

배양액내 Ca : K 비율이 상추의 광합성, 증산, 생육 및 tipburn 발생에 미치는 영향¹⁾

최기영* · 배종향¹⁾ · 이용범

서울시립대학교 환경원예학과, ¹⁾원광대학교 생명자원과학대학

Effects of Ca : K Ratios in Nutrient Solution on Photosynthesis, Transpiration, Growth and Incidence of Tipburn in Butterhead and Leaf Lettuce.

Choi, Ki-Young · Bae, Jong-Hyang · Lee, Yong-Beom

Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

¹⁾College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University,
Iksan 570-749, Korea

Abstract

This study was executed to see the effects of Ca : K ratios in $me \cdot L^{-1}$ - 0:9, 1.5:7.5, 3:6, 4.5:4.5, 6:3 - in the nutrient solution on the photosynthesis, transpiration, growth and incidence of tipburn in butterhead 'Omega' and Leaf 'Grand Rapids' lettuce (*Lactuca sativa*. L) grown in nutrient film technique(NFT). The photosynthesis of both lettuces showed high in the Ca : K ratios of 3:6 and 4.5:4.5 regardless of species. But stomatal resistance of Grand Rapids was higher than that of Omega. The highest transpiration rate of them was shown in the Ca : K ratio of 3:6. The transpiration rate of developing leaves was lower than that of expanded leaves. It was seemed to have relation with incidence of tipburn in the developing leaves. The nutrient solution treatment without Ca developed less growth than that of other treatments, especially growth and development of apical part were inhibited, so that in the both of them incidence of tipburn appeared 100 percent. The incidence of tipburn in Omega appeared 25 percent in the Ca/K ratio of 1.5:7.5, but Grand Rapids did not show it according to the Ca/K ratio in nutrient solution. The highest growth in two species was also shown in the Ca/K ratio of 3:6 except nutrient solution without Ca. This study suggested that the unbalanced ratio of Ca/K affected Ca transport in two species because of the increase of stomatal resistance and diffusive resistance and the decrease of photosynthesis and transpiration.

주제어 : 상추, 칼슘 이동, 기공저항, 확산저항

Key words : *Lactuca sativa* L, Ca transport, stomatal resistance, diffusive resistance

*Corresponding author

¹⁾ 이 논문은 농림부 농림기술관리센타의 '95 첨단 연구과제로 수행되었음.

서 론

Ca 결핍에 의한 원예작물의 영양장해에 미치는 현상으로는 상추와 딸기 잎의 잎끝 마름증, 토마토, 피망 및 박과 작물에서의 배꼽썩음과, 셀러리, 배추, 양배추 등의 심부패증이 있다(Kozai 등, 1992). 상추의 잎끝마름증은 초기 어린잎의 선단 또는 주변부가 수침상으로 변하면서 갈, 흑색으로 변해 고사되거나 처음부터 괴사형을 띠는 경우가 있다. 주로 고온기 생육속도가 빠른 시기에 많이 발생되는 현상으로 필요한 부위로의 Ca 공급이 불충분하거나 필요량이 많은 공급 조직(기관)으로의 양분 불균형에 의해 발생되는 것으로 알려지고 있다(Kozai 등, 1992). Ca 흡수는 다른 양이온(K, Mg, NH_4)과의 길항으로 흡수가 억제되는 것으로 알려져있다 (Bangerth, 1979; Kozai 등, 1992). K는 Ca 흡수를 감소시켜 지상부의 Ca 농도를 감소시키며(Addiscolt, 1974), K : Ca 비율의 증가는 토마토의 배꼽썩음과 발생을 증가시켰으나 gold specks는 감소했다(Ho, 1989; Nukaya 등, 1995). 또한 칼슘에 비해 K+Mg비의 증가도 Ca 흡수를 억제한다고(Bangerth, 1979)하였으며, Lewis 등(1977)은 사과와 Ca 결핍 불균형은 K 시용량을 증가시켰을 때 유도되었다고 하였다. 그러나 Willumsen(1984)은 K, Ca, Mg 비율 차이에 따른 상추의 tipburn 발생과 생육간에 차이가 없다고 보고함에 따라 Ca와 양이온간의 비율에 의한 영양장해 현상은 작물 종류와 재배환경에 따른 차이가 있음을 보여주고 있다.

더욱이 K는 체관부(phloem) 수송으로 흡수가 촉진될 수 있는 데 이것이 호흡 기질로서 뿌리 공급에 영향을 주는 저장조직에서의 Ca 농도를 감소(Jakobson, 1979)시키므로써 Ca 흡수와 물관부 수송 촉진이 감소되고 이들 조직으로의 Ca 이동이 감소된다(Bangerth, 1979). 일반적인 Ca 이동은 apoplast에 의한 물관부 수송으로 도관의 물 흐름에 따라 상향으로 이동되는데 주로 증산류와 근압류에 의해 이루어진다(Clackson, 1984; Marschner, 1995). 이처럼 Ca 이동율은 증산율과 높은 상관관계가 인정되고 있다(Tanner와 Beevers, 1990). 한편 Choi 등(1997)은 토마토의 야간다습 조건이 근압의 형성을 촉진하며 그 결과 수분의 이동량은 증가하였으나 Ca 흡수와 이동은 저하된 것으로 보고함으로써 Ca 이동을 조절하는 기작은 아직 명확하지 않은 실정이다. 또한 K는 광합성과 호흡에 관여하는 여러 효소의 활성제이며, 세포의 삼투퍼텐셜에 관여하여 팽압유지 기능으로 광합성과 밀접한 영향을 갖고 있으나(Marschner, 1995) Ca와 K의 비율에 따른 광합성에 관한 자료는 없다.

따라서 본 실험은 인공광 병용형 식물공장에서 배양액내 Ca과 K의 비율에 따른 반결구 상추와 잎상추의 광합성, 증산 및 상추의 tipburn 발생과의 관계를 밝혀 영양진단에 필요한 기초자료를 얻고자 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

잎상추인 'Grand Rapids'와 반결구 상추인 'Omega'(*L. sativa*)를 1998년 4월 6일 파종하

여 NFT 베드(60×120cm)에 5월 21일 정식(본엽 3~4매 출현)하였다. Ca : K 비율 (me : me)은 서울시립대 상추 배양액 (N:10.8, P:2.0, K:6.0, Ca:3.0, Mg:2.0 me · L⁻¹) 중 Ca : K 비율을 각각 0:9, 1.5:7.5, 3:6, 4.5:4.5, 6:3의 5처리로 하였으며, 미량 원소는 Fe 1.0, Mn 0.5, B 0.5, Zn 0.2, Cu 0.05, Mo 0.05 mg · L⁻¹ 으로 동일하게 공급하였다. 배양액의 pH와 EC 농도는 각각 5.7~6.0, 1.5mS · cm⁻¹ 로 조절하여 재배 관리하였다.

처리 25일째에 Ca 불균형으로 발생하는 영양장해 현상이 더 이상 진전되지 않는 시기에 광합성과 증산율을 측정하였다. 광합성과 기공 저항은 정단부로부터 12-16 엽위의 완전 전개잎을 오전 8시~10시 사이에 휴대용 광합성측정기(Li-6200, Li-Cor)로, 증산율은 엽위를 구분하여 미숙잎은 정단부로부터 2-3번째잎으로, 완전전개잎은 12-16 엽위잎을 채취하여 steady-state porometer(Li-1600, Li-Cor)로 3회 측정하였다. 생육조사는 6월17일에 최대엽장, 최대엽폭, 엽수, 지상부와 지하부의 생체중, 건물중을 조사하였다.

결과 및 고찰

반결구 상추 'Omega'와 잎상추 'Grand Rapids'에서 Ca : K 비율에 따른 광합성과 기공저항을 측정한 결과는 그림 1과 같다. 반결구 상추의 광합성은 Ca : K 비율이 0.5 수준까지 증가한 후 감소하였으며, Ca : K 비율(me:me) 3:6과 4.5:4.5처리에서 높았다. 기공 저항은 Ca : K 비율 1.5:7.5처리에서 가장 높았으며, Ca : K 비율이 증가함에 따라 감소 후 6:3 처리에서 다시 증가하였다. 잎상추의 광합성은 반결구 상추와 같은 2차 곡선을 나타냈으며, Ca : K 비율 3:6에서 가장 높았고 이후 점차 감소하기 시작하여 6:3처리에서 가장 낮았다. 그러나 기공 저항은 Ca : K 증가에 따른 완만한 증가로 처리간 차이가 없었으며, 기공 저항외에 세포내 다른 저항요인

이 관여하는 것으로 보인다. 잎상추의 낮은 기공 저항은 반결구 상추와 중간 특성 차이로 보이며, Ca : K 0:9처리는 지나친 생육 지연과 함께 모두 tipburn이 발생하여 고사됨에 따라 자료를 얻지 못했다.

반결구 상추와 잎상추에서 Ca : K 비율에 따른 증산율과 확산 저항은 완전 전개잎과 미숙잎을 구분하여 측정하였다(Fig. 2). 2종의 상추에서 증산율은 Ca : K 비율 3:6처리에서 가장 높았으며, 완전 전개잎의 증산율이 미숙잎보다 높았다. 잎상추 미숙잎의 증산율은 6.51~10.57 mgcm⁻² · s⁻¹의 범위에 있었으며 완전 전개잎은 10.84~15.82 mgcm⁻² · s⁻¹ 범위로 반결구 상추보다 활발한 증산이 이루어졌다. 미숙잎의 확산 저항은 Ca : K 비율 3:6과 4.5:4.5처리에서 가장 낮았으며, Ca : K 비율 1.5:7.5에서 가장 높았다. 또한 반결구 상추 미숙잎의 확산 저항이 완전 전개잎보다 높았다. 잎상추 확산 저항은 반결구 상추와 같은 경향으로 완전 전개잎의 확산 저항은 처리간 차이가 없었으나 미숙잎의 확산 저항은 Ca 함량이 낮거나(1.5:7.5) 너무 높게(6:3) 조성되었을 때 확산저항이 높았다. 이처럼 반결구 상추 미숙잎에서 Ca : K 비율 1.5:7.5처리에서 확산저항이 가장 높게 나타난 것은 결구 형성기 잎끝 마름증이 발생하였던 것과 깊은 관계가 있는 것으로 보인다. 이것은 미숙한 잎에서 높은 기공 저항과 확산 저항으로 인하여 증산의 억제나 나타나고 결국 Ca 이동이 미숙잎으로의 전류가 원활하게 일어나지 않아 결핍증이 나타난 것으로 보인다.

증산율은 잎과 같은 증산조직이 Ca 이동의 주동력으로 작용하나(Clarkson, 1984) 밤 동안 발달한 근압은 배추의 내부 결구엽이나 딸기의 미전개잎과 부위의 Ca 수송에 더 큰 영향을 준 것(Palwkill과 Tibbitts, 1977)과 관련이 있는 것으로 보인다. 그러나 낮은 증산율은 사관부 용액의 유출을 크게 감소시키거나 물관부 용액의 흐름이 낮아 Ca 이동을 제한한다(Marscher, 1984). 따라서 수분과 Ca의 물관부 이동율은 같은 경로로 이동하는지, 아닌지는 아직 명확히

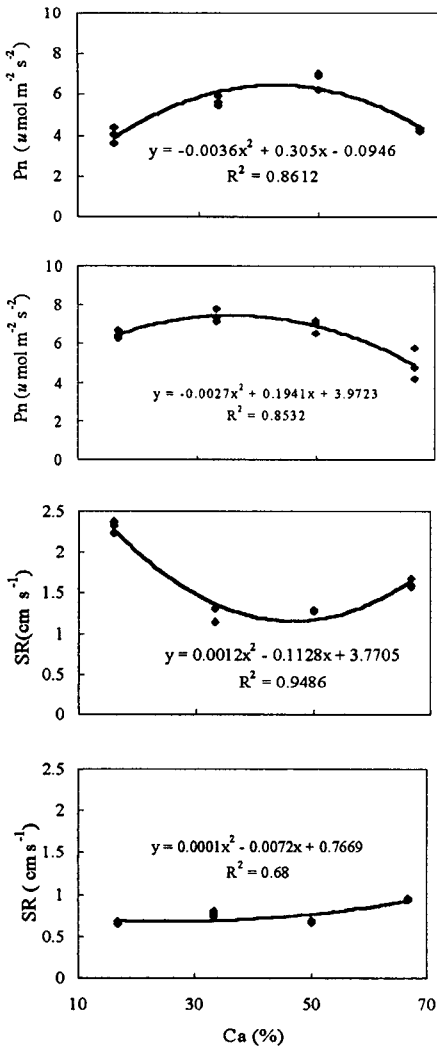


Fig. 1. Effects of Ca : K ratios in nutrient solution on photosynthesis (Pn) and stomatal resistance (SR) in expanded leaves of butterhead lettuce 'Omega' (left) and leaf lettuce 'Grand Rapids' (right).

밝혀지지 않았으나 본 실험에서 Ca : K 1.5:7.5와 같이 상대적으로 Ca 조성이 낮은 처리에서 미숙잎의 증산 억제는 정단분열 조직에서의 Ca 불균형을 초래하여 생리장애인 잎끝마름증을 유발시킨 것으로 보인다.

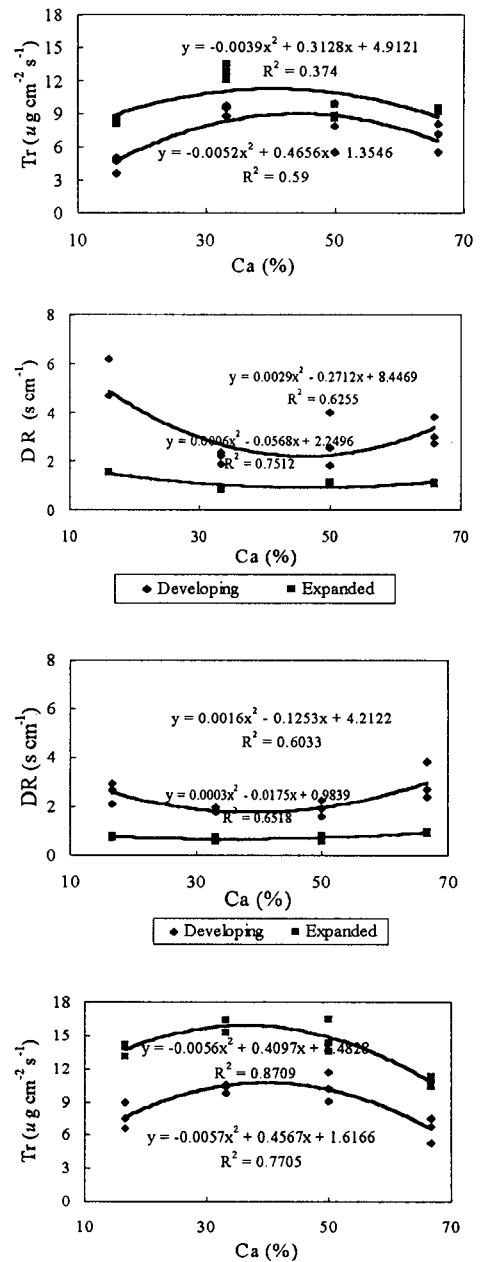


Fig. 2. Effects of Ca : K ratios in nutrient solution on transpiration rate (Tr) and diffusive resistance (DR) in developing and expanded leaves of butterhead lettuce 'Omega' (left) and leaf lettuce 'Grand Rapids' (right).

또한 반결구 상추의 광합성과 증산율은 잎상추보다 낮았는데 이는 종간 특성 차이로 두 종 모두 식물공장에 적합한 중임에도 불구하고 Ca의 조성이 너무 낮거나 높은 비율인 Ca : K 1.5:7.5 처리와 6:3 처리는 광합성 저하와 증산 억제가 뚜렷하게 이루어졌으며, 반결구 상추의 결구 형성기 결구 부위의 높은 습도와 낮은 증산율은 Ca 결핍증을 보다 잘 발현시킬 것으로 보아 고광과 고온기처럼 생육 속도가 빠른 재배기간에는 잎상추의 재배가 보다 더 적합할 것으로 보인다.

Ca : K 비율에 따른 반결구 상추와 잎상추의 생육결과(Table 1)는 두 종 모두 인위적으로 Ca을 결핍시킨 처리구에서는 정식 후 극심한 생육 억제 현상과 함께 14일째부터 잎끝마름 증상이 발생하기 시작하여 21일째에는 100% 고사되었다. 이러한 생리장해는 Ca이 체내이동이 상대적으로 어렵고 결핍 증상이 성장점 부근에서 일어나기 때문에 Ca 결핍구는 정단부의 생장이 현저하게 억

제되면서 고사 증상을 보였다. 이러한 결과는 토마토에서 K : Ca 비율 증가에 따라 배꼽썩음과 발생이 많다고 하여 같은 연구 결과를 보였다(Nukaya 등, 1995). Ca 결핍은 상대적으로 K 과잉으로 뿌리압의 감소를 가져오면서 tipburn 유도를 증가시키는 것으로 보였다(Van den Ende 등, 1975). 반결구 상추 Ca : K 1.5:7.5 처리는 Ca 부족구로 tipburn이 25% 발생되었으나 다른 생육 요인들은 처리간 차이가 없어 Willumsen (1984)은 K, Ca, Mg 비율차이는 상추 tipburn 발생에 영향을 주지 않았다는 결과와 같았다. 반면에 잎상추는 Ca 결핍구를 제외한 처리구에서의 잎끝마름증은 발생되지 않아 상대적으로 tipburn에 대한 내성이 높은 것으로 보였다 (Bres 와 Weston, 1992). 지상부 생체중과 건물중은 Ca : K비가 3:6 처리에서 가장 높았고, 그 외 처리구의 지상부 생육 저하는 Ca과 K간의 양이온 불균형이 식물체의 지상부 생육에 영향을 준 것으로 생각된다.

Table 1. Growth and tipburn incidence of butterhead and leaf lettuce treated with different Ca : K ratio in nutrient solution.

Ca/K ratio (me/me)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number	Fresh weight (g · plant ⁻¹)		Dry weight (g · plant ⁻¹)		Tipburn (%)
				Shoot	Root	Shoot	Root	
Butterhead lettuce 'Omega'								
0 : 9								100
1.5:7.5 (16.7) ^z	20.3	18.8	36.0 ab ^y	103.5 b	17.0 a	4.68 b	1.17 ab	25
3 : 6 (33.3)	18.0	17.8	48.0 a	115.0 a	12.9 b	4.98 a	1.02 ab	0
4.5:4.5 (50.0)	21.3	18.3	41.5 a	109.5 b	13.7 b	4.80 ab	1.25 a	0
6 : 3 (66.7)	21.8	19.3	35.5 b	116.5 a	12.6 b	5.03 a	0.90 b	0
Leaf lettuce 'Grand Rapids'								
0 : 9	-	-	-	-	-	-	-	100
1.5:7.5 (16.7)	24.5	19.6ab	24.5 b	147.4 bc	22.5 b	7.35 c	1.57 ab	0
3 : 6 (33.3)	22.3	22.8 a	31.5 a	205.3 a	34.0 a	11.5 a	1.81 a	0
4.5:4.5 (50.0)	20.0	22.7 a	25.5 b	163.4 b	26.8 b	8.91 b	1.51 ab	0
6 : 3 (66.7)	23.8	18.3 b	23.5 b	136.9 c	24.0 b	7.26 c	1.26 b	0

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

적 요

반결구 상추 'Omega'와 잎상추 'Grand Rapids'의 NFT 재배에서 배양액내 Ca : K 비율이 광합성, 증산, 생육 및 tipburn 발생에 미치는 영향을 밝히고자 실험을 수행하였다. 반결구 상추와 잎상추 두 종 모두 광합성은 Ca : K 비율 3:6과 4.5:4.5에서 높았으며, 기공저항은 잎상추가 반결구 상추보다 낮았다. 증산율은 3:6의 Ca : K 비율에서 두 종 모두 가장 높았으며, 잎상추의 증산율이 반결구 상추보다 높아 종간 차이를 보였다. 엽위에 따른 증산율은 완전 전개잎에 비해 미숙잎에서 낮았는데, 이것은 미숙잎에서 tipburn 발생이 많은 것과 깊은 관계가 있는 것으로 보였다. Ca 결핍구인 Ca : K 비율 0:9처리는 두 종 모두 극단적인 생육저하와 함께 tipburn이 100% 발생하였으며, 반결구 상추는 Ca : K 1.5:7.5 처리에서도 tipburn이 25% 발생하였으나, 잎상추에서는 나타나지 않았다. 작물 생육은 Ca 결핍구를 제외한 두 종 모두 Ca : K 3:6 처리에서 가장 높았다. 배양액의 Ca과 K의 불균형은 기공저항과 확산저항을 높여 광합성과 증산의 감소를 유도함으로써 Ca 이동에 영향을 미친 것으로 보였다.

인 용 문 헌

1. Addiscolt, T.M. 1974. Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants. *J. Sci. Food Agric.* 25 : 1173-1183.
2. Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 17 : 97-122.
3. Choi, J.H., G.C. Chung, S.R. Suh, J.A. Yu, J.H. Sung, and K.J. Choi. 1997.

Growth and calcium transport suppression of calcium transport to shoots by root restriction in tomato plant. *Plant Cell Physiol.* 38(4) : 495-498.

4. Clarkson, D.T. 1984. Calcium transport between tissues and its distribution in the plant. *Plant Cell Environ.* 7 : 449-456.
5. Ho, L.C. 1989. Environmental effects on the diurnal accumulation of ⁴⁵Ca by young fruits and leaves of tomato plants. *Ann. Bot.* 63 : 281-258.
6. Jakobson, S.T. 1979. Interaction between phosphate and calcium in nutrient uptake by plant roots. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*
7. Kozai, T., A. Karino, K.G. Grata, H.O. Ikeda. 1992. *New greenhouse management.* Asakura. Japan. p. 117-122.
8. Lewis, T.L., D. Martin, J. Cerny, and D.A. Ratkowsky. 1977. The effects of a sheltered environment on the mineral element composition of Merton Worcester apple fruits and leaves and on the incidence of bitter pit at harvest. *J. Hort. Sci.* 52 : 401-407.
9. Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants.* Academic press. p. 99-105.
10. Nukaya, A., K. Goto, H. Jang, A. Kano, and K. Ohkawa. 1995. Effect of K/Ca ratio in the nutrient solution on incidence of blossom-end rot and gold specks of tomato fruit grown in rockwool. *Acta Hort.* 396 : 123-130.
11. Palzkill, D.A., and T.W. Tibbitts. 1977. Evidence that root pressure flow is required for calcium transport to headleaves of cabbage. *Plant Physiol.* 60 : 854-856.
12. Tanner, W. and H. Beevers. 1990. Does transpiration have an essential

- function on long-distance ion transport in plant?. *Plant Cell Environ.* 13 : 745-751.
13. Van den Ende, J.P. Koornneef, and C. Sonneveld. 1975. Osmotic pressure of the soil solution. Determination and effects on some glasshouse crops. *Neth. J. Agr. Sci.* 23 : 181-190.
14. Willumsen, J. 1984. Nutritional requirements of lettuce in water culture. 771-791 *ISDSC Proc. 6th Int. Congr. Soilless culture, Luntern*
15. Bres, W., and L.A. Weston. 1992. Nutrient accumulation and tipburn in NFT-grown lettuce at several potassium and pH levels. *HortScience.* 27(7) : 790-792.