

Effect of NO₃:NH₄ Ratio on the NO₃ Content in Leaf Lettuce Cultured by a Deep Flow Technique

Kim, H. J. · Kim, Y. S.*

Department of Horticultural Science, Sangmyung University, Chonan 330-720, Korea

Abstract

Effect of NO₃:NH₄ ratio and pH of nutrient solution on nitrate content of leaves was investigated for leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown by a deep flow technique. Ratios (in me · L⁻¹) of NO₃:NH₄ tested were 12:1, 10:3 and 8:5. The treatment of 8:5 NO₃:NH₄ ratio had two solutions, one with uncontrolled pH and the other with automatically controlled pH. Solution pH continuously increased in 12:1 NO₃:NH₄ treatment. Solution pH decreased gradually more as NH₄ ratio increased. Treatment of 8:5 NO₃:NH₄ with automatic pH control satisfactorily maintained the solution pH in the range of pH 5.5-6.0. Nitrate content in leaves was the greatest in treatment of 12:1 NO₃:NH₄ and the least in treatment of 8:5 NO₃:NH₄ with automatic pH control. Fresh weight decreased in treatments of 10:3 and 8:5 NO₃:NH₄, whereas it increased in treatments of 12:1 and 8:5 NO₃:NH₄ with pH control. It was concluded that the growth and leaf nitrate content were the greatest in high NH₄ treatment with automatic pH control.

Key words: hydroponics, lettuce, nitrogen form, nutrient solution, soilless culture

This study was supported by Sangmyung University in 2000.

* Corresponding author

서 론

상추와 같은 엽채류의 경우, 엽중 nitrate 함량을 감소시키기 위하여 많은 연구가 행해지고 있다. 엽중 nitrate 함량에 영향을 미치는 인자로는 크게 환경(Kanaan and Economakis, 1992; Scaife and Schloemer, 1994; Steingrover et al., 1986a and 1986b; Behr and Wiebe, 1992; Cantliffe, 1972)과 배양액을 들 수 있으며, 수경재배의 경우 질소의 중단(Boon and Steenhuizen, 1986; Boon et al., 1990; Burns, 1990; Kim and Kim, 1998), 질소형태의 변화(Ikeda and Osawa, 1981; Park et al., 1994), 질소 함량의 변화(Andersen and Nielsen, 1992; Kim and Kim, 1999) 등을 통하여 엽중 nitrate 함량을 감소시키는 연구가 보고되어 있다. 그러나, 질소의 양이나 NO₃-N:NH₄-N 비율 등을 조절할 경우 nitrate 함량은 낮출 수는 있으나, 생육이 저조해지는 경향이 있다. 이 전의 실험(Ruth and Kafkafi, 1983; Park et al., 1994)에서도

유사한 결과를 보였는데, 그 원인으로 질소 조절시 배양액의 pH가 변하는 것을 들 수 있다. Ikeda와 Osawa(1981)에 의하면 상추는 NH₄⁺ 선호식물이므로 배양액에 NH₄⁺가 있으면 배양액의 pH가 감소하여 생육이 저조해진다. 그러나, pH를 중성부근으로 유지하면 정상적인 생육을 할 수 있다(Classen and Wilcox, 1974).

배양액의 pH를 적정수준에서 유지하면서 질소원의 비율을 조절하려 할 경우 pH가 변하게 된다. 이 때 일정 시간마다 배양액의 pH를 수동적으로 조절하게 되면 그 기간 중에 pH 변동에 의한 생육장애가 올 수 있으므로 배양액의 pH의 자동제어가 필요하다.

본 실험에서는 잎상추의 생육을 유지시키면서 엽중 nitrate 함량을 감소시키기 위하여, 수확 6일 전부터 배양액 내의 질산태와 암모늄태 질소의 비율을 조절하여 적정 비율을 구명하였다. 뿐만 아니라, 배양액의 pH를 자동 조절함으로써 암모늄태로 인한 pH 저하와 엽중 nitrate 함량과의 관련성을 구명하였다.

잎상추의 수경재배시 NO₃-N과 NH₄-N의 비율이 葉中 nitrate 함량에 미치는 효과

재료 및 방법

본 실험은 2000년 9월 25일부터 2000년 12월 19일까지 상명대학교 원예과학과 수경재배전용 유리 온실에서 수행하였다. 공시작물은 잎상추(*Lactuca sativa* L.)인 'Grand Rapids'(경신 종묘)를 사용하였다. 2000년 9월 25일에 폴리우레탄 스폰지(2.2×2.2×2.2 cm)에 2 mm 깊이로 1립씩 파종하였으며, 10월 14일에 실험베드에 정식하고 Yamazaki 상추용 배양액을 1/2 농도로 공급한 후 순환시켰다. 실험베드는 스티로폼재로, 가로 20 cm, 세로 240 cm, 높이 10 cm였으며, 재식거리는 20 cm로 하였다. 재배방식은 담액수경이었다. 10월 17일부터 표준 농도의 배양액으로 공급해주었다. 처리 전에는 시간당 15분 동안 순환시켰으며, 처리기간 중에는 연속급액하였다.

실험처리에는 암모늄태와 질산태 질소의 비율 조절로, 12월 10일부터 비율별로 공급해 주었다. 처리 비율은 Yamazaki 상추용 배양액내 포함되어 있는 질소의 양 (me·L⁻¹)을 기준으로 하여, NO₃-N:NH₄-N 비를 12:1, 10:3, 8:5로 하였다. NH₄-N의 비율이 높으면 배양액의 pH가 낮아지는 경향이 생기므로, pH의 조절 효과를 구명하기 위하여 NH₄-N의 비가 가장 높은 8:5에 pH를 5.5~6.6으로 조절한 처리구를 설정하였다. 질산태 질소의 감소로 인해서 줄어든 이온은 K₂SO₄, CaCl₂로 조절해 주었다. 암모늄태 질소는 기존에 사용하던 비료로써 NH₄H₂PO₄를 사용하였다. 배양액 pH는 본 실험실에서 제작한 자동제어 시스템으로 조절해 주었다. pH 조절시 NH₄⁺로 인한 저하를 고려하여 NaOH (0.1 N)를 사용하였다. 지상부는 배양액 처리 3일 후부터 3일 간격으로 3차례 조사하였다. 수확 후 부위별 생체중과 건물중을 측정하였다. 겉잎과 속잎의

분류시 지상부를 모두 나열하여 바깥쪽의 잎 3장을 겉잎으로, 안쪽의 잎 3장을 속잎으로 취하였다. 엽중 nitrate 함량 분석은 spectrophotometer(UV-160A, Shimadzu)를 이용하여 처리당 4반복으로 분석하고 결과는 생체중 단위로 환산하여 나타내었다. 배양액은 분석을 위하여 처리 전과 후에 500 ml씩 채취하였다. 배양액내 양분농도 중 질소 분석은 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법 등을 사용하였고, 나머지 양분은 원자흡광광도계로 분석하였다.

결과 및 고찰

엽중 nitrate 함량은 처리후 일수에 관계없이 전반적으로 12:1 처리구에서 높게 나타났고, 8:5에 pH를 조절한 처리구에서 낮은 함량을 보였다(Table 1). 또한, 속잎보다 겉잎의 nitrate 함량이 평균적으로 높았다. 일반적으로 겉잎(늙은 잎)이 속잎(어린 잎)보다 함량이 높은데, 이것은 늙은 조직일수록 대사활성이 낮아져서 축적된 것으로 추정된다. 엽중 nitrate 함량은 수확시기에 따라서도 변화하였는데, 그 양상은 처리에 따라 다르게 나타났다.

실험초기에 pH의 수준을 거의 동일하게 조절해 주고 수확 8일전부터 처리에 들어갔다. 각 처리구마다 pH의 변화양상을 살펴보면, 초기에는 처리구에 관계없이 pH가 6정도에서 점점 떨어지기 시작하여 10:3 처리구에서는 서서히 낮아지는 경향을 보였고, 8:5 처리구에서는 pH가 계속적으로 저하하다가 일정한 수준에서 낮은 값을 유지하는 것을 볼 수 있었으며, 12:1 처리구에서의 pH는 초기에 약간 낮아지다가 계속적으로 상승하였다(Fig. 1). 8:5에 pH를 조절해 준 처리구에서는 초기에는 저하하다가 pH 조절이 시작되면서 5.5-6 사이에서 지속적으로 안정적인 값을 유지하였다.

Table 1. Nitrate contents(mg NO₃/kgFW) of leaves in different ratios of NO₃:NH₄.

Days before harvest	Inner Leaves				Outer Leaves			
	12:1	10:3	8:5	8:5-pH ²	12:1	10:3	8:5	8:5-pH
6	1214 a ^y	917 a	907 a	558 b	1873 ns ^x	2398 ns	2771 ns	1361 ns
3	2471 a	655 b	771 b	784 b	2106 a	2706 a	1865 a	838 b
0	2868 a	594 b	711 b	1220 b	3510 a	2574 a	1300 b	1244 b

² 8:5-pH: NO₃:NH₄ was 8:5 and pH was controlled.

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

^x ns: non-significant within row for outer leaves

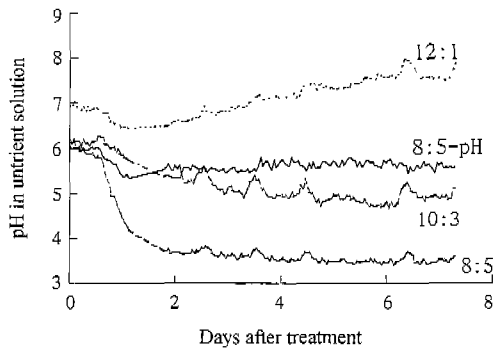


Fig. 1. Change of pH in nutrient solution according to $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ ratio. 8:5-pH: $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ was 8:5 and pH was controlled by NaOH (1 N).

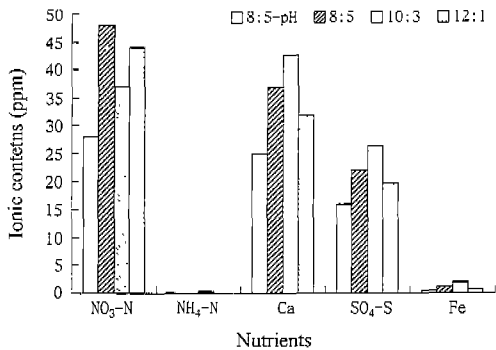


Fig. 2. Ionic contents in nutrient solution before treatment according to ratio of $\text{NO}_3\text{:NH}_4$. 8:5-pH: $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ was 8:5 and pH was controlled by NaOH (1 N).

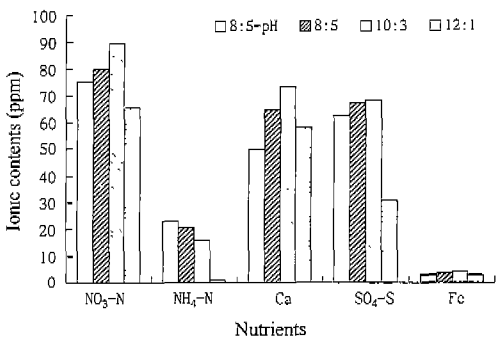


Fig. 3. Ionic contents in nutrient solution after treatment according to ratio of $\text{NO}_3\text{:NH}_4$. 8:5-pH: $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ was 8:5 and pH was controlled by NaOH (1 N).

본 실험의 결과, 8:5에 pH를 조절해 준 처리구만이 상추의 생육에 적합한 pH 범위에 속하였다.

배양액분석 결과 배양액에 남아 있는 영양소의 양을

Table 2. Fresh weight (g) at harvest with different ratios of $\text{NO}_3\text{:NH}_4$.

Days before harvest	8:5-pH ^z	8:5	10:3	12:1
6	258 a ^y	165 b	209 ab	181 b
3	290 a	246 b	310 a	239 b
0	331 a	186 b	279 b	367 a

^z 8:5-pH: $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ was 8:5 and pH was controlled.

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

보면 처리전과 실험종료후의 차이가 컸다(Fig. 2, 3). 처리 전에는 배양액에 존재하는 영양소가 NO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} 를 제외하고는 거의 없었으나(Fig. 2), 실험종료 후에는 영양소가 상당히 많이 남아 있어(Fig. 3), 생육 후기에 양분흡수가 저조함을 나타냈다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우 12:1 처리구에서는 거의 남아 있지 않았으나, 나머지 처리구에서는 12:1 처리구에 비해 많이 남아있었다. NO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} 은 10:3에서 가장 많은 경향을 보였는데, 이는 생체중에서 알 수 있듯이(Table 2) 생장이 저조했기 때문으로 생각된다. 12:1 처리구에서 SO_4^{2-} 농도가 낮았는데, 이는 질소 처리를 하기 위하여 다른 처리구에는 K_2SO_4 를 사용했기 때문이다. 실험종료시 양분이 축적되었는데, 이것은 NH_4^+ 가 많아져서 배양액 내에 K, Ca, Mg 농도가 증가했기 때문이라고 보기보다는(Park and Kim, 1998), 식물의 생장 속도가 감소하면서 공급된 양보다 흡수된 양이 적기 때문에 일어난 현상으로 생각된다. 따라서, 생육후기에는 생장기보다 배양액의 농도를 낮추는 연구가 필요하다. 그러므로써 비료를 절감하고, 재배후 발생하는 폐액의 문제를 회피할 수 있을 것으로 생각된다.

실험기간중 3회에 걸쳐 생체중을 측정하였다. 8:5에 pH를 조절한 처리구와 12:1 처리구에서는 생체중이 점점 증가한 반면, 10:3과 8:5 처리구에서는 생체중이 감소하는 경향을 보였다(Table 2). 특히 8:5 처리구에서는 3차 수확시에 생체중이 월등히 감소하였다. 8:5 처리구와 8:5에 pH를 조절한 처리구는 배양액 pH가 다를 뿐이므로(Fig. 1), 두 처리구간의 생체중 차이는 pH에 의한 것이라 할 수 있다. 따라서, 10:3 처리구에서 생체중이 감소한 것도 pH의 저하로 인한 생육의 불량으로 추측할 수 있다. 10:3 처리구에 비해 8:5 처리구에서 생체중이 크게 감소한 원인은 pH가 보다 현저히 떨어졌기 때문으로 생각된다. 기존의 연구(Boon

and Steenhuizen, 1986; Park et al., 1994)에서 암모늄태가 많을 경우에는 nitrate의 함량을 감소시킬 수 있었으나 상품성이 떨어지는 현상을 보고하였는데, 이는 암모늄태의 영향이라기보다는 pH 저하에 의한 영향이라고 볼 수 있다(Ruth and Kafkafi, 1983; Willihan et al., 1977; Classen and Wilcox, 1974). 그러므로 nitrate의 함량을 줄이는 방법으로는 식물체가 요구하는 전체 질소의 양에 변화를 주는 것보다는 암모늄태 질소의 비율을 높이면서 pH 조절을 해주는 것이 생육에 좋을 것으로 생각된다.

이러한 pH 조절은 자동적으로 행해야 효과가 크며, 자동조절 시스템을 이용할 경우, 단기간 처리라면 NH₄-N의 비율을 8:5 보다 증가시킬 수 있는 가능성도 있으며, 보다 고품질의 산물을 생산할 수 있을 것으로 생각된다.

Literature cited

1. Andersen, L. and N.E. Nielsen. 1992. A new cultivation method for the production of vegetables with low content of nitrate. *Scientia Horticulturae* 49:167-171.
2. Behr, U. and H.J. Wiebe. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scientia Horticulturae* 49:175-179.
3. Boon, J. Van der, and J.W. Steenhuizen. 1986. Nitrate in lettuce on recirculating nutrient solution. *Acta Hort.* 178:67-72.
4. Boon, J. Van der, J.W. Steenhuizen and E.G. Steingrover. 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.
5. 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.
6. Cantliffe, D.J. 1972. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97:152-154.
7. Classen, M.E.T. and G.E. Wilcox. 1974. Effect of the nitrogen from on growth and composition of tomato and pea tissue. *J. Amer. Soc. Hort.* 99:171-174.
8. 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.
9. Kanaan, S.S. and C.D. Economakis. 1992. Effect of climatic conditions and time of harvest on growth and tissue nitrate content of lettuce in nutrient film culture. *Acta Hort.* 323:75-80.
10. Kim, H.J. and Y.S. Kim. 1998. Effect of nitrogen starvation on quality of crisp lettuce in deep flow culture. *Journal of Bio-Environment Control* 7(3):253-258 (in Korean).
11. Kim, H.J. and Y.S. Kim. 1999. Effect of total nitrogen on the nitrate content of crisp lettuce leaf in deep flow culture. *Journal of Bio-Environment Control* 8(3):216-221 (in Korean).
12. Park, K.W. and Y.S. Kim. 1998. *Hydroponics*. Academy Books p. 67 (in Korean).
13. Park, K.W., J.H. Lee and M.H. Chiang. 1994. Effects of NO₃⁻:NH₄⁺:N ratio in nutrient solution on the growth and quality of Welsh Onion. *Journal of Bio-Environment Control* 3(2):99-105 (in Korean).
14. Ruth, G.N. and U. Kafkafi. 1983. The effect of root temperature and NH₄⁺/NO₃⁻ ratio of strawberry plants. I. Growth, flowering, and root development. *Agron. J.* 75:941-947.
15. Scaife, A. and S. Schloemer. 1994. The Diurnal pattern on nitrate uptake and reduction by spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Ann. Bot.* 73:337-343.
16. Steingrover, E., P. Ratering and J. Siesling. 1986a. Daily changes in uptake, reduction and storage of nitrate in spinach grown at low light intensity. *Physiol. Plant.* 66:550-556.
17. Steingrover, E., P. Ratering and J. Siesling. 1986b. Effect of one night with "low light" on uptake, reduction and storage of nitrate in spinach. *Physiol. Plant.* 66:557-562.
18. Willihan, E.F., R.G. Sharpless and W.L. Printy. 1977. Effect of pH on yield and leaf composition of hydroponic tomato. *HortScience.* 12:316-317.

김혜진 · 김영식

잎상추의 수경재배시 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 葉中 nitrate 함량에 미치는 효과

김혜진 · 김영식*
상명대학교 원예과학과

적 요

잎상추 수경재배시 배양액 내 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 비율 및 pH 조절이 엽중 nitrate 함량에 미치는 효과를 구명하였다. $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율 처리는 12:1, 10:3, 8:5이었으며, 8:5 처리구에 pH를 자동적으로 조절해준 처리구도 설정하였다. pH의 변화는 12:1 처리구에서는 실험기간 동안 계속적으로 상승하는 경향을 보였고, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 높을수록 pH가 상당히 저하하다가 낮은 수준에서 유지되었다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 가장 높았던 8:5에 pH를 자동적으로 조절해준 처리구에서는 5.5-6.5 사이의 안정적인 수준으로 pH를 유지하였다. 엽중 nitrate 함량은 전반적으로 12:1 처리구에서 높게 나타났고, 8:5에 pH를 조절한 처리구에서 낮은 함량을 보였다. 생체중은 10:3과 8:5 처리구에서는 점점 감소하는 경향을 보였으나, 12:1과 8:5에 pH를 조절해준 처리구에서는 비슷한 양상으로 수확시마다 증가하는 경향을 보였다. 즉, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율을 높이고 배양액의 pH를 조절하는 것이 생육 및 엽중 nitrate 함량에 가장 좋은 것으로 나타났다.

주제어 : 상추, 수경재배, 질소비율, 배양액, 무토양재배