

단기간 근권 저온처리가 수경재배 상추의 질산태 질소 함량에 미치는 영향

최승주 · 양진철 · 사동민*

충북대학교 농과대학 농화학과

(2002년 1월 29일 접수, 2002년 2월 27일 수리)

Effect of Short Term Cold Treatment to Rhizosphere on Nitrate Concentration in Lettuce Plant under Hydroponic Culture System

Seung-Ju Choi, Jin-Chul Yang and Tong-Min Sa* (Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea)

Abstract : Lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants were grown under hydroponic system to characterize the diurnal change of nitrate concentration and nitrate uptake rate and to examine the effect of short term cold treatment to rhizosphere on nitrate concentration and uptake rate in lettuce plant. The nitrate concentrations in midrib were two times higher than those in leaf. Nitrate concentration in the shoot reached to minimum (8.7 mg-N/GDW) at 14:00 and, thereafter, increased continuously until 23:00. During 11:00~17:00, nitrate uptake by lettuce plant was maximum (4.8 mg-N/GDW-Root/hr). Short term cold treatment reduced nitrate concentration in the shoot by 14~18%, and nitrate uptake rate by 50~55%, respectively. These results showed that short term cold treatment before harvest could be applied for the purpose of reduction of nitrate concentration in the leaf under hydroponic culture.

Key words : cold treatment, lettuce, nitrate, nitrate uptake

서 론

질산태 질소는 모든 식물에 존재하는 필수 영양성분중의 하나로 뿌리, 잎 및 과실 등에 분포되어 있다. 정상적인 생육조건에서 뿌리를 통하여 흡수된 질산태 질소는 뿌리에서 동화되거나 물관을 통하여 지상부로 이동하는데 여분의 질산태 질소는 주로 물관이나 엽병에 축적된다. 또한 잎에서는 nitrate reductase에 의해 환원되어 대사작용에 이용되고 나머지는 액포에 축적된다. 식물 체내에 존재하는 질산태 질소는 생육에 필요한 질소원으로 이용되기 때문에 그 자체로는 해가 없으나 질산태 질소 함량이 높은 채소를 동물이나 인간이 섭취하게되면 소화 과정 중에 질산태 질소가 아질산 형태로 환원되어 발암물질인 nitrosamine 복합체를 형성하여 건강에 유해한 것으로 알려져 있다. 엽중 질산태 질소

함량을 결정하는 인자는 광도, 온도, 시비방법, 재배시기 및 품종 등으로 알려졌으며, 수경 재배 시에는 질소공급중단^{1,2)}, 질소형태의 변화³⁾, 질소공급량의 변화⁴⁾ 등의 방법을 통하여 엽중 질산태 질소 함량을 감소시키는 연구가 보고되었다. 그러나 이러한 방법들은 질소 부족 등에 상품성이 현저하게 저하될 뿐만 아니라 감소의 원인이 될 수 있고, 질산태 질소 함량은 저하시킬 수 있으나 각종 유용 성분의 함량도 같이 감소될 가능성이 매우 높아서 종합적인 품질은 오히려 저하될 수 있다. 그리고 포기 채로 일시에 수확하는 채소에는 적용이 가능하지만, 잎들개, 케일, 상추 등과 같이 거의 매일 잎을 수확하는 채소에는 적용이 불가능하다. 근권의 온도는 뿌리의 생육과 각종대사 속도뿐만 아니라 양분 및 수분의 흡수와 이동에 큰 영향을 미친다. Yelle⁵⁾은 근권의 온도를 달리하여 토마토를 재배하면 질산태 질소 함량과 nitrate reductase 활성은 저온에서 감소하며 점차 근권의 온도를 상승시키면 34°C에서 질산태 질소 함량이 최대치를 보인다고 보고하였으며, Ruth와 Kafkafi⁶⁾은 일정한 온도 범위 내에서는 근권 온도가 상승

*연락처:

Tel: +82-43-261-2561 Fax: +82-43-271-5921

E-mail: tomsa@cbucc.chungbuk.ac.kr

함에 따라 근활력이 증가되어 양분 및 수분의 흡수와 이동이 활발해져 체내 질산태 질소 함량이 많아지는 반면 근권의 온도가 낮으면 양분 및 수분의 흡수가 저해되고 지상부로의 이동이 느려지기 때문에 엽중 질산태 질소 함량이 적어진다고 보고하였다.

본 연구에서는 작물의 생육은 최적의 상태로 유지시키면서 수확 시 식물체내 질산태 질소의 함량을 저하시킬 수 있는 방법을 모색하고자 근권의 단기저온처리가 질산태 질소의 흡수 및 지상부의 질산태 질소 함량에 미치는 효과를 규명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

공시 식물은 대농종묘의 청치마 상추 (*Lactuca sativa* L.)를 사용하였다. 냉동 보관된 씨앗을 발아용 스폰지에 파종한 후 30℃ 항온배양기에서 5일간 발아시킨 다음 실험실내에서 2일간 실온과 약한 광에 적응시킨 후 온실로 이식시켰다. 온실에서 담액수경 방식으로 재배하였고 양액의 조성은 Table 1과 같다. 플라스틱 용기(56×44×12 cm)에 20 L의 양액을 채우고 30 mm 두께의 스티로폼 정식판을 양액에 띄운 다음 10×10 cm 간격으로 3주간 재배한 후 90×65×20 cm인 용기에 40 L의 양액을 채우고 20×20 cm 간격으로 재배하였다. 시료 채취 24시간 전에 250 mL 배양병으로 한 개체씩 옮겨 각각의 처리에 맞춰 재배 후 수확하였다. 양액은 air pump를 통하여 통기 시켰다. 재배기간중 양액의 온도는 23~28℃, pH는 5.7~6.2의 범위로 유지되었다.

질산태 질소의 농도 및 흡수의 일중 변화를 측정하기 위하여 맑은 날씨를 택하여 05:00부터 3시간 간격으로 시료를 채취 (3반복)하여, 뿌리, 주맥 및 엽신으로 분리한 후 3일간 70℃ 건조기에서 건조시킨 후 건물량을 측정하고 주맥 및 엽신을 마쇄하여 시료로 사용하였다. 또한 식물체 재배 전과 후에 양액의 부피와 질산태 질소함량을 측정하여 그 차이를 뿌리의 건물량으로 나누어 시간당 수분 및 질산태 질소 흡수량으로 계산하였다. 근권의 온도 조절은 7℃로 냉각된 수조에 250 mL 배양병을 설치하고 배양병내의 양액 온도가 7℃로 조절된 후 식물체를 이식하여 6시간 (10:00~16:00)동안 처리하였다.

건조, 마쇄된 시료 (약 100 mg)를 증류수 10 mL에 현탁시켜 45℃ 항온 수조에서 1시간 동안 배양시킨 후 원심분리 (5,000 g)

Table 1. Chemical composition of nutrient solution used in this experiment

mM					μM				
Ca(NO ₃) ₂	KNO ₃	MgSO ₄	KH ₂ PO ₄	Fe,Na-EDTA	H ₃ BO ₃	MnSO ₄	Na ₂ MoO ₄	ZnSO ₄	
1	5.35	0.5	1.35	35.6	32.3	8.3	0.083	0.77	

하였다. 상등액 2 mL과 5% salicylic acid (in conc. H₂SO₄) 0.8 mL를 가하여 혼합하고, 상온에서 20분간 방치한 후 2 N NaOH 19 mL를 천천히 첨가하였다. 상온으로 완전히 식힌 후 spectrophotometer (U-2001)를 이용하여 410 nm에서 흡광도를 측정하였다⁷⁾. 재배 전, 후의 양액의 질산태 질소농도는 질산태 질소 자동 분석기 (FIAS-5000)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

수경재배 상추 엽신 (leaf)과 주맥 (midrib)의 질산태 질소 일중 변화 양상 및 수분과 질산태 질소의 일중 흡수량은 각각 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. 질산태 질소의 농도는 엽신에 비하여 주맥에서 일중 지속적으로 2배 이상 높았으나 일중 변화 양상은 비슷한 경향을 나타내었다 (Fig. 1-A, B). 식물체의 부위별 NO₃⁻ 함량은 잎에 비하여 줄기나 엽병에 많고, nitrate reductase와 glutamine synthetase의 활성은 잎에서 높다는 것이 Chalifour와 Nelson⁸⁾에 의하여 확인되었다. 뿌리를 통하여 흡수된 NO₃⁻는 xylem을 통하여 이동하는데, 질소동화에 이용되지 못한 여분의 NO₃⁻는 주로 xylem에 정체되어 있는 반면, 잎에서는 nitrate reductase에 의하여 NO₃⁻가 NO₂⁻로 환원되므로 줄기나 엽병의 NO₃⁻ 함량이 잎에 비하여 많은 것으로 알려져 있다. 토마토에서는 줄기의 NO₃⁻ 함량이 잎이나 뿌리에 비하여 2~3배정도 많고⁹⁾, *Helianthus annuus*의 nitrate reductase 및 glutamine synthetase의 활성은 뿌리에 비하여 잎에서 7배정도 높으며, faba bean과 pea의 nitrate reductase활성은 뿌리나 줄기에 비하여 잎에서 더 높다고 한다¹⁰⁾.

상추 지상부 (shoot)의 질산태 질소 농도는 08:00에 15.14 mg-N/GDW로 최고치에 도달하였다가 지속적으로 감소하여 14:00에 8.70 mg-N/GDW로 최저치를 나타낸 후 23:00까지 다시 증가하였다 (Fig. 1-C). Kallio 등¹¹⁾은 beet의 체내 질산태 질소의 일중 변화는 14:00경에 최소함량을, 08:00에 최대함량을 각각 나타낸다

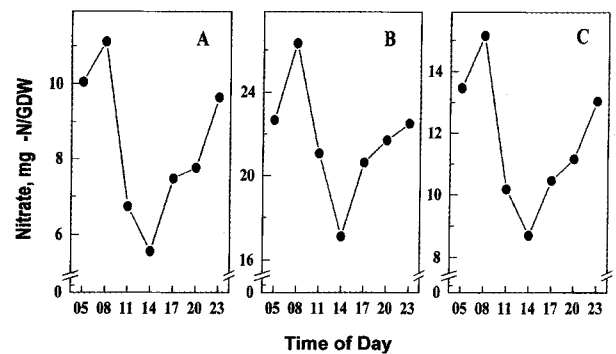


Fig. 1. Diurnal changes of nitrate concentration in leaf(A), midrib(B) and shoot(C) of lettuce plant at 32 days after transplanting.

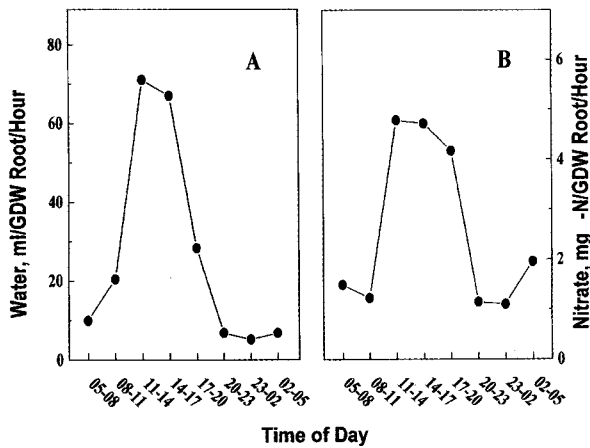


Fig. 2. Diurnal changes of water(A) and nitrate(B) uptake by lettuce plant at 37 days after transplanting.

고 하였고, 옥수수에서는 13:00에 최소함량을, 08:00에 최대함량을 각각 나타내었다고 하였으며¹²⁾, 시금치의 경우도 08:00경에 최대함량을 나타낸다고 보고되었다¹³⁾. 다양한 작물과 재배방법에서 얻은 이러한 결과들은 본 실험과 비슷한 경향을 나타내는 것으로써 잎의 질산태 질소 농도가 일조시간 및 광도와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

뿌리에 의한 수분 흡수량은 11:00~17:00에 평균 72 mL/GDW-Root/hr로 23:00~02:00의 평균 흡수량 4 mL/GDW-Root/hr보다 18배 이상 높은 값을 나타내었다 (Fig. 2-A). 질산태 질소의 일중 흡수량의 변화도 수분 흡수량의 변화와 유사한 경향을 나타내어 11:00~17:00에서 평균 4.8 mg-N/GDW-Root/hr로 최대치를 나타내었으며 23:00~02:00에서 1.1 mg-N/GDW-Root/hr로 최소였다 (Fig. 2-B). 11:00~14:00 동안의 많은 질산태 질소 흡수량에도 불구하고 14:00에 잎의 낮은 농도는 잎의 질산태 질소 환원효소가 광도, 광량 및 잎으로 이동되는 질산태 질소량에 의하여 크게 활성화됨을 나타낸다.

Lillo와 Hendriksen¹⁴⁾은 광에 의하여 질산태 질소의 흡수와 nitrate reductase의 활성이 촉진 및 증가된다고 하였으며, Hageman과 Flesher¹⁵⁾은 질산태 질소의 활성은 광에 의하여 생성되는 단백질의 함량과 밀접한 관련이 있어 광 조사에 의하여 증진된다고 하였다. 주맥의 질산태 질소 농도는 엽신의 질산태 질소 농도보다 일중 지속적으로 높았으나 (Fig. 1), 질산태 질소의 축적은 다른 경향을 나타내었다 (Table 2). 14:00에는 지상부 전체 질산태 질소의 약 53%가 주맥에 존재하였으나 08:00과 20:00에는 약 47%가 주맥에 존재하였다. 즉 광 조건이 좋을 때에는 엽신으로의 질소 이동 및 엽신에서 질산태 질소의 동화가 신속히 일어나 나 광이 약할 경우에는 주맥에 질산태 질소가 축적되었다.

단기간 근권 저온처리를 한 수경재배 상추의 질산태 질소 농도는 대조구에 비하여 14~18% 감소되었다 (Table 3). 토마토의 경우

Table 2. Comparison of nitrate accumulation in and distribution to leaf and midrib in lettuce plant during 08:00~20:00 at 32 days after transplanting

Time	NO ₃ -N Accumulation			NO ₃ -N Distribution	
	Leaf	Midrib	Total	Leaf	Midrib
	----- mg-N/plant -----			----- % -----	
08:00	23.09	19.74	42.83	53.91	46.09
14:00	11.56	13.29	24.85	46.54	53.46
20:00	19.66	18.12	37.78	52.04	47.96

줄기의 생체중에 대한 NO₃⁻ 함량은 양액의 온도가 저하할수록 적어진다고 보고되었으며⁵⁾, Ruffy등¹⁶⁾은 옥수수의 경우 양액의 온도가 일정한 범위에서 높아질수록 잎의 NO₃⁻ 함량이 증가되며, 이와 같은 결과는 양액의 온도가 높으면 뿌리를 통하여 흡수된 NO₃⁻가 신속하게 지상부로 이동하는 반면, 양액의 온도가 낮으면 흡수된 NO₃⁻가 지상부로 이동하지 못하고 뿌리에 축적되어 있기 때문이라 하였다. Ruth와 Kafkafi⁶⁾는 일정한 온도 범위 내에서는 근권 온도가 상승함에 따라 근활력도 증가되어 양수분의 흡수와 이동이 활발해져서 체내 NO₃⁻ 함량이 많아지는 반면, 근권 온도가 낮으면 양수분의 흡수 저하로 인하여 지상부로의 NO₃⁻ 이동이 느려지기 때문에 체내 NO₃⁻ 함량이 적어진다고 보고하였다.

단기간의 근권 저온처리가 수분 및 질산태 질소의 흡수에 미치는 영향은 Table 4에 나타내었다. 저온에서 질산태 질소의 흡수가 수분의 흡수보다 크게 저해되어 단기간 근권 저온처리는 수분 흡수량을 15~25%, 질산태 질소 흡수량을 50~55%를 각각 감소시켰다. 추파 보리의 경우 저온 조건하에서 질산태 질소의 흡수는 감소되며 흡수 활력의 감소는 뿌리 조직내 질산태 및 아미노산태 질소 농도의 증가와 밀접한 관계가 있다고 보고되었으며¹⁷⁾, Kim 등¹⁸⁾은 호밀 및 유채를 저온에서 재배하였을 때 질산태 질소 흡수량이 각각 59.3% 및 27.1% 감소하였으며 지상부로의 이동된 질소의 함량도 각각 60.4% 및 28.8% 감소하였다고 보고하였다.

비록 본 실험에서는 저온 처리 시 온도 및 기간을 다양화하지는 못하였으나 이러한 본 연구의 결과는 수확 전 단기간의 저온 처리가 뿌리의 질산태 질소의 흡수 및 지상부로의 이동을 억제하여 상추 잎의 질산태 질소의 함량을 낮출 수 있는 방법으로 응용이 가능하다는 점을 나타낸다.

요 약

질산태 질소의 일중 농도 변화와 단기간의 저온 처리가 질산

Table 3. Effect of short term cold treatment (7°C, 6 hours) to rhizosphere on nitrate concentration in shoot and root tissues of lettuce plant at 31, 37 and 51 days after transplanting

DAT	Treatment	NO ₃ -N Concentration		Relative to Control	
		Shoot	Root	Shoot	Root
		mg-N/GDW		%	
31	Low	13.97	23.17	87.6	96.9
	Control	15.95	23.92	-	-
37	Low	10.59	26.56	84.3	110.9
	Control	12.56	23.95	-	-
51	Low	10.36	22.95	81.8	101.2
	Control	12.66	22.68	-	-

태 질소의 흡수 및 농도에 미치는 영향을 살펴보고자 상추 (*Lactuca sativa* L.)를 공시 작물로 하여 온실에서 수경 재배하였다. 질산태 질소의 농도는 엽신에 비하여 주맥에서 일중 지속적으로 2 배 이상 높았으며, 질산태 질소의 일중 변화는 14:00까지 지속적으로 감소하여 최저치 (8.7 mg-N/GDW)를 나타낸 후 다시 증가하였다. 질산태 질소의 일중 흡수량은 11:00~17:00에 평균 4.8 mg-N/GDW-Root/hr로 최대치를 나타내었다. 단기간의 저온 처리는 엽의 질산태 질소의 농도를 14~18%, 질산태 질소의 흡수량을 50~55%를 감소시켰다. 이러한 결과는 수확 전 단기간의 저온처리가 상추 잎의 질산태 질소함량을 낮출 수 있는 방법으로 응용될 수 있음을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터의 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- Boon, J., Van der, J. and Steenhuzen, W. (1986) Nitrate in lettuce on recirculating nutrient solution, *Acta Hort.* 178, 67-72
- Burns, I. G. (1990) The effects of continuity of early nitrogen nutrition on growth and development of *Lactuca sativa*, In *Plant Nutrition-Physiology and Applications*, Van Beusichem M. L. (ed.), p.545-549

Table 4. Effect of short term cold treatment (7°C, 6 hours) to rhizosphere on water and nitrate uptake by lettuce plants at 31, 37 and 51 days after transplanting

DAT	Treatment	Uptake		Relative to Control	
		Water	NO ₃ -N	Water	NO ₃ -N
		mL/GDW	mg-N/GDW	%	
		/hr	/hr		
31	Low	36.09	0.56	80.5	44.4
	Control	44.83	1.26	-	-
37	Low	41.62	1.58	85.7	43.4
	Control	48.59	3.64	-	-
51	Low	47.46	4.03	75.4	50.6
	Control	62.95	7.96	-	-

- Iwata, M. (1983) Effects of nitrogen sources and nitrogen supplied period on the growth, yield, and quality of vegetable crops, *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 24, 265-275.
- Andersen, L. and Nielsen, N. E. (1992) A new cultivation method for the production of vegetables with low content of nitrate, *Sci. Hort.* 49, 167-171.
- Yelle, S., Gosselin, A. and Trudel, M. J. (1987) Effect of atmospheric CO₂ concentration and root-zone temperature on growth, mineral nutrition, and nitrate reductase activity of greenhouse tomato, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112, 1036-1040.
- Ruth, G. N. and Kafkafi, U. (1980) Root temperature and percentage NO₃/NH₄ effect on tomato development H. Nutrients composition of tomato plants, *Agron. J.* 72, 762-766
- Cataldo, D. A., Haroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6, 71-80
- Chalifour, F-P. and Ries, S. K. (1969) Effect of light and temperature on nitrate uptake and nitrate reductase activity in rye and oat seedlings, *Can. J. Bot.* 47, 341-343
- Kirkby, E. A. and Mengel, K. (1967) Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition, *Plant Physiol.* 42, 6-14.
- Kaiser, J. J. and Lewis, O. A. M. (1984) Nitrate reductase

- and glutamine synthetase activity in leaves and roots of nitrate-fed *Helianthus annuus* L., *Plant Soil* 70, 127-130.
11. Kallio, H., Rousku, R., Salminen, A. and Tikanmaki, E. (1984) Diurnal variations in nitrate content of red beets, *J. Agri. Sci. Finland* 56, 239-243.
 12. Iversen, K. V., Fox, R. H. and Piekielek, P. (1985) Diurnal shade, and hybrid effects on nitrate content of young corn stalks, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16, 837-852.
 13. Quinche J. P. (1982) Fluctuations des teneurs en nitrates des legumes au cours de la journee, *Revue suisse Vitic-Arbortic. Hortic.* 14, 85-87..
 14. Lillo, C. and Hendrikson, A. (1984) comparative studies of diurnal variations of nitrate reductase activity in wheat, oat and barley, *Plant Physiol.* 62, 89-94.
 15. Hageman, R. H. and Flesher, D. (1961) Nitrate reductase activity in corns seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media, *Plant Physiol.* 37, 700-708.
 16. Ruffy, T. W., Jackson, W. A. and Raper, C. D. (1981) Nitrate reduction in roots as affected by the presence of potassium and by flux of nitrate through the roots, *Plant Physiol.* 68, 605-609.
 17. Kim, T. H. and Kim, B. H. (1997) Effects of low temperature on nitrate uptake and accumulation of nitrogenous compound in fall-sowing species, *J. Kor. Grassl. Sci.* 17, 223-230.
 18. Kim T. H. and Kim B. H. (1999) Nitrogen partitioning at low temperature in fall-sowing species, *J. Kor. Grassl. Sci.* 19, 49-56.