

CO₂ 시용이 감자 플러그묘의 생육에 미치는 효과⁺

Growth and Development of Potato Plug Seedlings as Affected by CO₂ Enrichment

김용현* 최유화** 이명규**

정희원

Y.H. Kim Y.H. Choi M.G. Lee

1. 서론

묘생산 시스템은 크게 개방형과 폐쇄형으로 구분된다. 개방형 묘생산 시스템은 시스템 내부와 외부의 공기·물·열 등의 교환이 가능한 시스템을 의미한다. 현재 실생묘, 삽목묘, 접목묘 등은 일사가 투과되는 온실 또는 묘포장에서 생산된다. 그러므로 온실 또는 묘포장을 이용한 묘생산 시스템은 개방형 묘생산 시스템에 해당한다. 개방형 묘생산 시스템에서는 외부 기상의 변동에 따라 시스템 내의 기온, 상대습도, 광량, 기류속도, CO₂ 농도 등의 물리적 환경요인이 변화하므로 이들 환경 요인을 일정한 수준으로 제어하기가 쉽지 않다. 때문에 균일한 묘소질을 지닌 묘의 계획적 생산이 근본적으로 불가능하다. 폐쇄형 묘생산 시스템은 에너지 절감, 자원 절감 및 생력화가 가능한 고품질 묘를 대량으로 생산하고자 자연광이 투과되지 않도록 단열재로 둘러 쌓인 폐쇄 시스템으로서 시스템 내부와 외부의 공기·물·열 등의 교환이 기본적으로 제한되며, 공기·물·열 등의 인위적인 제어가 가능한 공간을 활용한 묘생산 시스템을 의미한다(Kozai et al., 2000). 이러한 시스템에서는 자연광의 이용이 불가능한 바, 녹색식물의 성장을 위한 인공광이 요구된다. 그러므로 폐쇄형 묘생산 시스템은 인공광형 묘생산 시스템 또는 식물묘공장으로 불리운다(김, 2000; Kozai et al., 2000).

식물묘(transplant)는 육묘 후 포장에서 정식이 이루어지는 묘를 의미한다. 묘소질은 묘가 지녀야 할 속성으로서 초장, 절간장, 엽색, 엽의 두께, 엽형, 피근 형태 등은 묘의 외관과 관련된 묘소질에 해당하며, 광합성속도, 근활력, 엽록소 함량 등은 생리적 묘소질에 해당한다(Kim, 2002). 묘소질이 우수한 묘, 즉 외관이 우수하며, 병충해에 오염되지 않고, 생리·생태적 상태가 우수한 우량묘를 재배에 이용하면 정식 단계에서 활착 환경에 쉽게 적응하거나, 재배 과정에서 비료, 농약, 자재, 관리 노력 등을 적게 투입할지라도 수량이 증대되거나 품질 향상이 기대되므로 향후 우량묘에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다(김과 박, 2002).

⁺ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00391-0) 지원으로 수행되었음.

^{*} 전북대학교 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

^{**} 전북대학교 대학원 농업기계공학과

온실에서 생산되는 작물 생체중의 약 90%는 수분이고, 나머지 10%가 건물중에 해당한다. 그런데 건물중의 5%를 차지하는 것으로 알려진 탄소(Levanon et al., 1986)는 대기중의 CO₂로부터 유래된다. 플러그묘의 묘소질을 향상시키기 위한 방법으로 육묘 단계에서의 CO₂ 시용, DIF의 활용 등이 검토되고 있다. 이제까지 작물의 광합성능력 또는 수량 증가를 목표로 CO₂ 시용 효과에 관한 많은 보고(Hand and Bowman, 1969; Enoch and Kimball, 1986; Challa, 1976)가 이루어졌으나, 감자 플러그묘를 대상으로 한 CO₂ 시용 또는 DIF의 활용 효과에 관한 보고는 전무한 실정이다.

최근 들어 폐쇄형 묘생산 시스템을 이용하여 묘소질이 우수하면서 기계적 정식이 가능한 감자 플러그묘의 생산 체계가 개발되었다(Kim, 2002; 김 등, 2003). 기온, 상대습도, 광, 기류 속도, CO₂ 농도 등 물리적 환경요소의 제어가 가능한 폐쇄형 묘생산 시스템을 이용한 감자 플러그묘의 생산 체계는 씨감자 생산체계를 단축시키면서 씨감자 생산에 소요되는 노력과 비용을 절감시킬 것으로 기대된다. 폐쇄형 묘생산 시스템에서 생산되는 감자 플러그묘의 묘소질을 향상시키고자 시도된 본 연구의 목적은 제어된 환경하에서 CO₂ 농도와 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)이 감자 플러그묘의 생육에 미치는 영향을 분석하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 폐쇄형 묘생산 시스템내의 CO₂ 농도 제어

전북대학교 생물자원시스템공학부 생물환경제어연구실에서 개발한 폐쇄형 묘생산 시스템(Kim, 2002)은 광원부, 육묘용 선반, 시스템 제어부, 기류속도 제어부, 공기조화부 등으로 구성되며, 시스템내의 기온, 상대습도, 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF), 기류속도, CO₂ 농도 등 물리적 환경요소의 제어가 가능하다. 시스템내의 CO₂ 농도 측정을 위해서 비분산 적외선흡수 방식의 CO₂ 농도 측정용 센서(CEA 266, CEA Instruments, Inc., U.S.A.)를 사용하였고, CO₂ 농도 조절을 위해서 ON-OFF식 조절계를 제작하여 제어하였다.

나. 감자 배양 식물체와 모주의 배양

무병 감자(*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*)의 shoot 생장점을 이용하여 8주간 MS+GA 0.1ppm에 Kinetin 0.1ppm이 첨가된 배지에서 생장점 배양을 실시한 후 250ml의 삼각 플라스크를 이용하여 액체 진탕 배양을 실시하였다. 액체 진탕 배양중의 기온은 20℃를 유지하였고, 3,000 lx의 조도로 연속 조명을 실시하였다. 다음으로 액체증식배양을 위해서 유식물체를 1 cm 정도의 크기로 절단하여 100 mL 삼각플라스크에 치상하였다. MS배지에 sucrose를 3% 첨가하여 증식한 후 액체증식배양에서 생산된 유식물을 발근 배양으로 옮겼다. 즉 증식된 유식물을 1.5 cm 정도의 크기로 절단하여 직경과 길이가 각각 1.0 cm, 10 cm인 시험관 내에서 IAA 0.1 mL·L⁻¹이 첨가된 배지에서 14일간 발근이 이루어지도록 하였다. 배양환경 조건은 기온 18-22℃, 상대습도 60-70%, 광주기 16/8 h, PPF 30~40 μmol·m⁻²·s⁻¹이다.

시험관 내에서 14일간 발근 배양된 감자 배양식물체를 육묘용 혼합배지(BM2, Berger Peat

Moss, Canada)가 충전된 50공의 플러그트레이(Bumnong, Korea)에 옮겨 심었다. 배양식물체는 폐쇄형 묘생산 시스템에서 20일 동안에 삽수 채취가 가능한 모주로 성장한다. 이 단계에서의 기온, 상대습도, PPF 및 광주기를 각각 20℃, 70%, 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 16/8 h로 조절하였다.

다. 처리 방법 및 성장 조사

감자 플러그묘의 생산은 감자 모주로부터 삽수를 절단하여 육묘용 혼합배지(BM2, Berger Peat Moss, Canada)가 충전된 50공의 플러그트레이(Bumnong, Korea)에 경삽 후 4-5째에 발근이 이루어지고, 경삽 후 20일이 경과하면 정식에 적합한 플러그묘로 완성된다. 폐쇄형 묘생산 시스템내의 CO₂ 농도가 감자 플러그묘의 생육에 미치는 영향을 살펴보고자 냉백색의 3파장형광등(DULUXL55W/21-840, OSRAM, Germany)을 인공광원으로 사용한 가운데 3수준(400, 950, 1550 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)의 CO₂ 농도와 4수준(100, 150, 200, 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)의 PPF를 설정하였다. 이때 기온과 광주기는 각각 20℃, 16/8 h로 조절하였다. 경삽 후 5일 동안 상대습도는 90%를 유지하였으며, 발근이 이루어진 후에는 70%로 낮추어 조절하면서 CO₂ 시용 효과 실험을 수행하였다. CO₂ 농도와 PPF 처리에 따른 감자 플러그묘의 생육을 비교하고자 CO₂ 시용 후 12일과 19일째에 초장, 줄기직경, 줄기길이, 마디수, 뿌리길이, 생체중, 건물중, 엽록소함량을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

경삽 후 14일째에 CO₂ 농도와 PPF 처리에 따른 감자 플러그묘의 생육 특성은 표 1과 같다. 감자묘의 외관 묘소질에 미치는 CO₂ 농도의 처리 효과는 초장, 줄기길이, 줄기직경, 절수, 지하부 생체중과 건물중, 엽록소함량에서 고도의 유의차가 인정될 정도로 높게 나타난 가운데 CO₂ 농도를 높게 조절한 처리구의 생육 특성이 전체적으로 높게 나타났다. CO₂ 농도에 따른 초장은 950 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ > 1550 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ > 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 순서로 나타났으며, 950 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 CO₂ 농도와 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF 처리구에서 179.6 mm로 가장 높게 나타났다. 이러한 경향은 줄기직경, 줄기길이, 지상부와 지하부 생체중 등에서 유사하게 나타났다. 한편 감자 플러그묘의 마디수, 뿌리길이, 지하부와 지하부 건물중, 엽록소함량 등은 1550 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 CO₂ 농도와 PPF가 높게 유지된 처리구에서 최고치가 나타나 CO₂ 시용 효과가 작용한 것으로 판단된다. 그러므로 폐쇄형 묘생산 시스템내에서 묘소질이 우수한 감자 플러그묘를 생산하려면 CO₂ 농도와 PPF를 동시에 높게 유지해야 할 것이다.

Table 1. Growth indices of potato plug seedlings on 14 days after CO₂ enrichment.

CO ₂ conc. ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	PPF ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Plant height (mm)	Stem length (mm)	Stem dia. (mm)	No. of nodes	Root length (mm)
400	100	143.4	76.6	3.28	5.4	177.2
	150	153.0	84.2	4.10	4.6	191.6
	200	164.4	82.4	4.22	4.8	173.2
	250	136.4	65.4	3.84	4.8	162.2
950	100	179.6	117.2	2.96	6.8	217.8
	150	168.6	95.4	3.42	6.6	203.0
	200	159.2	79.0	4.97	5.6	196.8
	250	138.6	70.6	2.66	6.6	177.0
1550	100	167.2	104.4	2.50	6.6	182.0
	150	147.2	79.6	3.33	6.2	185.2
	200	142.4	71.4	3.20	6.8	256.2
	250	132.4	67.0	3.32	6.8	171.0
CO ₂ conc. (A)		**	***	***	***	*
PPF (B)		***	***	***		***
A x B		**	***	***		***

* Significant at $P = 0.05$, ** Significant at $P = 0.01$, *** Significant at $P = 0.001$

Table 1(Continued).

CO ₂ conc. ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	PPF ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Fresh wt. (mg/plant)		Dry wt. (mg/plant)		ODD ^z
		Shoot	Root	Shoot	Root	
400	100	2.77	0.354	0.2963	0.0371	38.8
	150	3.87	0.658	0.2584	0.0517	41.3
	200	3.98	0.532	0.2940	0.0496	43.1
	250	3.95	0.698	0.2688	0.0655	41.6
950	100	3.72	0.354	0.2484	0.0390	44.9
	150	4.47	0.826	0.3319	0.0687	46.1
	200	4.26	1.434	0.3676	0.0942	46.7
	250	3.52	1.204	0.3525	0.0876	51.5
1550	100	3.64	0.392	0.2243	0.0408	43.0
	150	3.79	0.822	0.3342	0.0758	50.0
	200	3.80	0.924	0.3511	0.0858	50.1
	250	4.20	1.180	0.4385	0.1076	54.3
CO ₂ conc. (A)			***		***	***
PPF (B)		***	***	*	***	***
A x B		*	***			**

^z Optical density difference measured by chlorophyll meter (SPAD-502, MINOLTA)

* Significant at $P = 0.05$, ** Significant at $P = 0.01$, *** Significant at $P = 0.001$

4. 결론

폐쇄형 묘생산 시스템에서 생산되는 감자 플러그묘의 묘소질을 향상시키고자 시도된 본 연구에서는 제어된 환경하에서 CO₂ 농도와 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)이 감자 플러그묘의 생육에 미치는 영향을 분석하였다. 감자 플러그묘의 외관 묘소질에 미치는 CO₂ 농도의 처리 효과는 초장, 줄기길이, 줄기직경, 절수, 지하부 생체중과 건물중, 엽록소함량에서 고도의 유의차가 인정될 정도로 높게 나타난 가운데 CO₂ 농도를 높게 조절 한 처리구의 생육 특성이 전체적으로 높게 나타났다. 특히 감자묘의 마디수, 뿌리길이, 지하부와 지하부 건물중, 엽록소함량 등은 1550 μmol·mol⁻¹의 CO₂ 농도와 PPF가 높게 유지된 처리구에서 최고치가 나타났다. 그러므로 폐쇄형 묘생산 시스템내에서 묘소질이 우수한 감자 플러그묘를 생산하려면 CO₂ 농도와 PPF를 동시에 높게 유지해야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. 김용현. 2000. 농업기계공학분야에서 바이오테크놀러지의 응용-폐쇄형 식물묘 생산 시스템 개발을 중심으로-. 한국농업기계학회지 25(4):311-326.
2. 김용현, 김진국, 이상헌, 최유화, 이명규. 2003. 폐쇄형 묘생산 시스템을 이용한 감자 플러그묘의 생산. 한국농업기계학회 학술대회 논문집 8(1):139-144.
3. 김용현, 박현수. 2002. 오이 플러그묘의 생장에 미치는 광주기와 광합성유효광양자속의 영향. 생물환경조절학회지 11(1):40-44.
4. Challa, H. 1976. An analysis of the diurnal course of growth, carbon dioxide exchange and carbohydrate reserve content of cucumber, Ph. D. Dissertation, Wageningen.
5. Enoch, H.Z. and B.A. Kimball. 1986. Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, FL.
6. Hand, D.W. and G.E. Bowman. 1969. Carbon dioxide assimilation on a controlled environment greenhouse. J. Agric. Eng. REs. 14:92-99.
7. Kim, Y.H. 2002. Quality improvement of transplants using artificial lighting. Proceedings of the International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bioproduction Systems. p.522-528, Nov. 3-7, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan.
8. Kim, Y.H., J.K. Kim, S.H. Lee, Y.H. Choi, M.G. Lee, and H.J. Kim. 2002. Production of potato transplants under controlled environment. ASAE Paper No. 024114.
9. Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, K. Ohyama and F. Afreen. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system. In: C. Kubota and C. Chun(eds.) Transplant production in the 21st century pp.3-19, Kluwer Academic Publishers.
10. Levanon, D., B. Motro, and U. Marchaim. 1986. Organic materials degradation for CO₂ enrichment of greenhouse crops. In Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Vol. 1. H.Z. Enoch and B.A. Kimball, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.