

NFT재배에서 CO₂시용과 배양액의 NO₃:NH₄비율이 결구상추의 생육 및 품질에 미치는 영향

원선이 · 조영렬 · 이용범
서울시립대학교 문리과대학 환경원예학과

Effects of NO₃-N:NH₄-N Ratio and Elevated CO₂ on Growth and Quality of *Lactuca sativa* L. in Nutrient Film Technique

Won, Seon Yi · Cho, Young Ryul · Lee, Yong Beom
Department of Environmental Horticulture, Seoul City Univ., Seoul 130-743, Korea

Abstract

Crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L.) was grown in NFT to investigate the effects of NO₃-N and NH₄-N ratio in nutrient solution and elevated CO₂ treatment in the crisphead lettuce growth. This experiment has been conducted under three different ratios of NO₃-N:NH₄-N (100:0, 75:25, 50:50) with two CO₂ concentration (control, 1500ppm).

The results are as follows;

1. In the case of not controlling pH and EC in nutrient solution, pH was gradually increased in NO₃-N:NH₄-N=100:0 treatment but rapidly decreased in the nutrient solution
2. Daily changes of NO₃-N and NH₄-N were observed without controlling the nutrient solution. In the treatments of NO₃-N: NH₄-N ratios were 75:25 and 50:50, NO₃-N absorption rates were 27.7% and 26.1%, while NH₄-N absorption rates were 87.9% and 71.2%, respectively.
3. There was little differences in total nitrogen of leaves. However phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents were highly shown in the treatment of CO₂ 1500ppm and 100:0 ratio of NO₃-N:NH₄-N.
4. Higher CO₂ assimilation rate was shown in plants grown under CO₂ 1500ppm and 100:0 ratio of NO₃-N:NH₄-N. It dropped significantly with the increase of NH₄-N rates in nutrient solution.
5. Fresh weight, leaf number, root length and root weight of crisphead lettuce were far better in the treatment of CO₂ 1500ppm and 100:0 ratio of NO₃-N:NH₄-N. Growth differences by CO₂ elevation were not shown in other NO₃-N:NH₄-N treatments.
6. The highest nitrate contents of leaves were shown in NO₃-N single treatment but shown the lowest vitamin C contents. Nitrate contents of leaves were decreased by CO₂ but the effect was slight treatment.

키 워 드 : CO₂ 시용, 결구상추, NO₃-N:NH₄-N 비율, NFT

Key words : CO₂ treatment, head lettuce, NO₃-N:NH₄-N ratio, NFT

緒 言

결구상추 수경재배시에 배양액내 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율은 작물의 생육, 수량, 품질 등에 미치는 영향이 다른 성분들에 비하여 뚜렷하고, 그 생육반응도 작물의 종류에 따라 차이가 있다.^{5, 9, 16)}

養液栽培시 지상부의 氣象環境도 토양재배와 마찬가지로 생각하기 쉬우나 실제로는 지표면으로부터의 CO_2 발생량이 적고 시설내라는 밀폐된 環境條件으로 인해 CO_2 농도는 급격히 낮아져 50~125ppm 정도로 대기중의 탄산가스 농도보다 낮을 뿐 아니라,³⁰⁾ 경우에 따라서는 작물의 탄산가스 補償點보다도 낮아지게 된다. 따라서 養液栽培시 CO_2 농도를 인위적으로 조절함으로써 光合成량을 증가시키고, 작물의 생육을 촉진시켜, 수량증대 뿐만 아니라 品質向上등의 효과를 기대할 수가 있다.

결구상추는 주로 샐러드용으로 소비되고 있는데, 다른 채소류에 비하여 수분이 많은 편이며, 칼슘과 무기염류가 많이 들어 있고 vitamins의 함량도 풍부하다.^{2, 4, 29)} 최근들어 국민소득 향상에 따른 육류 소비의 증가와 함께 상추의 소비도 급증하고 있는데, 多肥栽培로 인해 新鮮菜蔬類의 질산염의 함량이 높아져 국민 식생활을 위협하고 있다. NO_3^- 가 채소내 크게 문제가 되지 않으나 NO_3^- 가 가공식품을 통해 다량 흡수될 경우 체내에 흡수된 NO_3^- 는 청람증(일명 靑色症)을 일으키게 된다. 더욱이 NO_3^- 는 소화과정중 oxalacid와 nitrosamine을 형성하는데 이것은 發癌性 物質로도 알려져 있다. 따라서 채소나 가공식품에서 NO_3^- 를 낮게 하는 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 실험에서는 결구상추의 NFT栽培에서 CO_2 사용에 의한 窒素同化 촉진을 검토하고, 培養液내 窒素原의 形態別 比率이 生育 및 品質에 미치는 영향을 구명하여, 결구상추의 生産性和 品質을 向上시키고자 실시하였다.

材料 및 方法

본 실험은 서울시立大學校 栽培環境研究室 플라스틱하우스에서 1994년 2월21일부터 5월 11일까지 NFT(Nutrient Film Technique : 薄膜水耕栽培)方式으로 실시하였다.

結球상추(Micado, L-5)를 공시작물로 하여 '94년 2월 21일 우레탄 블럭 파종상에 파종하여 발아시킨 후 45일간 養液育苗하였고, 3월 25일 NFT베드(L 90cm×W 360mm×H 80cm)에 96주씩 정식하였다. 베드의 기울기는 1/100로 하였고, 培養液의 循環作動은 자동화하여 20분 給液, 10분 停止가 반복되도록 하였다.

CO_2 사용은 소형하우스를 2동 설치, CO_2 濃度 調節器를 이용하여 1500 ppm시용구와 무시용구를 두어 비교하였다. 정식후 뿌리의 활착이 완료되기까지 일주일간 馴化시킨후부터 시용하여 실험종료시까지 실시하였는데, CO_2 급원으로는 液體炭酸을 사용하였다. CO_2 시용시간은 일출을 기점으로 하여 주간 하우스 온도가 30℃以上 높아지면 중지하고 환기를 시켜 하우스내 온도가 지나치게 높아지지 않도록 하였다. 야간에는 소형 온풍난방기를 이용하여 최저온도가 10℃이하로 떨어지지 않도록 하였다.

생육 기간중 pH와 電氣 傳導度는 pH 측정기(TOA, HM20E)와 EC(Electrical Conductivity)측정기(TOA, CM20E)를 이용, 매일 측정하여 pH 6.0 ± 2 , EC 2.0 ± 0.2 mS/cm가 유지되도록 조절하였고 양액은 15일 간격으로 全面交替하였다.

培養液은 千葉大液²²⁾을 기준 양액으로 하여 $\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율을 100:0, 75:25, 50:50으로 조성하였고(표 1), 기타 微量元素의 함량은 동일하게 처리하였다.

生育調査는 생육초기, 중기, 수확기로 나누어 3회 실시하였는데 엽수, 결구중, 근중, 근장, 건물중을 각 10주씩 조사하여 평균하였다.

培養液內 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율에 따른 植物體의 養分吸收 상태를 조사하기 위하여 식물체의 각 부위에 대한 無機成分 分析을 실시하였다. 식물체의 각 부위별로 70℃에서 熱

Table 1. Components of the nutrient solution for crisphead lettuce in NFT.

Treatment		Concentration of macronutrients					
CO ₂ concentration (ppm)	NO ₃ -N : NH ₄ -N ratio	(me/l)					
Control	100:0	12	0	4	8.3	5	2
	75:25	9	3	4	8.3	5	2
	50:50	6	6	4	8.3	5	2
1500	100:0	12	0	4	8.3	5	2
	75:25	9	3	4	8.3	5	2
	50:50	6	6	4	8.3	5	2

風乾燥한 후 乾物重을 측정하고 ternary solution(HNO₃:H₂SO₄:HClO₄=10:1:4 V/V)으로 습식 분해하여 atomic absorption spectrophotometer(Perkin Elmer 2380)로 K, Ca, Mg를 측정하였고, UV spectrophotometer(Gilford 260)로 P₂O₅, NO₃-N, NH₄-N을 측정하였다. 배양액과 식물체의 NO₃-N은 brucin법을, NH₄-N은 indophenol blue법을 사용하였는데, 이때 식물체의 NO₃-N은 2% acetic acid로 추출하여 측정하였다.

Vitamin C함량은 베드에서 채취한 직후에 5% meta-phosphoric acid로 추출하여 2,6-dichloro-phenolindophenol(DCP)로 산화시켜 여기파장 350nm, 형광파장 130nm에서 spectrofluorometer(Kontron SFM)를 이용하여 측정하였다. 光合成 測定은 휴대용 光合成測定機(Li-cor 6200)를 사용하여 CO₂동화율과 氣孔抵抗을 측정하였다.

병해충 및 기타관리는 원예연구소 표준경종법에 준하여 실시하였다.

結果 및 考察

1. 培養液의 pH, 濃度 및 無機成分의 變化

일정기간 동안 培養液의 pH와 濃度を 보정하지 않고 그 변화를 측정하여 그림 1과 그림 2에서 나타내었다. 培養液의 pH는 NO₃-N: NH₄-N이 100:0처리에서는 계속 상승하여

pH 8.3까지 올라갔고 75:25, 50:50처리에서는 3일째부터 급격히 떨어져 CO₂ 無施用에 50:50처리구의 경우 9일째의 pH가 4.0까지 떨어졌다(그림 1). 그러나 75:25처리에서는 pH가 3일째까지 급격히 떨어졌다가 약간씩 상승하였고, 50:50처리에서는 3일째 급격히 떨어졌다가 더 이상 떨어지지 않고 pH 4.0을 유지하였다. 이때 75:25처리에서 pH가 약간씩 상승한 것은 NH₄-N이 어느정도 흡수되면서 NO₃-N에 의한 pH 상승작용이 일어났기 때문으로 생각된다.

培養液의 pH변화는 NO₃-N과 NH₄-N의 흡수와 밀접한 관련이 있어서 NO₃를 N원으로 하면 상승하고, NH₄를 N원으로 하면 현저히 저하한다.^{11,12,18,20} N원으로 NO₃-N을 공급하였을 경우는 과잉의 陰이온이 흡수되면서 NO₃⁻+8H⁺+8e⁻→NH₃+2H₂O+OH⁻와 같은 반응에 의해 뿌리로부터 방출된 OH⁻는 HCO₃⁻ 형태로 되어 培養液의 pH가 상승하게 되고, NH₄-N을 N원으로 하였을 경우에는 NH₄⁺→NH₃+H⁺와 같은 반응에 의해 pH가 감소하게 된다. 또, 培養液의 pH 변화는 재배중 뿌리에 의한 陽이온과 陰이온의 吸收量의 差異에 의해서도 일어나게 되는데, 養分吸收의 均衡은 작물의 종류, 생육정도, 광합성의 강약에 의한 지상부의 영양조건 및 배지의 온도등에 영향을 받게 된다. NO₃-N과 NH₄-N을 병용한 경우, 培養液의 pH변화는 어느 질소원을 優先적으로 흡수하는 특성이 있는가와 강하게 관련되어 있어서 상추, 메론, 오이 등과 같이 배

양액의 pH와는 무관하게 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 優先的으로 흡수하는 특성이 강한 채소에서는 pH가 저하한다고 한다.^{4,10,27)}

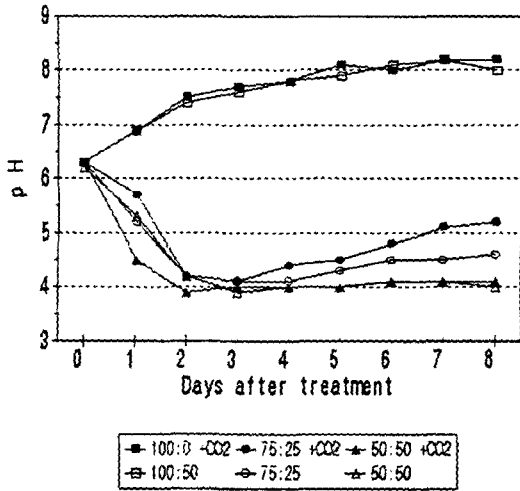


Fig. 1. Daily change of pH in nutrient solution at different $\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ ratio and CO_2 concentration. (Nutrient solution was not controlled in measuring period).

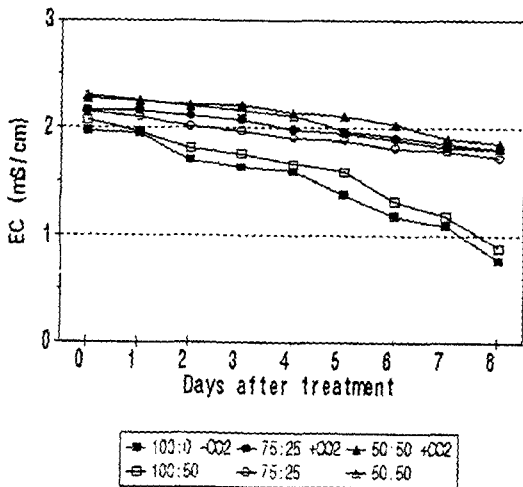


Fig. 2. Daily change of EC in nutrient solution at different $\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ ratio and CO_2 concentration. (Nutrient solution was not controlled in measuring period).

池田¹¹⁾은 채소의 질소 吸收特性에 따라 채소를 크게 두가지로 분류하였는데, 하나는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 병용하여도 培養液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율에는 관계없이 항상 pH가 저하하는 형으로, 옥수수, 오이 상추 등이 그 예이고, 다른 하나는 培養液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율을 적당히 설정함으로써 pH의 급격한 변화없이 재배가 가능한 것들로, 토마토, 강낭콩, 배추, 순무 등이 이에 속한다. 이들은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 병용했을 경우 $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 優先的으로 흡수하거나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 같은 정도로 흡수하는 채소들이다. 또, 식물이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 어느쪽을 優先的으로 흡수하는가는 植物의 種類, 生育段階, 培地의 pH, 溫度 등에 의해 서로 달라진다는 보고도 있다.¹⁰⁾

본 실험에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율에 대한 pH 변화 양상이 뚜렷하게 나타났는데, 실제재배에서 pH 보정을 하지 않을 경우에는 생육에 지장이 초래되므로 pH의 급격한 변화가 일어나지 않는 適正比率에 대하여 앞으로 좀 더 세분화하여 연구하여야 할 것으로 보인다.

朴等²⁵⁾에 의하면 잎파의 경우 $\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ 가 3:1인 처리에서는 安定的인 pH를 유지하였고, 생육은 $\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ 가 9:1인 처리구에서 가장 양호하다고 하였으나, 金等^{5,20)}은 대부분의 채소 작물은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 20%를 넘지 않아야 정상적인 생육을 지속할 수 있다고 보고하였다. 그러나, 본 실험에서는 pH의 보정을 하지 않을 경우 75:25, 50:50처리에서는 생육이 불가능한 수준까지 내려갔는데, 이것은 결구상추와 잎파는 養分吸收 樣相이 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

培養液의 濃도를 나타내는 배양액내 電氣傳導度의 변화는 시일이 경과함에 따라 전 처리구에서 모두 떨어졌다(그림 2). 특히, 생육이 가장 좋았던 CO_2 1500ppm사용과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 100:0처리에서 0.76 mS/cm로 가장 낮아졌고, 75:25, 50:50처리구에서는 電氣傳導度의 저하가 완만하여 9일이 경과한 후에도 1.8mS/cm내외로 유지되어서 養分吸收가

거의 없었음을 알 수 있었다. CO₂ 시용구와 무시용구간 電氣傳導度의 차이는 크지 않았는데, NO₃-N : NH₄-N의 비율이 100:0일때는 CO₂ 1500ppm처리구에서 좀더 낮게 나타났고, 75:25, 50:50처리구에서는 거의 같은 수준이었다. 생육이 가장 왕성했던 100:0 처리에서 전기전도도가 가장 낮아져서 생육과 뿌리에 의한 養分吸收量은 비례한다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 양액재배시 培養液의 금액량은 식물체의 生長速度 및 生育段階를 고려하여 조절하여야 할 것으로 보인다.

배양액을 교체하지 않은 상태에서 培養液內 NO₃-N과 NH₄-N의 日變化를 그림 3과 그림 4에서 나타내었다. 9일 후 培養液中の NO₃-N을 측정된 결과 NO₃-N과 NH₄-N의 비율이 100:0인 처리에서는 CO₂ 처리구와 무처리구 각각 5ppm, 7ppm으로 미량 존재하였으나, 75:25처리에서는 62ppm, 63ppm, 50:50 처리에서는 38ppm, 47ppm으로 배양액내 상당량 남아있었고, NH₄-N은 75:25처리구에서 3ppm, 4ppm, 50:50처리구에서 23ppm, 15ppm 남아 있었다. 이것을 吸收率로 계산하여 본 결과(표 2), NO₃-N은 그 비율이 100:0, 75:25, 50:50의 순으로 높았고, NH₄-N은 75:25, 50:50의 순이었다. 이것은 생육과 같은 경향이어서 생육이 양호한 처리에서 吸收率도 높았음을 알 수 있었다. 培養液의 NO₃-N과 NH₄-N을 혼용했을 경우는 NO₃-N보다 NH₄-N 吸收率이 더 높았는데, 75:25처리구에서는 NO₃-N의 吸收率이 각각 26.7%, 28.7%였으나, NH₄-N은 85.7%, 90.0%로 NH₄-N의 吸收率이 상당히 높게 나타났다. 이것은 딸기, 옥수수, 메론, 상추, 三葉菜, 셀러리, 썩갓, 미나리 등의 채소는 培養液의 pH와는 관계없이 NH₄-N을 優先的으로 흡수한다는 Ikeda¹⁰⁾의 보고와도 일치하는 것으로 결구상추가 NH₄-N을 優先的으로 흡수하는 특성과 에너지 이용면에서 유리한 점을 감안하여 適正比率에 대하여 좀더 검토하여야 할 것이다.

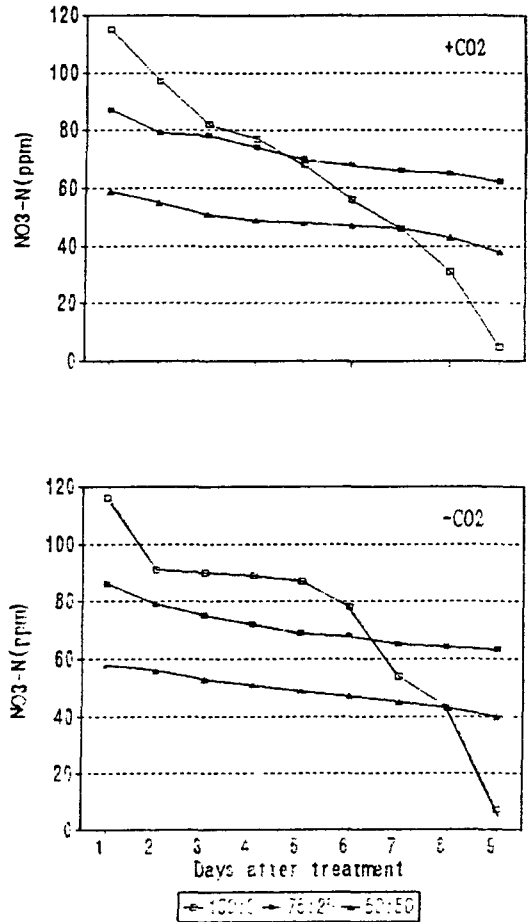


Fig. 3. Change of NO₃-N contents in nutrient solution during the cultivation period (Nutrients solution was not controlled in measuring period).

2. 植物體의 無機成分 含量과 光合成

수확기 결구상추에 대한 식물체의 無機成分 含量을 표 3에서 나타내었는데, 전질소를 제외한 모든 無機成分이 수량과 같은 경향을 나타내어 CO₂ 1500ppm, NO₃-N : NH₄-N이 100 : 0인 처리에서 가장 높았고, NH₄-N의 비율이 높아질수록 각 無機成分의 含量은 현저히 떨어졌다. CO₂ 처리별로 보면 100:0처리

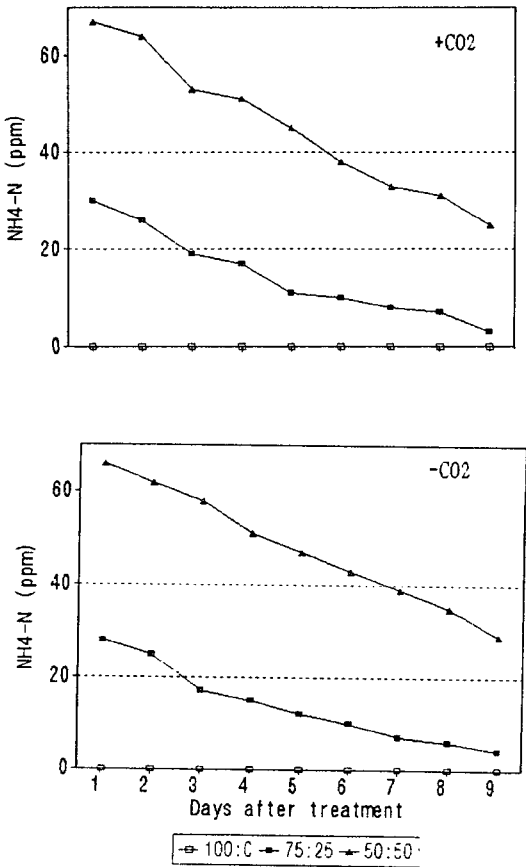


Fig. 4. Change of $\text{NH}_4\text{-N}$ contents in nutrient solution during the cultivation period (Nutrients solution was not controlled in measuring period).

에서는 T-N, P, K, Ca의 함량이 높았으나 CO_2 처리간 차이는 인정되지 않았고, 75:25 처리에서는 전질소와 인을 제외한 모든 성분이 처리간 차이가 인정되었다.

이것은 토마토 잎에서 氣孔擴散抵抗 增加에 따른 蒸散量의 減少가 CO_2 시용에 의해 나타났음에도 불구하고 식물체내 無機, 有機成分 含量에서는 CO_2 시용 유·무간에 차이가 인정되지 않았다는 李¹⁹⁾의 보고와도 일치하였다.

Maria 等²¹⁾은 토마토에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율 변화가 K의 흡수에는 영향을 미치

지 않지만, Ca와 Mg의 흡수는 저해한다고 하였으며, Ruth와 Kafafi²⁸⁾는 딸기에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율이 높을수록 K, Ca 및 Mg의 식물체내 함량이 많아진다고 하였다. 또, Kim 等¹⁷⁾은 감자에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 Ca와 Mg의 흡수를 阻害하고, P와 N의 흡수를 促進시킨다고 하였다. 또 Hartman 等⁹⁾은 토마토의 水耕栽培시 양액내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 비율이 증가하면 식물체의 각 부위별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 감소하고, 전질소와 P는 증가하며, Ca와 Mg함량이 감소한다고 보고하였다.

Table 2. Absorption rate of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ in nutrient solution during the cultivation period (Nutrients solution was not controlled in measuring period).

Treatment		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
CO_2 concentration (ppm)	$\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}$ ratio	%	
Control	100:0	94.0	—
	75:25	26.7	85.7
	50:50	31.0	56.1
1500	100:0	95.6	—
	75:25	28.7	90.0
	50:50	33.3	62.7

그러나, 본 실험에서는 위의 보고와 같은 경향을 보이지는 않았는데, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량이 증가함에 따라 Ca와 Mg함량은 감소하였는데, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 증가하여도 P와 N의 함량은 증가하지 않았다. 이것은 양분의 상호작용에 의한 것이라기 보다는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 비율이 증가함에 따라 培養液의 pH가 저하하여 뿌리가 損傷되고 無機養分의 흡수가 阻害되어 각 성분의 함량이 낮게 나타난 것으로 보인다.

파종 후 55일 된 結구상추 잎의 光合成을 측정 한 결과를 표 3에 나타냈다. CO_2 1500

Table 3. Effects of NO₃-N:NH₄-N ratio and CO₂ concentration on CO₂ assimilation rates the mineral contents of crisphead lettuce leaves at 68days after sowing(Light intensity 667 ± 70 μmol/m²/s, Leaf temp. was 35.4 °C).

Treatment		Stomatal	CO ₂	T-N	P	K	Ca	Mg
CO ₂	NO ₃ :NH ₄	resistance	assimilation	(%/dry wt.)				
(ppm)	(ratio)	(s/cm)	(μmol/m ² /s)					
Control	100:0	0.535	10.80c	3.73a ^d	2.17a	8.78a	0.77ab	0.40a
	75:25	0.782	8.29cd	3.72a	1.32bc	4.18c	0.50c	0.25c
	50:50	1.023	4.74e	3.75a	1.12c	2.94d	0.40d	0.21d
1500	100:0	0.309	18.99a	3.93a	2.31a	9.06a	0.82a	0.40a
	75:25	0.467	15.68b	3.95a	1.54b	5.70b	0.69b	0.31b
	50:50	0.497	6.99d	3.82a	1.08c	2.89d	0.34d	0.20d

^dMeans separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level.

ppm 시용구와 무시용구 모두 배양액의 NH₄-N의 비율이 증가함에 따라 CO₂ 同化率은 급격히 떨어져서, 50:50 처리구에서의 CO₂ 同化率은 100:0 처리에 비하여 CO₂ 1500ppm 시용구에서는 36.8%, CO₂ 무시용구에서는 43.8% 수준에 머물렀다. CO₂ 1500ppm 시용구와 무시용구간에도 처리간 차이는 인정되어 CO₂ 시용에 의해 100:0, 75:25 시용구에서 각각 75.8%, 89.1%의 증가를 보였다.

氣孔擴散抵抗은 CO₂ 1500ppm 시용구에서는 배양액의 NO₃-N과 NH₄-N의 비율에 따른 차이는 크지 않았으나, CO₂ 무시용구에서는 NO₃-N과 NH₄-N 비율에 따른 차이가 현저하여 50:50처리에서는 100:0처리보다 2배정도 크게 나타났다.

이것으로, 배양액內 NH₄-N의 비율이 높을 경우 식물체의 생육부진으로 그 시용효과를 볼 수 없으나 배양액이 생육에 적절한 조건으로 갖추어졌을 경우는 CO₂ 시용에 의해 수량을 증대시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

이것은 CO₂ 시용에 따른 生育促進, 增收 및 品質向上 등에 관하여 施設栽培에서 연구된 결과와도 일치하였다.^{3, 6, 14, 19)}

3. 結球상추의 生育, 收量 및 品質

배양액內 질소원의 形態別 比率에 대한 결

구상추의 생육을 표 4에 나타내었는데 배양액의 질소원의 형태별 비율에 대한 생육 차이가 뚜렷하게 나타났다.

CO₂ 1500ppm 시용구와 무시용구 모두 NO₃-N:NH₄-N이 100:0인 처리에서는 結球重이 346.6g, 267.6g으로 생육이 가장 양호하였고, 50:50처리에서는 각각 64.9g, 54.0g으로 NH₄-N의 농도가 증가할수록 생육은 현저히 떨어졌다. 葉數도 생육이 가장 좋았던 CO₂ 1500ppm, NO₃-N:NH₄-N이 100:0인 처리에서는 29.7매로 가장 많았고 50:50처리에서는 22.3매로, NH₄-N의 비율이 높아질수록 葉數가 감소하였다. 배양액의 질소 비율이 100:0인 처리에서는 CO₂를 1500ppm으로 시용하였을 경우 葉數, 結球重, 乾物重 모두 처리간 차이가 인정되었으나, 75:25, 50:50 처리에서는 처리간 차이가 인정되지 않았다. 이것으로 배양액內 NH₄-N의 비율이 높을 경우 엽의 압모니아 동화속도보다 NH₄-N이 많이 흡수되어 생육에 지장을 초래하는 경우에는 CO₂ 施用效果를 볼 수 없다는 것을 알 수 있었다.

Mohanty와 Fletcher²³⁾는 배양액의 NH₄⁺의 비율이 높아지면 光合成 및 生長能力이 감소된다고 하며, 무우의 경우 光合成과 正의 相關이 있는 RuBP carboxylase의 활성이 떨어져 CO₂ 固定率이 낮아질 뿐 아니라, 葉綠體의 수

Table 4. Effects of NO₃-N:NH₄-N ratio and CO₂ concentration on growth and quality of crisphead lettuce at 68days after sowing.

Treatment		Top			Root			Nitrate (ppm)	Vitamin C (mg/100g)
CO ₂ (ppm)	NO ₃ :NH ₄ (ratio)	No. of leaves	Fresh wt. Dry wt.		Length (cm)	Fresh wt. Dry wt.			
			(g/plant)			(g/plant)			
Control	100:0	26.0b	267.6b ^{a)}	11.6b	60.1a	27.9b	2.20a	5016a	7.3c
	75:25	25.7b	107.3c	6.57cd	29.9b	20.7c	2.11a	3489b	8.4b
	50:50	22.5c	54.0d	4.74d	19.5c	13.9d	2.01a	872c	9.6a
1500	100:0	29.7a	346.6a	15.06a	54.5a	37.9a	2.21a	4825a	5.7c
	75:25	26.3b	116.4c	7.41c	22.2c	25.2bc	2.09a	3157b	7.4b
	50:50	22.3c	64.9d	5.64d	21.2c	15.2d	1.97a	790c	8.6a

^{a)}Means separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level.

가 급격히 줄어들기 때문에 생육이 저해된다고 보고하였다.

地上部 뿐만 아니라 地下部の 생육도 NH₄-N의 비율이 증가할수록 급격히 떨어져, 뿌리의 길이가 NO₃-N : NH₄-N이 100:0일때는 61.1cm, 54.5cm였으나, NH₄-N의 비율이 높을수록 側根의 발생이 적고 뿌리의 길이가 짧아져 50:50 처리에서는 19.5cm에 불과하였고 뿌리무게도 100:0인 처리에서는 37.9cm, 27.9cm 인데 반해 13.9cm, 15.2cm에 불과 하였다. 이것은 NH₄-N의 비율이 지나치게 높으면 뿌리가 손상을 입어 수분의 흡수가 억제되고 그로 인한 엽의 수분 장력이 떨어져서 생육이 저해된다고 하는 보고와 일치하였다.²⁶⁾ NH₄-N으로 재배된 식물체에서는 polyamine의 함량이 높아지는데 이 polyamine은 K 결핍과도 관련이 있어서, NH₄-N에서 발생하는 H⁺이온이 뿌리표면에 부착하여 무기양분의 결핍을 유도한다고 한다.^{2, 7, 27, 28)} 이러한 보고들은 NH₄-N의 사용량이 지나치게 많아질 경우에는 극단적으로 뿌리의 활성이 저하된다는 것을 뒷받침하는 것이라고 할 수 있다. 본 실험에서 NH₄-N의 비율이 높을수록 지상부 및 지하부 모두 생육이 떨어졌던 것도 이러한 원인에 의한 결과라고 생각된다.

NO₃-N은 흡수되어 NH₄⁻로還元되어야 식물이 이용할 수 있으며,還元될때에는 에너지를 소모하게 되는데 NO₃⁻을還元시키는 효소의 활성은 光依存性이 크므로 햇빛이 약할 경우에는 활성이 떨어져 NO₃⁻이용량이 줄어든다. 반면 NH₄-N은 일조량이 많아서 광합성량이 많은 경우나 질소가 결핍되어 빨리 질소를 보충해 주어야 할 경우에는 유리하다고 한다.¹¹⁾

따라서, NO₃-N과 NH₄-N을 적당한 비율로 병용하게 되면, 식물체의 생육 및 품질을 좋게 할 수 있고⁹⁾ 엽중 NO₃⁻ 농도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라, NH₄-N을 공급함으로써 에너지가 보존되고 이렇게 보존된 에너지가 이온흡수와 생장등 여러 대사과정에 쓰일 수 있으므로 에너지 효율면에서도 유리하리라고 생각된다.

결구상추의 생육을 CO₂ 처리별로 비교해보면 培養液內 NO₃-N과 NH₄-N비율이 100:0인 처리에서는 CO₂ 사용에 대한 유의성이 인정되었지만 75:25, 50:50에서는 처리간 차이가 인정되지 않았다. 이것은 결구상추의 생육에 CO₂사용 효과 보다는 배양액내 NO₃-N과 NH₄-N 비율이 더 큰 영향을 미친 것으로, 배양액 조성에 의해 생육이 극히 불량할 때는

CO₂ 시용효과가 없으나 식물체의 생육이 적절한 조건에서는 CO₂ 시용에 의해서 수량의 증가를 가져올 수 있으리라 생각된다.

李⁹⁾는 CO₂ 시용이 계속됨에 따라 엽내 각종 生理代謝活性이 낮아지면서 노화가 촉진되어 CO₂ 시용에 의한 토마토 수량의 증가가 초기에는 인정되나 후기까지 지속되지는 않는다고 보고하였고, 陳 等¹³⁾은 상추에서 탄산가스 소비율이 정식 후 5일까지는 미약하게 증가하다가 그 후 급격한 증가 추세를 보이고, 상추의 생육이 개체당 약 25g정도 되면 상대적인 生長速度的 增加量이鈍化된다고 하였다.

본 실험에서도 표 2에서와 같이 CO₂ 시용에 의하여 CO₂ 同化率은 상당히 증가하였음을 알 수 있었는데, CO₂ 同化率의 증가율과 비례하여 수량이 증가하지는 않아서, CO₂ 同化率의 증가가 수량 증대로 바로 이어지지 않는음을 알 수 있었다.

상추엽의 窒酸鹽 含量은 培養液의 NO₃-N 비율이 낮아질수록 적었고, CO₂시용구가 무시용구보다 대체로 낮아지는 경향이었으나 처리간 차이는 인정되지 않았다. 이것은 CO₂ 시용에 의해 光合成 産物이 증가함에 따라 NO₃-N의 同化速度가 높아졌기 때문이라고 생각된다.

Aberg와 Ekdahl¹⁴⁾는 토마토 잎이나, 시금치, 상추와 같은 엽채류에서는 질소 시용량이 많아지면, 수확량과 건물량이 높을수록 vitamin C 함량도 높아진다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 수량이 가장 좋았던 CO₂ 1500ppm 시용과 NO₃-N:NH₄-N이 100:0 처리에서 가장 낮게 나타나는데, 이것은 본 실험은 질소를 농도별로 처리하여 검토한 것이 아니고 동일한 질소농도에서 질소원의 形態別 比率이 생육에 미치는 영향을 검토한 것이었으므로 그 결과가 다르게 나타난 것으로 보인다. 수량이 높은 처리에서 vitamin C 함량이 낮은 것은 생육속도가 빨라져 희석 효과가 나타났기 때문이라고 생각된다.

摘 要

본 실험은 NFT재배에서 培養液內 NO₃-N

과 NH₄-N의 比率과 CO₂ 시용이 결구상추의 生育, 收量 및 品質에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1. 培養液의 pH와 EC를 보정하지 않았을 경우, NO₃-N:NH₄-N이 100:0인 구에서의 pH는 점차적으로 증가하였고, NH₄-N의 비율이 높을수록 급격히 저하하여 pH4.0까지 낮아졌다.

2. 培養液을 보정하지 않은 상태에서 NO₃-N 및 NH₄-N의 일 변화를 측정하여 본 결과, NO₃-N의 吸收率은 NO₃-N:NH₄-N이 75:25, 50:50 처리구에서 각각 27.7%, 26.1% 였으나 NH₄-N의 吸收率은 87.9%, 71.2%로 결구상추는 NH₄-N을 優先的으로 흡수하였다.

3. 葉內 無機成分 含量에서 T-N는 NO₃-N과 NH₄-N 비율에 따른 큰 차이를 보이지 않았으나, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO는 생육이 가장 좋았던 CO₂ 1500ppm 시용과 NO₃-N:NH₄-N이 100:0에서 높게 나타났다.

4. CO₂ 시용에 의한 각 처리별 CO₂ 同化率도 수량과 같은 경향을 나타내어 CO₂ 1500ppm 시용과 NO₃-N:NH₄-N이 100:0 처리에서 가장 높았고, 培養液의 NH₄-N비율이 높아질수록 현저히 떨어졌다.

5. 결구상추의 생육은 CO₂ 1500ppm 시용과 NO₃-N:NH₄-N이 100:0 처리에서 가장 좋았고, CO₂ 무처리구에 비하여 CO₂ 1500ppm 처리구에서 대체로 양호하였으나, NO₃-N:NH₄-N이 75:25, 50:50인 처리에서는 CO₂ 시용에 의한 收量の 증가가 경미하여 처리간 차이가 인정되지 않았다.

6. 엽중 nitrate함량은 배양액의 NO₃-N함량과 비례하여 NO₃-N:NH₄-N 이 100:0에서 가장 높았고, vitamin C 含量은 NO₃-N:NH₄-N이 100:0인 처리에서 가장 낮고, NH₄-N의 비율이 많을수록 높아졌다. CO₂ 시용에 의하여 엽중 질산염함량은 경감할 수는 있었으나 그 효과는 경미하였다.

引用文獻

1. Aberg, B. and I. Ekdahl. 1948. Effects of nitrogen fertilization on the ascorbic

- acid content of green plants. *Physiol. Planta* 1:290-329.
2. Barker, A. V., D. N. Maynard and W. H. Lachman. 1967. Induction of tomato stem and leaf lesions and potassium deficiency by excessive ammonium nutrition. *Soil. Sci.* 103:319-327.
 3. Brum, W. A. and R. L. Cooper. 1967. Effects of light intensity and carbon dioxide concentration on photosynthetic rate of soybean. *Crop Sci.* 7:451-454.
 4. I. G. Bruns. 1990. The effect of continuity of early nitrogen nutrition on growth and development of *Lactuca sativa*. *Plant. Nutrit. Physio. Appli.*:545-549.
 5. Edwards J. H. and B. D. Horton. 1982. Interaction of peach seeding to $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ ratios in nutrient solutions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(1):142-147.
 6. Enoch, H. Z. and R. G. Hurd. 1977. Effect of light intensity, carbon dioxide concentration and leaf temperature on gas exchange of spray carnation plants. *J. Expt. Bot.* 28:84-95.
 7. Gerendas. J. and B. Sattelmacher. 1990. Influence of nitrogen form and concentration on growth and ionic balance of tomato(*Lycopersicon esculentum*) and potato(*Solanum tuberosum*). *Plant Nutr.*:33-37.
 8. Hartman. P. L., H. A. Mills and J. B. Johns. Jr. 1986. The influence of nitrate : Ammonium ratios on growth, fruit development and element concentration in 'Floradel' tomato plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:487-490.
 9. 池田英男, 大澤孝也. 1979. 施用窒素形態とそ菜の適應性(第1報) 水耕栽培において醋酸, アンモニア, 亞醋酸お窒素源とした果菜の生育並びに窒素同和. *日園學誌.* 47(4): 454-462.
 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.* 50:225-230.
 11. 池田英男, 大澤孝也. 1983. 水耕培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度並びに比率がそ菜の生育, 葉中N成分及び培養液中のpHに及ぼす影響. *日園學雜.* 52:159-166.
 12. 岩田正利, 谷内武信. 1985. 窒素形態の差異とそ菜の生育. *日園學雜.* 22:183-192.
 13. 陳濟鏞, 柳寬熙, 洪淳吳. 1993. 作物의 生長情報 計測 및 生育制御에 關한 研究. I. 炭酸가스 制御 알고리즘 開發. *生物生産施設環境.* 2(1):27-36.
 14. Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron. J.* 75:779-788.
 15. 金光勇, 朴尙根, 李應鎬. 1989. 養液栽培시 NO_3 와 NH_4 의 比率이 몇가지 果菜類의 生育에 미치는 영향. *農試研報.* 31(3):6-17.
 16. 金光勇. 1989. 園藝作物의 窒素흡수 特性에 따른 培養液 管理技術. *施設園藝研究.* 2:42-55.
 17. Kim, R. P., G. E. Wilcos and M. J. Charles. 1975. Response of growth and mineral composition of potato to nitrate and ammonium nitrogen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100(2):165-168.
 18. Kirby, E. A. 1981. Plant growth in relation to nitrogen supply. In Clarke, F. E. and T. Rosswall, *Terres trial nitrogen cycles, processes, ecosystem strategies and management impacts.* *Ecol. Bull. Stockholm* 33:249-267.
 19. 李龍範. 1991. CO_2 長期施用이 토마토의 生育, 無機養分 吸收, RuBP Carboxylase의 活性 및 光合成에 미치는 影響. *서울大學 校 博士學位論文.*
 20. 李應鎬, 朴尙根, 金光勇. 1991. 養液栽培시

- NO₃-N과 NH₄-N의 比率이 몇가지 果菜類의 生育에 미치는 影響Ⅱ. 農試研報, 33(1):1-6.
21. Maria, E. T. Classen and G. E. Wilcox. 1974. Effect of nitrogen form an growth and composition of tomato and pea tissue. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99(2):171-174.
 22. Maruo, T., Y. Moro, T. ITO, K. Suzuki and K. Matsuo. 1991. Practical aspects of environmental controlled greenhouse for urban agriculture. 2. Plant growth and mineral uptake of lettuce under atrificial light condition. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(2):262-263.
 23. Mohanty, B. and J.S. Fletcher. 1980. Ammonium influence on nitrogen assimilating enzymes and protein accumulation in suspension culture of Paul Scarlef rose. Physiol. Plant. 48:453-459.
 24. 農村營養改善研修院. 1986. 食品成分表. 農村振興廳.
 25. 박권우, 이정훈, 장매희. 1994. 養液內 NO₃-N과 NH₄-N比가 잎과의 生育과 品質에 미치는 影響. 生物生産施設環境. 3(2):99-105
 26. Quebedeaux, B and J. L. Ozbun. 1973. Effects of ammonium nutrition on water stress, water uptake, and root pressure in *Lycopersicon esculentum* Mill. Plant Physiol. 52:677-679.
 27. Ruth, G. N. and U. Kafkafi. 1980. Root temperature and percentage NO₃:NH₄ effect on tomato plant development. I. Morphology and growth. Agron. J. 72:785-761.
 28. Ruth, G.N and U. Kafkafi. 1983. The effect of root temperature and NO₃:NH₄ ratio on strawberry plants. I. Growth, flowering and root development. Agron. J. 75:941-946.
 29. Yamaguchi, M. 1983. World vegetables. AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connectant. pp. 59-76.
 30. 矢吹萬壽 外 8名. 1985. 農業環境調節工學. 朝倉書店, 東京. pp. 118-129.