

Effects of CO₂ Enrichment During Seedling Stage on the Effectiveness of CO₂ Enrichment after Transplanting in Leafy Vegetables

Seok Beom Shin · Ik Jo Chun · Il Seop Kim*

Divison of Applied Plant Science, Kangwon National Univ., Chunchon 200-701, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of early CO₂ enrichment during seedling stage on long-term CO₂ enrichment after transplanting in the culture of pak-choi (*Brassica campestris* L), spinach (*Spinacia oeracea* L.), and leaf lettuce (*Lactuca sativa* L). During seedling stage, CO₂ enrichment had significantly higher fresh and dry weight and leaf area of the top parts (above ground) of all three plant species than the control (no CO₂ enrichment). About 53%, 70%, and 40% increase in fresh weight of the top parts of pak-choi, spinach, and leaf lettuce were observed, respectively. Also, in seedling stage, dry weights of roots of spinach and leaf lettuce were significantly increased by early CO₂ enrichment. Relative fresh weight increment, compared with fresh weight of the control, in the top parts of all three plants showed the highest values in 10 days after CO₂ enrichment treatment. In the long-term CO₂ enrichment experiment, early CO₂ enriched plants had 20% greater leaf area than the control in all three leafy vegetables. Fresh and dry weights of top parts of early CO₂-treated plants were also increased from 10 to 20%, as compared with the control plants. However, these increment rates in the long-term CO₂ enrichment were lower than those seedling stage, which had 30~60% increment-rates. After transplanting, photosynthetic rate of each leafy vegetable in the control treatment slowly decreased, but those rates of early CO₂ enriched plants rapidly decreased.

Key word: CO₂ enrichment, seedling stage, leafy vegetable, growth, photosynthesis

*corresponding author

서 론

일반적으로 대기중의 평균 CO₂ 농도는 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 전후이며, 식물이 성장하고 있는 지표 부근의 균락상태에서는 광합성이 왕성한 주간에는 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 전후로 낮아지다가 야간에는 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 이상으로 증가하여 하루 중에도 시간에 따라 그 농도가 변한다. 대부분의 채소는 대기중의 CO₂ 농도보다 3~5배 높은 농도에서 CO₂ 포화점이 형성되기 때문에 CO₂ 농도를 높임으로서 광합성율을 증가시키고 작물의 생육을 촉진시킬 수 있다. 특히 저온기에 밀폐된 시설 내에서 작물을 재배할 경우 주간 CO₂ 농도는 거의 기아상태까지 낮아지고 환기를 하더라도 대기농도보다 30~50 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 정도 낮은 것이 일반적이기 때문에 시설내 CO₂ 사용 효과는 매우 큰 것으로 평가되고 있다.

CO₂ 사용에 따른 순광합성, 생육촉진 및 수량증대에

관한 연구는 호온성 작물인 토마토와 오이에서 많이 이루어져 있다. 우리나라의 작물재배 면적은 원예선진국보다 적은 편이 아니며, 시설원예의 대부분이 다중피복의 보온 위주로 이루어지고 있기 때문에 CO₂ 사용 효과가 크게 기대되고 있으나 아직까지 CO₂ 사용이 일반화되지 않았고, 엽채류의 CO₂ 사용에 관한 연구도 미흡한 실정이다.

CO₂ 사용 효과는 엽근채류에 있어서 40%, 과채류에서는 20% 정도의 수량 증대가 인정되어 작물간에 큰 차이를 나타내고 있다(Kimball, 1983). 그러나 CO₂ 사용이 장기화되면서 후기의 생장이 둔화되고 수량이 감소하는 추세를 보인다는 보고(Peet, 1986)가 있으며, 특히 육묘기 CO₂ 사용이 정식 후 CO₂ 사용 효과를 크게 둔화시킨다는 보고도 있다. 이러한 CO₂ 장기 사용은 잎에 탄수화물의 집적(Clough et al., 1981; Sasek et al., 1985), stomatal conductance의 감소(Peet et al., 1986), 엽내 rubisco 활성의 저하(Peet et al., 1986;

Spenser and Bowes, 1986; Vu et al., 1983) 등으로 인하여 작물의 생장을 둔화시키는 것으로 추정되고 있으나 이에 대한 연구보고는 극히 미흡한 상태에 있다.

본 연구는 육묘시 CO₂ 시용이 정식 후 CO₂의 장기 시용으로 인한 엽채류의 생육에 미치는 영향을 조사하여 합리적인 CO₂ 시용 방법의 구명에 필요한 기초자료를 얻음 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 강원대학교의 유리온실에서 10월부터 11월에 걸쳐 수행되었다. 작물은 청경채(*Brassica campestris* L.), 시금치(*Spinacia oeracea* L.) 및 상추(*Lactuca sativa* L.)를 공시하였다. 10월 3일에 128공 plug tray에 파종하여 11월 10일에 폭 9 cm 플라스틱 포트에 정식하였고, 상토는 ball 상토(홍농종묘)를 사용하였다. CO₂ 시용은 파종 후 24일째부터 시작하여 육묘기에는 14일간 처리하였고, 정식 후에는 30일간 처리하였다. CO₂ 처리는 육묘기에는 750 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 으로 처리하여 무처리구와 비교하였고, 정식 후에는 육묘기의 처리구와 무처리구에 모두 1,500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 CO₂를 처리하여 육묘시 무처리구를 대조구로 하여 비교하였다. CO₂ 공급농도는 CO₂ 조절기(GH250E, Sensonix Co., Japan)를 사용하여 액화탄산가스를 호스를 통해 밀폐된 온실내로 유입시켜 조절하였다. CO₂ 시용은 일출과 함께 시작하여 실내온도가 35°C 이상으로 높아지면 중단하고 환기를 시켰다. 시설내의 야간온도는 15°C 이상으로 유지시켰다. 엽면적 측정은 엽면적계(CI-202 area meter, USA)를 사용하였고, 광합성률은 휴대용 광합성 측정기(KIP-8510, KOITO, Japan)를

이용하여 정식 후 CO₂ 시용 10일, 20일 및 30일째에 광도 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건과 엽온 25~30°C에서 각각 측정하였다. 생육조사는 CO₂ 처리 후부터 5일 간격으로 엽수, 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 및 생체중의 상대증가율을 조사하였다.

결과 및 고찰

육묘시 CO₂ 시용 효과

CO₂ 시용으로 인해 식물체의 지상부 생체중과 건물중 및 엽면적은 청경채, 시금치 및 상추에서 모두 무처리구에 비해 현저히 증가하였는데, 생체중의 경우 처리구에서 각각 50%, 60% 및 30% 내외의 CO₂ 시용 효과를 나타내었다(Table 1). 엽수와 뿌리 건물중은 시금치 및 상추에서 무처리구에 비해 처리구에서 증가하는 경향을 보였으나 청경채에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 무처리구에 대한 지상부 생체중의 상대증가율은 청경채, 시금치 및 상추에서 공히 CO₂ 시용 10일 전후에서 가장 높았는데, 각각 53%, 70%, 40%로 나타났다. 이러한 생체중의 증가는 가을재배의 약광과 저온의 생육조건에서 잎의 광합성 촉진으로 CO₂ 처리 효과가 크게 증대되었기 때문으로 사료된다(Fig. 1).

육묘시 CO₂ 시용이 정식 후 CO₂ 장기 시용 효과에 미치는 영향

정식 후 CO₂ 시용 효과를 육묘시 CO₂를 사용한 처리구와 사용하지 않은 대조구로 구분하여 비교한 결과, 엽면적은 청경채, 시금치 및 상추에서 모두 처리구가 대조구에 비해 20% 내외의 증가를 보였다. 지상부 생체중과 건물중은 처리구에서 3작물 모두 10~20%

Table 1. Effects of CO enrichment on the growth of leafy vegetables during seedling stage

| Species | CO ₂ treatment ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) | Days of CO ₂ supply | Number of leaves | Leaf area (cm ²) | Fresh weight (g) | | Dry weight (g) | |
|--------------|---|--------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------|--------|----------------|--------|
| | | | | | Top | Root | Top | Root |
| Pak-choi | Con. ^z | 0 | 4.8a ^y | 71.7b | 0.701b | 0.125a | 0.062b | 0.014a |
| | 750 | 15 | 4.9a | 136.4a | 1.070a | 0.130a | 0.098a | 0.015a |
| Spinach | Con. | 0 | 6.1b | 34.7b | 0.325b | 0.130a | 0.031b | 0.012b |
| | 750 | 15 | 6.8a | 48.5a | 0.532a | 0.136a | 0.051a | 0.014a |
| Leaf lettuce | Con. | 0 | 4.1b | 53.0b | 1.231b | 0.221b | 0.068b | 0.013b |
| | 750 | 15 | 4.6a | 66.6a | 1.635a | 0.260a | 0.090a | 0.020a |

^zCon. represents no CO₂ enrichment.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

엽채류 육묘시 CO₂ 사용이 정식 후 CO₂ 사용 효과에 미치는 영향

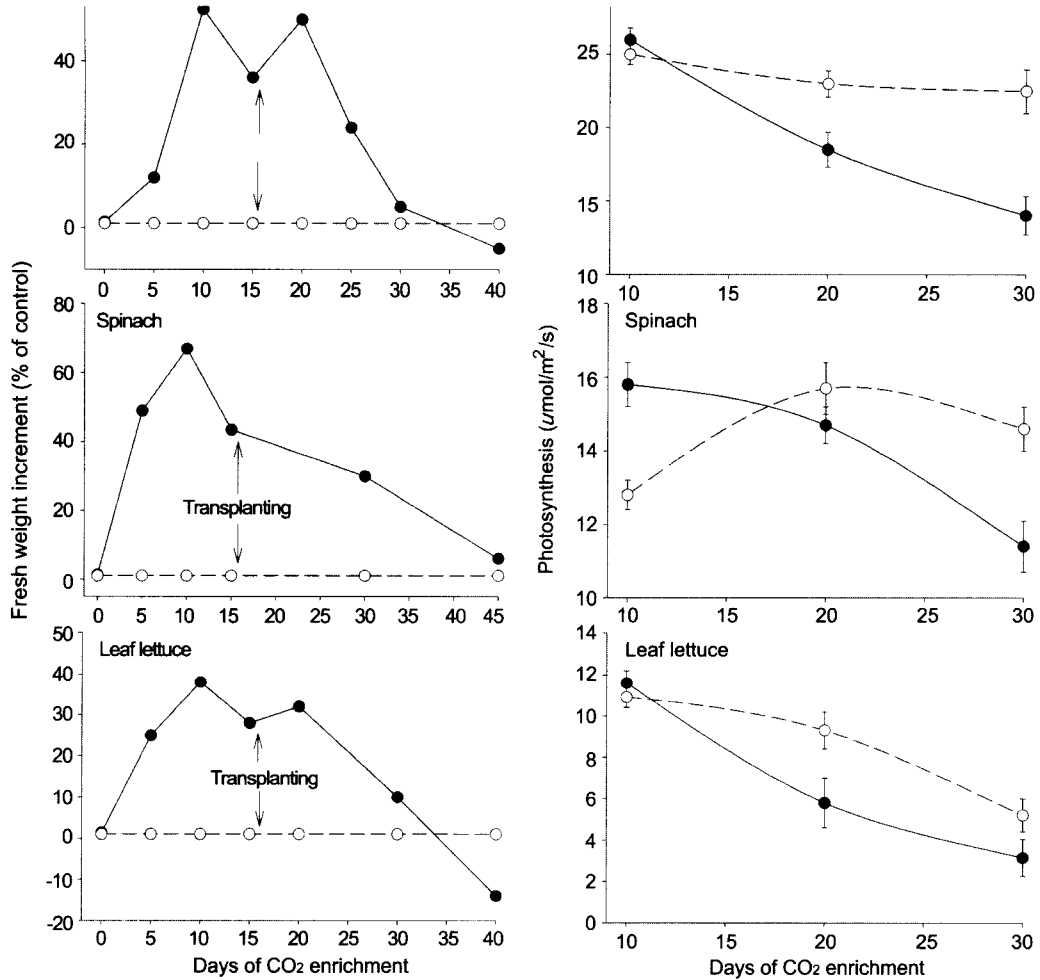


Fig. 1. Effects of long-term enrichment of CO₂ on the fresh weight and photosynthesis of leafy vegetables. 750 µmol·mol⁻¹ CO₂ treatment during seedling stage and 1,500 µmol·mol⁻¹ CO₂ treatment after transplanting(●). No CO₂ enrichment during seedling stage and 1,500 µmol·mol⁻¹ CO₂ treatment after transplanting(○).

Table 2. Effects of long-term enrichment of CO₂ on the growth of leafy vegetables

| Species | CO ₂ treatment (µmol·mol ⁻¹) | | Days of CO ₂ supply ^z | Numble of leaves | Leaf area (cm ²) | Fresh weight (g) | | Dry weight (g) | |
|--------------|---|----------------------|---|------------------|------------------------------|------------------|-------|----------------|--------|
| | Seedling stage | After trans-planting | | | | Top | Root | Top | Root |
| Pak-choi | Con. ^y | 1,500 | 25 | 7.9a | 185.6b ^x | 9.65b | 0.31b | 0.551a | 0.038b |
| | 750 | 1,500 | 25 | 8.3a | 220.5a | 11.43a | 0.47a | 0.583a | 0.051a |
| Spinach | Con. | 1,500 | 30 | 12.0a | 152.9b | 6.87a | 0.49a | 0.514b | 0.081a |
| | 750 | 1,500 | 30 | 12.4a | 182.8a | 7.96a | 0.45a | 0.652a | 0.079a |
| Leaf lettuce | Con. | 1,500 | 25 | 7.3a | 185.2b | 28.14a | 2.80a | 1.040b | 0.182a |
| | 750 | 1,500 | 25 | 7.4a | 203.8a | 30.05a | 2.68a | 1.201a | 0.175a |

^zDays of CO₂ enrichment after transplanting.

^yCon. represents no CO₂ enrichment during seedling stage.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

범위의 증가효과를 보였는데, 이는 육묘기의 30~60%의 증가효과에 비해 크게 둔화된 것으로 나타났다. 특히 청경채의 경우 생체중에서는 약간의 차이를 보였으나 건물중에서는 유의적인 차이가 없었다(Table 2). 엽수에서는 공시품종 모두 처리간에 차이를 나타내지 않았고, 뿌리생육은 청경채에서만 처리효과를 나타내었다.

대조구에 대한 처리구의 지상부 생체중의 상대증가율은 육묘기에는 큰 폭으로 증가하였으나, 정식 후에는 급격히 감소하는 추세를 보여 청경채와 상추에서는 최종 수확일에 대조구에 비해 5% 낮게, 그리고 시금치에서는 대조구와 거의 비슷한 수준을 나타내었다. 잎의 광합성 속도도 정식 후 청경채, 시금치 및 상추 모두에서 점차 저하하였는데, 이는 생체중의 상대증가를 저하와 비슷한 경향이었다. 잎의 광합성속도는 정식 후 대조구에서 완만하게 감소하는데 비해 CO₂를 장기 사용한 처리구에서는 급격히 감소하는 경향을 보였다.

이러한 생체중의 상대증가율의 감소현상은 잎의 노화에 의한 광합성 능력의 저하(Fig. 1)가 원인이 될 수 있으며, 또한 정식후의 지속적인 고농도 CO₂ 사용으로 인해 광합성 저하시기가 대조구에 비해 앞당겨졌기 때문으로 생각되었다. 이는 기존의 보고된 내용과 비슷한 결과이다(Allen, 1990; Aoki and Yabuki, 1977; Peet et al., 1986).

CO₂ 고농도 처리 전력이 있는 식물체에 있어서 광합성효율이 저하하는 원인은 대개 기공저항의 증가(Allen, 1990), 잎에 당분의 축적(Peet, 1986; Sasek et al., 1985), RuBP carboxylase 활성증가(Peet et al., 1986; Vu et al., 1983) 등으로 보고되고 있다. 한편 Yelle et al.(1990)은 높은 CO₂ 농도로 인한 후기 광합성 저하는 엽령보다는 오히려 고농도의 CO₂에 따른 환경순응에 의해서라고 보고하였다. 그러나 이러한 광합성 능력의 저하 원인에 대해서는 아직 명확하게 밝혀져 있지 않다.

위의 결과들을 종합해 보면 엽채류에서 육묘기 CO₂ 사용은 묘의 생육에 미치는 영향은 컸으나 정식 후 CO₂ 장기 사용에 미치는 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 앞으로 CO₂ 처리시기와 기간에 대한 연구가 보다 세부적으로 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

Literature cited

1. Allen, L.H. Jr. 1990. Plant response to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutions. *J. Environ. Qual.* 19:15-34.
2. Aoki, M. and K. Yabuki. 1977. Studies on the carbon dioxide enrichment for plant growth. VII. Changes in dry mater production and photosynthetic rate of cucumber during carbon dioxide enrichment. *Agric. Metecrol.* 18:475-485.
3. Clough, J.M., M.M. Peet, and P.J. Kramer. 1981. Effects of high atmospheric CO₂ and sink size on rates of photosynthesis of soybean cultivar. *Plant Physiol.* 67:1007-1010.
4. Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron. J.* 75:779-788.
5. Peet, M.M. 1986. Acclimation to high CO₂ in monoecious cucumbers: I. Vegetative and reproductive growth. *Plant Physiol.* 80:59-62.
6. Peet, M.M., S. Humber, and D.J. Patterson. 1986. Acclimation of high CO₂ in monoecious cucumbers: II. Carbon exchange rates, enzyme activities and starch and nutrient concentrations. *Plant Physiol.* 80:63-67.
7. Sasek, T.W., E.H. Delucia, and B.R. Strain. 1985. Reversibility of photosynthesis inhibition in cotton after long-term exposure to elevated CO₂ concentration. *Plant Physiol.* 78:619-622.
8. Spencer, W. and G. Bowes. 1986. Photosynthesis and growth of water hyacinth under CO₂ enrichment. *Plant Physiol.* 82:528-533.
9. Vu, C.V., L.H. Allen, and G. Bowes. 1983. Effects of light and elevated atmospheric CO₂ on the ribulose biphosphate carboxylase activity and ribulose biphosphate level of soybean leaves. *Plant Physiol.* 73:729-734.
10. Yelle, S., R.C. Beeson, Jr., M.J. Trudel, and A. Gosselein. 1990. Duration of CO₂ enrichment influences growth, yield, and gas exchange on two tomato species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:52-57.

엽채류 육묘시 CO₂ 시용이 정식 후 CO₂ 시용 효과에 미치는 영향

엽채류 육묘시 CO₂ 시용이 정식 후 CO₂ 시용 효과에 미치는 영향

신석범 · 전익조 · 김일섭*
강원대학교 식물응용과학부

적 요

본 연구는 엽채류 육묘시 CO₂ 시용이 정식 후 CO₂의 장기 시용으로 인한 청경채, 시금치 및 상추의 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 육묘시 CO₂ 시용은 청경채, 시금치 및 상추의 지상부 생체중과 건물중 및 엽면적에서 모두 무처리구에 비해 현저히 증가하였는데, 생체중의 경우 처리구에서 각각 50%, 60% 및 30% 내외의 증가를 나타내었다. 뿌리 건물중은 시금치 및 상추에서 무처리구에 비해 처리구에서 현저히 증가하였다. 무처리구에 대한 지상부 생체중의 상대증가율은 청경채, 시금치 및 상추에서 공히 CO₂ 시용 10일 전후에서 가장 높았다. 정식후 CO₂ 시용 효과를 육묘시 CO₂를 시용한 처리구와 사용하지 않은 대조구로 구분하여 비교한 결과, 엽면적은 청경채, 시금치 및 상추에서 모두 처리구가 대조구에 비해 20% 내외의 증가를 보였다. 지상부 생체중과 건물중은 처리구에서 3작물 모두 10~20% 범위의 증가효과를 보였는데, 이는 육묘기의 30-60%의 증가효과에 비해 크게 둔화된 것으로 나타났다. 잎의 광합성속도는 정식 후 대조구에서 완만하게 감소하는데 비해 CO₂를 장기 시용한 처리구에서는 급격히 감소하는 경향을 보였다.

주제어 : CO₂ 시비, 육묘기, 엽채류, 생육, 광합성