

계면 활성제 처리가 수경재배 상추의 무기이온 흡수 및 생육에 미치는 영향

최기영* · 양은영 · 문병우¹ · 서태철
원예연구소 채소과, ¹(주)코프

Effect of Surfactant Addition in Nutrient Solution on Mineral Nutrient Uptake and Growth of Lettuce in DFT Culture

Choi, Ki Young*, Yang, Eun Young, Moon, Byung-Woo, and Seo, Tae Cheol

Division of Vegetable, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon
¹KOF Co., Ltd., Youngcheon-si, Gyeongsangbuk-do 770-894, Korea

Abstract. This study was conducted to evaluate the effect of different surfactants on the fertilizer reduction and increase of the mineral nutrients uptake of lettuce (*Latuca sativa* L. 'Hanbatchungchima') in deep flow technique culture. The measured items from lettuce leaves expanded fully were growth, photosynthetic and transpiration rate, and mineral nutrient content K, Ca and Mg, respectively. The highest growth were observed at 0.3 mg·L⁻¹ polyvinyl alcohol (PVA-95) treatment, including lettuce grown in the half strength of nutrient solution. The highest photosynthetic rate, transpiration rate and mineral nutrient content were observed at 0.3 mg·L⁻¹ calcium lignosulfate (CLS) treatment. Therefore, high-quality leaf lettuce production could be achieved by apply proper surfactants PVA-95 and CLS, which can cut down the total amount of fertilizer and increase uptake of mineral nutrients.

Key words : fertilizer reduction, high-quality leaf lettuce production, photosynthetic rate, transpiration rate

서 언

1980년대 후반부터 농업은 식량의 증산과 구조정책으로부터 자연환경을 보전하고 인체의 건강을 중요시하는 환경 친화적인 농업 또는 저투입 지속농업으로의 정책을 추구하여왔으며, 최근에는 well-being 문화 확산에 따라 작물의 기능성이 첨가된 농업 생산의 연구가 첨단 생물공학 발전과 함께 활발히 이루어지고 있다.

양액재배는 작물의 첨단 생산기술을 집약화 시킨 재배 방식으로 환경친화적 양액재배란 생산과정에서 발생하는 배출물의 제한과 재활용을 포함한다. 즉, 물의 효율적 이용, 배지 및 폐액의 재활용, 저농약 재배 및 친적의 이용, 배양액과 농약 배출의 최소화, 플라스틱류의 제한과 재활용 및 식물체의 퇴비화 연구 등이 포함되어야 할 것이다. 이미 네델란드에서는 2000년까지 모든 양액재배 농가가 순환식 양액재배 시스템을

채택하도록 법으로 규정하였으며(Ammerlaan, 1993), Sonneveld(1993)는 비순환식 시스템에 비해 순환식 시스템에서 물량은 64%, 질소와 카리는 각각 44%와 50% 정도까지 줄일 수 있으므로 비료의 손실과 환경 오염을 최소화시킬 수 있다고 하였다.

계면 활성제는 수용액이 해리하여 이온 또는 미셀을 생성하여 계면활성을 나타내는 이온성 계면활성제와 수용액이 해리할 수 있는 작용기를 갖지 않고도 계면활성 작용을 나타내는 비이온성 계면활성제 및 수용액이 해리하여 이온성을 띠는 음이온성, 양이온성 또는 양쪽성 계면활성제 등 다양한 형태가 있다. 농약과 비료 및 상토 제조 등에서 계면활성제를 활용한 연구는 많이 이루어지고 있으나(Choi 등, 2000) 작물의 영양 흡수 촉진(Moon 등, 1998) 및 양액재배에서의 비료 절감에 따른 양액의 효율적 이용과 관련된 연구는 극히 미약한 실정이다.

따라서 본 실험은 순환식 양액재배에서 계면활성제 종류가 상추의 생육, 광합성 속도 및 무기이온 흡수에 미치는 특성을 파악함으로써 비료 절감과 고기능성 엽채류 생산을 위한 계면활성제 처리 효과에 대한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

2004년 8월 20일에 200공 플러그 트레이에 상추 (*Lactuca sativa* L. 'Chungchima')를 파종한 후 9월 10일 담액 수경재배상(재식거리 15 × 15 cm)에 본엽이 6-7개 달린 균일한 묘를 정식하였다. 사용한 배양액은 원예연구소 국화과 엽채류 전용 배양액으로 다량원소는 N:14.0, P:3.5, K:9.0, Ca:4.0, Mg: 2.0 me·L⁻¹이며, 미량원소는 Fe:3.0, B:0.5, Zn:0.05, Cu:0.02, Mn:0.5, Mo:0.01 mg·L⁻¹을 동일하게 증류수에 공급한 후 pH 5.5-6.0 범위내에서 3주간 재배하였다. 계면활성제 종류는 0.3 mg·L⁻¹ polyvinyl alcohol (PVA-95) 500배, 0.3 mg·L⁻¹ softanol-70[RO(CH₂CH₂O)₇H ; ST-70] 500배 및 0.2 mg·L⁻¹ calcium lignosulfonate (CLS) 3종류를 공시하였다. PVA-95와 ST-70 계면활성제는 정식 3일 후에, CLS는 정식 10일 후에 배양액에 혼입 처리하였다. 비료절감에 따른 계면활성제 효과를 알아보기와 1배 배양액을 기준하여 1/4배액, 1/2배액, 1배액, 2배액의 4처리 농도를 다량원소만으로 조절하였으며, 미량원소는 1배액 기준량을 동일하게 공급하였다.

계면활성제 처리에 따른 생육단계별 생육을 알아보기와 정식 2주와 3주째에 조사하고 상대생장을 구하였다. 광합성과 세포내 CO₂ 농도 및 증산속도는 완전전개잎(정단부로부터 7-8 엽위)을 휴대용 광합성측정기(Li-6400, Li-Cor)로 측정하였으며, 측정시 환경조건

은 PAR 1000 μmol·m⁻²·s⁻¹, CO₂ 400 mg·L⁻¹였고, 측정시의 잎 온도는 22-25°C였다. CO₂ 이용 효율은 세포내 CO₂ 농도(Ci)와 대기중의 CO₂ 농도(Ca)비로, 수분이용효율은 Marlmstorm과 Field (1997)의 방법에 따라 (Ca-Ci)×1.6Δw, Δw=0.019 mol H₂O mol⁻¹의 식으로 계산하였다. 식물체 잎의 카리, 칼슘 및 마그네슘 함량은 생장점으로부터 7-10 부위의 완전전개된 잎을 채취하여 80°C에서 2일간 건조한 후 건물중 0.5 g을 ternary 용액(HNO₃:HClO₄:H₂SO₄=10:4:1 v/v) 10 ml을 가해 분해한 후 각 파장별 무기이온 함량을 분석원자흡광분광기(Model 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

결과 및 고찰

정식 전 계면활성제를 처리한 후 배양액의 pH, EC 및 화학성분 함량을 조사한 결과 CLS 처리를 제외한 PVA-95와 ST-70의 배양액 화학 성분은 차이가 없었으나 CLS 처리는 칼슘 함량이 약 4.9-5.0 me·L⁻¹ 높음에 따라 배양액의 EC가 높고 약산성의 배양액 조성을 보였다(표 1).

계면활성제 처리가 수경재배 상추 생육에 미치는 영향을 알아보기와 생육 단계별 생육과 상대생장을 조사하였다(표 2). 생육 초·중기 단계에서는 CLS 처리를 제외하고는 처리간 차이가 없었으나 생육 후기 표면 집착력을 강화시켜주는 PVA-95 처리에서 상추의 생육이 가장 높았다. PVA-95 처리는 초·중기 생육은 물론 후기 생육을 촉진하였으나, 배양액의 표면장력을 낮춰 분산효과를 높여주는 ST-70은 효과가 없었다. 그리고 칼슘 흡수를 촉진시켜줄 수 있는 분산제 CLS 계면활성제는 처리 초기부터 생육이 낮은 경향을 보였다.

CLS 계면활성제는 칼슘이 함유된 화합물로서 PVA-

Table 1. Chemical properties of surfactant addition in nutrient solution used experimentation.

Surfactant ^c	pH	EC (dS · m ⁻¹)	----- me · L ⁻¹ -----			
			T-N	K	Ca	Mg
PVA-95	5.58	2.07	12.1	8.5	3.9	2.2
ST-70	5.47	2.05	12.5	8.5	3.8	2.1
CLS	5.38	2.23	11.7	8.5	8.8	2.3
Control	5.75	2.04	12.5	8.5	3.9	2.1

^aPVA-95:Polyvinyl alcohol, ST-70: RO(CH₂CH₂O)₇H, CLS: calcium lignosulfonate.

Table 2. Effect of different surfactant addition in nutrient solution on fresh weight and relative growth rate (RGR) of lettuce at 2 and 3 weeks after treatment.

Surfactant ²	Fresh wt. (g · plant ⁻¹)		RGR (g · g ⁻¹ · day ⁻¹)	
	2 week	3 week	I ³	II ⁴
PVA-95	29.4 a ^w	151.8 a	0.216	0.143
ST-70	29.2 a	126.6 ab	0.212	0.107
CLS	22.1 b	105.0 b	0.174	0.077
Control	32.3 a	131.2 ab	0.223	0.112

²PVA-95: Polyvinyl alcohol, ST-70: RO(CH₂CH₂O)₇H, CLS: calcium lignosulfonate.

³Middle stage : Measured from September 10 to 24, 2004.

⁴Last stage : Measured from September 25 to October 5, 2004.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

95와 ST-70 처리에 비해 배양액내 칼슘 함량이 4.9 – 5.0 me · L⁻¹로 높아 재배기간 중 배양액 EC 농도는 2.23 – 2.43으로, 다른 처리의 배양액보다 EC와 pH가 높아지는 경향을 보였다(data not shown). 실험에 사용된 전용 배양액 1배액에서의 상추 재배시 EC는 1.8 – 2.0 dS · m⁻¹, pH 5.5 – 6.0을 유지하는 것이 상추 생육에 적합하다고 판단되는데, CLS 처리는 높은 EC가 상추의 양·수분 흡수 및 이동에 영향을 주어 생육이 낮아지는 결과를 가져온 것으로 보인다.

배양액에 혼합된 계면활성제가 뿌리의 이온 흡수에 영향을 주어 비료 절감이 가능한가를 알아보하고자 배양액 농도 1배액을 기준으로 4농도(1/4배액, 1/2배액, 1배액, 2배액) 처리하였다(그림 1). 생육이 가장 높았던 PVA-95 처리에서만 1/2배액의 저농도 배양액 처리에서 대조구 1배액과 비슷한 상추 생육을 보여 재배기간 21일을 기준한다면 엽채류 1회 재배시 약 50% 비료 절감이 가능하였다(그림 1). ST-70과 CLS 계면활성제의 배양액 농도별 생육은 1배액에서 가장 높았으며, 저농도와 고농도 처리는 대조구에 비해 생육이 낮음에 따라 비료 절감의 효과를 기대할 수는 없었다.

계면활성제 종류에 따른 상추 잎의 광합성 능력은 대조구에 비해 높은 경향을 보였으나 통계적인 유의성

은 인정되지 않았다(표 3). ST-70에서 재배된 상추 잎의 세포내 CO₂ 이용효율과 증산속도가 낮음에 따라 잎의 수분이용효율은 가장 높게 나타났다. 잎의 수분이용효율은 1 mol당 H₂O에 대한 mmol CO₂ 값으로 표시한 것으로 저온(Hirohumi와 Ogata, 1987) 또는 높은 수준의 EC(Choi와 Lee, 2003) 등에서 생육 저하와 수분이용효율이 증가한다. 즉, 스트레스에 의해 단위 엽면적당 엽육이 두꺼워짐으로써 일어나는 표피 왁스층의 증가와 큐티클 증산의 감소는 체내 CO₂ gas 교환을 높이기 위한 일종의 방어기능으로 해석되었다. 그러나 본 실험에서 ST-70 처리의 상추 생육량은 낮지 않았으나 잎의 CO₂ 이용효율과 증산율이 낮은 경향을 보임에 따라 체내 양·수분 이동에는 영향을 미친 것으로 생각되었다. 한편, CLS 처리는 대조구에 비해 생육이 낮은 경향을 보였으나 세포내 CO₂ 이용효율과 증산율이 높아 광합성 능력이 가장 높은 경향을 보였다.

계면활성제 종류에 따른 상추 잎의 카리, 칼슘 및 마그네슘 함량은 각 처리별로 달랐으나 모든 처리구가 적정 범위 안에 분포하여 계면활성제 처리에 따른 잎의 가시적인 영양 장애 증상은 발견할 수 없었다(표 4). PVA-95 처리는 엽내 칼슘 함량이 낮았으며, ST-

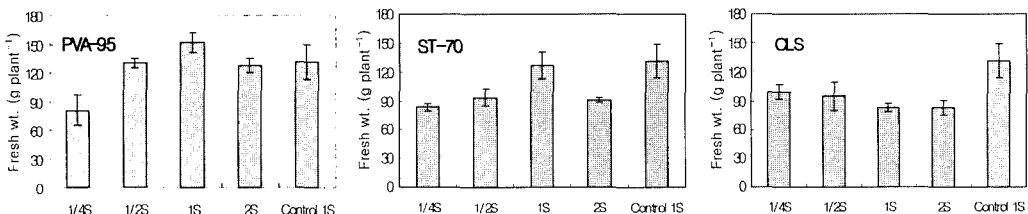


Fig. 1. Effect of different surfactant addition in nutrient solution on fresh weight of lettuce at 3 weeks after treatment.

Table 3. Effect of different surfactant addition in nutrient solution on photosynthetic rate (Pr), CO₂ use efficiency (CUE), transpiration rate (TR) and water use efficiency (WUE) of lettuce at 3 weeks after treatment.

Surfactant ^t	Pr ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CUE ^y	TR ($\text{mmol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE ($\text{mmol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
PVA-95	11.65a ^y	0.89a	8.95a	80.61ab
ST-70	9.97a	0.86b	8.59b	98.89a
CLS	12.07a	0.90a	8.85a	70.26b
Control	8.88a	0.90a	7.00b	74.32b

^tPVA-95: Polyvinyl alcohol, ST-70: RO(CH₂CH₂O)₇H, CLS: calcium lignosulfonate.

^yMeasured Ci(intercellular CO₂ concentration)/Ca(ambient CO₂ concentration).

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

Table 4. Effect of different surfactant addition in nutrient solution on mineral nutrient content of lettuce at 3 weeks after treatment.

Surfactant ^t	K	Ca	Mg	K/Ca
	----- % -----			
PVA-95	6.59ab ^y	0.65c	0.25b	10.03a
ST-70	5.23b	0.84b	0.19b	6.22c
CLS	7.26a	1.27a	0.31a	5.73c
Control	7.11a	0.88b	0.24b	8.10b
Aquate range ^x	5-10	0.8-1.8	0.3-0.9	

^tPVA-95: Polyvinyl alcohol, ST-70: RO(CH₂CH₂O)₇H, CLS: calcium lignosulfonate.

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

^xData were obtained from Lee (2000).

70 처리는 엽내 카리 함량과 마그네슘 함량이 낮았다. 특히 칼슘 함량을 높이기 위해 처리한 CLS 분산제에서 생육은 낮았으나 엽내 카리, 칼슘, 마그네슘 함량이 높게 나타나 고품질 엽채류 생산을 위한 첨가 재료로서의 가능성을 확인할 수 있었다. Moon 등(1998)에 의하면 PVA-95는 표면장력이 62 – 67 dyne·cm⁻¹이며, ST-70은 34 – 35 dyne·cm⁻¹로 사과 부위별 칼슘함량이 대조구에 비해서 증가하여 활성제 효과가 인정되었다고 하였으나 상추 잎에서는 두 계면 활성제 처리에 의한 엽내 칼슘 함량 증가는 없었다. 그러나 칼슘 흡수를 용이하게 할 수 있는 분산제로 칼슘함량이 높은 CLS 처리는 대조구에 비해 엽내 칼슘함량이 1.4배, 마그네슘 함량은 1.3배 높았다. 칼슘은 식물체로의 이동이 어려운 대표적인 원소로 알려져 있으며(Marschner, 1995), 재배환경 조건에 따라, 특히 여름철 고온다습에 의한 칼슘 불균형이 일으키는 생리장애에 대해 많은 연구가 있었으며(Adams, 1991; Bakker와 Sonneveld, 1988; Choi, 1999), 칼슘 흡수를 촉진시키기 위한 방법으로 Goto와 Takakura(1992)는 발육하는 잎 주위 공기 흐름을 증가시키는 강제 환기 방법으로 잎의 증

산을 증가시키는 방법을 보고하였다. 한편 Bel-Tal과 Pressman(1996)은 토마토의 배꼽썩음과 발생은 K/Ca 비와 상관성이 있음을, Choi(1999)도 반결구 상추 내부의 높은 K/Ca비는 잎끝마름 발생을 야기할 수 있음을 보고하였으나 본 실험에서 PVA-95 처리에 의해 상추 잎 K/Ca비가 높음에도 불구하고 잎끝마름증은 발생하지 않았다. 그러나 PVA-95 처리는 잎의 칼슘함량이 낮음에 따른 높은 K/Ca비는 무기 이온 분배가 다른 처리에 비해서는 원활하지 못한 것으로 보인다. CLS 처리는 칼슘 함량 뿐 아니라 카리 및 마그네슘 함량도 가장 높았으며, K/Ca 비가 가장 낮아 엽내 원활한 무기이온의 분배가 이루어짐을 예측할 수 있으며, 생육이 비교적 저조합에도 불구하고 빠른 기공확산 속도 및 증산속도가 식물체내 무기염류의 이동에 영향을 주었을 것으로 생각된다.

본 실험은 상추 생육에 적합한 20 – 25°C, 상대습도가 60% 내외의 가을에 재배되었으며, 청치마 상추는 형태상 잎이 벌어지기 때문에 포기형의 상추보다는 잎 끝마름증 발생율이 낮을 수 있어 여름 재배와 포기형 엽채류에서의 칼슘 흡수 촉진에 관한 실험은 추가로

수행되어야 할 것으로 보인다. 또한 CLS 처리에 의해 상추 생육은 낮았으나 높은 증산율로 양·수분의 분배가 원활하여 잎의 엽내 무기 양이온 함량을 높여줄 수 있다고 판단됨에 따라 높은 생육량과 비료 절감 효과가 인정된 PVA-95 처리와 CLS 처리의 혼용 또는 CLS 처리 시기 및 농도 구명을 통해 고품질 수경 엽채류 생산이 가능하리라 생각된다. 아울러 계면활성제 처리에 의한 채소의 식품 안전성과 관련된 제반 실험도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

순환식 양액재배시 계면활성제가 무기이온 흡수 증진에 미치는 영향을 알아보고자 상추의 생육, 광합성을, 증산율 및 무기이온 함량을 분석하였다. 상추 생육은 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ PVA-95 처리에서 가장 높았으며, 1/2배액에서 재배된 상추의 생육도 양호하였다. 칼슘 함량이 증가된 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CLS 처리의 상추는 생육이 낮음에도 불구하고 높은 증산율과 광합성을 및 엽내 카리, 칼슘 및 마그네슘 함량이 높았다. 따라서 높은 생육량과 비료 절감 효과가 인정된 PVA-95 처리와 CLS 처리에 의한 엽내 무기 성분 함량 증가가 인정됨에 따라 수경재배 상추의 고품질 생산에 유용하게 사용 가능하리라고 판단된다.

주제어 : 고기능성 엽채류 생산, 광합성을, 비료절감, 증산율

사 사

본 논문은 2004년도 농촌진흥청 원예연구소 채소과 기관 프로젝트인 '기능성강화수경채소생산시스템개발' 과제 중 박사후연구원 계약과제지원으로 수행된 것입니다.

인 용 문 헌

1. Adams, D. 1991. Effect of diurnal fluctuation in humidity on the accumulation of nutrients in the leaves of tomato. *J. Hort. Sci.* 65:545-555.
2. Ammerlaan, J.C.J. 1993. Environment-conscious production system in Dutch glasshouse horticulture. Paper at ISHS International Symposium on New Cultivation System in Greenhouse. Caqliari. Italy.
3. Bakker, A.V. and C. Sonneveld. 1988. Calcium deficiency of greenhouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. *J. Hort. Sci.* 62:363-370.
4. Bar-Tel, A. and E. Pressman. 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake and blossom-end rot in greenhouse tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:649-655.
5. Choi, J.M., K.R. Min, and J.S. Choi. 2000. Soil residual activity of surfactant mixtures containing polyoxyethylene octylphenyl ether and their effect on initial wetting and water movement in container media. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:612-620.
6. Choi, K.Y. 1999. Environmental factors on a plant factory affecting tipburn incidence of the lettuce. Ph.D. Diss., The Univ. of Seoul, Seoul.
7. Choi, K.Y. and Y.B. Lee. 2003. Effect of electrical conductivity of nutrient solution on glutathion reductase activity, photosynthesis and transpiration in lettuce. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:142-145.
8. Goto, E. and T. Takakura. 1992. Prevention of lettuce tipburn by supplying air to inner leaves. *Transactions of the ASAE.* 35:641-645.
9. Hirohumi, S. and S. Ogata. 1987. Relationship between water use efficiency and cuticular wax deposition in warm season forage crops grown under water deficit conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33:439-448.
10. Lee, Y.B. 2000. Development of optimum nutrient management system in a plant factory. The last report of Agricultural R&D Promotion Center, Korea.
11. Malmstorm, C.M. and C.B. Field. 1997. Virus-induced different in the response of oat plant to elevated cation dioxide plant. *Plant Cell and Environ.* 20:178-188.
12. Marchner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants. p. 99-105. Academic press. London.
13. Moon, B.W., J.S. Choi, and J.K. Kim. 1998. Effect of surfactant and calcium compounds extracted from oyster shell on calcium content of apply fruit treated alone or with agrochemicals. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:716-720.
14. Sonneveld, C. 1993. Hydroponic growing in closed systems to safeguard the environment. Australia Hydroponic Conference - Hydroponics and the Environment. Monash Univ. Melbourne Australia, 21-36.
1. Adams, D. 1991. Effect of diurnal fluctuation in humidity on the accumulation of nutrients in the leaves