiological adaptations of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill) in response to water scarcity in soil. *Journal of Bio-Environment Control* **19**(4), 266-274.
- 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.
- International Panel on Climate Change (IPCC), 2007: Fourth Assessment Report.
- Kang, S. B., H. J. Jang, I. B. Lee, J. M. Park, and D. K. Moon, 2007: Changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence of 'Campbell Early' and 'Kyoho' grapevine under long-term waterlogging condition. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **25**(4), 400-407.
- Kang, S. B., I. B. Lee, J. M. Park, and T. J. Lim, 2010: Effect of waterlogging conditions on the growth, root activities and nutrient content of 'Campbell Early' grapevine. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **28**(2), 172-179.
- Kuoa, C. G., J. S. Tsaya, C. L. Tsaia, and R. J. Chen, 1981: Tipburn of Chinese cabbage in relation to calcium nutrition and distribution. *Scientia Horticulturae* **14**(2), 131-138.
- Lee, J. S., K. Y. Paek, Y. A. Shin, S. H. Park, S. T. Jeong, and J. H. Hwang, 2004: Effect of soil waterlogging at three developmental stages on growth, fruit yield and physiological responses of oriental melon. *Korean Journal of Horticultural Science Technology* **22**(1), 1-6.
- Lee, S. G., C. S. Choi, J. G. Lee, Y. A. Jang, H. J.

- Lee, W. B. Chae, and K. R. Do, 2014: Influence of shading and irrigation on the growth and development of leaves tissue in hot pepper. *Korean Journal Horticultural Science and Technology* **32**(4), 448-453.
- Lee, S. G., H. J. Lee, S. K. Kim, C. S. Choi, and S. T. Park, 2016: Influence of waterlogging period on the growth, physiological responses, and yield of Kimchi cabbage. *Journal of Environmental Science International* **25**(4), 535-542.
- Lee, H. J., S. T. Park, S. K. Kim, C. S. Choi, and S. G. Lee, 2017: The effects of high air temperature and waterlogging on the growth and physiological responses of hot pepper. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **35**, 69-78.
- Ou, L. J., and X. X. Zou, 2012: The photosynthetic stress responses of five pepper species are consistent with their genetic variability. *Photosynthetica* **50**, 49-55.
- Ou, L. J., X. Z. Dai, Z. Q. Zhang, and X. X. Zou, 2011: Responses of pepper to waterlogging stress. *Photosynthetica* **49**, 339-345.
- Pang, J. Y., M. X. Zhou, N. Mendham, and S. Shabala, 2004: Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research* **55**(8), 895-906.
- Sammis, T. W., B. A. Kratky, and I. P. Wu, 1988: Effects of limited irrigation on lettuce and Chinese cabbage yields. *Irrigation Science* **9**(3), 187-198.
- Saure, M. C., 1998: Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. *Scientia Horticulturae* **76**(3-4), 131-147.
- Smittle, D. A., W. L. Dickens, and J. R. Stansell, 1994: Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *Journal of American Society Horticultural Science* **119**(5), 936-939.
- Suh, H. D., 1990: Studies on the submergence injury in radish (*Raphanus sativus* L.) and Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *pekinensis*). Ph. D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Suh, H. D., S. K. Park, and J. M. Hwang, 1987: Effect of waterlogging on the growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.). *Research Reports of the Rural Development Administration-Horticulture* **29**(1), 38-50.