

결구상추의 수경재배시 수확전 질소중단이 품질에 미치는 영향¹⁾

김 해 진 · 김 영 식*
상명대학교 원예과학과

Effect of Nitrogen Starvation on Quality of Crisp Lettuce in Deep Flow Culture

Kim, H. J. · Kim, Y. S.*

Department of Horticultural science, Sangmyung University, Chonan 330-180

Abstract

Lettuce plants(*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) were subjected to nitrogen starvation for 18, 14, 11, 7, and 0 days before harvest. The nitrate content of lettuce was decreased greatly by nitrogen starvation and also its fresh weight. The nitrate content of the middle part of leaves was lowest at the treatment of 18 days before harvest. In the inner part it was lowest at the treatment of 11 and 14 days before harvest. The longer the period of nitrogen starvation was, the more were decreased the absorption rates of cations at harvest. During the experiment, the pH was decreased except the treatment of 7 days before harvest. The EC was continuously increased regardless of treatments.

주 제 어 : 양액재배, pH, EC, 질산태 질소함량, 생체중

Keywords : hydroponics, pH, EC, nitrate content, fresh weight

* corresponding author

¹⁾ 본 연구는 1996학년도 농림수산특정연구사업에 의해 수행된 연구결과임.

서 론

상추와 같은 엽채류의 경우, 엽중 nitrate 함량은 그의 허용기준이 정해질 정도로 품질을 결정하는 중요한 인자이다. 식물체내에 존재하는 질산태 질소는 생육에 필요한 질소원으로 이용되기 때문에 그 자체로는 해가 없

으나, 질산태 질소 함량이 높은 채소를 동물이나 인간이 섭취하게 되면 소화 과정 중에 질산태 질소가 아질산 형태로 환원되어 발암물질인 nitrosamine 복합체를 형성하여 위암을 유발시키는 것으로 알려져 있다(Forman 등, 1985). 또한, 혈관내 nitrate 함량이 높으면 nitrate가 nitrite로 환원되어 hemoglobin을

methemoglobin으로 산화시켜 생후 6개월 미만의 유아에게 청색증을 유발시키는 원인이 된다(Maynard 등, 1976). 따라서 최근 유럽 각국에서는 생산된 엽채류의 질산태 질소 함량을 적극적으로 규제하는 추세이다. 최근 국내에서도 엽채류에 함유되어 있는 질산태 질소의 함량이 외국의 허용기준을 초과한다는 사실을 인지하고, 국민 보건의 차원에서 국내에서 생산, 유통되고 있는 채소류의 nitrate 함량을 일정한 수준 이하가 되도록 법으로 규제할 것을 촉구하고 있다(이, 1997).

엽중 nitrate 함량에 영향을 미치는 인자로는 광도, 온도, 시비, 그리고 재배시기, 품종 등을 들 수 있다. 수경재배시에는 질소공급을 용이하게 조절할 수 있기 때문에 질산태 질소의 함량을 낮추기 위한 수단으로 질소의 중단(Boon과 Steenhuizen, 1986; Boon 등, 1990; Burns, 1990), 질소형태의 변화(Ikeda와 Osawa, 1981; Iwata, 1983; 문, 1996; 박 등, 1994), 질소 함량의 변화(Andersen과 Nielsen, 1992) 등을 통하여 엽중 nitrate 함량을 감소시키는 연구가 보고되고 있다. 또한 환경적인 인자, 즉 광(Kanaan과 Economakis, 1992; Scaife과 Schloemer, 1994; Steingrover 등, 1986)이나 온도(Behr와 Wiebe, 1992; Cantliffe, 1972)를 고려하여 nitrate의 함량을 낮추는 방법이 강구되고 있다. 단, 결구상추의 경우 잎 부위별로 nitrate 함량이 다르기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

본 실험은 결구상추의 상품성을 유지시키면서 엽중 nitrate 함량을 감소시키는 적절한 질소중단 시기를 부위별로 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 1996년 12월 4일부터 1997년 2월 27일까지 상명대학교 원예과학과 수경재

배전용 유리온실에서 수행하였다. 공시작물은 결구상추(*Lactuca sativa* var. *capitata*)인 'Sacrament'(Takii 종묘)로, 종자는 하루동안 물에 침지한 것을 사용하였다. 96년 12월 4일에 폴리우레탄 스폰지(2.2×2.2×2.2cm)에 2mm 깊이로 파종하였으며, 96년 12월 12일에 육묘베드(스티로폼제, 가로 120×세로 240×높이 10cm)에 이식하고 기준배양액으로 Yamazaki 상추용 배양액 1/2농도를 공급한 후 순환시켰다. 97년 1월 20일에 실험베드에 정식한 후부터 배양액의 농도를 3단계로 분리하여 3일 간격으로 점차 농도를 높여 1월 29일에는 표준농도로 만들어주었다. 배양액 조제에 사용한 용수는 받아 놓은 수돗물로, pH를 6.5로 맞춰주었다. 실험베드는 스티로폼제로, 가로 240cm, 세로 20cm, 높이 10cm였으며, 재식거리는 25cm, 줄간격은 40cm였다. 재배방식은 담액수경이었다. 처리전에는 시간당 15분동안 급액하였으며, 처리기간 중에는 연속급액하였다. 실험처리는 시기에 따른 질산태질소의 중단으로, 수확 18일, 14일, 11일, 7일, 0일전 각각 중단하였다. 질소중단을 위하여 질산태 질소만을 감소시켰는데, 기존의 KNO₃, Ca(NO₃)₂·4H₂O 대신 K₂SO₄, Ca(H₂PO₄)₂, CaCl₂를 사용하였다. 처리 개시일은 2월 9일이었으며, 각 처리구마다 분석을 위하여 개시시와 종료시에 배양액 500ml씩을 추출하였다. 실험기간동안 본 실험실에서 제작한 자동계측시스템을 이용하여 pH, EC를 조사하였다. 2월 27일 실험이 종료된 후 지상부를 무작위로 5개체씩 추출하여 생체중을 측정하였다. 잎은 결구되지 않은 겉잎(Outer), 결구부의 겉잎(Middle)과 속잎(Inner)으로 각각 분리하여 분석하였다. 결구된 잎중에서 초록색에 가까운 것은 겉잎에 포함시키고 노란색에 가까운 것은 속잎으로 나누었다. 각 부분을 명확히 구별하기 위하여 경계에 있는 잎은 5엽 정도씩 제거한 후, 무게와 엽중 nitrate 함량을 측정하였다. 엽중 nitrate 함량

은 spectrophotometer를 이용하여 처리당 5반 복으로 분석하고 결과는 생체중단위로 환산 하여 나타내었다. 배양액내 양분 농도중 질소 분석은 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법 등을 사용하였고, 나머지 양분은 원자흡광광도계로 분석하였다.

결과 및 고찰

결구상추의 부위별 nitrate 함량을 분석한 결과 처리에 관계없이 결구되지 않은 겉잎에서 nitrate 함량이 가장 높게 나타났다(Table 1). 일반적으로 속잎(어린 잎)보다 겉잎(늙은 잎)에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 높는데 이는 늙은 조직에서 대사활성이 낮기 때문인 것으로 보고 있다. 겉잎의 nitrate 함량은 수확전 18일 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 섭취하는 부위는 중간잎(결구되기 시작하는 겉잎)과 완전 결구된 속잎인데, 중간잎의 nitrate 함량은 수확전 18일 처리구에서 가장 낮았고, 이외의 처리구간에는 유의차가 없었다. 속잎은 수확 11일전에 질소중단한 처리구에서 18일전 처리 보다 낮게 나타났으며 18일전 처리와 7일 전 처리가 비슷한 양상을 보였다. 대조구는 다른 처리들에 비하여 nitrate 함량이 높았다 (Table 1).

실험종료후 배양액을 분석한 결과, 질소중단 기간이 길수록 질소 함량이 적어서 18일 전 처리구에서는 질소가 거의 남아 있지 않았다(Table 2). K, Ca는 질소와 상반되는 경향을 보여 질소 중단 기간이 길수록 남아있는 양이 많았다. 일반적으로 양이온과 음이온의 흡수는 서로 상호조적이며, 음이온 중에서는 NO_3^- 의 흡수속도가 다른 음이온에 비해 월등히 크다(Ikeda과 Osawa, 1981). 질소중단 처리구에서는 흡수할 수 있는 NO_3^- 의 양이 현저히 적었으며, 질소의 양을 변화시키기 위하여 대체 비료로 사용된 K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$,

CaCl_2 등에 포함된 SO_4 , H_2PO_4 , Cl 등의 음이온 흡수속도가 낮아 K, Ca 등의 양이온 흡수가 감소된 것으로 사료된다. 이는 배양액내에 인산이 축적된 것으로 증명된다. 즉, 음이온의 흡수 저하에 의하여 양이온 중에서 가장 흡수량이 많은 K, Ca의 흡수도 저하된 것으로 사료된다. 다른 양이온들도 비슷한 양상을 보였으나, 차이가 크지는 않았다(Table 2).

질소 중단에 따른 배양액의 pH와 EC의 변화를 보면, pH와 EC 모두 처리가 시작된 시점에서 갑자기 저하되었다가 올라가는 양상을 보였으며, 무처리구와 7일전 처리를 제외한 처리구들에서 pH가 점점 낮아졌다(Fig. 1). 이것은 배양액의 NO_3^- 의 양이 줄어들면서 상대적으로 양이온의 흡수비율이 많아 나타난 현상으로 사료된다(Ruth와 Kafkafi, 1980). EC의 경우는 처리구에 관계없이 서서히 저하하다가 무처리구를 제외한 나머지 처리구들에서 점점 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 질소중단한 배양액에서 EC가 증가하고, pH가 감소한 것으로 보아, 질소중단에 의하여 생육이 원활하지 않았음을 유추할 수 있다.

이상의 결과에서 수확 전에 질소를 중단시킴으로써 엽중 nitrate 함량을 상당히 감소시킬 수 있었다. 그러나 nitrate 함량과 더불어 생체중도 감소하는 경향을 보여(Table 3), 수확전에 질소중단을 시작한 기간이 생육에 지장을 미칠 정도로 길었던 것으로 나타났다. Boon과 Steenhuizen(1986)의 실험에서도 수확전에 질소를 중단한 일수가 4일 이상이 되면 nitrate의 함량과 동시에 생체중이 감소하는 현상을 보였다. 따라서 질소를 수확전 일주일 이상 완전히 중단하는 것은 생육면에 있어서 바람직하지 않은 것으로 사료되며, 앞으로 질소의 형태를 달리하거나, 질소의 양을 점진적으로 줄여 나가는 방안을 검토할 필요가 있다.

Table 1. Nitrate contents(mg NO₃/kgFW) of different parts of leaves (head lettuce) according to nitrogen starvation.

Part ² of leaves	Days of nitrogen starvation before harvest				
	0	7	11	14	18
Inner	1035 a ^y	696 b	483 c	529 bc	696 b
Middle	951 a	977 a	1055 a	888 a	585 b
Outer	4052 a	2845 b	2059 c	1647 c	1013 d

² Inner: yellow leaves in head, Middle: green leaves in head, Outer: leaves out of head

^y Mean separation within row by Tukey test, 5% level.

Table 2. The nutrient contents(ppm) in nutrient solution at harvest according to nitrogen starvation.

Treatment	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Zn	Cu
0 ²	68.0	46	37.8	12.1	9.0	3.1	0	0.9	0
7	12.6	100	48.6	15.2	12.7	3.2	0.1	0.7	0
11	10.1	125	53.7	15.2	13.2	3.2	0.5	1.9	0.8
14	2.5	130	54.9	19.2	17.0	3.5	1.1	1.9	1.1
18	0	125	48.9	17.2	24.9	3.2	0.7	1.5	1.5

² Days of nitrogen starvation before harvest

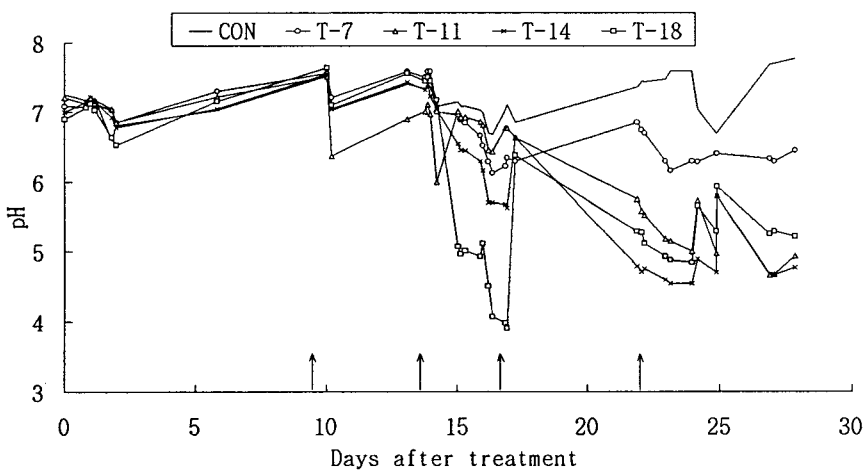


Fig. 1. Change of pH in nutrient solution at the treatments of nitrogen starvation. Arrows show the time of nitrogen starvation. Nitrogen supply was stopped 0 in CON, 7 in T-7, 11 in T-11, 14 in T-14, and 18 days in T-18 before harvest, respectively.

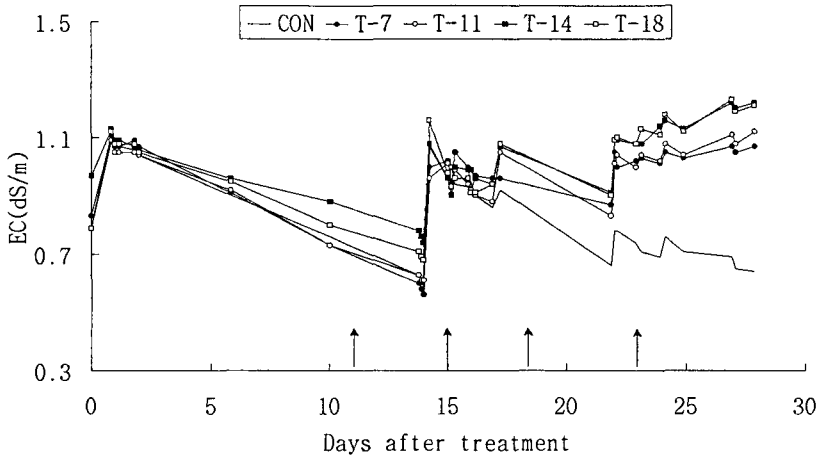


Fig. 2. Change of EC in nutrient solution at the treatment of nitrogen starvation. Arrows show the time of nitrogen starvation. Nitrogen supply was stopped 0 in CON, 7 in T-7, 11 in T-11, 14 in T-14, and 18 days in T-18 before harvest, respectively.

Table 3. Fresh weight(g) of above-ground part of lettuce after harvest according to nitrogen starvation.

Treatment	0 ^z	7	11	14	18
FW(g)	1056 a ^y	764 c	853 b	815 bc	652 d

^z Days of nitrogen starvation before harvest

^y Mean separation within row by Tukey test, 5% level.

적 요

본 실험은 수확 18, 14, 11, 7, 0일전의 배양액내 질소중단이 결구상추의 생육과 품질에 미치는 영향을 조사한 것으로, 질소 중단으로 엽중 nitrate 함량은 상당량 감소하였다. 그러나 그와 동시에 생체중도 감소하였다. 수확 18일전 처리에서 결구된 결잎의 nitrate 함량이 가장 낮았으며, 속잎은 수확 14일전 및 11일전 처리에서 가장 낮았다. 질소중단기간이 길수록 양이온의 흡수가 저조하였다. 실험기간동안 pH는 0일전 및 7일전 처리구를 제외하고는 감소하는 경향을 보였으며, EC는

처리에 관계없이 계속적으로 증가하였다.

인용문헌

1. 문보흠. 1996. 수경재배 미나리의 체내 질산태 질소 수준 저하 방법과 품질에 관한 연구. 서울大學敎 大學院 園藝學科 碩士論文.
2. 박권우, 이정훈, 장매희. 1994. 양액내 NO₃⁻:N:NH₄⁺:N비가 잎과의 생육과 품질에 미치는 영향. J. Bio. Fac. Env. 3 : 99-105.
3. 이용호. 1997. 수경상추와 미나리의 체내

- NO₃⁻ 함량 저하 및 질소동화계 효소의 활성에 관한 연구. 서울대학교 博士學位 論文.
4. Andersen, L. and N. E. Nielsen. 1992. A new cultivation method for the production of vegetables with low content of nitrate. *Sci. Hort.* 49 : 167-171.
 5. Behr, U. and H. J. Wiebe. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Sci. Hort.* 49 : 175-179.
 6. Boon, J. Van der, and J. W. Steenhuzen. 1986. Nitrate in lettuce on recirculating nutrient solution. *Acta Hort.* 178 : 67-72.
 7. Boon, J. Van der, J. W. Steenhuzen and Eveliene G. Steibgrover. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄/NO₃ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65(3) : 309-321.
 8. Burns, I. G. 1990. The effects of continuity of early nitrogen nutrition on growth and development of *Lactuca sativa*. *Plant Nutrition-Physiology and Applications*, p. 545-549.
 9. Forman, D., S. Al-Dabagh and R. Doll. 1985. Nitrates, nitrites and gastric cancer in Great Britain. *Nature* 313 : 620-625.
 10. Ikeda, H and T. Osawa. 1981. Nitrate- and ammonium-N absorption by vegetables from nutrient solution containing ammonium nitrate and the resultant change of solution pH. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 50(2) : 225-230.
 11. 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.
 12. Lee, H. J. and J. S. Titus. 1993. Relationship between nitrate reductase activity and level of soluble carbohydrates under prolonged darkness in MM.106 apple leaves. *J. Hort. Sci.* 68 : 589-596.
 13. Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minotti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy*. 28 : 71-118.
 14. 山崎肯哉. 1982. 養液栽培全篇. 博友社, 日本.