Journal of Bio-Environment Control, 15(4):364-368, (2006)

고온과 고농도 CO_2 조건에서 배추와 무의 생육 반응 및 탄소 고정량

이지원[1]* · 김승유[2] · 장윤아[1] · 문지혜[1] · 이우문[1]
[1]원예연구소, [2]농촌진흥청 연구개발국

Growth Response and CO_2 Biomass of Chinese Cabbage and Radish under High Temperature and CO_2 Concentration

Ji Weon Lee[1]*, Seung Yu Kim[2], Yoon-Ah Jang[1], Ji-Hye Moon[1], and Woo-Moon Lee[1]
[1]National Horticultural Research Institute (NHRI), RDA, Suwon 440-310, Korea
[2]Rural Development Administration (RDA), Suwon 441-707, Korea

Abstract. This experiment was carried out to figure out the CO_2 biomass and the growth response of Chinese cabbage and radish grown under the condition of high temperature and high CO_2 concentration to provide the information for the coming climatic change. Chinese cabbage and radish were cultivated in spring and autumn seasons under 4 treatments, 'ambient temp.+ambient CO_2 conc.', 'ambient temp.+elevated CO_2 conc.', 'elevated temp.+ambient CO_2 conc.', and 'elevated temp.+elevated CO_2 conc.'. The 'elevated temp.' plot was maintained at 5 higher than 'ambient temp. (outside temperature)' and the 'elevated CO_2 conc.' plot was done in 650 ppm CO_2. The growth of spring-sown Chinese cabbage was worse than autumn-sown one, and was affected more by high temperature than high CO_2. concentration. The CO_2 biomass of Chinese cabbage was lower as 25.1-39.1 g/plant in spring-sown one than 54.8-63.4 g/plant of autumn-sown one. Daily CO_2 fixation ability was not significantly different between spring- and autumn-sown Chinese cabbage as 1.9-2.9, 2.7-3.1 kg/10a/day, respectively. The CO_2 biomass of radish were 87.4-104.6 g/plant in spring-sown one and 51.3~76.4 g/plant in autumn-sown one. Daily CO_2 fixation ability of radish were 6.2-10.1 kg/10a/day in spring-sown one and 4.6-6.9 kg/10a/day in autumn-sown one.

Key words : CO_2 fixation, climatic change, photosynthetic characteristics

*Corresponding author

서 언

농업은 지구 온난화를 촉진하기도 하지만 또한 수질 정화 및 수자원 함양, 토양침식 방지, 공기 정화 등과 같은 여러 가지 기능으로 환경을 보호하는 다원적 기능을 가지고 있다. 최근 이러한 기능들은 농업의 가치를 평가하는데 중요한 요소로 새롭게 부각되고 있다. 한편, 지구온난화를 방지하기 위하여 1993년에 체결된 기후변화협약으로 각국은 이 협약의 이행이 불가피한데 이 협약은 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치고 있는 이산화탄소 등 온실가스의 발생량을 줄이는 것이 핵심 내용이다(Jo, 2002; Ministry of Environment). 또 2005년 2월 발효된 교토의정서에 의하면 각국은 '08년도부터 온실가스 배출량 감축이 의무화되어 있다 (Lim, 2005). 따라서 선진국에서는 온실효과를 유발하는 주요 원인인 이산화탄소의 배출을 감축하는 기술뿐만 아니라 산림, 토양 등 이산화탄소 흡수원(sink)에 대하여 많은 연구를 수행되고 있다. 우리나라도 향후 온실가스 감축의무 이행에 대비하여 농작물의 이산화탄소 흡수 잠재력을 분석하고 이를 흡수원으로 인정받을 수 있는 체계를 사전에 구축할 필요가 있다.

채소작물은 이산화탄소를 흡수시킬 목적으로 재배되고 있지는 않으나 흡수원으로서 높은 잠재력을 가지고 있다(Noma 등, 2004). 그러나 이러한 측면에서 채소작물을 평가한 연구는 아직 우리나라에 없다. 따라서 본 연구는 우리나라의 주요 노지채소인 배추와 무의 이산화탄소의 고정능력을 추정하고, 미래 기후환경 변화에 대비하여 고온과 고농도 이산화탄소 조건에서 이

들 채소의 생육반응과 이산화탄소의 고정능력을 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

재배환경이 배추의 탄소고정 능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 봄과 가을 2회에 걸쳐 결구배추와 무를 '정상온도+정상CO_2농도', '정상온도+650ppm CO_2', '5°C상승온도+정상CO_2농도', 및 '5°C상승온도+650ppm CO_2'의 4가지 처리 조건을 설정한 phytotron에서 재배하였다. 정상 온도는 대기온도 조건, 상승 온도는 대기온도보다 5°C 높은 조건이며, 정상 CO_2 농도는 대기 CO_2농도, 상승 CO_2 농도는 650ppm CO_2 수준을 유지하였다. 봄 재배용 배추는 'CR 싱싱배추'(홍농종묘), 가을 재배용 배추는 '불암2호'(홍농종묘)를, 봄 재배용 무는 '관동여름무'(홍농종묘), 가을 재배용 무는 '청복무'(홍농종묘)를 사용하였다. 재배는 지름 30cm, 높이 40cm의 플라스틱 포트에 육묘용 상토(바로커, 서울농자재)와 밭토양을 50:50(v/v) 섞은 배양토를 채워 실시하였다. 봄배추는 4월 19일, 가을배추는 8월 5일에 128구 플러그 트레이에 파종하여 4주 동안 육묘한 묘를 무와 같은 포트에 정식하여 처리를 실시하였다. 봄무는 5월 16일에 직파하여 6월 2일에 처리를 시작하였고, 가을무는 9월 1일 파종하여 9월 22일에 처리를 시작하였다. 배추는 정식 후부터, 무는 본엽 4매 전개 후부터 3-4일 간격으로 원예연구소 수경재배 표준액 ($N:P:K:Ca:Mg=15:3:6:8:4me{\cdot}L^{-1}$, EC $1.5dS{\cdot}m^{-2}$)을 관주하였다. 봄배추는 정식 후 50일, 가을배추는 75일에 수확하여 생육을 조사하였고, 봄무는 파종 후 65일, 가을무는 70일에 수확하여 생육을 조사하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 처리별 가을배추와 봄배추의 생육을 조사한 결과이다. 가을배추보다 봄배추에서 전반적으로 생육이 저조하였는데 특히 봄배추는 가을배추에 비해 결구엽(내엽)의 수는 많았으나 외엽 대비 결구엽의 중량이 가을배추에 비해 적었다. 처리별로는 봄배추의 생육은 CO_2 농도보다 고온에 영향을 크게 받았고, 고온에 의한 생육 저하는 높은 CO_2 농도 조건에서 다소 보상되었다. 반면 가을배추는 온도나 CO_2 농도에 대한 영향이 봄배추보다 적었는데 고온조건에서 CO_2를 상승시킬 경우 생육이 다소 촉진되었다. 이러한 결과는 봄배추의 경우 재배시간이 경과할수록 점차 온도가 상승하면서 배추의 생육 적온을 벗어나는 환경에 처하게 되어 나타난 결과로 봄배추 재배 시에는 고온이 생육에 결정적 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 특히 결구기가 되는 생육 후기의 고온은 봄배추 재배 시에 많은 문제가 될 것으로 생각된다. 결구배추의 봄재배 시 결구가 시작된 이후 고온이 결구와 생육에 부정적

Table 1. Effect of air temperatures and CO_2 concentrations on the growth[z] of spring- and autumn-sown Chinese cabbage.

Cropping season	Treatment[y]		Head length (cm)	Head width (cm)	Leaf area (cm^2)	No. of leaves		Dry wt. of leaves(g)	
	Air temp.	CO_2 conc.				Inner	Outer	Inner	Outer
Spring-sown cultivar	Ambient	Ambient	16.9ab[x]	12.9b	8,846	70.0	14.5ab	24.0	64.2
	Ambient	Elevated	22.2a	14.8a	9,979	73.6	11.2b	22.3	55.0
	Elevated	Ambient	16.2b	13.1b	9,011	69.8	12.0ab	15.4	56.5
	Elevated	Elevated	19.3a	15.3a	9,420	71.7	15.0a	20.0	54.3
	Significant level		*	*	ns	ns	*	ns	ns
Autumn-sown cultivar	Ambient	Ambient	39.7b	26.0a	14,382a	67.4	18.8ab	38.9	49.0ab
	Ambient	Elevated	34.3d	21.8b	11,234b	68.3	15.0b	38.1	34.3b
	Elevated	Ambient	41.6a	26.2a	15,503a	62.4	23.8a	33.6	61.9a
	Elevated	Elevated	37.2c	24.8ab	12,411b	64.2	20.8a	37.7	51.6ab
	Significant level		*	*	*	ns	**	ns	*

[z]Spring-sown cultivar was harvested 50 days and autumn-sown was done 75 days after transplanting.
[y]Elevated temperature and elevated CO_2 concentration treatments were maintained 5°C higher than ambient temperature and 650 ppm CO_2 conc., respectively.
[x]Mean separation within by Duncan's multiple range test at p=0.05.

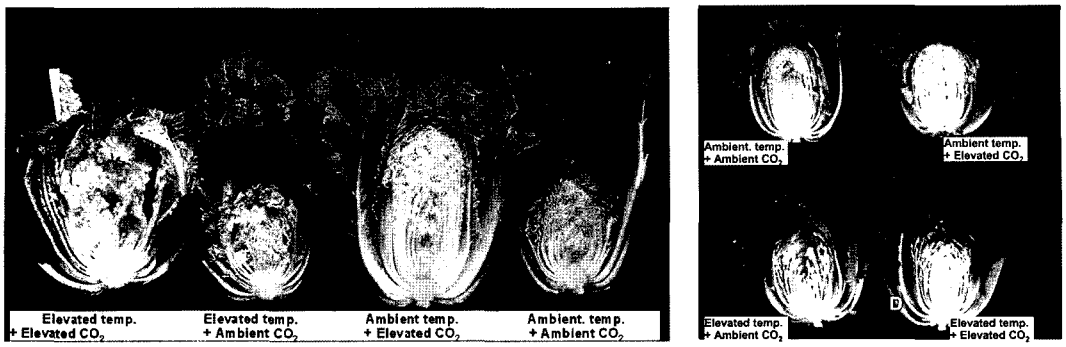

Fig. 1. Growth responses of spring- (left) and autumn-sown (right) Chinese cabbage cultivars in different air temperatures and CO_2 concentrations.

인 영향을 미친다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다 (Kang 등, 2002)

처리별 봄배추와 가을배추의 수확 시 생육 상태를 보면 봄배추의 경우 외기온보다 5°C상승한 온도 조건에서 결구 및 생육이 매우 불량하고, 5°C상승온도에서는 칼슘의 이동 불량으로 알려진 속썩음증이 나타났다 (Fig. 1). 한편 처리온도에 관계없이 650ppm CO_2 처리에서 다소 생육이 촉진되었다. 가을배추의 경우에도 상승온도 조건에서는 속썩음증이 나타났으나 고온조건에서의 생육 저하는 봄배추만큼 크지 않았다.

Noma 등(2004)의 수식(CO_2 고정능력=1.63x건물중)에 근거하여 계산한 배추의 주당 CO_2 고정능력은 봄배추가 25.1-39.1g/plant로 가을배추의 54.8-63.4g/plant보다 낮았고, 1일 CO_2 고정능력은 봄배추 1.9-2.9, 가을배추 2.7-3.1kg·10a^{-1}로 큰 차이가 없었다(Table 2). 이 경우 CO_2 고정능력은 가식부인 결구엽만을 계산하였고, 가식하지 않고 다시 토양에 환원되거나 버려지는 외엽은 포함하지 않았다.

무의 경우에도 봄무는 CO_2 농도에 관계없이 상승온도 처리구에서 가식부인 뿌리의 생육이 매우 저조하였고, 고온에 의한 뿌리의 생육 저해 정도도 가을무보다 봄무에서 컸다. 반면 잎의 생육은 온도처리 간 차이가 크지 않았다(Table 3). 이는 봄무의 경우 생육 후기에 고온으로 동화산물의 전류가 저해를 받은데 원인이 있는 것으로 생각되었다. 무는 고온조건에서는 생육이 나빠지고 뿌리의 비대가 불량해지는 것은 잘 알려진 사실이다(Lim 등, 2000; Park 등, 2002). 무의 경우에도 고온에 의한 생육 부진은 높은 CO_2 농도 처리로 다소 회복되는 양상을 보였다. 이는 CO_2 처리로 절대적인 동화량이 증가하였기 때문으로 생각된다. 이러한

Table 2. CO_2 biomass of spring- and autumn-sown Chinese cabbage in different air temperatures and CO_2 concentrations.

Cropping season	Treatment[z]		Dry wt. of leaves(g)		CO_2 g/plant[y]		CO_2 kg/10a[x]		CO_2 kg/10a/day	
	Air temp.	CO_2 conc.	Inner	Outer	Fixed	Absorbing	Fixed	Absorbing	Fixed	Absorbing
Spring-sown cultivar	Ambient	Ambient	24.0	64.2	39.1	104.6	145	387	2.9	7.7
	Ambient	Elevated	22.3	55.0	36.3	89.7	134	332	2.7	6.6
	Elevated	Ambient	15.4	56.5	25.1	92.1	93	341	1.9	6.8
	Elevated[y]	Elevated[x]	20.0	54.3	32.6	88.5	121	327	2.4	6.5
Autumn-sown cultivar	Ambient	Ambient	38.9	49.0	63.4	79.9	234	296	3.1	4.0
	Ambient	Elevated	38.1	34.3	62.1	55.9	230	207	3.1	2.7
	Elevated	Ambient	33.6	61.9	54.8	100.9	203	373	2.7	5.0
	Elevated	Elevated	37.7	51.6	61.5	100.2	228	371	3.0	4.2

[z]Elevated temperature and elevated CO_2 concentration treatment were maintained at 5°C higher than ambient temperature and 650 ppm CO_2 conc., respectively.
[y]The CO_2 biomass of approximate was multiplied 1.63 by average of dry weight following photosynthesis.
[x]The planting density was 3,700 plants/10a.

Table 3. Effect of air temperatures and CO_2 concentrations on the growth[z] of spring- and autumn-sown radish.

Cropping season	Treatment[y]		No. of leaves	Leaf area (cm^2)	Root		Dry weight(g)	
	Air temp.	CO_2 conc.			Length (cm)	Width (cm)	Shoot	Root
Spring-sown cultivar	Ambient	Ambient	35.3b	9,583a	30.8b	8.7a	49.0	53.6a
	Ambient	Elevated	35.8b	6,852b	37.3a	8.9a	41.8	64.2a
	Elevated	Ambient	36.8b	8,682a	27.9b	6.9b	43.5	39.5b
	Elevated	Elevated	41.8a	6,009b	35.3a	8.4a	42.9	57.8b
	Significant level		*	*	*	**	ns	*
Autumn-sown cultivar	Ambient	Ambient	24.0ab	4,496	28.2	7.9	31.1ab	40.2ab
	Ambient	Elevated	25.0a	4,609	29.1	7.9	32.4a	46.9a
	Elevated	Ambient	22.4b	4,532	27.3	7.4	27.3b	31.5b
	Elevated	Elevated	24.8a	4,332	29.3	7.6	33.9a	41.6b
	Significant level		*	ns	ns	ns	*	*

[z]Spring-sown cultivar was harvested 65 days and autumn-sown one was done 70 days after sowing.
[y]Elevated temperature and elevated CO_2 concentration treatment were maintained at 5°C higher than ambient temperature and 650 ppm CO_2 concentration, respectively.

Table 4. CO_2 biomass of spring- and autumn-sown radish in different air temperatures and CO_2 concentrations.

Cropping season	Treatment[z]		Dry wt. of leaves(g)		CO_2 g/plant[y]		CO_2 kg/10a[x]		CO_2 kg/10a/day	
	Air temp.	CO_2 conc.	Root	Shoot	Fixed	Absorbing	Fixed	Absorbing	Fixed	Absorbing
Spring-sown cultivar	Ambient	Ambient	53.6	49.0	87.4	79.9	550.4	503.2	8.5	7.7
	Ambient	Elevated	64.2	41.8	104.6	68.1	659.3	429.2	10.1	6.6
	Elevated	Ambient	39.5	43.5	64.4	90.9	405.6	446.7	6.2	6.9
	Elevated	Elevated	57.8	42.9	94.2	69.9	593.6	593.6	9.1	6.8
Autumn-sown cultivar	Ambient	Ambient	40.2	31.1	65.5	50.7	412.8	319.3	5.9	4.6
	Ambient	Elevated	46.9	32.4	76.4	52.8	481.6	332.7	6.9	4.8
	Elevated	Ambient	31.5	27.3	51.3	44.5	323.6	280.3	4.6	4.0
	Elevated	Elevated	41.6	33.9	67.8	55.3	427.2	348.1	6.1	5.0

[z]Elevated temperature and elevated CO_2 concentration treatment were maintained 5°C higher than ambient temperature and 650 ppm CO_2 concentration, respectively.
[y]The CO_2 biomass of approximate was multiplied 1.63 by average of dry weight following photosynthesis.
[x]The planting density was 6,300 plants/10a.

Table 5. Effect of temeperatures and CO_2 concentrations on the photosynthetic characteristic of autumn-sown Chinese cabbage and radish

Treatment[z]		Chinese cabbage			Radish		
Air temp.	CO_2 conc.	Pn (μmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Stomatal conductance (mol $H_2O_2 m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Transpiratin rate (mol $H_2O_2 m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Pn (μmol $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Stomatal conductance (mol $H_2O_2 m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Transpiratin rate (mol $H_2O_2 m^{-2} \cdot s^{-1}$)
Ambient	Ambient	8.5b	0.097ab	1.85ab	11.7ab	0.06b	1.39b
Ambient	Elevated	11.2a	0.101a	2.13a	11.3b	0.10a	1.94a
Elevated	Ambient	6.7c	0.039c	0.99c	9.7b	0.05b	1.10b
Elevated	Elevated	7.5c	0.048bc	1.21bc	15.2a	0.04b	0.97b

[z]Elevated temperature and elevated CO_2 concentration treatment were maintained at 5°C higher than ambient temperature and 650 ppm CO_2 concentration, respectively.

결과는 광합성량의 측정 결과로도 뒷받침되었다(Table 5). 고추의 경우 대기중 이산화탄소 증가로 엽수가 증가하고, 엽의 노화가 촉진되는데 이산화탄소 농도 증가로 sink 엽수는 증가하고, source 엽수는 감소한다고 한다(Lee 등, 2005)

무의 CO_2 고정능력은 상대적으로 가식부인 뿌리의 비중이 커 배추의 25.1-63.4g/plant보다 2-3배 정도 높았다. 주당 CO_2 고정능력은 봄무가 87.4-104.6g/plant로 가을무의 51.3~76.4보다 높았고, 1일 CO_2 고정능력도 봄무가 6.2-10.1kg/10a/day로 가을무 4.6-6.9보다 높았다(Table 4). 이는 무가 가식부인 뿌리의 건물량이 배추의 결구엽보다 많고 재식밀도가 배추보다 높은데 기인한 것이다. 따라서 CO_2 고정능력 면에서 무는 배추보다 유리한 작물인 것으로 생각된다.

광합성량은 가을배추의 경우 5°C상승온도보다 정상온도 조건에서 많았고, 같은 온도조건에서는 650ppm CO_2 조건에서 많았다. 가을무의 경우에는 정상온도 조건에서는 CO_2 농도에 따른 차이가 적은 반면 5°C상승온도 조건에서는 650ppm CO_2 농도 처리에서 광합성량이 현저히 증가하였다(Table 5).

요약 및 결론

본 연구는 배추와 무의 이산화탄소 고정능력을 추정하고, 미래 기후환경 변화에 대비하여 고온과 고농도 이산화탄소 조건에서 이들 작물의 생육반응을 알아보고자 수행되었다. 봄과 가을 2회에 걸쳐 무와 결구배추를 '정상온도+정상CO_2 농도', '정상온도+상승CO_2', '상승온도+정상CO_2 농도', 및 '상승온도+상승CO_2'의 4가지 처리 조건에서 재배하였다. 상승 온도는 대기온도보다 5°C 높은 조건이며, 상승 CO_2 농도는 650ppm으로 처리하였다. 가을배추보다 봄배추에서 전반적으로 생육이 저조하였고, 처리별로는 봄배추의 경우 CO_2 농도 보다 고온의 영향을 크게 받았다. 주당 배추의 CO_2 고정능력은 생육기간이 짧은 봄배추가 25.1-39.1g/plant로 가을배추의 54.8-63.4g/plant보다 낮았고, 1일 CO_2 고정능력은 봄배추 1.9-2.9, 가을배추 2.7-3.1kg/10a/day로 큰 차이가 없었다. 무의 주당 CO_2 고정능력은 봄무가 87.4-104.6g/plant로 가을무의 51.3~76.4보다 높았고, 1일 CO_2고정능력도 봄무가 6.2-10.1kg/10a/day로 가을무의 4.6-6.9보다 높았다.

인 용 문 헌

1. Jo, H.K. 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. J. Environ. Management 64:115-126.
2. Kang, H.J., J.S. Lee, K.R. Ryu, and J.T. Lee. 2002. Chinese cabbage cultivation. RDA. Suwon. Korea.
3. Lee, I.B., J.H. Lim, H.L. Kim, and S.B. Kang. 2005. Survey of growth response of pepper under global warming. NHRI Annual Research Report. Suwon. (CD version) p. 37-46.
4. Lim, D.S. 2005. Tendency and confrontation on climatic change convention in OECD. KIET Industry & Economy (Dec., 2005):63-76.
5. 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. p. 52-56.
6. Ministry of Environment. http://www.me.go.kr/.
7. Noma, Y., S. Tukagoshi, and K. Noda. 2004. Amount of CO2 biomass of economic potential in vegetables. 14th International Symposium in Horticultural Economics and Management in Berlin. Internet ed..
8. Park, S.H., J.S. Lee, M.H. Seo, and J.S. Lee. 2002. Radish cultivation. RDA. Suwon. Korea. p. 39-40.