

화력발전소 포집 CO₂를 이용한 시설 엽채류 시비효과 평가

정현우¹ · 황희성² · 박 정³ · 윤성주³ · 황승재^{4,5,6*}

¹경상국립대학교 대학원 응용생명과학부 대학원생, ²경상국립대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생,
³경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부 학부생, ⁴경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부 교수,
⁵경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수, ⁶경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Assessment of CO₂ Fertilization Captured in Thermoelectric Power Plant on Leafy Vegetables Grown in Greenhouse

Hyeon Woo Jeong¹, Hee Sung Hwang², Jeong Park³, Seong Ju Yoon³, and Seung Jae Hwang^{4,5,6*}

¹Graduate Student, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Undergraduate Student, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁶Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. Due to increase of interest in ‘carbon neutrality’, attempts at agricultural use of CO₂ are increasing. In this study, we used the dry-ice made by CO₂ as by-product in thermoelectric power plant on CO₂ fertilization for production of leafy vegetable in greenhouses. The dry-ice was supplied on three leafy vegetable farms (*Allium tuberosum* Rottl. ex Spreng, *Aster scaber*, and *Oenanthe stolonifera* DC.) located in Hadong, Gyeongsangnamdo. Two greenhouses were used in each leaf vegetable crops, one greenhouse used as the control (non-treatment), other greenhouse used as supplied CO₂. For CO₂ fertilization, a gas sublimated from dry ice was supplied to the greenhouse using a specially designed prototype supply machine. *A. tuberosum* greenhouse has no difference of CO₂ concentration between the control, and CO₂ fertilization and shown high CO₂ concentration both greenhouses. However, the CO₂ concentrations in *A. scaber* and *O. stolonifera* greenhouses were increased in CO₂ fertilization treatment. The growth of *A. scaber* and *O. stolonifera* were increased in CO₂ fertilization, and the yield also increased to 36% and 25% than the control, respectively. As a result of economic analysis, the *A. scaber* has increase of income rate, however *A. tuberosum* and *O. stolonifera* has decreased income rate. Thus, the use of the dry-ice made by CO₂ as by-product in thermoelectric power plant has possibility to increase productivity of the leafy vegetable in greenhouse and have agricultural use value.

Additional key words: *Allium tuberosum* Rottl. ex Spreng, *Aster scaber*, carbon neutrality, economical analysis, *Oenanthe stolonifera* DC

서 론

최근 지구온난화가 가속화되고 그로 인한 기후변화의 심각성이 대두됨에 따라 국제사회는 온실가스 감축목표를 수립했고 대한민국을 비롯한 미국, 일본, 스웨덴 등 세계 각국은 2050 탄소중립을 선언했다(Han과 Ma, 2021). 탄소중립은 CO₂를 배출한 만큼 CO₂를 흡수하는 대책을 세워 실질적인 CO₂의 배

출을 막는 개념으로 공장들에서 배출되는 CO₂의 발생량을 기업이 책임지게 하면서 CO₂의 발생을 줄이기 위한 제도이다. 화력발전소에서는 화석연료를 원료로 사용하기 때문에 필연적으로 많은 CO₂와 함께 질소산화물(NOx)과 이산화황(SO₂)과 같은 유해물질을 포함한 가스가 배출된다(Park 등, 2008; Shamshad 등, 2012). 최근, 화력발전소에서 생성된 가스에서 불순물을 제거하여 CO₂로 가공하여 이를 작물 생산성 향상을 위한 CO₂ 공급원으로 활용하려는 시도가 이루어지고 있다. 포집하여 가공된 CO₂를 농업용 CO₂로 공급한다면 기업의 CO₂ 배출량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 농업 현장에서도 궁

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received September 30, 2022; Revised October 18, 2022;

Accepted October 20, 2022

정적인 영향을 줄 것으로 기대된다.

CO₂는 광합성의 필수원료이며, 작물은 물과 CO₂를 원료로 빛을 이용하여 포도당과 산소를 만드는 광합성을 한다. 대부분의 작물은 대기 중의 CO₂ 농도인 400 μmol·mol⁻¹보다 높은 CO₂ 농도에서 CO₂ 포화점이 형성되는 것으로 알려져 있다 (Shin 등, 2002; Seo 등, 2021). 따라서 CO₂ 공급량을 늘리게 되면 광합성이 증가하여 생산성과 품질 및 수량을 증가시킬 수 있다 (Son 등, 2014; Kimball, 1983). 또한 시설에서 재배되는 작물은 광합성이 주로 이루어지는 낮에 CO₂ 농도가 급격하게 저하되며 (Kim 등, 2009), 시설 내 CO₂ 농도는 대기 농도 이하로 감소하여 광합성량이 감소하게 된다. 이로 인해 많은 시설재배 농가는 CO₂의 추가적인 공급을 통해 시설 작물의 생산량과 품질을 향상시키는 재배방법을 이용하고 있다 (Shin 등, 2002).

이전의 연구에서 시설 내 딸기, 파프리카, 토마토 등 CO₂ 시비를 통해 작물의 수량과 생육을 증진시키는 연구가 진행되어 왔다 (Kang 등, 2007; Choi 등, 2017; Lee 등, 2008). 하지만 시설재배 엽채류에 대한 CO₂ 시비효과에 관한 연구는 미미한 실정이며 특히 토경재배를 이용하는 시설 엽채류 작물에 대한 실증연구는 매우 부족하다.

따라서, 본 연구는 화력발전소에서 부산물로 배출되는 CO₂를 포집 및 정제 후 엽채류 작물에 공급하여 생육 및 생산성 증대 효과를 평가하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험환경 및 CO₂ 처리

실험은 경상남도 하동에 있는 부추 (*Allium tuberosum* Rott. Ex), 취나물 (*Aster scaber*), 그리고 미나리 (*Oenanthe stolonifera* DC.) 농가에서 진행되었다. 실험은 부추 900m², 취나물 860m², 미나리 670m²의 온실에서 수행되었으며 작물별 1개 동은 대조구, 1개 동은 CO₂ 처리구로 설정하였다. CO₂의 시비실험을

위해 부추는 2021년 12월 2일부터 2021년 12월 24일까지 총 22일간, 취나물은 2021년 12월 30일부터 2022년 1월 20일까지 총 22일간, 그리고 미나리는 2022년 1월 21일부터 2022년 2월 18일까지 총 29일간 공급하였다. 실험기간 동안 온실 내 CO₂의 변화는 CO₂로거 (TR-76Ui, T&D Co., Ltd., Nagano, Japan)를 온실 중앙지점에서 측정하였다.

CO₂는 특수 제작한 CO₂ 공급장치를 이용하여 공급하였다. 화력발전소에 부산물로 배출되는 가스 중 이산화탄소만을 포집 및 정제하여 가공된 드라이아이스를 장치 내부에 충전시키고 승화된 기체 상태의 CO₂가 온실 내부에 설치된 관수 파이프를 통해 공급되게 하였다 (Fig. 1). CO₂의 공급시간은 타이머를 이용하여 5분 작동 후 30분 정지하는 것을 반복하도록 설정하였다. 시설 내 CO₂ 공급을 위한 타이머의 작동은 부추 재배 온실은 저녁 8시부터 다음날 오전 10시까지, 취나물 재배 온실은 오전 7시부터 오전 10시까지, 미나리 재배 온실은 오전 5시부터 오전 10시까지 작동하도록 설정하였다. 부추와 미나리 재배 온실은 오전 10시 30분부터 오후 5시까지 측창을 열어 환기를 실시하였으며, 취나물 재배 온실은 환기를 실시하지 않았다.

2. 생육조사

CO₂ 처리 후 초장, 엽장, 엽폭, 분얼 수, SPAD, 엽면적, 생체중, 건물중을 측정하였다. 엽면적 측정기 (LI-3100, LI-COR Inc., Nebraska, USA)를 이용하여 엽면적, 전자저울 (EW 220-3NM, Kern and Sohn GmbH, Balingen, Germany)을 이용하여 각 처리별 지상부와 지하부의 생체중을 측정하였고, 건물중은 시료를 향한 건조기 (Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, Munich, Germany)에서 70°C로 72시간 건조한 후 측정하였다. SPAD 값은 엽록소 측정기 (SPAD-502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하였다. 상대생장률 (relative growth rate, RGR)과 작물생장속도 (crop growth rate, CGR)는 아래 공식에 의해 산출되었다.

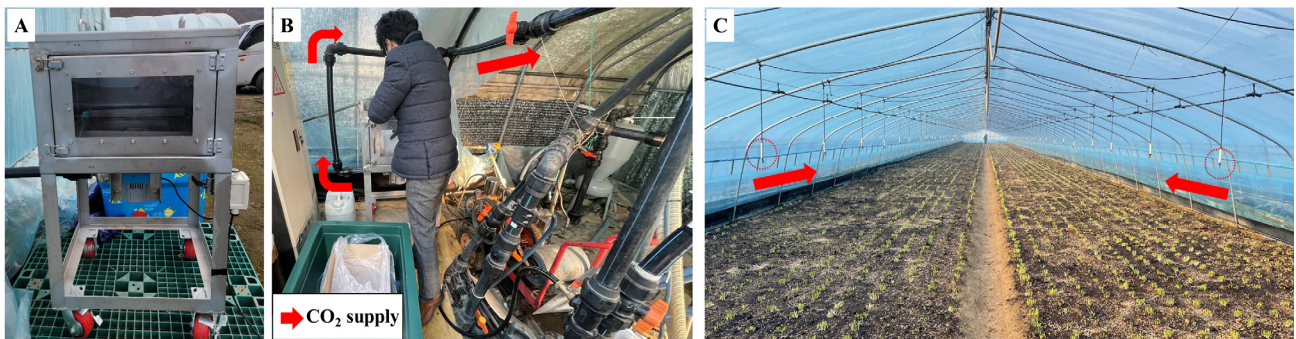


Fig. 1. The CO₂ supply equipment (A) and tube (B) with sprinkler nozzle (C) used for CO₂ fertilization.

$$\text{작물생장속도(CGR, g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}) = (w_2 - w_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{상대생장률(RGR, g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) = (\log_e w_2 - \log_e w_1) / (t_2 - t_1)$$

- w₁, w₂: 시작 및 종료시점의 식물체당 건물중
- t₁, t₂: 시작 및 종료시점의 시간

3. 경제성 분석

경제성 분석은 아래 공식에 의해 산출되었으며, 작물별 1kg 당 평균단가는 농산물유통 종합정보시스템(<https://www.nonnet.or.kr/index.do>)에 고지된 2021년 평균단가(부추, 1,891 원/kg; 취나물, 3,082 원/kg; 미나리, 2,210 원/kg)를 기준으로 계산하였다.

$$\text{총 수입(total income)}$$

$$= \text{총 생산량(total yield)} \times \text{평균단가(average price)}$$

$$\text{드라이아이스 공급장치 비용(CO}_2 \text{ supply equipment cost)}$$

$$= \text{장비비용(facility cost)} \div \text{기대수명(persisting period)}$$

$$\text{드라이아이스 공급비용(dry-ice cost)}$$

$$= \text{조사기간 소비한 총 드라이아이스 무게(total dry-ice weight used in experiment period)} \times 701 \text{ 원}$$

$$\text{운송비용(shipping cost)}$$

$$= \text{운송횟수(number of transportation)} \times 150,000 \text{ 원}$$

$$\text{합계(total)} = \text{이산화탄소 공급장치 설비 비용(CO}_2 \text{ supply equipment cost)} + \text{드라이아이스 공급비용(dry-ice cost)} + \text{운송료(shipping cost)}$$

$$\text{증가수익(gross income)} = \text{단위면적당 총수입(total income)} - [\text{증가 비용(gross income)} + \text{대조구의 단위면적당 총수입(total income of control)}]$$

$$\text{소득률(income ratio)} = [\text{대조구의 단위면적당 총수입(total income of control)} + \text{증가수익(gross income)}] / \text{대조구의 단위면적당 총수입(total income of control)} \times 100$$

4. 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 수행하였다. 실험 결과는 분산 분석(ANOVA)을 실시하였고, t-test를 이용하여 각 처리 간

유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(Sigma-Plot 12.0, Systat Software Inc., CA, USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

1. CO₂ 농도변화

실험기간 동안 대조구와 처리구 모두 부추 재배 온실의 CO₂ 농도는 일반적인 작물의 CO₂ 포화점인 1,800 μmol·mol⁻¹보다 높은 수치인 평균 2,000 μmol·mol⁻¹ 이상으로 측정되었다(Fig. 2). Chi 등(2020)은 비료와 퇴비가 물에 녹으면서 CO₂를 발생시켜 작물의 생육에 영향을 줄 수 있다고 보고하였으며, Singh 등(2010)은 미생물에 의해 토양 내 유기물이 분해되면서 CO₂의 배출량이 증가할 수 있다고 보고하였다. 본 실험이 진행된 부추 재배 온실에서는 부추 재배 시작 전 퇴비를 살포하였고 재배기간 동안 미생물 비료를 주 1회 살포하였다. 따라서 대조구에서의 CO₂ 농도 증가는 퇴비와 요소 시비 그리고 미생물의 호흡에 의한 CO₂ 가스발생에 따른 것으로 판단된다.

취나물과 미나리 재배 온실의 일평균 CO₂ 농도와 일최대 CO₂ 농도는 각각 1,500, 700 μmol·mol⁻¹과 2,000, 1,100 μmol·mol⁻¹

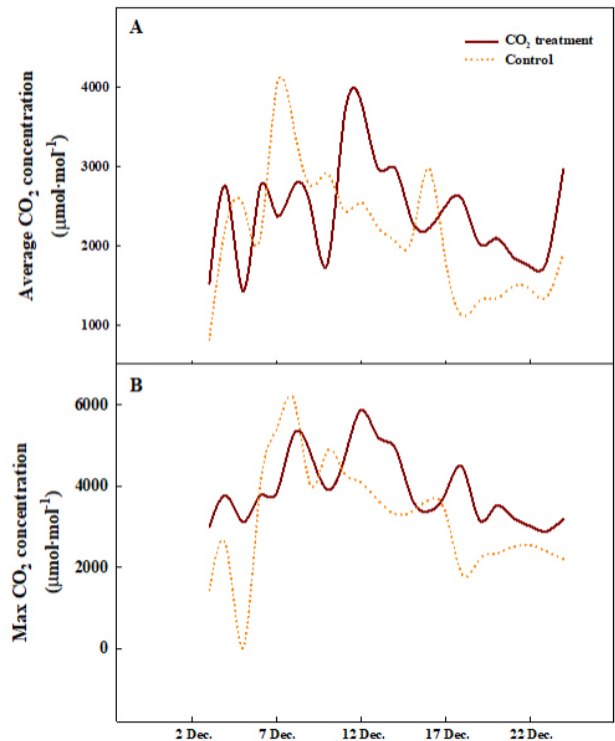


Fig. 2. Changes in the average (A) and the max (B) CO₂ concentration of *Allium tuberosum* Rottler ex Spreng in greenhouses.

μmol^{-1} 으로 CO₂ 처리구에서 유의성 있게 높은 값을 나타내었고, 특히 취나물 온실에서의 일최대 CO₂농도는 대조구 $800\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 과 처리구 $2,000\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 더욱 명확한 차이를 확인할 수 있었다(Figs. 3, 4). 취나물 재배 온실에서 처리구는 평균 CO₂ 농도는 그 이상인 최대 $2,500\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 정도로 대조구의 CO₂ 농도보다 항상 높은 값으로 측정되었고 대조구의 평균 CO₂ 농도는 대기 중 CO₂ 농도보다 높은 $600 - 800\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 값으로 측정되었다. 최대 CO₂ 농도 또한 평균 CO₂ 농도와 마찬가지로 처리구에서 CO₂ 공급 초기부터 농도가 계속 증가하여 최대 $3,000\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 이상의 값을 보이며, 대조구에 비해 높은 값으로 유지되었다. Paek 등(2020)은 딸기재배 온실에 공급하였을 때 온실 내 CO₂ 농도가 $1,690\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$

까지 증가하였다고 보고하였다.

2. 작물의 생육 및 생산량

부추의 생육은 분얼 수를 제외한 모든 조사항목에서 대조구와 처리구 간의 차이가 나타나지 않았다(Table 1, Fig. 5). 이는 대조구와 처리구 간의 CO₂ 농도가 유의적인 차이가 나타나지 않았기 때문으로 판단된다. 부추의 상대생장률과 작물생장속도 또한 유의적인 차이를 보이지 않았다(Figs. 8A, B). 취나물의 생육은 CO₂ 처리구에서 대조구에 비해 증가하였다(Table 2, Fig. 6). 처리구에서 초장, 관부직경, 생체중, 그리고 건물중이 유의성 있게 증가하는 경향을 보였으며, 상대생장률과 작물생장속도는 CO₂ 공급 초기에 CO₂ 처리구에서 유의

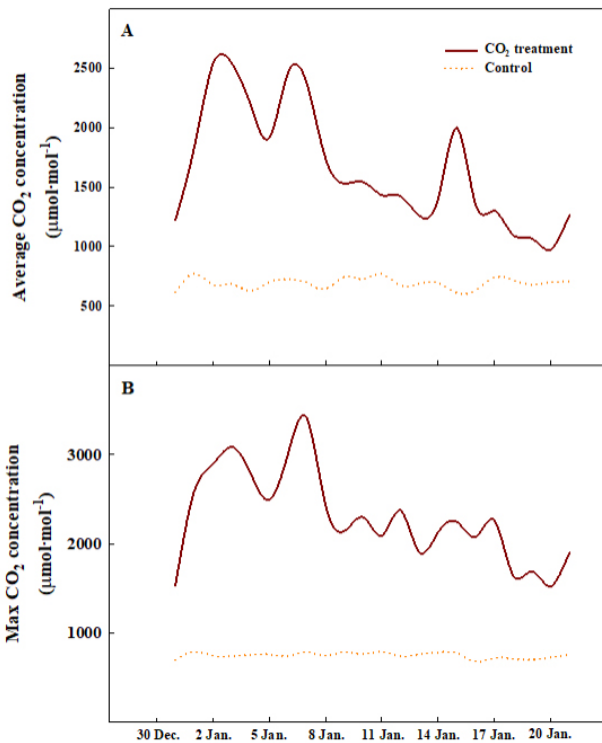


Fig. 3. Changes in the average (A) and the max (B) CO₂ concentration of *Aster scaber* in greenhouses.

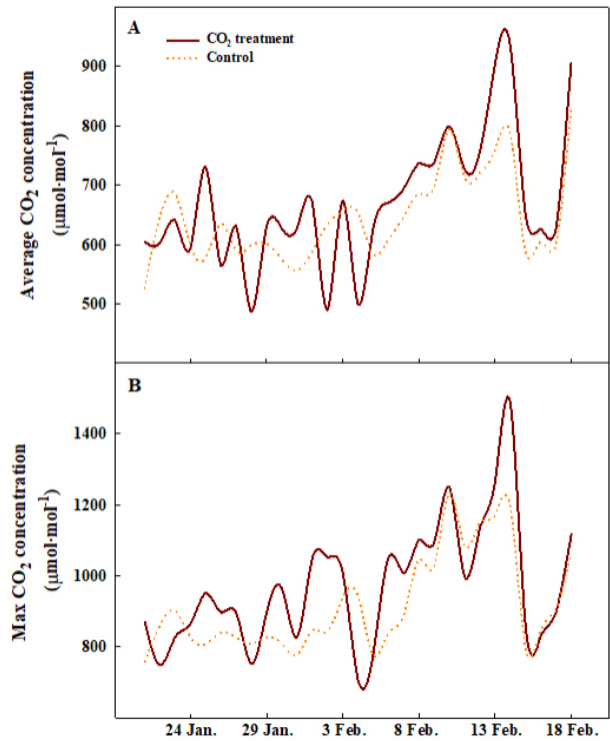


Fig. 4. Changes in the average (A) and the max (B) CO₂ concentration of *Oenanthe javanica* in greenhouses.

Table 1. Growth characteristics of *Allium tuberosum* Rottler ex Spreng affected by CO₂ supply (n = 9).

Treatment	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Tiller number per plant	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf color ^z		
								L*	a*	b*
Control	41.7	1.05	33.0	58.39	853.0	90.76	7.67	38.99	-15.39	20.54
CO ₂	37.4	1.21	111.1	50.89	1,002.5	82.37	7.25	37.98	-15.96	22.54
T-value	2.73 ^{ns}	2.11 ^{ns}	6.51 ^{**}	1.57 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.99 ^{ns}

^zL* value, 0 (black) - +100 (white); 'a' value, 100 (redness) -800 (greenness); 'b' value, +70 (yellowness) - -70 (blueness).

^{ns}, ^{**} Nonsignificant or significant at $p \leq 0.01$, respectively, by independent t-test.

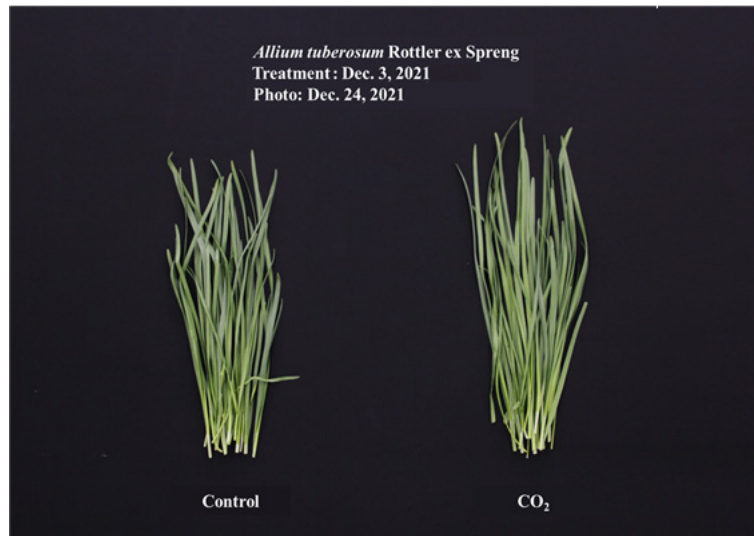


Fig. 5. Growth of *Allium tuberosum* Rottler Ex Spreng affected by CO₂ supply.

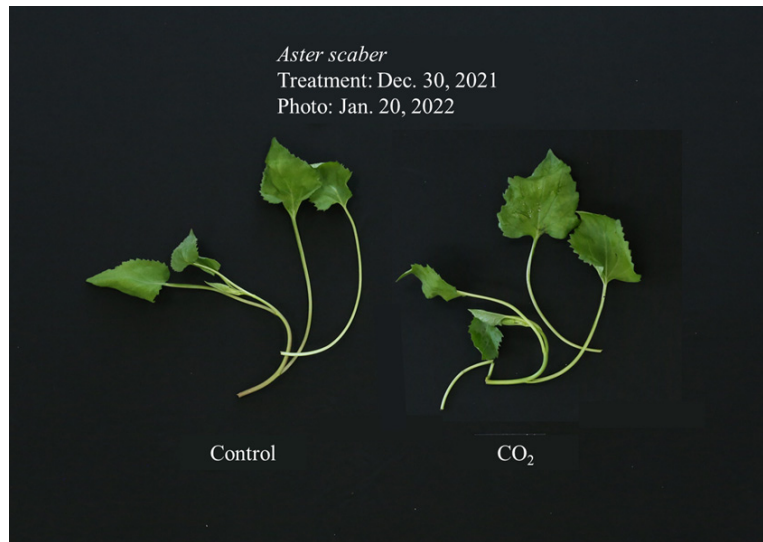


Fig. 6. Growth of *Aster scaber* affected by CO₂ supply.

성 있게 높은 값을 나타냈고 3주 차 이후부터는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Figs. 8C, D). 미나리의 생육은 CO₂ 공급 처리구에서 대조구보다 초장, 엽수, 엽면적, 생체중, 건물중이 유의성 있게 증가하였다(Table 3, Fig. 7). 하지만, 상대생장률과 작물생장속도는 전 기간 유의적인 차이가 없었다(Figs. 8E와 F). 취나물 재배 온실은 CO₂ 공급 초기에 대조구보다 유의적으로 CO₂ 농도가 높아 대조구보다 작물의 생육에 적절한 지상부 환경이 조성된 것으로 판단된다. 공기 중 CO₂ 농도의 증가는 작물의 광합성을 증가시켜 수확량 및 품질을 증가시킬 수 있는 환경 요인이다(Ainsworth와 Rogers, 2007; Xu 등, 2013). 따라서 생육 특성 및 상대생장률과 작물생장률을 고려

하였을 때, CO₂ 시비는 취나물의 생육을 증진시킬 수 있는 것으로 판단된다.

부추의 생산량은 생육과 유사하게 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 취나물과 미나리의 생산량은 생육과 유사하게 처리구에서 대조구에 비해 각각 36%, 25%로 유의성 있게 증가한 결과를 보였다(Fig. 9). 엽채류 작물은 지상부의 잎을 가식부위로 이용하며 생체중의 증가는 생산량의 증가로 연결된다. 이는 CO₂ 공급이 미나리의 생육과 수량 증대에 유의적인 효과가 있음을 입증한 결과로 향후 CO₂ 공급이 취나물과 미나리 농가의 소득 증진에 이바지할 수 있음을 시사한다.

Table 2. Growth characteristics of *Aster scaber* affected by CO₂ supply (n = 9).

Treatment	Plant height (cm)	Crown diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf color ^z		
										L*	a*	b*
Control	15.70	3.17	9.51	7.69	7.67	34.76	211.35	10.74	0.87	38.95	-17.39	27.07
CO ₂	20.43	4.27	10.72	8.00	8.22	33.84	275.76	18.20	1.78	37.85	-17.35	26.18
T-value ^z	-3.30**	-3.49**	-1.60 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	0.63 ^{ns}	-1.41 ^{ns}	-3.22**	-4.29**	0.74 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.26 ^{ns}

^zL* value, 0 (black) - +100 (white); 'a' value, 100 (redness) - -800 (greenness); 'b' value, +70 (yellowness) - -70 (blueness).
^{ns}, *, **Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01, respectively, by independent t-test.

Table 3. Growth characteristics of *Oenanthe javanica* affected by CO₂ supply (n = 9).

Treatment	Plant height (cm)	Crown diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf color ^z		
										L*	a*	b*
Control	35.81	5.93	2.39	1.84	20.56	35.16	63.70	5.97	0.67	36.65	-17.19	27.94
CO ₂	42.96	6.23	2.46	2.01	29.00	32.77	113.01	9.68	0.86	35.45	-17.15	26.28
T-value ^z	-4.74**	-0.37**	-0.34 ^{ns}	-1.41 ^{ns}	-2.54 ^{ns}	1.08 ^{ns}	-3.19 ^{ns}	-2.71**	-2.24**	0.78 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.25 ^{ns}

^zL* value, 0 (black) - +100 (white); 'a' value, 100 (redness) - -800 (greenness); 'b' value, +70 (yellowness) - -70 (blueness).
^{ns}, *, **Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01, respectively, by independent t-test.

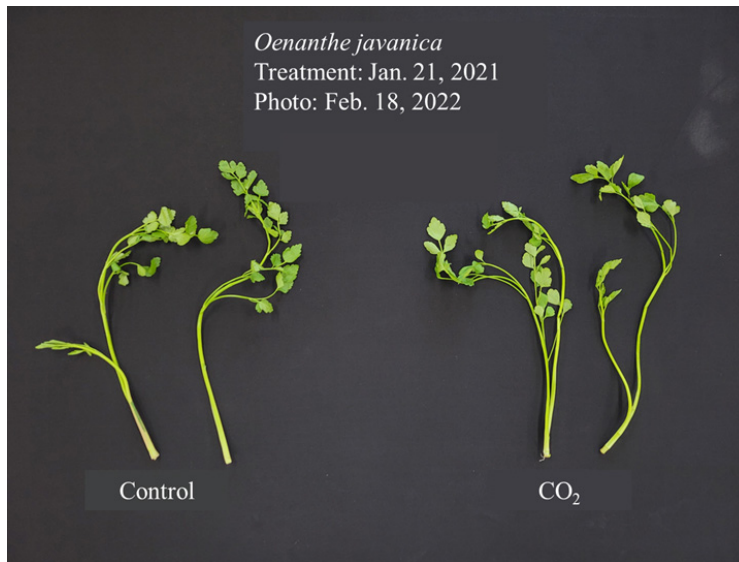


Fig. 7. Growth of *Oenanthe javanica* affected by CO₂ supply.

3. 경제성 분석

CO₂ 공급을 통한 부추, 취나물, 미나리의 경제성은 취나물을 제외한 부추와 미나리에서는 소득이 감소하는 것으로 나타났다(Table 4). 부추는 대조구와 처리구가 각각 4,741kg/10a와 4,700kg/10a로 생산량의 차이가 나타나지 않으며(Fig. 9A) 소득 또한 각각 8,965,231 원/10a와 8,887,700 원/10a로 나타나 소득의 증가가 나타나지 않은 것으로 판단된다(Table 4).

취나물은 다른 작물에 비해 대조구, 처리구 각각 18,000kg/10a와 24,500kg/10a로 높은 생산량의 증가(Fig. 9B)를 나타냈으며 이로 인해 수익률이 14,593,130 원/10a로 가장 높게 나타났다(Table 4). 미나리는 대조구와 처리구에서 각각 4,400kg/10a와 5,500kg/10a로 생산량은 증가하였지만(Fig. 9C), 운송비와 드라이아이스 투입비용을 고려하였을 때 농가의 수익률은 1,127,540 원/10a 감소한 것으로 판단된다. 따라서 드라이아

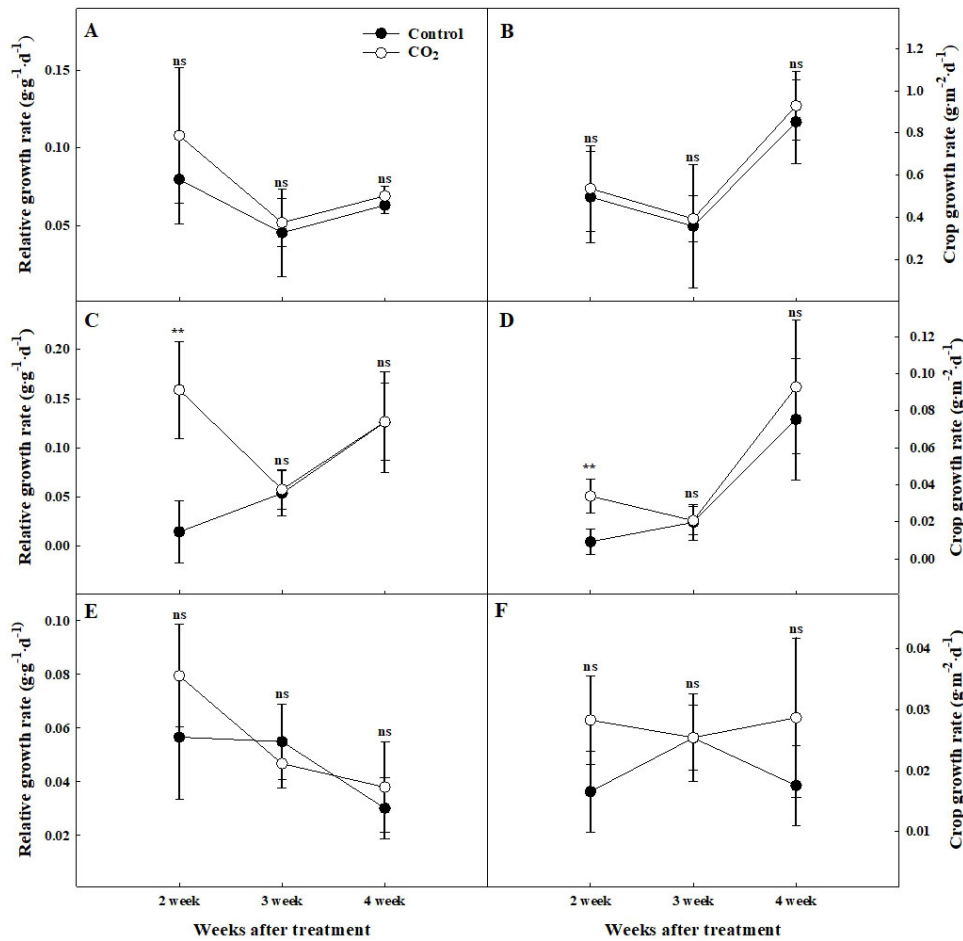


Fig. 8. Relative growth rate and crop growth rate of *Allium tuberosum* (A and B), *Aster scaber* (C and D), and *Oenanthe javanica* (E and F) affected by CO₂ supply. Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 9). ns, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.01$, respectively.

Table 4. The analysis of estimated potential impact on commercial yield and net income.

Crop	Treatment	Total yield ^z (kg/10a)	Total income (won/10a)	Incremental cost (won/10a)				Gross income ^v (won/10a)	Income ratio ^u (%)
				CO ₂ supply equipment	Dry-ice ^y	Shipping ^x	Total ^w		
<i>Allium tuberosum</i>	Control	4,741	8,965,231	-	-	-	-	-	100.0
	CO ₂	4,700	8,887,700	480,000	294,420	2,100,000	2,874,420	-2,951,951	70.4
<i>Aster scaber</i>	Control	18,000	55,476,000	-	-	-	-	-	100.0
	CO ₂	24,500	75,509,000	480,000	609,870	4,350,000	5,439,870	14,593,130	126.3
<i>Oenanthe javanica</i>	Control	4,400	9,724,000	-	-	-	-	-	100.0
	CO ₂	5,500	12,155,000	480,000	378,540	2,700,000	3,558,540	-1,127,540	88.4

^zTotal yield during research period in green houses each leafy vegetable crops.

^yDry-ice cost (*Allium tuberosum* Rottl. Ex Spreng 420 kg, *Aster scaber* 870 kg, *Oenanthe stolonifera* DC. 540 kg) × 701 won = Total dry-ice cost during research period.

^xShipping cost (*Allium tuberosum* Rottl. Ex Spreng 12 time, *Aster scaber* 29 time, *Oenanthe stolonifera* DC. 18 time) × 150,000 won = Total shipping cost during research period.

^wTotal = CO₂ supply equipment cost + dry-ice cost + shipping cost.

^vGross income = Total income – (gross income + total income of control).

^uIncome ratio = (Total income of control + gross income)/total income of control × 100.

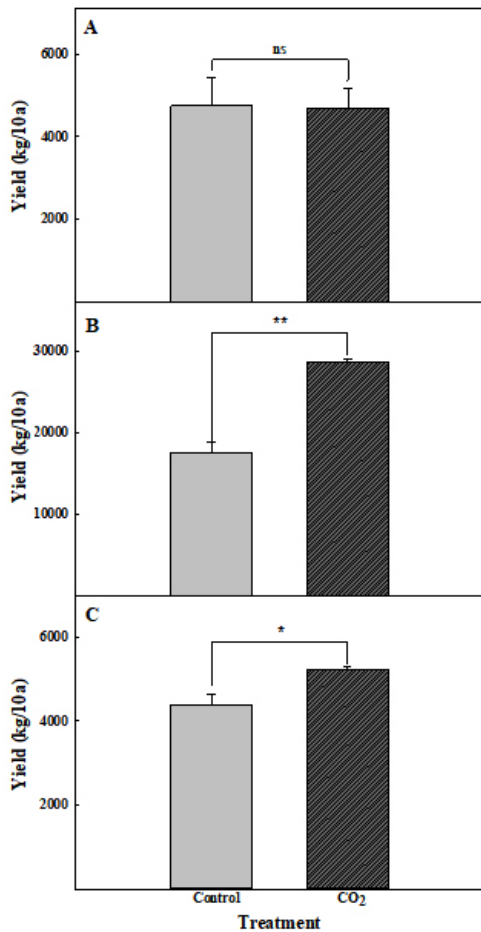


Fig. 9. The yield of *Allium tuberosum* (A), *Ater scaber* (B), and *Oenanthe javanica* (C) affected by CO₂ supply. Vertical bars indicate standard errors of the means (n=9). ns, **, *Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01, respectively.

이스를 이용한 CO₂의 시비는 취나물의 생육, 생산성뿐만 아니라 수익률 증진에 유의적인 효과가 입증되었다. 미나리는 생육과 생산성 면에서는 증가하는 결과가 나타났지만, 상대적으로 높은 운송료의 이유로 단위면적 당 총 수입보다 증가 비용이 더 많아 증가수익은 음수로 나타났지만 높은 운송료를 줄이는 방안을 연구해 현장에 적용한다면 증가수익 및 수익률을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

‘탄소중립’에 대한 관심이 높아짐에 따라 CO₂를 농업적으로 이용하기 위한 시도가 증가하고 있다. 본 실험은 발전소에서 부산물로 배출되는 CO₂를 포집하여 액화 정제 후 시설 업체류의 생육 및 생산성 증대를 위한 시비용 CO₂로의 활용 가능성을 평가하기 위해 수행되었다. 경상남도 하동지역의 부

추, 취나물, 미나리 농장에 드라이아이스가 공급되었고 각 농장의 온실 중 하나의 온실은 대조군, 하나의 온실은 CO₂ 처리구로 사용되었다. CO₂의 시비는 자체 제작한 장치를 사용하여 드라이아이스에서 승화된 가스를 온실에 공급했다. 부추 온실은 대조군과 CO₂ 처리에서 온실 내 CO₂ 농도의 차이가 없었고 두 온실 모두 높은 CO₂ 농도를 보였다. 반면에 취나물과 미나리 온실에서는 CO₂ 시비 처리에서 높은 CO₂ 농도가 측정되었다. 취나물 및 미나리의 생육은 CO₂ 시비 처리구에서 유의성 있게 증가하였으며 수확량도 각각 36%와 25%로 증가하였다. 경제성 분석 결과, 취나물 농가에서는 소득률이 증가하였지만, 부추와 미나리 농가는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 화력발전소에서 부산물로 발생한 드라이아이스의 이용은 시설 업체류의 생산성을 높일 수 있었다.

추가주제어: 경제성분석, 미나리, 부추, 취나물, 탄소중립

Literature Cited

Ainsworth E.A., and A. Rogers 2007, The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: Mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell Environ* 30:258-270. doi:10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x

Paek Y., S.W. Kang, J.K. Jang, and J.K. Gwon 2020, Variations of carbon dioxide concentration in a strawberry greenhouse using dry ice. *J Korea Acad-Ind Coop Soc* 21:182-187. (in Korean) doi:10.5762/KAIS.2020.21.2.182

Chi Y., P. Yang, S. Ren, N. Ma, J. Yang, and Y. Xu 2020, Effect of fertilizer types and water quality on carbon dioxide emissions from soil in wheat-maize rotations. *Sci Total Environ* 698: 134010. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134010

Choi I.Y., J.S. Yoon, H.S. Yoon, K.Y. Choi, I.S. Kim, and H.M. Kang 2017, Effects of carbon dioxide fertilization on the quality and storability of strawberry ‘Maehyang’. *Protected Hort Plant Fac* 26:140-145. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.2.140

Han S.H., and A.R. Ma 2021, The meaning of the framework act on carbon neutrality and future legal tasks. *J Law Politics Res* 21:123-146. (in Korean)

Kang Y.I., S.Y. Lee, H.J. Kim, H. Jeon, and B.Y. Jeong 2007, Effects of CO₂ enrichment concentration and duration on growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Bio-Env Con* 16:352-357. (in Korean)

Kim Y.H., I.B. Lee, C.H. Jeon, H.S. Hwang, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Yoo, J.P. Bitog, and K.S. Gwon 2009, Utilization of CO₂ influenced by windbreak in an elevated production system for strawberry. *J Bio-Env Con* 18:29-39. (in Korean)

Kimball B.A. 1983, Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron J*

- 75:779-788. doi:10.2134/agronj1983.00021962007500050014x
- Lee I.B., S.B. Kang, and J.M. Park 2008, Effect of elevated carbon dioxide concentration and temperature on yield and fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Korean J Environ Agric 27:428-434. (in Korean) doi:10.5338/KJEA.2008.27.4.428
- Park K.H., J.Y. Lee, S.H. Hong, S.H. Choi, and S.C. Hong 2008, A study on the deactivation of commercial deNO_x catalyst in fired power plant. J Korean Ind Eng Chem 19:376-381. (in Korean)
- Seo W., H. Lee, and Y.H. Kim 2021, Revision of 22-year records of atmospheric baseline CO₂ in South Korea: application of the WMO X2019 CO₂ scale and a new baseline selection method (NIMS Filter). Atmosphere 31:593-606. (in Korean) doi:10.14191/Atmos.2021.31.5.593
- Shamshad A., M.H. Fulekar, and P. Bhawana 2012, Impact of coal based thermal power plant on environment and its mitigation measure. Int Res J Environ Sci 1:60-64.
- Shin S.B., I.J. Chun, and I.S. Kim 2002, Effect of CO₂ enrichment during seedling stage on the effectiveness of CO₂ enrichment after transplanting in leafy vegetables. J Bio-Env Con 11:35-39. (in Korean)
- Singh B.K., R.D. Bardgett, P. Smith, and D.S. Reay 2010, Microorganisms and climate change: Terrestrial feedback and mitigation options. Nat Rev Microbiol 8:779-790.
- Son I.C., J.H. Han, J.G. Cho, S.H. Kim, E.H. Chang, S.I. Oh, K.H. Moon, and I.M. Choi 2014, Effects of the elevated temperature and carbon dioxide on vine growth and fruit quality of 'Campbell Early' grapevines (*Vitis labruscana*). Hortic Sci Technol 32:781-787. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.13059
- Xu Z.Z., H. Shimizu, Y. Yagasaki, S. Ito, Y.R. Zheng, and G.S. Zhou 2013, Interactive reacts of elevated CO₂ drought and warming on plants. J Plant Growth Regul 32:692-707. doi: 10.1007/s00344-013-9337-5