

질소 시용수준에 따른 배 실생묘의 생육과 질소관련물질의 변화 Effects of Nitrogen Supply Levels on Growth and Nitrogen Substance in Pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka) Seedlings

金松南¹·최동근^{2*}·강인규³

¹中國山東省果樹研究所, ²전북대학교 생물자원과학부, ³상주대학교 환경원예학과
Song Nan Jin¹, Dong Geun Choi^{2*}, and In Kyu Kang³

¹Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271-000, China

²Division of Biological Resources Science, Chonbuk Nat'l Univ., Jeonju 561-756, Korea

³Dept. of Horticulture, Sangju National Univ., Sangju 742-711, Korea

서 론

목본식물에 있어서 질산은 거의 뿌리에서 환원되지만(Pate, 1980; Runge, 1983) 외부로부터 높은 농도의 질산이 공급될 때 잎과 줄기에서도 질산의 환원과 더불어 질산환원효소활성이 증가되었다(Gojon 등, 1991, 1994; Lee와Titus, 1992; Bussi 등, 1997). Salisbury와 Ross(1992)와 Campbell (1996)은 질산환원효소는 기질유도성효소로 세포질 내의 질산농도에 의해 질산환원효소활성이 조절됨을 보고했고, 또한 외부에서 공급되는 질산농도의 증가는 질산의 유입률과 세포질 내의 질산농도를 증가(Kronzucker 등, 1995)시킴으로써 외부에서 공급되는 질산 농도의 증가에 따라 잎과 줄기의 질산환원효소활성 및 식물 생장도 증가될 것으로 기대되었다. 고등식물과 목본식물의 질산환원에 관한 연구는 품종, 식물연령, 무기 영양액, 식물호르몬, 빛 등 다양한 측면에서 이루어졌지만 동양배나무의 질산환원과 질산환원효소 활성에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 배 실생묘를 이용하여 질소농도가 생육, 질소함량 및 질산환원효소 활성에 미치는 영향을 조사하여 동양배나무에서의 질소동화 대사를 구명하는데 도움을 주고, 동양배나무의 관비시스템에서 가장 합리적인 질소형태의 비율, 질소농도를 결정하는데 필요한 자료를 얻고자 실시하였다.

재료 및 방법

○ 시험재료 : 배 '신고(*Pyrus Pyrifolia* cv. Niitaka)' 품종의 성숙종자를 채취하여 휴면타파

시킨 후 파종상에 파종하여 60일 동안 육묘한 후 10ℓ 플라스틱 포트에 이식하여 시험수로 이용하였다.

- 재배방법 : 森氏영양액(Togari 등, 1963)을 변형하여 pH를 6.5로 조절한 후 처리내용별로 조절된 영양액을 1일 3ℓ씩 3회 공급하였다.
- 처리내용 : $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 비율을 1:3으로 고정한 후 질소농도를 100, 200, 400, 600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 영양액을 조절하여 공급하였다.
- 시료채취 : 영양액을 공급하기 시작한 후 30일 간격으로 분석시료를 채취하여 잎, 줄기 및 뿌리로 분리하고 증류수로 깨끗이 씻어낸 후 화장지로 물기를 제거하였다.
- 생육조사 : 30일 간격으로 수고, 생체중, 건물중, 엽록소함량을 측정하였다.
- 성분분석 : 전 질소는 Kjeldahl법으로 분석하고, 질산태질소는 Cataldo 등(1975)의 Salicylic acid 방법으로 계산하고, 환원태질소는 전질소함량에서 질산태질소를 뺀 값으로 표시하였다. 질소환원효소는 Lee와 Titus(1992)의 방법에 준하여 측정하였다.
- 통계처리 : Windows용 SAS 8.01로 분석하였다.

결과 및 고찰

생육에 있어서 수고(Fig. 1)와, 부위별 건물중(Fig. 2) 모두 고농도보다 저농도 질소 공급구에서 크고 무거웠으며, 질소농도 $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구에서 가장 효과적이었는데, 이는 사과(Lee와 Titus, 1992)와 유사한 결과를 보였다. 그러나 질소농도 $400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 공급구에서는 처리 후 30일부터 엽소현상이 발생되면서 생육이 부진하였으며, 특히 질소농도 $600\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 공급구에서는 식물이 고사되는 것도 나타났다. 이것은 배양액 내의 질소농도 증가와 더불어 Na이온의 농도도 다량으로 증가되는데, K이온과 Na이온은 서로 길항작용이 있기에 Na이온의 다량 증가는 K이온의 흡수를 억제함으로써 잎에서 황화현상이 발생되었던 보고(Bresler 등, 1982)를 감안할 때 본 실험에서 식물체 고사현상이 질소 고농도 피해 때문인지 아니면 Na이온의 피해인지 앞으로 더 정밀한 연구가 필요한 것으로 생각되었다.

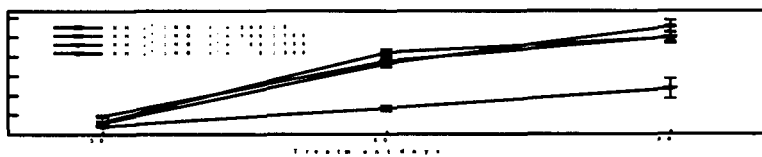


Fig. 1. Effect of N concentration supplied on tree height in 'Niitaka' pear seedlings. Vertical bar represents SE of the mean of 9 replicates.

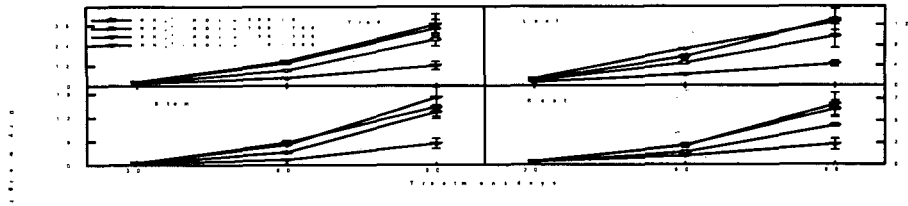


Fig. 2. Effect of N concentration supplied on increment in leaf, stem, root and total dry weight of 'Niitaka' pear seedlings. Vertical bar represents SE of the mean of at least 6 replicates ($n \leq 9$).

부위별 질산태질소함량은 처리시기에 따라 질소농도별 공급효과가 다르게 나타났고, 조직 내 전질소함량의 적은 부분을 차지하고 있었다(Fig. 3). 이는 목본식물은 매우 적은 양의 질산을 포함한다는 보고(Leece 등, 1972; Moreno와 Garcia-Martinez, 1980; Smirnofff 등, 1984)와 일치하였다. 잎의 질산태질소함량은 전질소의 5.5%보다 적었지만 줄기와 뿌리의 질산태질소함량은 가장 많을 때가 각 전질소의 18%이었다. 질산 농도별 공급에 따른 사과나무 각 조직의 질산태질소함량은 처리시기에 따라 상대적으로 일정하거나 큰 변화가 없다는 Lee와 Titus(1992)의 보고를 감안할 때 질산태질소함량은 품종, 배양액 및 시기에 따라 서로 다르게 나타남을 알 수 있었다.

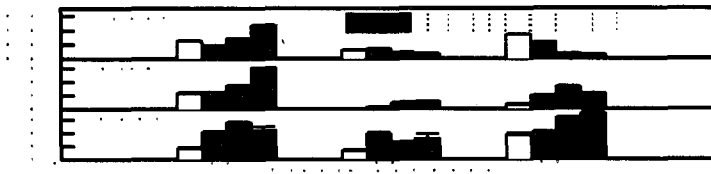


Fig. 3. Effect of N concentration supplied on nitrate N accumulation in organs of 'Niitaka' pear seedlings. Vertical bar represents SE of the mean of 3 replicates.

모든 조직의 전질소함량 변화는 처리 30일에 배양액의 질소농도 증가에 따라 증가하였으며 부위별 함량에 있어서는 잎에 가장 많았다(Fig. 4). 과수나무의 잎 조직은 질소화합물을 저장하는 주요한 장소라는 보고(Titus와 Kang, 1982)와 사과나무는 질소이용방법에 따라 흡수된 질소의 40~50%가 잎으로 이동한다는 Forshey(1963)의 보고를 감안할 때 본 실험에서도 흡수된 질소의 대부분이 잎으로 이동함으로써 잎의 전질소함량도 가장 많았던 것과 배나무의 생장 즉 잎과 줄기의 생육이 왕성해지면서 잎 내의 전질소함량도 서서히 감소하였던 것으로 생각되었다.



Fig. 4. Effect of N concentration supplied on total N accumulation in organs of 'Nittaka' pear seedlings. Vertical bar represents SE of the mean of 3 replicates.

모든 조직의 환원태질소함량은 질산태질소함량이 낮기 때문에 전질소함량 변화와 동일하였다 (Fig. 5). Beevers와 Hageman(1969)은 식물체에 투입되는 환원태질소함량은 필연적으로 질산환원에 의해 조절됨을 강조하였으며, 또한 환원태질소의 축적량은 질산 공급의 증가에 따라 증대된 NRA에 의해 증대된다(Lee와 Titus, 1992)는 보고가 있음을 볼 때 본 실험에서도 생육 초기(30일)에는 모든 조직의 환원태질소함량이 배양액의 질소농도 증가에 따라 증대된 NRA에 의해 증가하였던 것으로 판단되었다.

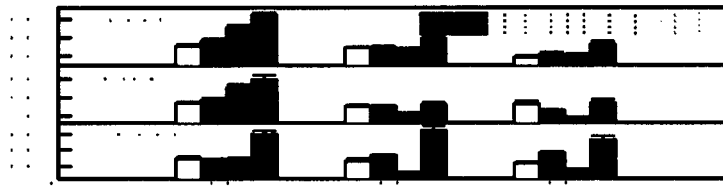


Fig. 5. Effect of N concentration supplied on reduced N accumulation in organs of 'Nittaka' pear seedlings. Vertical bar represents SE of the mean of 3 replicates.

in vivo NRA는 질산을 분석 용액에 첨가했을 때가 첨가하지 않은 경우보다 훨씬 높게 검출되었다(Fig. 6). 모든 시기에 있어서 줄기와 뿌리의 *in vivo* (+NO₃⁻)NRA는 질소공급농도와 큰 관련이 없는데 반해 잎의 *in vivo* (+NO₃⁻)NRA는 저농도 질소 공급구에서 자란 나무가 고농도 질소 공급구에서 자란 나무보다 더 높게 나타났다. 이는 Lee와 Titus(1992)의 보고와 일치하였다. 뿌리는 다른 조직보다 이용할 수 있는 질산이 더 많음에도 불구하고 *in vivo* (+NO₃⁻)NRA가 잎과 줄기의 *in vivo* (+NO₃⁻)NRA보다 더 높게 나타난 것은 질산은 식물체 내에서 구획되어 존재함으로써 질산환원효소에 접근하지 못하거나 유도물질로서의 작용을 발휘하지 못한다는 Shaner와 Boyer(1976)의 보고를 감안할 때 뿌리에 질산이 많이 축적되었지만 유도물질의 작용을 발휘할 수 없기 때문에 뿌리의 *in vivo* (+NO₃⁻)NRA가 더 높게 나타났던 것으로 생각된다.

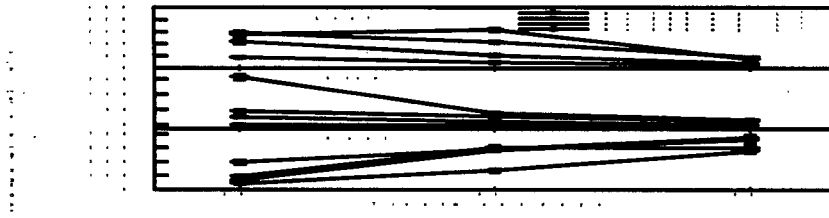


Fig. 6. Effect of nitrogen concentration supply on in vivo ($-\text{NO}_3^-$)NRA in organs of 'Niitaka' pear seedlings. Vertical bar represent means \pm SE (n=3).

처리 30일 생장에 있어서 조직별 질산환원효소활성, 배양액의 질소공급농도, 부위별 질소 함량 사이에 있어서 잎과 뿌리보다 줄기에서 고도로 유의한 상관관계를 보였다(Table 1). 잎의 *in vivo* ($+\text{NO}_3^-$)NRA는 엽록소함량과 정의상관을 보인 외에 다른 조사값과는 유의성이 인정되지 않았다. 잎의 *in vivo* ($-\text{NO}_3^-$)NRA, 전질소 및 환원태질소농도는 배양액의 질소 공급농도의 증가에 따라 증가하였으므로 잎의 *in vivo* ($-\text{NO}_3^-$)NRA는 전질소 및 환원태질소 농도와 고도로 유의한 정의상관을 보였다.

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

	<i>in vivo</i> ($+\text{NO}_3^-$)NRA			<i>in vivo</i> ($-\text{NO}_3^-$)NRA		
	Leaves	Stems	Roots	Leaves	Stems	Roots
External nitrogen	-0.181 ^{n.s}	0.910 ^{***}	0.841 ^{***}	0.824 ^{***}	0.907 ^{***}	-0.452 ^{n.s}
Organ total-N	-0.217 ^{n.s}	0.856 ^{***}	0.529 ^{n.s}	0.765 ^{**}	0.843 ^{***}	-0.572 ^{n.s}
Organ NO_3^- -N	-0.387 ^{n.s}	0.975 ^{***}	0.910 ^{***}	0.440 ^{n.s}	0.977 ^{***}	0.161 ^{n.s}
Organ reduced-N	-0.214 ^{n.s}	0.786 ^{**}	0.369 ^{n.s}	0.779 ^{**}	0.806 ^{**}	-0.572 ^{n.s}
Chlorophyll content	0.714 ^{**}	-	-	-0.281 ^{n.s}	-	-

n.s. , * , ** , *** Nonsignificant or significant at p=0.05, 0.01 or 0.001, respectively.

이는 목본식물의 잎의 *in vivo* NRA는 잎의 총 환원태질소함량과 정의상관을 나타낸다는 Smirnoff 등(1984)의 보고와 비슷하였다. 특히 줄기의 *in vivo* ($+\text{NO}_3^-$) NRA, *in vivo*

($-NO_3^-$)NRA, 전질소, 질산 및 환원태질소농도는 배양액의 질소공급농도의 증가에 따라 모두 뚜렷하게 증가하여 이들 사이에는 고도로 유의한 정(+)의 상관관계를 나타내었으며, 이는 사과(Lee와 Titus, 1992)와도 유사한 결과를 보였다. 본 실험도 포장조건에서 수행하였고, 모든 조직의 *in vivo* ($+NO_3^-$)NRA가 *in vivo* ($-NO_3^-$)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.

요약 및 결론

질소원 농도에 따른 질소공급이 배 실생묘의 생육과 부위별 *in vivo* 질산환원에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 그러나 질소농도 증가에 따른 반응은 고농도보다 저농도 질소공급구에서 생육이 더 양호함을 알 수 있었다. 질소공급농도의 증가에 따른 모든 조직의 전질소와 환원태질소함량은 처리 30일에 배양액의 질소농도 증가에 따라 증가하였으나 60일과 90일에는 질소농도 $600mg \cdot L^{-1}$ 처리구에서 많았을 뿐 다른 질소농도 처리간에는 뚜렷한 차이가 없었다. 처리 30일 이후에 질소 고농도 공급구에서 생육장애가 일어났음에도 불구하고 질소 고농도 공급구에서 환원태질소함량이 높았다. 부위별 환원태질소의 축적량은 질소 고농도보다 저농도 공급구에서 많았으며, 잎에 가장 많이 축적되었다. 모든 조직의 *in vivo* ($+NO_3^-$)NRA는 배양액의 질소형태별 공급비율과 질소농도의 증가와 관련이 없었다. 그러나 모든 조직의 *in vivo* ($-NO_3^-$)NRA는 배양액의 NO_3^- 비율의 증가에 따라 증가하였으나 질소농도 증가에 따른 *in vivo* ($-NO_3^-$)NRA는 뿌리를 제외한 잎과 줄기에서 배양액의 질소농도 증가에 따라 증가하였다. 배 실생묘의 부위별 질산환원효소활성의 분포를 보면 처리시기에 따라 다소 차이는 있으나 뿌리에 가장 많이 분포되었다. 그러나 처리 30일 생장의 경우 잎과 줄기에 분포한 질산환원효소활성은 배양액의 NO_3^- 비율의 증가 또는 질소농도의 증가에 따라 증가하였으나 뿌리에서는 반대되는 경향을 보였다. 그러므로 포장상태에서 질소농도에 따른 배 실생묘의 여러 조직에서도 질산을 이용할 수 있는 질산환원이 발생하였으며, 아울러 뿌리에 공급되는 NO_3^- 비율의 증가 또는 질소농도의 증가에 따라 잎과 줄기의 질산환원효소활성이 증가함을 알 수 있었다. 그러나 *in vivo* NR 분석은 환경조건과 생리화학적 요인의 영향을 많이 받으므로(Radin, 1978) 성장시기에 따른 분석시기의 결정이 중요한 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

- Pate, J.S. 1980. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. Annu. Rev. Plant Physiol. 31:313-340.

- Gojon, A., C. Bussi, C. Grignon, and L. Salsac. 1991. Distribution of NO_3^- reduction between roots and shoots of peach tree seedlings as affected by NO_3^- uptake rate. *Physiol. Plant.* 82:505-512.
- Gojon, A., C. Bussi, and C. Plassard. 1994. Root/shoot distribution of NO_3^- assimilation in herbaceous and woody species. In: A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. Roy, J. and E. Garnier. (Ed.). pp.131-147. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Lee, H.J. and J.S. Titus. 1992. Nitrogen accumulation and nitrate reductase activity in MM. 106 apple trees as affected by nitrate supply. *J. Hort. Sci.* 67:273-281.
- 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.
- Salisbury, F.B., and C.W. Ross. 1992. *Plant physiology*, pp. 289-307. Wadsworth publishing company, Belmont, CA.
- Campbell, W.H. 1996. Nitrate reductase biochemistry comes of age. *Plant Physiol.* 111:355-361.
- Kronzucker, H.J., M.Y. Siddiqi, and A.D.M. Glass. 1995. Compartmentation and flux characteristics of nitrate in spruce. *Planta* 196:674-682.
- Togari, Y., T. Matsuo, M. Hatamura, N. Yamada, T. Harada, and N. Suzuki. 1963. *Experimental methods of crop*. Agri.Tech.Asso. pp.164
- 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.
- Bresler, E., B.L. McNeal, and D.L. Carter. 1982. *Saline and sodic soils. Principle -dynamics modeling*, Springer-Verlag, Berlin.
- 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.
- 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.
- Smirnoff, N., P. Todd, and G.R. Steward. 1984. The occurrence of nitrate reduction in leaves of woody plants. *Ann. Bot.* 54:363-374.
- Titus, J.S. and S.M. Kang. 1982. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. *Hort. Rev.* 4:204-246.

- 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.
- Beevers, L. and R.H. Hageman. 1983. Uptake and reduction of nitrate: Bacteria and higher plants. In: A. Lauchli and R.L. Bielecki (Ed.), Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology new series. Vol. 15B. pp. 351-375. Springer-Verlag, New York, NY.
- 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.
- 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.