

여름 질소 시비량에 따른 ‘부유’ 감나무의 생장과 노화 중 잎의 양분 변화

최성태* · 박두상 · 안광환 · 김성철 · 최태민

경상남도농업기술원 단감연구소

Tree Growth and Nutritional Changes in Senescing Leaves of ‘Fuyu’ Persimmon as Affected by Different Nitrogen Rates during Summer

Seong-Tae Choi*, Doo-Sang Park, Gwang-Hwan Ahn, Sung-Chul Kim, and Tae-Min Choi

Sweet Persimmon Research Institute, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Gimhae 621-802, Korea

Abstract. With pot-grown 4-year-old ‘Fuyu’ persimmon trees, this study evaluated the effect of different nitrogen (N) rates during summer on fruit characteristics, changes of leaf nutrients after harvest, reserve accumulation, and early growth the following year. A total of 0, 36 g N in June, and 72 g N in June and July was fertigated to each tree using urea solution. All the fruits were harvested on Nov. 3. Although not significant, fruits were larger for the 36 g and 72 g N than the 0 g N. Fruits for the 0 g N, having lower N concentration, were softer and had a better coloration and higher soluble solids, indicating that they matured earlier. SPAD value on Nov. 3 was 19.2 for the 0 g N and 54.9 for the 72 g N, and then the values linearly decreased in all the treatments by Nov. 14, exhibiting rapid leaf senescence. Specific leaf weight, being the lowest for the 0 g N, also gradually decreased during this period. Increasing N level significantly increased cross-sectional area of the trunk. Leaf N concentration on Nov. 3 was 0.87% for the 0 g N, whereas it was 1.18 and 1.52% for the 36 g and 72 g N, respectively. The N fertigation tended to increase leaf concentrations of soluble sugars, starch, and amino acids. Contents of N, P, K, soluble sugars, starch, and amino acids per unit leaf area gradually decreased in all the treatments during the 11 days after harvest, and the extent of the decrease was the lowest for the 0 g N. On the other hand, those of Ca, Mg, and protein did not consistently change during this period. The N fertigation resulted in higher concentrations of N in dormant shoots on Nov. 14, and although not great, it also increased soluble sugars, starch, amino acids, and protein. Clear differences were found in number of flower buds per one-year-old branch and total shoot length per tree the following year. The 72 g N trees had 5.6-fold more flower buds and 1.9-fold more shoot length, compared with those of 0 g N trees. However, it was noted that tree growth the following year was not significantly different between the 36 g and 72 g N the previous year. It was concluded that N rate during summer should be adjusted with considering the changes of fruit maturation, mobilization of leaf nutrients, and reserve accumulation.

Additional key words: carbohydrate, nitrogenous compound, nutrient, senescence, SPAD

서 언

질소(N) 시비는 감나무의 수체 생장과 과실 생산에 대단히 중요한 역할을 하기 때문에 이와 관련된 많은 연구들이 진행되어 왔다. 과실 생장기에 N 시비량이 감소하면 과실 성숙이 빨라지나 과실 크기가 감소할 수 있고, 시비량이 증가하면 과실 성숙이 늦어져 품질이 나빠질 수 있다(Choi et al., 2008, 2012; Park, 2002b). 이러한 과실의 반응은 N 시비량

및 시비시기 등에 따라 민감하게 달라진다(Agustí et al., 2004; Choi et al., 2008, 2009; Park, 2002b). 또한 N 시비는 당년의 수체 생장을 촉진할 뿐만 아니라 영구기관인 가지 및 뿌리에 무기원소와 유기화합물 등의 저장양분 축적에 관여하여 이듬해 수체 및 과실 생장에도 영향을 준다(Choi et al., 2009, 2012; Kim et al., 2009; Loescher et al., 1990). 특히 적절한 저장양분은 매년 안정된 수세 유지와 과실 생산성 향상에 필수적이므로 N 시비와 관련된 저장양분의 축

*Corresponding author: stchoi1234@korea.kr

※ Received 29 May 2013; Revised 31 July 2013; Accepted 19 August 2013.

© 2013 Korean Society for Horticultural Science

적 생리를 이해하는 것은 큰 의미가 있다.

저장양분 중 많은 양은 가을 동안 잎에서 이동하여 축적되지만, 뿌리에서 흡수되는 양분의 영향도 받는다(Kim et al., 2009; Millard and Neilsen, 1989; Tagliavini et al., 1999). 잎으로부터 영구기관으로 저장되는 양분의 이동은 잎이 노화하는 동안에 빠르게 진행되므로(Oliveira and Priestley, 1988; Park, 2002a; Park et al., 2003; Titus and Kang, 1982), 된서리가 빨리 내려 노화기간이 짧아질수록 저장양분 축적이 나빠진다. 다른 낙엽과수에서는 잎에 포함된 N의 50% 이상이 낙엽 전에 저장 기관으로 이동하고 이렇게 이동된 양이 저장된 N의 80%를 차지하기도 한다(Niederholzer et al., 2001; Oland, 1963; Sanchez and Righetti, 1990). 그러나 감에서처럼 잎의 N 이동이 적은 경우도 있다(Kim et al., 2009). 감나무 잎의 노화기 양분 변화는 재배 지역 및 양분 종류에 따라 다르며, 같은 지역 내에서도 해에 따라 일관된 변화를 보이지 않는 경우가 많다(Clark and Smith, 1990; George et al., 1995; Park, 2002a; Park et al., 2003). 이는 환경 및 재배방법이 다르고 노화 정도의 차이가 크기 때문으로 생각된다. 우리나라 남부지방에서 만생종 ‘부유’ 감나무는 수확 후 11월에 급격하게 잎이 노화되는데, 이기간에 잎의 양분 변화를 집중적으로 추적한 연구는 찾기 어렵다. N 시비량에 의해 잎의 노화가 달라지고 잎에서 일어나는 양분 이동이 영향을 받을 것으로 예상되지만, 이에 대한 자세한 연구는 수행되지 않았다.

영구기관 내 저장양분은 질소화합물인 아미노산과 단백질, 탄수화물인 가용성당과 전분의 형태로 축적되는데(Cheng et al., 2004; Oliveira and Priestley, 1988; Titus and Kang, 1982), 늦게까지 N 시비가 과다할 경우 수체 내 N 대사에 탄수화물이 탄소 골격과 에너지원으로 사용되어 저장 탄수화물이 감소하기도 한다(Cheng and Fuchigami, 2002; Choi et al., 2012; Xia and Cheng, 2004). 그러나 여름 N 시비량이 과실 수확 이후 잎이나 가지에서 이러한 유기화합물의 구성에 미치는 영향에 대해서는 확실하지 않다. 또한 여름철에 수체 내 N이 부족하면 꽃눈 분화가 감소하여 이듬해 착륙수가 적어지지만(Choi et al., 2009; George et al., 1997), 감나무에서 여름 N 시비량에 따른 차이 정도를 뚜렷하게 제시한 문헌은 드물다. 본 연구는 여름 N 시비량이 과실 특성, 수확 후 노화기 잎의 동화산물 및 무기원소의 변화 및 이듬해 초기 생장에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

시험수 관리 및 시비 처리

‘부유’ 실생 공대에 접목하여 경남 김해의 비가림하우스

에서 키운 4년생 ‘부유’ 감나무(*Diospyros kaki* cv. Fuyu)를 2005년에 시험재료로 사용하여 이듬해까지 조사하였다. 시험수는 70L 용기 내 사양토에서 재배하였으며, 1.5 × 1m 거리로 배치되어 있었다. 2005년 시험처리 당년에 4월까지 화학비료나 퇴비를 전혀 사용하지 않았고 5월부터 10월까지 용성인비, 황산칼륨을 4회에 걸쳐 관수와 함께 나누어 사용하여 주당 P₂O₅ 12g, K₂O 26g, CaO 17g, MgO 7g을 공급하였다. 2005년에 신초의 길이 신장과 개화가 끝난 후 6-7월에 용기 당 N 수준을 0g(무시비), 36g, 72g 시비구로 나누어 1% 요소 용액으로 시비량을 조절하였다. 36g 시비구는 6월 1일(만개 후 약 7일)부터 6월 28일까지 3-4일 간격으로 8회 관주, 72g 시비구는 6월 1일부터 7월 29일까지 16회 관주를 하였다. 모든 시험수는 생리적 낙과가 끝난 후 7월 상순에 엽과비가 약 20이 되도록 적과하여 주당 착과수를 11-16개로 유지하였다. 처리 이듬해 2006년에는 6월 상순까지 N 시비를 하지 않았다. 시험기간 동안 각 용기마다 분사형 노즐이 부착된 관수장치로 물을 공급하였는데, 전엽기에 하루 평균 주당 1L에서 개화기 이후에는 하루 2-3회씩 총 6L 정도로 늘렸다.

시료 채취 및 생장 조사

2005년 11월 3일에 전체 과실을 수확하여 평균과중을 구하였고, 과피색, 과육 경도, 당도를 측정하였다. 과피색은 휴대용색도계(CM-508i, Minolta Co., Osaka, Japan)를 사용하여 과피의 적색도 Hunter a 값을 구하였고, 경도는 직경 5mm 탐침을 사용하여 경도계(TA-XT2, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK)로 측정하였다. 당도는 과실의 적도부에서 과피로부터 약 2cm 깊이까지 착즙하여 굴절당도계(ACT-1E, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하였다. 과실 수확 후 잎의 특성 및 양분 변화를 조사하기 위하여 11월 3, 7, 11, 14일에 각각 주당 20개씩 무작위로 잎을 채취하였는데, 시험수의 나머지 잎은 11월 15일과 16일에 저온으로 모두 낙엽이 되었다. 채취한 잎은 엽록소계(SPAD-502, Minolta Co., Japan)로 SPAD 값을 측정하고 비엽중을 구한 후 분석 시료로 사용하였다. 나무의 크기 변화를 파악하기 위하여 처리 전인 2005년 4월 29일과 그 해 생장이 끝난 후 12월 29일에 접목부로부터 8cm 상단의 간주를 측정하여 주간단면적으로 환산하고 두 시기간의 차이를 구하였다.

식물체 분석

식물체 분석을 위하여 특성 조사를 마친 과실의 과육 일부를 떼어내었고, 잎은 과실 수확 후 4회 채취한 시료를 사용하였다. 가지는 11월 14일에 25 ± 5cm 길이의 신초를 주

당 5개씩 채취하였다. 부위별 시료는 80°C에서 48시간 건조시켜, 20mesh 체를 통과하도록 분쇄하여 과실은 무기원소를, 잎과 가지는 무기원소, 탄수화물, 질소화합물을 분석하였다. 무기원소는 건조시료 500mg에 H₂SO₄와 HClO₄를 첨가하여 분해 후 총 N은 Kjeldahl법으로, 인(P)는 vanadate 반응으로 분석하였고, 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 원자흡광장치(AA-6501F, Shimadzu Co., Tokyo)로 측정하였다.

탄수화물로서 가용성당은 건조시료 100mg에 80% ethanol (v/v) 0.9mL를 첨가하여 80°C 항온수조에서 30분간 용출시킨 후 15,000 × g에서 5분 동안 원심분리하여 상정액을 모으는 과정을 2회 반복하여 추출하였다. 남은 잔사에 4.5N HClO₄ 0.9mL를 첨가하여 실온에서 30분간 용출시킨 후 15,000 × g에서 5분 동안 원심분리하여 얻은 상정액을 전분으로 간주하였으며, 이 추출도 2회 반복하였다. 추출 후 anthrone 반응(McCready et al., 1950)으로 가용성당과 전분을 정량하였으며, 포도당(glucose)을 표준당으로 사용하였다.

질소화합물로서 아미노산은 건조시료 100mg에 80% ethanol (v/v) 0.9mL를 첨가하여 80°C에서 30분간 용출시킨 다음 15,000 × g에서 5분간 원심분리하여 상정액을 모으는 과정을 2회 반복하여 추출하였고, 표준 아미노산으로 L-leucine을 사용하여 ninhydrin법(Yemm and Cocking, 1955)으로 정량하였다. 단백질은 아미노산을 추출한 후 남은 잔사에 0.1N NaOH 0.9mL를 넣고 실온에서 30분간 용출시킨 후 15,000 × g에서 5분간 원심분리하여 상정액을 모으는 과정을 2회 반복하여 추출하고, 표준 단백질로 bovine albumin을 사용하여 Bradford 방법(Bradford, 1976)으로 정량하였다. 부위별로 양분 농도를 구하였고, 잎에서는 비엽중과 농도를 곱하여 cm²당 양분 함량을 산출하였다.

토양 분석

처리 이듬해인 2006년 6월 3일에 시험수의 원줄기로부터 약 20cm 거리의 지점에서 깊이 5-10cm 내의 흙을 채취하였으며, 처리별로 합친 후 실험실에서 풍건하여 2mm 체를 통

과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)을 적용하였는데, pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 초자전극법(Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로, 유기물은 Tyurin법으로 적정하였다. Kjeldahl 법으로 총 N을 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법에 따라 비색계(UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로, 치환성 양이온 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺은 1M NH₄OAc로 추출하여 원자흡광분광광도계(Analyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

이듬해 생장 조사

N 시비처리가 이듬해 수체 생장에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2006년 4월 28일에 20 ± 5cm인 결과모지를 주당 10개씩 임의로 선정하여 착뢰수를 조사하였다. 6월 3일에는 주당 신초수와 총 신초장, 엽수를 조사하였고, 주당 20개씩의 잎을 무작위로 채취하여 엽면적, SPAD 값, 비엽중을 측정하였다. 나무의 크기 변화를 알기 위해 2006년 6월 14일에 접목부로부터 8cm 상단의 간주를 측정하여 주간단면적으로 환산하고 2005년 12월 29일 주간단면적으로부터 증가치를 구하였다.

통계 분석

시험구는 반복당 1주씩 완전임의 4반복으로 배치하였고, 시험성적은 SAS 프로그램(Ver. 8.01, SAS Institute Inc., Cary, N.C., 1999-2000)을 이용하여 최소유의차(LSD)검정으로 통계 분석을 하였다.

결 과

과실 크기는 유의적인 차이는 아니지만 N 36g 시비구에서 가장 크고 무시비구에서 가장 작았다(Table 1). 그러나 무시비구의 과실은 적색도와 당도가 높고 경도는 낮아 시비구에 비해 성숙이 빨랐음을 나타냈다. 무시비구와 72g 시비

Table 1. Characteristics and concentrations of inorganic elements of fruits harvested on Nov. 3 as affected by different N rates in pot-grown 'Fuyu' persimmon trees.

N rate ^z (g/tree)	Avg weight (g)	Color (Hunter a)	Firmness (N)	Soluble solids (°Brix)	Inorganic element (% DW)				
					N	P	K	Ca	Mg
0	182 a ^y	30.5 a	19.4 b	17.5 a	0.20 b	0.13 a	0.91 a	0.018 a	0.030 a
36	212 a	21.3 b	23.6 a	15.5 b	0.28 a	0.10 b	0.81 a	0.024 a	0.031 a
72	193 a	19.5 b	23.4 a	14.8 b	0.27 a	0.11 ab	0.82 a	0.023 a	0.028 a

^zFertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate.

^yMean separation within columns by LSD test at *P* ≤ 0.05.

구에서 적색도 Hunter a값은 각각 30.5와 19.5, 당도는 각각 17.5와 14.8°Brix로 큰 차이를 보였다. 차이는 작았지만 72g 시비구가 36g 시비구에 비해 적색도와 당도가 낮아 성숙이 지연된 경향이였다. 과육의 무기원소 농도를 분석한 결과, N을 시용하지 않은 나무에서 N이 낮고 P는 높았다. SPAD 값은 과실 수확 후 11일 동안 모든 처리구에서 뚜렷하게 감소하여 이 기간에 엽록소 함량 감소와 함께 노화가 빠르게 진행되었음을 나타내었다(Fig. 1A). SPAD 값이 가장 낮았던 무시비구는 11월 3일 19.2에서 11월 14일에 7.4로 낮아진 반면, 가장 높았던 72g 시비구는 54.9에서 32.5로 낮아져 감소 폭이 더 컸다. 비엽층은 수확 후 모든 처리구에서 점진적으로 감소하였는데, 시비구에 비해 무시비구에서 유의적으로

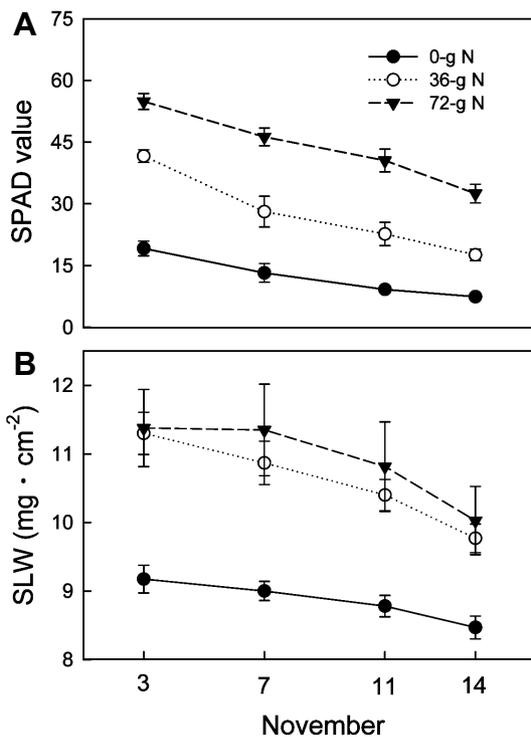


Fig. 1. Changes in SPAD value and SLW (specific leaf weight) after fruit harvest on Nov. 3 in 'Fuyu' persimmons that had received different N rates during summer. The trees were fertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate. Bars indicate SE (n = 4).

낮았고, 36g과 72g 시비구의 차이는 크지 않았다(Fig. 1B).

Table 2는 11월 3일에 채취한 잎의 무기원소 및 유기화합물의 농도를 나타낸 것이다. N은 무시비구에서 0.87%였으나 36g 시비구는 1.18%, 72g 시비구는 1.52%로 증가하여 시비량 효과가 가장 뚜렷하였다. P 농도는 36g 시비구에서 가장 낮았으나 시비량에 따른 일관된 차이는 찾을 수 없었다. K, Ca, Mg의 농도는 시비량이 증가할수록 오히려 낮은 경향이였다. 잎의 탄수화물은 무시비구에 비해 시비구에서 높은 경향이였으며, 특히 가용성당은 무시비구에서 6.1%였으나 시비구에서는 9.3-9.7%로 유의적인 증가를 보였다. 질소화합물 중 아미노산은 시비구가 0.68-0.70%로 무시비구의 0.50%에 비해 유의적으로 높은 반면 단백질은 시비량에 따른 일관된 변화가 없었다.

Figs. 2와 3은 과실 수확 후 잎의 양분 함량 변화를 명확히 파악하기 위하여 단위 엽면적당 함량을 시기별로 나타낸 것이다. 11월 3일에 N은 무시비구에서 $80\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 이었으나, 36g과 72g 시비구는 각각 133 과 $172\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 으로 높아 시비량에 따른 차이가 컸다(Fig. 2A). 이후 11일 동안 N은 54 - $106\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 감소하였는데, 감소량은 72g 시비구에서 가장 많았고 무시비구에서 적었다. 잎의 P는 11월 3일에 72g 시비구가 $13.9\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 가장 높았다가 11월 14일에 $8.9\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 낮아졌고, 무시비구와 36g 시비구는 10.3 - $10.7\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 으로 비슷한 수준이었다가 36g 시비구가 더 많이 감소하였다(Fig. 2B). K 함량은 모든 처리구에서 점진적으로 감소하는 경향이였으나 무시비구에서 가장 높게 유지된 것이 특징이었다(Fig. 2C). Ca 함량은 무시비구에서 가장 낮았으며 조사기간 동안 일관된 변화가 없었다(Fig. 2D). Mg는 시비량에 따른 차이가 크지 않았고 노화에 따른 변화도 일정하지 않았다(Fig. 2E).

단위 엽면적당 가용성당 함량은 11월 3일에 무시비구가 $557\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, 시비구가 $1,062$ - $1,127\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 시비구에서 현저하게 높았으나, 11월 14일까지 36g 시비구의 감소량이 가장 많았고, 무시비구는 감소량이 가장 적었다(Fig. 3A). 전분도 가용성당 함량 변화와 비슷한 양상을 보였다(Fig. 3B).

Table 2. Concentrations of inorganic elements and organic compounds of the leaves collected on Nov. 3 as affected by different N rates in pot-grown 'Fuyu' persimmon trees.

N rate ^z (g/tree)	Inorganic element (% DW)					Organic compound (% DW)			
	N	P	K	Ca	Mg	Soluble sugars	Starch	Amino acids	Protein
0	0.87 c ^y	0.112 a	1.64 a	0.66 a	0.192 a	6.1 b	2.1 a	0.50 b	0.92 a
36	1.18 b	0.095 b	1.13 b	0.62 a	0.149 ab	9.3 a	2.6 a	0.70 a	0.94 a
72	1.52 a	0.121 a	0.99 b	0.61 a	0.127 b	9.7 a	2.5 a	0.68 a	0.76 a

^zFertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36-g N rate and from June 1 to July 29 for the 72-g N rate.

^yMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

아미노산 함량은 무시비구가 $46\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 현저히 낮았고 시비구는 $78\text{--}79\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 높았는데, 11일 동안 36g 시비구가 $47\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 급격히 감소한 반면, 무시비구와 72g 시비구는 감소가 느렸다(Fig. 3C). 단백질 함량은 36g 시비구가 높고 무시비구와 72g 시비구는 비슷하게 낮은 수준이었으나, 11일 동안 무시비구는 뚜렷한 변화가 없는 반면 36g 시비구는 약간 감소하고 72g 시비구는 증가하여 시비 반응이 달랐다(Fig. 3D).

11월 14일에 채취한 휴면 가지의 무기원소와 유기화합물의 농도는 Table 3과 같다. N 농도는 무시비구에서 0.65%였으나 36g과 72g 시비구는 각각 0.78과 0.81%로 N 시비 효과가 뚜렷하였다. K, Ca, Mg 농도는 시비량이 많을수록 낮

아지는 경향이였다. 유의적인 차이는 아니었지만 가용성당과 전분은 무시비구보다 시비구에서 높았다. 아미노산은 무시비구에서 0.42%였으나 36g 시비구에서 0.50%, 72g 시비구에서 0.70%로 증가하여 유의적인 시비효과를 나타내었으며, 단백질 농도도 시비구에서 높은 경향이였다. 처리 당년의 주간단면적 증가는 무시비구에서 0.7cm^2 이었지만 72g 시비구에서는 1.7cm^2 로 증가하여 시비량이 많을수록 유의적으로 컸다.

처리 이듬해 6월 3일에 조사한 토양은 전년도에 시비량이 많을수록 pH와 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 함량이 낮고, 유효인산 함량은 높은 경향이였다(Table 4). 그러나 총 N은 전년도 시비량에 의한 영향이 뚜렷하지 않았다. Table 5는 N 시비가 이듬해 초기 생장에 미친 영향을 나타낸 것이다. 적외 전 결과모지당 착륙수는 36g 시비구에서 7.3개, 72g 시비구에서 7.9개로서 시비구간에 차이가 크지 않았으나 무시비구는 1.4개로 현저하게 적었다. 총신초장은 전년도 시비량이 많을수록

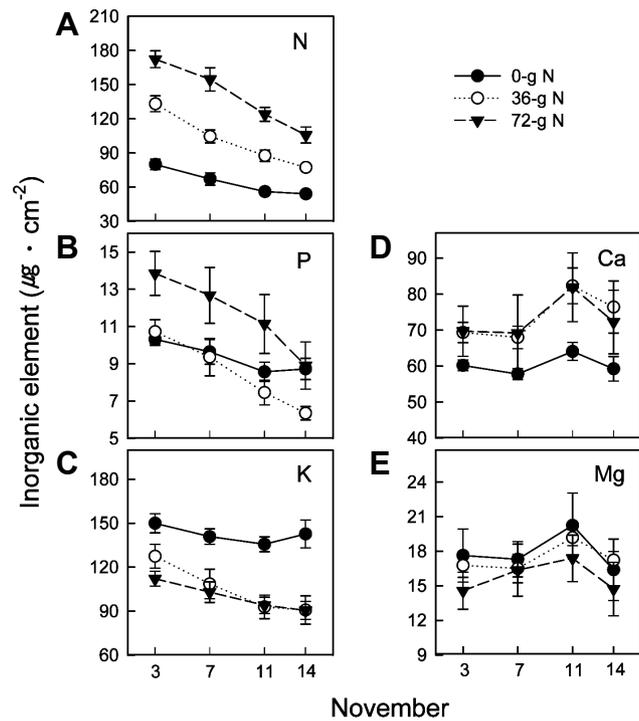


Fig. 2. Changes in contents of inorganic elements per unit leaf area after fruit harvest on Nov. 3 in 'Fuyu' persimmons that had received different N rates during summer. The trees were fertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate. Bars indicate SE (n = 4).

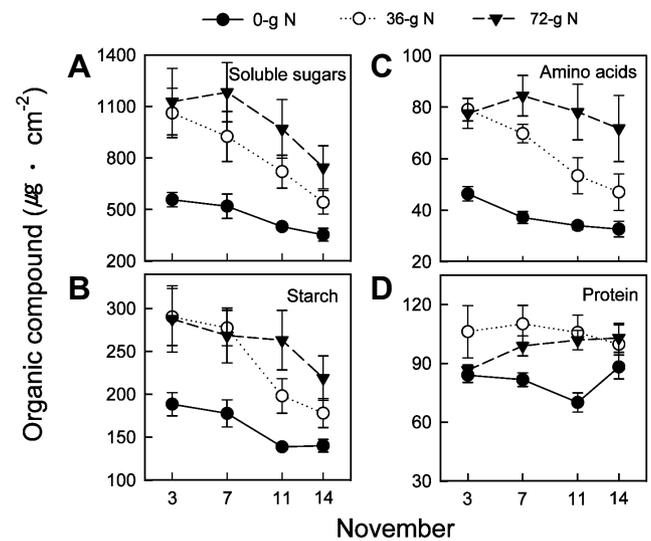


Fig. 3. Changes in contents of organic compounds per unit leaf area after fruit harvest on Nov. 3 in 'Fuyu' persimmons that had received different N rates during summer. The trees were fertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate. Bars indicate SE (n = 4).

Table 3. Concentrations of inorganic elements and organic compounds of the shoots collected on Nov. 14 and increment of trunk cross-sectional area (TCSA) as affected by different N rates in pot-grown 'Fuyu' persimmon trees.

N rate ^z (g/tree)	Inorganic element (% DW)					Organic compound (% DW)				TCSA ^y increment (cm ²)
	N	P	K	Ca	Mg	Soluble sugars	Starch	Amino acids	Protein	
0	0.65 b ^x	0.22 a	0.77 a	0.28 a	0.112 a	8.7 a	7.4 a	0.42 b	0.60 a	0.7 c
36	0.78 a	0.20 a	0.73 ab	0.27 a	0.084 b	9.5 a	8.4 a	0.50 b	0.69 a	1.1 b
72	0.81 a	0.19 a	0.63 b	0.21 a	0.072 b	9.5 a	9.7 a	0.70 a	0.70 a	1.7 a

^zFertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate.

^yChanges in trunk cross-sectional area between April 29 and Dec. 29 the treatment year.

^xMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

Table 4. Chemical properties of soil collected on June 3 the following year from pots that had received different N rates the previous year.

N rate ^z (g/tree)	pH (1:5)	O.M (g·kg ⁻¹)	T-N (g·kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c ·kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
0	7.0	40	2.6	335	1.52	14.1	3.3
36	6.9	43	3.0	414	1.42	13.1	3.1
72	5.7	37	2.8	436	1.23	10.9	2.9

^zFertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate.

Table 5. Tree growth of pot-grown 'Fuyu' persimmon the following year as affected by different N rates the previous year.

N rate ^z (g/tree)	Flower buds ^y (No./mother branch)	Shoot ^x		Leaf ^x				TCSA ^w increment (cm ²)
		Number (No./tree)	Length (cm/tree)	Number (No./tree)	Avg area (cm ²)	SPAD value	SLW (mg·cm ⁻²)	
0	1.4 b ^v	47 a	448 b	233 a	79 a	29.7 b	7.5 b	0.4 b
36	7.3 a	49 a	688 ab	299 a	90 a	40.1 a	8.4 a	1.0 a
72	7.9 a	47 a	839 a	313 a	94 a	42.2 a	8.4 a	1.2 a

^zFertigated with urea solution from June 1 to 28 for the 36 g N rate and from June 1 to July 29 for the 72 g N rate.

^yCounted on April 28 from ten of 1-year-old shoots of 20 ± 5 cm in length.

^xMeasured on June 3.

^wChanges in trunk cross-sectional area between Dec. 29 the previous year and June 14 the following year.

^vMean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

현저히 커, 72g 시비구는 무시비구의 1.9배에 달하였다. 주당 잎수, 엽면적도 전년도 시비에 의해 증가한 경향이었고, SPAD 값과 비엽중은 시비구에서 현저하게 높았다. 주간단면적 증가는 무시비구 0.4cm², 36g 시비구 1.0cm², 72g 시비구는 1.2cm²로 전년도 시비에 의해 유의적으로 증가하였다.

고 찰

과실 성숙이 N 무시비구에서 빨라지고 시비량 증가에 의해 성숙이 늦어진 것(Table 1)은 선행 연구(Choi et al., 2008, 2012; Park, 2002b)에서도 확인된 결과이다. 이는 N 흡수량이 많을수록 당이 N 대사의 탄소원과 에너지로 소모되는 양이 많아지기 때문(Cheng and Fuchigami, 2002; Cheng et al., 2004)으로, 시비구의 당도 감소도 과육의 높은 N 농도와 관련 있을 것으로 생각된다. 36g과 72g 시비구 사이에는 2배의 시비량 차이가 있음에도 불구하고 과실(Table 1), 잎(Table 2), 가지(Table 3)의 N 농도 차이가 작았고 잎과 가지의 탄수화물과 질소화합물 차이도 크지 않았다. 이러한 반응은 다른 연구결과에서도 찾을 수 있는데(Choi et al., 2012), 식물체의 흡수 조절작용 때문에 시비량을 늘리더라도 N 흡수가 제어되었거나(Marschner, 1995), 주간단면적 증가에서 나타난 바와 같이 N 및 동화산물이 수체 생장에 이용되어 희석되었기 때문일 것이다. 이듬해 두 시비구의 수체 생장(Table 5)을 비교해 보더라도 N 흡수량의 차이가 크지 않았

음을 짐작할 수 있다. 그러나 관수 후 용기 밖으로 물이 빠질 때 생기는 N의 용탈을 감안하면, 수체의 N 흡수량 차이는 관수량의 영향도 받았을 것으로 생각된다.

N 시비량이 많을수록 SPAD 값이 높은 것(Fig. 1A)으로 보아 N 시비 후 잎의 광합성 능력이 높아져 수체 생장을 촉진했을 것이다. 그 결과 시비구에서 처리 당년의 주간단면적과 비엽중이 크고, 잎과 가지의 탄수화물 농도도 높아진 것으로 생각된다. 수확 후 SPAD 값과 더불어 비엽중이 점진적으로 감소한 것은 이 기간에 잎의 노화가 진행되면서 동화산물을 비롯한 건물이 영구기관으로 이동되었음을 시사한다. 무시비구의 잎과 가지에서 K, Ca, Mg 농도가 시비구보다 높은 것(Tables 2 and 3)은 생장량 감소로 상대적으로 농도가 높아진 탓도 있겠지만, Table 4의 토양화학적에서 나타난 바와 같이 N 시비에 따른 토양화학성 변화로 시비구의 이들 원소 흡수량이 적었을 가능성도 크다. N 비료로 사용한 요소의 NH₄⁺ 일부가 질산화작용에 의하여 질산태로 되는 과정에서 H⁺가 용출되어 토양에 남아, 양이온인 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺와 길항작용을 일으켜 이들을 감소시키고 H₂PO₄와 같은 인산 음이온을 증가시킬 수 있기 때문이다(Rowell, 1994). 잎의 K 함량(Fig. 2C)이 무시비구에서 오히려 높게 유지된 것도 이러한 토양화학성의 변화 때문으로 추측된다.

가을철 과실 성숙기 동안 감나무 잎의 무기원소 농도는 조사 연도 및 연구자에 따라 차이가 있지만, N, P, K는 감소하는 경향이고 Ca, Mg 농도는 일관된 변화가 없는 것으로

보고되어 왔다(Clark and Smith, 1990; George et al., 1995; Park, 2002a). 수확 후 단위 엽면적당 양분 함량을 조사한 결과(Fig. 2), 앞서 보고된 농도 변화 양상과 크게 다르지 않았지만 이들 원소의 변화를 보다 명확히 파악할 수 있었다. 또한 노화가 잎의 유기화합물의 농도는 재배환경에 따라 변화 양상이 다르지만(Park et al., 2003) 본 연구에서는 가용성당, 전분, 아미노산 함량(Fig. 3)이 노화와 함께 일관되게 감소하는 것으로 확인되었다. 따라서 잎의 N, P, K, 탄수화물, 아미노산은 노화가 진행될수록 영구기관으로 이동이 활발하고, 잎의 노화가 충분히 진행되지 못한 상태에서 서리로 낙엽이 된다면 많은 양의 양분이 수체로 이동되지 못하고 잃을 수 있음을 알 수 있다. 수확 후 낙엽이 빠를수록, N 시비 수준이 높은 나무에서는 잎의 노화가 느리므로 영구기관으로 이동된 잎의 양분이 N 시비 수준이 낮은 나무보다 적을 수 있을 것으로 생각된다. 반면 서리가 늦어 충분히 노화된 후 낙엽이 된다면, N 시비 수준이 높아 잎에 양분을 많이 포함한 나무가 영구기관으로 많은 양분을 이동시키는 데 유리할 것이다. 그러나 함량 변화가 적었던 Ca, Mg는 노화가 오랫동안 진행되더라도 영구기관으로 이동되는 양에는 큰 차이가 없을 것으로 예상된다.

잎(Table 2)과 가지(Table 3)에서 단백질보다 아미노산 농도가 N 시비량에 따라 더 민감하게 반응하였는데, 이는 N 시비량이 많을 때는 수체 내 N 저장 형태로서 아미노산이 단백질보다 에너지 소모가 적기 때문(Cheng et al., 2004)으로 여겨진다. 본 연구에서 잎의 양분 변화는 수확 후 11일 동안의 짧은 기간에 한정되어 있어 가지의 저장양분 축적 정도와 관련시키기 어려운 점이 있으나, 수확 후 낙엽 때까지 잎의 양분 감소 차이가 처리간에 크지 않은 것으로 보아 수확 전까지 잎의 양분 이동이 저장양분에 더 큰 영향을 주었을 가능성이 높다. 그러므로 저장양분 축적을 도모하기 위해서는 여름철에 수체 내 N 수준을 적절히 유지하여 탄소동화작용을 촉진할 뿐만 아니라 낙엽 때까지 잎의 양분 이동이 많아지도록 해야 할 것으로 생각된다.

전년도 N 시비량에 의해 이듬해 착륙수 차이가 나타난 것은 다른 과수에서 알려진 대로 여름철 수체 내 N이 꽃눈분화 촉진에 매우 중요한 역할을 하기 때문이다(Faust, 1989). 이듬해 신초의 길이 생장이 끝난 후에 조사되긴 했지만, 토양의 총 N 함량이 전년도 시비량에 따른 차이가 없는 것으로 보아 이듬해 토양 N이 수체 생장에 미친 영향은 크지 않음을 짐작할 수 있다. 따라서 전년도 시비량이 많을수록 이듬해 총신초장, 잎 생장, 주간단면적 등이 증가한 것은 수체 생장과 더불어 가지의 N, 탄수화물, 질소화합물의 농도(Table 3)에 반영된 저장양분의 증가 때문(Choi et al., 2009;

Kim et al., 2009; Titus and Kang, 1982; Xia and Cheng, 2004)으로 판단된다.

본 연구의 결과로 잎의 노화에 서리가 빨리 올 수 있는 지역에서는 과실의 성숙, 잎의 양분 이동 및 저장양분 축적을 고려한 N 시비량 조절이 매우 중요함을 알 수 있었다. 여름 N 시비량에 따른 과실 특성, 잎의 노화와 양분 변화, 저장양분 축적, 이듬해 성장 결과는 수체의 N 시비 반응을 이해하고 시비량을 조절하는데 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

초 록

본 연구는 여름 N 시비가 4년생 용기재배 유목의 과실 특성, 수확 후 잎의 양분 변화, 저장양분의 축적 및 이듬해 초기 생장에 미치는 영향을 파악하고자 수행되었다. 시비는 요소를 사용하여 N을 주당 0g(무시비구), 6월 36g 또는 6-7월 72g씩 관주하여 처리하였다. 11월 3일에 모든 과실을 수확하였는데, 유의적인 차이는 없었지만 시비구의 과실이 큰 경향이였다. 무시비구의 과실은 N 농도가 낮았으며, 과육이 무르고 색도와 당도는 높아 성숙이 빨랐음을 나타내었다. 잎의 SPAD 값은 11월 3일에 무시비구에서 19.2로 가장 낮고 72g 시비구는 54.9로 가장 높았으며, 11월 14일까지 모든 처리구에서 직선적으로 감소하여 이 기간에 잎의 노화 속도가 빨랐음을 알 수 있었다. 비엽층은 무시비구에서 가장 낮았고 모든 처리구에서 수확 후 점진적으로 감소하였다. 11월 3일에 채취한 잎의 N은 무시비구에서 0.87%였으나 36g 시비구는 1.18%, 72g 시비구는 1.52% 증가하여 시비량의 효과가 뚜렷하였다. 잎의 가용성당, 전분, 아미노산 농도는 무시비구보다 시비구에서 높은 경향이였다. 수확 후 11일 동안 잎의 단위면적당 N, P, K, 가용성당, 전분, 아미노산 함량이 점진적으로 감소하였으며 감소량은 무시비구에서 가장 적었다. 그러나 잎의 Ca와 Mg, 단백질 함량은 일관된 변화를 보이지 않았다. 11월 14일에 채취한 휴면가지의 N 농도는 무시비구보다 시비구에서 유의적으로 높고 가용성당, 전분, 아미노산, 단백질 농도도 시비구에서 높은 경향이였다. 시비량이 많을수록 처리 당년의 주간단면적은 유의적으로 증가하였다. 처리 이듬해 1년생 가지당 착륙수는 무시비구에 비해 시비구에서 5배 이상 많았으며, 72g 시비구의 총신초장은 무시비구의 1.9배에 달하였으나 시비구간에는 유의적인 차이가 없었다. 그러므로 여름 N 시비량은 과실의 성숙, 잎의 양분 이동 및 저장양분 축적 변화 등 고려하여 조절해야 할 것으로 판단되었다.

추가 주요어 : 탄수화물, 질소화합물, 양분, 노화, SPAD

인용문헌

- Agustí, M., M. Juan, A. Martínez-Fuentes, C. Mesejo, and V. Almela. 2004. Calcium nitrate delays climacteric of persimmon fruit. *Ann. Appl. Biol.* 144:65-69.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- Cheng, L. and L.H. Fuchigami. 2002. Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiol.* 22:1297-1303.
- Cheng, L., L.H. Fuchigami, and D. Ranwala. 2004. Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiol.* 24:91-98.
- Choi, S.T., G.H. Ahn, Y.C. Lee, and S.M. Kang. 2008. Effect of different autumnal nitrogen application dates on fruit characteristics and storage reserves of 'Fuyu' persimmon. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49:25-29.
- Choi, S.T., D.S. Park, Y.C. Cho, and S.M. Kang. 2009. Tree responses of 'Fuyu' persimmon to urea nitrogen applied at different times during the late season. *Acta Hort.* 833:307-311.
- Choi, S.T., D.S. Park, S.M. Kang, and S.K. Kang. 2012. Influence of leaf-fruit ratio and nitrogen rate on fruit characteristics, nitrogenous compounds, and nonstructural carbohydrates in young persimmon trees. *HortScience* 47:410-413.
- Clark, C.J. and G.S. Smith. 1990. Seasonal changes in the mineral nutrient content of persimmon leaves. *Sci. Hort.* 42:85-97.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* Wiley and Sons Inc., NY, USA, p. 79.
- George, A.P., A.D. Mowat, R.J. Collins, and M. Morley-Bunker. 1997. The pattern and control of reproductive development in non-astringent persimmon (*Diospyros kaki* L.): A review. *Sci. Hort.* 70:93-122.
- George, A.P., R.J. Nissen, R.J. Collins, and G.F. Haydon. 1995. Seasonal leaf nutrient patterns and standard leaf nutrient levels for non-astringent persimmon in subtropical Australia. *J. Hort. Sci.* 70:807-816.
- Kim, Y.K., C.S. Lim, S.M. Kang, and J.L. Cho. 2009. Root storage of nitrogen applied in autumn and its remobilization to new growth in spring of persimmon trees (*Diospyros kaki* cv. Fuyu). *Sci. Hort.* 119:193-196.
- Loescher, W.H., T. McCamant, and J.D. Keller. 1990. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. *HortScience* 25:274-281.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrient of higher plants.* Academic press, San Diego, CA, USA. p. 218-221.
- McCready, R.M., J. Guggolz, V. Silveira, and H.S. Owens. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Anal. Chem.* 22:1156-1158.
- Millard, P. and G.H. Nielsen. 1989. The influence of nitrogen supply on the uptake and remobilization of stored N for the seasonal growth of apple trees. *Ann. Bot.* 63:301-309.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. *Analytical methods of soil and plant.* NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Niederholzer, F.J.A., T.M. DeJong, J.L. Saenz, T.T. Muraoka, and S.A. Weinbaum. 2001. Effectiveness of fall versus spring soil fertilization of field-grown peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125:644-648.
- Oland, K. 1963. Changes in the content of dry matter and major nutrient element of apple foliage during senescence and abscission. *Physiol. Plant.* 16:682-692.
- Oliveira, C.M. and A. Priestley. 1988. Carbohydrate reserves in deciduous fruit trees. *Hort. Rev.* 10:403-430.
- Park, S.J. 2002a. Changes of inorganic elements in senescing Fuyu leaves at two locations differing the time of abscission. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:106-109.
- Park, S.J. 2002b. Effect of irrigation and N levels on fruit quality and nutrient distribution in 'Fuyu' persimmon tree parts during the final stages of fruit growth. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43: 321-325.
- Park, S.J., Y.G. Kim, J.C. Kim, J.L. Cho, and Y.C. Lee. 2003. Changes in organic nutrients of senescing Fuyu leaves at two locations differing in the time of abscission. *Acta Hort.* 601: 73-78.
- Rowell, D.L. 1994. *Soil science: methods and applications.* Longman Scientific and Technical, Essex, England. p. 153-159.
- Sanchez, E.E. and T.L. Righetti. 1990. Tree nitrogen status and leaf canopy position influence postharvest nitrogen accumulation and efflux from pear leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:934-937.
- Tagliavini, M., P. Millard, M. Quartieri, and B. Marangoni. 1999. Timing of nitrogen uptake affects winter storage and spring remobilisation of nitrogen in nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) trees. *Plant and Soil* 211:149-153.
- Titus, J.S. and S.M. Kang. 1982. Nitrogen metabolism, translocation and recycling in apple trees. *Hort. Rev.* 4:204-246.
- Xia, G. and L. Cheng. 2004. Foliar urea application in the fall affects both nitrogen and carbon storage in young 'Concord' grapevines grown under a wide range of nitrogen supply. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:653-659.
- Yemm, E.W. and E.C. Cocking. 1955. The determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst* 80:209-213.