

## 질소 시용수준에 따른 배 ‘신고’ 실생묘의 생육과 질소관련물질의 변화

金松南<sup>1</sup>·최동근<sup>2\*</sup>·강인규<sup>3</sup>·한광수<sup>4</sup>·최 철<sup>5</sup>

<sup>1</sup>中國山東省果樹研究所, <sup>2</sup>전북대학교 생물자원과학부(원예학전공),  
<sup>3</sup>상주대학교 환경원예학과, <sup>4</sup>우석대학교 애완동물허브자원학과, <sup>5</sup>경북대학교 원예학과

### Effects of Nitrogen Supply Levels on Growth and Nitrogen Substance in Pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) Seedlings

Song Nan Jin<sup>1</sup>, Dong Geun Choi<sup>2\*</sup>, In Kyu Kang<sup>3</sup>, Kwang Soo Han<sup>4</sup>, and Cheol Choi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271-000, China

<sup>2</sup>Division of Biological Resources Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

<sup>3</sup>Department of Environmental Horticulture, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

<sup>4</sup>Department of Pet and Animal & Herb Resource, Woosuk University, Jeonju 565-701, Korea

<sup>5</sup>Division of Plant Bioscience, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**Abstract.** This study was conducted to anticipate nitrate reduction state in tree through measurement of nitrate reductase activity (NRA) and investigate the effect of nitrogen concentrations (100, 200, 400, and 600 mg · L<sup>-1</sup>) on growth, the nitrogen content of various tissue, and NRA of pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) seedlings in sand culture. Nutrient solutions used in this experiment were adjusted to pH 6.5 and fixed the ratio of ammonium and nitrate to 1:3 and trickle-irrigated 3 times a day. Tree height and dry weight of various organs in seedlings were higher in low nitrogen concentration (100 and 200 mg · L<sup>-1</sup>) than in high nitrogen concentration (400 and 600 mg · L<sup>-1</sup>). The shoot growth in 600 mg · L<sup>-1</sup> was extremely poor by nitrogen over supply. Increasing the nitrogen concentration, the concentration of nitrate-N in leaves and roots were insignificantly changed but that of stems increased. The accumulation of total and reduced nitrogen in all organs with increasing concentrations of nitrogen supply were increased at 30 days after treatment but those of all organs at 60 and 90 days after treatment were highest in 600 mg · L<sup>-1</sup>, whereas there were no significant changes among other nitrogen concentration. The in vivo (+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA of all organs did not relate to nitrogen concentration but the in vivo (-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA of leaves except roots increased with increasing the nitrogen concentration. Therefore, the proper nitrogen concentration to promote growth and nitrate reduction of pear tree was 200 mg · L<sup>-1</sup>.

**Key words :** *Pyrus pyrifoli*

, nitrate reductase, nutrient solution

\*Corresponding author

## 서 언

목본식물에 있어서 질산은 거의 뿌리에서 환원되지만(Pate, 1980; Runge, 1983) 외부로부터 높은 농도의 질산이 공급될 때 잎과 줄기에서도 질산의 환원과 더불어 질산환원효소 활성이 증가된다(Bussi 등, 1997; Gojon 등, 1991). Campbell(1996)과 Salisbury와 Ross (1992)는 질산환원효소가 기질 유도성 효소로 세포질 내의 질산농도에 의해 질산환원효소 활성이 조절됨을

보고하였다. 또한 외부에서 공급되는 질산농도의 증가는 질산의 유입률과 세포질 내의 질산농도를 증가(Kronzucker 등, 1995)시킴으로써 잎과 줄기의 질산환원효소 활성 및 식물 성장도 증가된다.

고등식물과 목본식물의 질산 환원에 관한 연구는 품종, 식물연령, 무기 영양액, 식물호르몬, 빛 등 다양한 측면에서 이루어졌고(Caba 등, 1995; Naik 등, 1982; Paez와 Kliewer, 1978), 질산환원효소 활성과 단백질, 수량, 성장, 질소 축적과의 관계도 이미 많이 보고(Ganmore-Neumann와 Kafkafi, 1985; Kafkafi, 1990; Park과 Chiang, 1998; Park 등, 1999)되었지만 동양배나무의 질산 환원과 질산환원효소 활성에 미치는 영향에 관한 연구는 점목묘에서만 이루어졌다(Jin 등, 2003; Oh 등, 2002).

따라서 본 연구의 목적은 ‘신고’품종 실생을 재료로 질소농도가 생육, 질소함량 및 질산환원효소 활성에 미치는 영향을 조사하여 동양배나무에서의 질소동화 대사를 구명하고, 동양배나무에 관비할 때 가장 합리적인 질소농도를 결정하는데 필요한 기초 자료를 얻고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

배 ‘신고’(*Pyrus Pyrifolia* cv. Niitaka) 품종의 성숙종자를 채취하여 휴면을 타파시킨 후 파종상에서 60일 동안 육묘한 후 10L 플라스틱 포트에 이식하여 시험수로 이용하였다.

### 처리내용

森氏영양액(Togari 등, 1963)을 변형하여 pH를 6.5로 조절한 후  $\text{NH}_4^+$  :  $\text{NO}_3^-$  비율을 조절한 영양액을 1일 3L씩 3회 공급하였다. 질소형태별 실험에서 생육과 건물생산이 좋았던  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 을 50 : 150의 비율로 적용하여(Jin 등, 2003),  $\text{NH}_4^+$  :  $\text{NO}_3^-$  비율을 1 : 3으로 하고 암모니아태질소는  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 로 조절하고 질산태질소는  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$  및  $\text{NaNO}_3$ 으로 조절하였으며 미량원소의 변화는 적었기 때문에 무시하고 4수준의 질소농도(100, 200, 400, 600mg  $\cdot$  L<sup>-1</sup>)로 영양액을 조절하여 공급하였다. 염류의 집적을 방지하기 위하여 10일 간격으로 시험포트에 물을 충분히 관수하였으며 시험기간 동안의 재배는 측면이 트여있는 PE하우스에서 실시하였다.

### 시료채취

영양액을 공급하기 시작한 후 30일 간격으로 수고를 측정한 다음 잎, 줄기 및 뿌리를 각각 분리하여 시료를 채취하고 이들을 증류수로 깨끗이 씻어낸 후 화장지로 물기를 제거하여 분석시료로 이용하였다. 질산환원효소 활성 측정에 이용할 시료는 비닐봉지에 넣고 봉한 후 얼음을 채운 아이스박스에 보관하였고, 질소함량과 건물중을 측정할 시료는 70°C 건조기에서 48시간 건조시켜 분쇄하였다.

### 성분분석

전 질소는 Kjeldahl법으로 분석하고, 질산태질소는 Cataldo 등(1975)의 salicylic acid 방법으로 계산하고, 환원태질소는 전질소함량에서 질산태질소를 뺀 값으로 표시하였으며 모든 질소의 함량은 mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup> dry wt.로 표시하였다. 질산환원효소의 활성은 Lee와 Titus(1992)의 방법에 의하여 반응액에  $\text{KNO}_3$ 의 첨가 유무에 따라 측정하였다. 반응액은 100mM의 potassium phosphate 완충액(pH 7.5)과 2% n-propanol을 혼합하여 5mL씩 사용하였으며  $\text{KNO}_3$ 를 반응액에 첨가할 경우에는 농도를

50mM으로 하였다. 준비한 시료를 3분씩 2회에 걸쳐 감압침윤(5mm Hg)시킨 다음 30°C의 진탕수조에서 30분 동안 암상태에서 반응시켰다. 반응이 완료된 용액을 적절히 희석한 후 1.5N HCl로 용해한 1% sulfanilamide와 0.02% N-(1-naphthyl-ethylene diamine) diHCl을 1 : 1로 혼합한 용액을 넣어 30분간 발색시킨 후 540nm에서 흡광도를 측정하였다. 질산환원효소의 작용으로 생성된 아질산의 양을  $\text{NaNO}_2$ 를 이용하여 만든 표준곡선과 비교하여 계산하였으며 질산환원효소의 활성은  $\text{nmoles NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh wt.} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 표시하였다.

#### 통계처리

포트내에서 생육이 비슷한 시험수 2~3주를 1반복으로 하여 처리당 5반복으로 조사하였으며, 통계패키지는 windows용 SAS 8.01로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

질소공급농도에 따른 수고(Fig. 1)는 처리 후 30일부터 90일까지 고농도(400, 600mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ )보다 저농도(100, 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ ) 질소처리구에서 높았으며, 질소처리농도 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 에서 가장 높았다. 처리 후 30일에 질소농도 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 일 때 수고는 13.91cm로 100 mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 처리구보다 53%나 더 높았으며, 처리 후 60일과 90일에도 30일에서와 마찬가지로 저농도 질소처리구에서 양호하였으나 100 및 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 의 처리구 사이에는 큰 차이가 없었다.

질소공급농도에 따른 실생묘의 부위별과 나무당 총 건물중(Fig. 2)은 처리 기간이 길어짐에 따라 모든 처리구에서 증가하였지만 고농도보다는 저농도 질소구에서 유의하게 증가하였다. 처리 후 30일에는 모든 조직의 건물중은 질소농도에 따라 큰 차이가 없었지만 60일부터는 질소농도 400mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 과 600mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 에서 생육이 저하되었으나 약간의 증가를 보였다. 그러나 100 및 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 의 질소농도에서는 정상적으로 생육하여 건물중이 고농도 질소구에 비해 무거웠다. 나무당 총 건물중은 부위별 건물중 변화와 비슷하였으며, 저농도(100, 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ )가 고농도(400, 500mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ )질소구보다 무거웠지만, 질소농도 100과 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$  처리 간에는 통계적 유의성은 없었다.

수고(Fig. 1)와 건물중(Fig. 2) 모두 고농도보다 저농도 질소구에서 생육이 양호하였으며, 질소농도 200mg  $\cdot \text{L}^{-1}$  처리구에서 가장 효과적이었는데, 이는 사과(Lee와 Titus, 1992)와 유사한 결과를 보였다. 그러나 질소농도 400mg  $\cdot \text{L}^{-1}$  이상에서는 처리 후 30일부터 엽소현상이 발생되어 생육이 부진하였으며, 특히 질소농도 600mg  $\cdot \text{L}^{-1}$ 에서는 시험수가 고사하는 것도 있었다.

모든 조직의 전질소함량 변화(Fig. 3)는 처리 30일에 배양액의 질소농도 증가에 따라 증가하였으며 부위별 함량에 있어서는 잎에 가장 많았다. 과수의 잎 조직은 질소화합물을 저장하는 주요한 장소라는 보고(Titus와 Kang, 1982)와 사과나무는 질소 사용 방법에 따라 흡수된 질소의 40~50%가 잎으로 이동한다는 Forshey(1963)의 보고를 감안할 때 본 실험에서도 흡수된 질소의 대부분이 잎으로 이동함으로써 잎의 전질소함량도 가장 많았으나, 처리 후 시간이 지남에 따라 잎과 줄기의 질소함량이 떨어지는 것은 배나무의 생장, 즉 잎과 줄기의 생육이 왕성해지면서 잎 내의 무게당 전질소함량은 감소되는 것으로 생각되었다.

처리시기에 따른 질소농도별 부위별 질산태질소함량(Fig. 4)은 공급 효과가 잎, 줄기, 뿌리에서

조사시기별로 다르게 나타났지만 질소형태별 실험에서와 마찬가지로(Jin 등, 2003)로 각 조직내 질소함량중 질산태질소가 적은 부분을 차지하고 있었다. 이는 목본식물은 일반적으로 매우 적은 양의 질산을 포함한다는 보고(Leece 등, 1972; Moreno와 Garcia-Martinez, 1980; Smirnov 등, 1984)와 일치하였다. 잎의 질산태질소함량은 전질소의 5.5%보다 적었지만 줄기와 뿌리의 질산태질소함량은 가장 많을 때가 각 전질소의 18%이었다. 줄기의 질산태질소함량이 다른 조직에 비해 많았던 것은 체관부 축적이 많은데 원인이 있는 것으로 추정되었다. 질소농도별 효과에 있어서 생육초기(30일)에는 모든 조직 내의 질산태질소함량이 질소농도 증가에 따라 증가하였지만 처리 후 60일과 90일에는 고농도 처리구에서 생육 장애가 일어나면서 다른 양상을 보였다. 질산환원효소 활성은 식물생장과 뚜렷한 상관을 갖고 있음(Reed와 Hageman, 1980; Shen 등, 1993)을 볼 때 본 실험에서 생장 초기에는 배양액의 질소농도 증가에 따라 잎, 줄기 및 뿌리의 질산환원효소 활성이 증가하면서 질산의 흡수도 증가하였던 것으로 생각되었지만 생육 초기가 지나면서 증대된 각 조직의 활성에 의해 질산이 빨리 환원되면서 모든 조직 내의 질산이 다시 감소하였던 것으로 추정되었다. 그러나 질소농도별 공급에 따른 사과나무 각 조직의 질산태질소함량은 처리시기에 따라 상대적으로 일정하거나 큰 변화가 없다는 Lee와 Titus(1992)의 보고를 감안할 때 수체내 질산태질소함량은 품종, 배양액 및 시기에 따라 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다. 부위별 함량에 있어서는 질산태질소가 뿌리에 가장 많이 함유되어 있었는데, 이는 질산의 흡수율과 이동은 식물 종에 따라 다르다(Srivastava, 1980)는 보고와 본 실험에서 암모니아태질소와 질산태질소의 비율을 1 : 3으로 고정하여 질소농도를 높인 결과 질소농도 증가에 따라 배양액 내 암모니아의 양이 필요 이상으로 증가되어 질산이 지상부로 이동되지 못하고 뿌리에 많이 축적되었던 것으로 생각되었다.

질소공급농도에 따른 모든 조직의 환원태질소함량(Fig. 5)은 질산태질소함량이 낮기 때문에 전질소함량 변화와 동일하였다. Beevers와 Hageman(1983)은 식물체에 투입되는 환원태 질소함량은 필연적으로 질산 환원에 의해 조절됨을 강조하였으며, 또한 환원태질소의 축적량은 질산 공급의 증가에 따라 증대된 NRA에 의해 증대된다(Lee와 Titus, 1992)는 보고가 있음을 볼 때 본 실험에서도 처리 후 30일에 모든 조직의 환원태질소함량은 배양액의 질소농도 증가에 따라 증가된 NRA에 의해 높아진 것으로 판단되었다. 부위별 함량에 있어서 잎에 많이 분포되었고 줄기와 뿌리가 적었는데 이는 복숭아(Gojon 등, 1991)와 비슷한 경향이었다.

신고 실생의 모든 조직의 *in vivo* NRA는 질산을 분석 용액에 첨가했을 때가 첨가하지 않은 경우보다 훨씬 높게 검출되었는데(Fig. 6, 7), 이와 같은 결과는 질소 형태별 실험에서와 마찬가지로였다(Jin 등, 2003). 모든 시기에 있어서 줄기와 뿌리의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA는 질소 공급 농도와 큰 관련이 없었으나 잎의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA는 저농도 질소 공급구에서 자란 나무가 고농도 질소 공급구에서 자란 나무보다 더 높게 나타났는데, 이는 Lee와 Titus(1992)의 보고와 일치하였다. 뿌리는 다른 조직보다 이용할 수 있는 질산이 더 많음에도 불구하고 뿌리의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA가 잎과 줄기의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA보다 더 높게 나타났는데, 이는 질산은 식물체 내에서 구획되어 존재함으로써 질산환원효소에 접근하지 못하거나 유도물질로서의 작용을 발휘하지 못한다는 Shaner와 Boyer (1976)의 보고를 감안할 때 본 실험에서도 비록 뿌리에 질산이 많이 축적(Fig. 4)되었지만 유도물질의 작용을 발휘할 수 없기 때문에 뿌리의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA가 더 높게 나타났던 것으로 생각되었다. 비록 본 실험에서 모든 시기의 잎의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA (Fig. 6)가 환원태질소함량(Fig. 5)과 큰 관련은 없었지만 식물체 내에 질산이 한정될 때는 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA도 질산 환원을 평가함에 있어서 잠재력이 있다는 Radin 등(1978)의 보고를 감안할 때 질산 이동이 원활하지 않는 작물의 질산 환원에 있어서는 매우 중요함을 알 수 있었다.

질소농도별 처리 후 조직의 질산환원효소, 배양액의 질소공급농도, 부위별 질소함량과의 상관관계는 Table 1과 같다. 처리 후 30일에 조직별 질산환원효소 활성, 배양액의 질소공급농도, 부위별 질소함량 사이에서 잎과 뿌리보다 줄기에서 고도로 유의한 상관관계를 보였다. 잎의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA는 엽록소 함량과 정의 상관을 보인 외에 다른 조사값과는 유의성이 인정되지 않았다. 잎의 *in vivo*(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA(Fig. 7), 전질소(Fig. 3) 및 환원태 질소농도(Fig. 5)는 배양액의 질소공급농도의 증가에 따라 증가하였으므로 잎의 *in vivo*(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA는 전질소 및 환원태 질소농도와 고도로 유의한 정의 상관을 보였다. 이는 목본식물 잎의 *in vivo* NRA는 잎의 총 환원태질소함량과 정의 상관을 나타낸다는 Smirnoff 등(1984)의 보고와 비슷하였다. 특히 줄기의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA(Fig. 6), *in vivo*(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA(Fig. 7), 전질소(Fig. 3), 질산(Fig. 4) 및 환원태질소농도(Fig. 5)는 배양액의 질소공급농도의 증가에 따라 모두 뚜렷하게 증가하여 이들 사이에는 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었으며(Table 1), 이는 사과(Lee와 Titus, 1992)와 유사한 결과다. 뿌리의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA(Fig. 6)와 질산농도(Fig. 4)는 질소공급농도의 증가에 따라 뚜렷하게 증가하여 이들 간에 고도로 유의한 정의 상관을 보였으나 *in vivo* (-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA는 질소공급농도와 큰 관련이 없었기 때문에(Fig. 7) 조사치 간에 상관관계가 인정되지 않았다(Table 1). *In vitro* NRA는 수량, 질소축적, 단백질함량과 뚜렷한 상관을 갖지만 *in situ* 분석보다 기질과 환원제가 제한되지 않기에 과대 평가되는데(Dalling 등, 1975; Deckard 등, 1973) 반해 *in vivo* 분석은 환원질소의 축적량을 가장 적당하게 평가해 줌(Hageman, 1979)을 볼 때, 수체 내의 질소축적을 평가할 때 어떤 분석 방법으로 질산환원효소 활성을 측정하는가 하는 것이 매우 중요함을 알 수 있었다. 그러나 *in vivo* 분석은 환경조건과 생리학적인 요인의 영향을 많이 받으므로 포장 조건에서는 *in vivo* 분석은 환원질소의 축적을 과대 평가한다(Hageman, 1979)는 보고도 있다. 본 실험도 모든 조직의 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA가 *in vivo*(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA 보다 높게 나타났으나 조사시기에 따라 경향치가 일정치 않아 수체 내 질소축적을 간접 측정함에 있어서 *in vivo* NRA를 이용한 분석은 앞으로 더 정밀한 검토가 필요한 것으로 생각되었다.

## 적 요

‘신고’ 실생을 대상으로 질소시용수준에 따른 생장 반응을 조사하고 질산환원효소 활성 측정을 통해 수체 내에서의 질산 환원상태를 어느 정도 예측할 수 있는지 알아보기 위하여 시험을 실시하였다. 사경시험에 사용한 영양액은 암모늄태와 질산태질소의 비율을 1 : 3으로 하고 질소농도를 100, 200, 400 및 600mg á L<sup>-1</sup>의 4가지 수준으로 하였고, pH를 6.5로 조절한 후 포트당 3L씩 1일 3회 점적 관수를 실시하였다. 생육 중 수고와 건물중 모두 질소시용수준을 100과 200mg á L<sup>-1</sup>로 하였을 때가 400과 600mg á L<sup>-1</sup>에 비하여 유의하게 높고 무거웠으나 100과 200mg á L<sup>-1</sup>의 처리간에는 큰 차이가 없었다. 질소의 시용수준이 600mg á L<sup>-1</sup>일 때에는 질소 과잉 공급으로 신초 생장이 극히 불량하였다. 질산태질소의 함량은 잎과 뿌리의 경우 조사시기에 따라 질소 시용 효과가 서로 다른 양상을 보였으나 줄기의 경우는 질소시용농도의 증가에 따라 증가하였다. 부위별 전질소와 환원 질소의 함량은 처리 후 30일 경우 질소시용농도의 증가에 따라 증가하였으나 처리 후 60일과 90일에는 질소 시용 효과가 뚜렷하지 않았다. 기臨쌀 *in vivo*(+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA? U<sup>°</sup>역 압幅딩도圃 李 臨魄을 染炎였됐 *in vivo*(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA? 贅난낭 《?첼 馘?

줄기膨脹 U<sup>15</sup> 幅당도역 ≡ 陋彭 따박 ≡ 陋蜚? 籬毛울炎짱. 馘? 줄기역 in vivo(-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) NRA 靑熙? U<sup>15</sup> 幅당도 ≡ 陋彭 따박 ≡ 陋蜚佩엇뵈 췌난彭벤? 樓<sup>15</sup>蜚佩짱. 쇠뵈췌역 "옥? U<sup>15</sup> 卍靑역 芹靑靑 隙C« " 靑 靑? 靑" U<sup>15</sup> 當도? 200mg L<sup>-1</sup>울炎짱.

주제어 : 동양배, 영양액, 질산환원효소

사 사

이 논문은 2005년도 전북대학교 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

1. Beevers, L. and R.H. Hageman. 1983. Uptake and reduction of nitrate: Bacteria and higher plants. In: A. Lauchili and R.L. Bielecki (eds.), Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology new series. Vol. 15B. p. 351-375. Springer-Verlag, New York, NY.
2. Bussi, C., A. Gojon, and L. Passama. 1997. In situ nitrate reductase activity in leaves of adult peach trees. J. Hort. Sci. 729:347-353.
3. Caba, J.M., C. Luch, and F. Ligero. 1995. Distribution of nitrate reductase activity in *Vicia faba*; Effect of nitrate and plant genotype. Physiol. Plant 93:667-672.
4. Campbell, W.H. 1996. Nitrate reductase biochemistry comes of age. Plant Physiol. 111:355-361.
5. Cataldo, D.A., M. Haroon, L.E. Schrader, and V.L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrogen of salicylic acid. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 6:71-80.
6. Dalling, M.J., G.W. Halloran, and J.H. Wilson. 1975. The relation between nitrate reductase activity and grain nitrogen productivity in wheat. Aust. J. Agric. Res. 26:1-10.
7. Deckard, E.L., R.J. Lambert, and R.H. Hageman. 1973. Nitrate reductase activity in corn leaves as related to yields of grain and grain protein. Crop Sci. 13:343-350.
8. Forshey, C.G. 1963. A comparison of soil nitrogen fertilization and urea sprays as sources of nitrogen for apple trees in sand culture. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 83:32-45.
9. Ganmore-Neumann, R. and U. Kafkafi. 1985. The effect of root temperature and nitrate/ammonium ratio on strawberry plants. II. Nitrogen uptake, mineral ions, and carboxylate concentrations. Agron. J. 77:835-840.
10. Gojon, A., C. Bussi, C. Grignon, and L. Salsac. 1991. Distribution of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduction between roots and shoots of peach tree seedlings as affected by NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake rate. Physiol. Plant. 82:505-512.
11. Hageman, R.H. 1979. Integration of nitrogen assimilation in relation to yield. In: Nitrogen assimilation of plants. E.J. Hewitt and C.V. Cutting (eds.), Academic Press, London. p. 591-611.
12. Jin S.N., H.J. Lee, and S.D. Oh. 2003. Growth, leaf nitrogen contents, and nitrate reductase activity in pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) trees as affected by ammonium and nitrate nitrogen supply. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:82-86.
13. Kafkafi, U. 1990. Root temperature, concentration, and the ratio NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> effect on plant development. J. Plant. Nutr. 13:1291-1306.
14. Kronzucker, H.J., M.Y. Siddiqi, and A.D.M. Glass. 1995. Compartmentation and flux characteristics of nitrate in spruce. Planta 196:674-682.
15. Lee, H.J. and J.S. Titus. 1992. Nitrogen accumulation and nitrate reductase activity in MM106 apple trees as affected by nitrate supply. J. Hort. Sci. 67:273-281.
16. Leece, D.R., D.R. Dilley, and A.L. Kenworthy. 1972. The occurrence of nitrate reductase in leaves of *Prunus* species. Plant Physiol. 49:725-728.
17. Moreno, J. and J.L. Garcia-Martinez. 1980. Extraction of tracheal sap from citrus and analysis of its nitrogenous compounds. Physiol. Plant. 50:298-303.
18. Naik, M.S., Y.P. Abrol, T.V.R. Nair, and C.S. Ramarao. 1982. Nitrate assimilation: Its regulation and relationship to reduced nitrogen in higher plants. Phytochemistry 21:495-504.
19. Oh, S.D., S.N. Jin, and H.J. Lee. 2002. Growth, leaf nitrogen contents, and nitrate reductase activity of pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) trees as affected by different levels of nitrogen supply. J. Kor. Hort. Sci. 43:433-438.
20. Park, H.S. and M.H. Chiang. 1998. Effects of form and concentration of nitrogen in aeroponic solution on growth, chlorophyll, nitrogen contents, and enzyme activities in *Cucumis sativus* L. Plant. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:642-646.
21. Park, K.W., J.H. Jeong, and M.J. Lee. 1999. Effect of solution concentration and nitrogen form on the content of internal

- quality of Japanese mint growth in hydroponics. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:341-344.
22. Pate, J.S. 1980. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. Annu. Rev. Plant Physiol. 31:313-340.
  23. Pžrez, J.R. and W.M. Kliewer. 1978. Nitrate reduction in leaves of grapevine and other fruit trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103:246-250.
  24. Radin, J.W., L.L. Parker, and C.R. Sell. 1978. Partitioning of sugar between growth and nitrate reduction in cotton roots. Plant Physiol. 62:550-553.
  25. Reed, A.J. and R.H. Hagemen. 1980. Relationship between nitrate uptake, flux, and reduction and the accumulation of reduced nitrogen in maize (*Zea mays* L.). I. Genotypic variation. Plant Physiol. 66:1179-1183.
  26. Runge, M. 1983. Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.). Responses of the chemical and biological environment. Encyclopedia of plant physiology new series. Vol. 12C. p. 163-200. Springer-Verlag, Berlin.
  27. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Plant physiology. p. 289-307. Wadsworth publishing company, Belmont, CA.
  28. Shaner, D.L. and J.S. Boyer. 1976. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. Plant Physiol. 58:499-504.
  29. Shen, Z., Y. Liang, and K. Shen. 1993. Effect of boron on the nitrate reductase activity in oilseed rape plants. J. Plant Nutr. 16:1229-1239.
  30. Smirnoff, N., P. Todd, and G.R. Steward. 1984. The occurrence of nitrate reduction in leaves of woody plants. Ann. Bot. 54:363-374.
  31. Srivastava, H.S. 1980. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. Phytochem. 19:725-733.
  32. Titus, J.S. and S.M. Kang. 1982. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. Hort. Rev. 4:204-246.
  33. Togari, Y., T. Matsuo, M. Hatamura, N. Yamada, T. Harada, and N. Suzuki. 1963. Experimental methods of crop. Agri. Tech. Asso. p. 164.

**Table 1.** Correlation coefficients between NRA and external N concentration, concentrations of organ N, and chlorophyll content in ‘Niitaka’ pear subjected to N concentration supplied. Trees were sampled at 30 days after treatment.

	in vivo (+NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) NRA			in vivo (-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) NRA		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
External nitrogen	-0.181 <sup>n.s.z</sup>	0.910 <sup>***</sup>	0.841 <sup>***</sup>	0.824 <sup>***</sup>	0.907 <sup>***</sup>	-0.452 <sup>n.s</sup>
Organ total-N	-0.217 <sup>n.s</sup>	0.856 <sup>***</sup>	0.529 <sup>n.s</sup>	0.765 <sup>**</sup>	0.843 <sup>***</sup>	-0.572 <sup>n.s</sup>
Organ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.387 <sup>n.s</sup>	0.975 <sup>***</sup>	0.910 <sup>***</sup>	0.440 <sup>n.s</sup>	0.977 <sup>***</sup>	0.161 <sup>n.s</sup>
Organ reduced-N	-0.214 <sup>n.s</sup>	0.786 <sup>**</sup>	0.369 <sup>n.s</sup>	0.779 <sup>**</sup>	0.806 <sup>**</sup>	-0.572 <sup>n.s</sup>
Chlorophyll content	0.714 <sup>**</sup>	-	-	-0.281 <sup>n.s</sup>	-	-

NS, \*, \*\*, \*\*\* Not significant or significant at P=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.