

博士學位論文

濟州地域에서 重窒素 標識 尿素를 利用한
溫州蜜柑의 適定 窒素施肥量 決定



濟州大學校 大學院

農化學科

李 信 燦

2002年 12月

濟州地域에서 重窒素 標識 尿素를 利用한
溫州蜜柑의 適定 窒素施肥量 決定

指導教授 柳 長 杰

李 信 燦

이 論文을 農學博士學位 論文으로 提出함

2002年 12月



李信燦의 農學博士學位 論文을 認准함

審査委員長_____

委 員_____

委 員_____

委 員_____

委 員_____

濟州大學校 大學院

2002年 12月

Nitrogen Fertilizer Optimization of Satsuma
Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) Using
 ^{15}N -Labelled Urea in Jeju Island.

Shin-Chan Lee

(Supervised by Professor Zang-Kual U.)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF
AGRICULTURE

2002. 12.

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

目 次

目 次	i
SUMMARY	iii
I. 序 論	1
II. 研 究 史	3
III. 材 料 및 方 法	9
1. 지역별 포장 선정 및 중질소(¹⁵ N-urea) 처리	9
2. 시료 채취 및 분석방법	12
3. 온주밀감의 질소 이용률	15
IV. 結 果 및 考 察	18
1. 질소시비 수준에 따른 온주밀감원 토양의 화학성 변화	18
가. 남원 온주밀감원 토양의 화학성 변화	18
나. 제주시 온주밀감원 토양의 화학성 변화	19
2. 질소시비 수준에 따른 온주밀감의 건물중과 질소함량 및 과실특성 ..	19
가. 남원 온주밀감의 건물중과 질소함량	19
나. 제주시 온주밀감의 건물중과 질소함량	25
다. 과실 수량 및 품질특성	31

3. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감 엽과 과실 중 %Ndff 변화 ..	33
가. 남원 온주밀감 엽 중 %Ndff 변화	33
나. 제주도 온주밀감 엽 중 %Ndff 변화	36
다. ^{15}N -urea에 의한 과실 중 %Ndff 변화	39
4. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감나무 중 질소성분 분포	42
가. 온주밀감나무의 가지위치별 질소성분 분포	42
나. 온주밀감나무의 부위별 질소성분 분포	49
다. 온주밀감나무의 부위별 질소성분 분포비	57
5. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감나무의 질소 이용률	67
가. 온주밀감 과실의 질소 이용률	67
나. 온주밀감 나무의 질소 이용률	72
6. ^{15}N -urea에 의한 온주밀감원 토양질소의 잔존 및 손실	78
가. 남원 온주밀감원 토양의 질소 잔존율	78
나. 제주도 온주밀감원 토양의 질소 잔존율	81
다. 남원 온주밀감원 토양의 질소 손실량	83
라. 제주도 온주밀감원 토양의 질소 손실량	85
7. ^{15}N -urea를 이용한 온주밀감원의 질소 적정시비량 결정	86
가. 남원 온주밀감원	86
나. 제주도 온주밀감원	87
V. 摘要	89
VI. 引用文獻	93

SUMMARY

This study was carried out to optimize nitrogen fertilizer application rate of Satsuma mandarin trees (*Citrus unshiu* Marc.) using ^{15}N -labelled urea in Jeju island for the period of 1996 to 1998. One of the citrus orchards used was in Namwon area with 26year-old trees, treated with 15 to 90 kg N/10a, and another one in Jeju-si area with 18 year-old, treated with 10 to 80 kg N/10a annually. The %Ndff, nitrogen content, and the weight of fruits and trees were measured, from which the optimum amount for nitrogen fertilizer application was calculated.

1. Change of soil properties by nitrogen fertilizer application.

By increasing the nitrogen fertilizer application rates, soil pH of Namwon and Jeju-si area orchards was decreased from 5.2 to 4.9 and from 4.7 to 4.5, respectively. Nitrate contents in both orchards were increased from 15 to 53 mg/kg and from 6 to 30 mg/kg, respectively.

2. Change of tree weight and characteristics of fruits by nitrogen fertilizer application.

High level of nitrogen fertilizer application increased the nitrogen contents in all the parts of citrus trees. There was significant increase of nitrogen contents in green wood, 2-4 year old green wood, secondary scaffold branch, primary scaffold branch, trunk, fine root, medium root, large root, very large root in Namwon area and in new flush leaves, old leaves, 2-4 year old green wood, lateral branch, secondary scaffold branch, primary scaffold branch in Jeju-si area. In 26 year-old citrus

trees of Namwon area, the dry weight distribution was 8.1% in new flush leaves, 2.1% in old leaves, 5.0% in green wood, 7.8% in 2-4 year old green wood, 8.8% in lateral branch, 14.4% in secondary scaffold branch, 10.7% in primary scaffold branch, 7.4% in trunk, 2.8% in fine root, 4.9% in small root, 4.1% in medium root, 5.5% in large root, and 18.5% in very large root. In 18 year-old citrus trees in Jeju-si area, the dry weight distribution was 8.4% in new flush leaves, 2.2% in old leaves, 4.5% in green wood, 6.4% in 2-4 year old green wood, 6.4% in lateral branch, 14.8% in secondary scaffold branch, 13.3% in primary scaffold branch, 5.8% in trunk, 2.8% in fine root, 2.8% in small root, 4.9% in medium root, 5.5% in large root, and 22.3% in very large root.

High level of nitrogen application rates in Jeju-si area increased peel thickness of fruits significantly from 2.36 to 2.63 mm. But there was no change in sugar and acid content by increasing nitrogen fertilizer application in both area.

3. Change of %Ndff in citrus leaves and fruits by ^{15}N -urea application time.

In two areas, summer application of ^{15}N -labelled urea increased % nitrogen derived from fertilizer (%Ndff) of new flush leaves linearly and quickly but increased that of old leaves slowly. Application of spring and autumn fertilizer increased %Ndff of new flush and old leaves slightly. In Jeju-si area, %Ndff of new flush and old leaves was increased very slowly by autumn fertilization but accelerated in March. When ^{15}N -urea was applied as summer fertilizer in 1996, %Ndff of the fruits harvested in autumn was 3.0~6.1% in Namwon area and 0.4~2.9% in Jeju-si area. In the followed year of 1997, %Ndff of fruits decreased to 1.4~4.3% in Namwon area but increased to 1.1~4.2% in Jeju-si area.

4. Nitrogen content distribution of citrus tree by ^{15}N -urea application time.

The nitrogen was more translocated to the upper parts of the trees than the lower parts, more to the long branches than to the short ones, and more to the vertical branches than the horizontal ones.

In two areas, %Ndff distribution of each part above the ground was in order of fruits» leaves» green wood» 2-4 year old green wood» lateral branch» secondary scaffold branch» primary scaffold branch» trunk, and that under the ground was in order of fine root» small root» medium root» large root» very large root.

It was noticeable that %Ndff distribution level of fine root was quite higher among the parts under the ground, similar to those of lateral branch, 2-4 year old green wood and fruits.



5. Nitrogen fertilizer recovery by fruits and trees by ^{15}N -urea application time.

Nitrogen recoveries of the fruits harvested in 1997 in Namwon area were 0.51~2.2% by autumn fertilization, 1.3~2.9% by summer fertilization and 1.2~3.2% by spring fertilization. Nitrogen recoveries of the fruits harvested in 1998 were 0.9~1.5% by spring fertilization, 1.5~4.8% by autumn fertilization, and 0.5~6.2% by summer fertilization.

Nitrogen recoveries of the fruits harvested in 1997 in Jeju-si area were 1.3~3.1% by spring fertilization, 2.0~3.5% by autumn fertilization and 3.7~5.2% by summer fertilization. Nitrogen recoveries of the fruits harvested in 1998 were 1.5~2.7% by spring fertilization, 3.1~7.2% by summer fertilization and 1.3~8.3% by autumn fertilization.

Nitrogen recoveries of the trees collected in March, 1998 in Namwon area were 1.4~3.1% by spring fertilization, 2.1~6.7% by summer fertilization and 4.1~11.7% by autumn fertilization. However nitrogen recoveries of the trees collected in December, 1998 were 1.7~5.5% by spring fertilization, 3.8~9.0% by summer fertilization and 3.4~12.7% by autumn fertilization.

Nitrogen recoveries of the trees collected in March, 1998 in Jeju-si area were 2.0~4.0% by spring fertilization, 2.5~4.8% by autumn fertilization and 5.5~10.2% by summer fertilization. However, nitrogen recoveries of the trees collected in December, 1998 were 3.5~4.7% by spring fertilization, 3.9~4.8% by autumn fertilization and 3.0~9.6% by summer fertilization.

6. Residual rate of nitrogen fertilizer in soils.

Nitrogen residual rates in soils collected in March, 1998 in Namwon area were 3.7~6.7% from spring fertilization, 5.6~9.9% from autumn fertilization and 6.7~19.3% from summer fertilization. And nitrogen residual rates in soils collected in December, 1998 in Namwon area were 5.7~9.8% from spring fertilization, 6.3~18.7% from autumn, and 8.1~20.6% from summer fertilization. Nitrogen residual rates in soils collected in March, 1998 in Jeju-si area were 8.9~32.2% from spring fertilization, 13.0~57.9% from autumn fertilization and 34.3~53.7% from summer fertilization. And nitrogen residual rates in soils collected in December, 1998 in Jeju-si area were 10.6~33.4% from summer fertilization, 8.0~60.1% from spring fertilization, and 19.0~76.2% from autumn. Applied nitrogen fertilizer was lost much more in Namwon area with volcanic ash soil and higher rain fall than in Jeju-si area with non-volcanic soil and lower rain fall.

7. Determination of optimum application rate of nitrogen fertilizer for citrus trees.

Optimum application rate of nitrogen fertilizer in Namwon area was calculated as 36.5 kg N/10a, and in Jeju-si area as 13.7 kg N/10a.



I. 序 論

제주지역에서의 온주밀감(*Citrus unshiu* Marc.)은 겨울철 온화한 기후와 다양한 토양에서도 재배가 잘 되고, 소득이 비교적 높기 때문에 1961년도에 63.6ha에 불과하던 감귤 재배 면적은 1999년에는 25,802ha로 크게 증가하였고 제주지역 농업소득 면에서 차지하는 비중도 가장 높은 작물이다(제주도, 1965; 2000). 제주지역 감귤원 토양은 대부분 화산회토양으로 물리성이 양호하나 난분해성 유기물의 집적과 시용 인산의 불용화 및 염기의 용탈이 쉬운 토양 특성을 지니고 있어 비옥도가 낮고 생산성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(朴 등, 1975; 愼과 金, 1975). 감귤재배 농가에서는 1960년대에 질소비료의 효과를 경험한 바 있으며, 1970년대에는 국가적 시책에 의해서 충분한 화학비료를 공급받으면서, 비옥도가 낮은 토양에서 생산량을 늘리려는 욕구 때문에 많은 비료를 사용하게 되었다. 한편, 제주도내 연구기관들은 감귤 재배 면적의 증가로 농업에서 비중이 커지면서 생산성에 중점을 두고 적정 시비량 연구를 해왔으나(오와 문, 1969; 金 등, 1969; 정 등, 1972; 문 등, 1993), 뚜렷한 결과를 얻지 못하여 왔다. 1990년 후반에 들어서면서 감귤원에서 과다 시비로 인해 일부 감귤 농가들은 이상낙엽과 감귤나무의 고사장해를 경험한 바 있고, 경작기간이 오래된 감귤원 토양의 경우 pH가 4.9로 낮아지고(강 등, 1999), 염기의 불균형과 품질 저하를 초래하였으며, 지하수 중 질산태질소함량의 증가는 농경지에 과다 시비된 화학비료에 의해 영향을 많이 받고 있는 것으로 알려져 있다(송 등, 1997; 유, 1994). 따라서 감귤나무를 대상으로 한 적정 시비량에 대한 연구가 충분하게 이루어지지 않은 상황에서 고품질 감귤생산을 위해 무리한 시비감량을 시도하는 것은 바람직하지 못하다. 왜냐하면 지나친 시비감량이 격년결과를 초래하고, 이상기상이라든지 각종 병해충에 대한 저항성이 낮아지고 감귤의 저장성에도 나쁜 영향을 끼칠 수 있어(Iwakiri와 Nakahara, 1981) 보다 객관적인 연구결과가 필요하기 때문이다. 작물에 대한

적정시비량 연구는 비료흡수량, 천연공급량, 비료 이용률을 통해 산출하는 표준방법과 여러 가지 비료수준으로 시비량시험을 통하여 결정하는 간이방법이 있다. 이러한 연구방법은 초본류의 작물에서는 이용하기 쉽지만 감귤과 같은 영년생 과수에서는 실제적으로 수행하기가 곤란한 실정이다. 감귤과 같은 영년생 과수에서 비료의 흡수량을 파악하기 위해서는 성목을 파내어 해체 분석해야만 이로부터 천연공급량과 이용률을 알아낼 수 있기 때문이다.

한편 농업선진국이나 국제원자력기구(IAEA)의 기술지원을 받은 일부 개발도상국에서는 경제작물에 대한 시비량을 동위원소 표지 추적자 비료를 이용한 동위원소 회석법으로 보다 정확하게 산정한 바 있다(IAEA, 2001). 동위원소 회석법은 일반적인 방법으로 해결하지 못했던 양분의 행동을 연구하기 위하여 많이 이용되는 데 그 원리는 동위원소로 표지된 비료성분을 토양에 시용하게 되면 토양 중에 이미 존재하는 동일성분과 똑같은 행동을 하게 됨으로 작물뿌리에서 흡수가 차별없이 이루어지고 지상부로 이동하여 유사한 전류와 분배 및 합성 등을 하면서 보통 비료 성분과 같이 공존하게 된다는 데에 근거를 두고 있다. 이 때 사용된 동위원소 성분을 측정하게 되면 수체내에 흡수된 성분원소와 토양 자체로부터 흡수된 성분원소를 구분할 수 있게 되어 비료의 성분원소가 얼마나 많이 식물에 흡수 이용되었는지를 정확하게 알아낼 수 있게 된다. 이 과정에서 동위원소로 표지된 비료와 질량 분석기를 이용하는 기술이 필요하다.

앞으로 제주지역의 토양환경을 건전하게 보전하고 감귤의 생산성과 품질을 향상시킬 수 있는 적절한 시비량과 효율적 시비방법을 알아내는 것은 무엇보다 우선되어야 할 연구과제이다.

따라서 본 시험은 남원과 제주지역에서 온주밀감원을 대상으로 중질소(^{15}N) 동위원소를 추적자로 이용하여 온주밀감의 질소이용률, 토양잔존율, 질소분포 및 과실 특성에 미치는 영향을 구명하고 이에 따른 질소 적정시비량을 검토하고자 1996년부터 1998년까지 3개년 동안 수행하였다.

II. 研究史

1. 질소 시비량

제주도내 화학비료 공급량은 1961년에는 8,921톤에서 1970년에는 3배가 증가한 27,222톤이었고 20여년이 경과한 1999년에는 10배가 증가한 92,563톤에 이르렀으며, 그 중 성분량으로 질소질비료는 42.7%에 달하였다(제주도, 1965; 1975; 2000).

감귤원 시비기준량은 흑색 및 농암갈색 화산회토 감귤원에서 25년생의 감귤 생산량 4,000 kg/10a를 목표로 할 때 퇴비 2톤 시용시 질소시비량은 10 a당 30 kg이며, 암갈색 비화산회토 감귤원에서 20년생 감귤 생산량 3,000 kg/10a를 목표로 할 때 퇴비 2톤 시용시 질소시비량을 10 a당 24 kg으로 하고 있다(제주도농업기술원, 1993).

제주지역에서의 감귤 적정 시비량에 대한 정 등(1972)의 연구에 의하면, 10년생 온주밀감의 질소비료 시비량은 10 a당 13 kg(주당 125 g) 정도로 한 다음 수령이 증가함에 따라 점진적으로 증가시키는 것이 합리적이라고 하였다. 그러나 金 등(1969)이 1967년과 1968년에 농가 시비실태를 조사한 결과에 의하면 평균 56.7 kg의 질소비료를 사용하였고, 정 등(1972)이 1972년에 감귤원 수령별 주당 시비량을 조사한 결과에서는 7년생에 722 g, 11년생은 1,108 g, 15년생은 1,071 g의 질소를 시비하였고 일본의 경우, 같은 수령에서 각각 310 g, 400 g, 500 g이었다. 또한, 高(1985)의 1982년과 1983년에 시비량 실태 조사에서 질소 시비량은 10 a당 9~106 kg까지 사용 하였고 평균 37.7 kg인 것으로 나타났다. 문 등(1993)도 1992년과 1993년에 감귤에 대한 시비량 실태 조사에서 질소 시비량은 10 a당 40 kg이하가 17.3%, 40~80 kg가 48.8%, 80~120 kg가 33%, 120 kg이상 14.5%라고 보고하였다. 이 등(2000)은 2000년에 시비량 실태조사에서 암갈색 화산회토양의 감귤원에서는 10a당 48.3kg이었고 농암갈색 화산회토양의 감귤원에서는 67.2 kg으로 나타나 오래 전부터

기준시비량에 2배 정도가 과다 시비되어 온 것으로 생각되었다. 이와 같이 감귤원에서 비료사용량의 증가는 1996년에 일부 비료사용량이 많은 농가에서 이상낙엽 및 감귤나무의 고사 등의 장애 원인이 되기도 하였다. 일본에서도 감귤원에서 1960년경에 10 a당 100 kg에 가까운 질소비료가 시비되어 감귤 나무에서 이상낙엽의 발생원인이 된 바 있다(千葉, 1982).

제주도내에서 화학비료는 1995년에 가장 많이 공급된 바 있으며, 유기질 비료의 사용량은 1990년도부터 점진적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다(제주도, 2000). Tachibana와 Yahata(1996)에 의하면, 온주밀감의 적정시비량은 유기물을 10a당 2,000kg 시용시 화학비료의 시비량은 10 a당 10 kg이었지만, 유기물을 시용 하지 않을 경우에는 20 kg의 화학비료가 시용되어야 한다고 하였다.

최근 들어서 감귤의 생산량보다는 고품질과 식품의 안전성에 대한 인식이 제고되면서 일부 농가에서는 질소질비료를 시비하지 않은 상태에서 감귤을 재배하는 등 제주도내에서 화학비료 사용량은 1995년을 정점으로 하여 점차 감소하고 있다. 그러나 Iwakiri와 Nakahara(1981)에 의하면 질소시비량을 10 a당 4~20 kg로 감소시킬 경우 감귤의 품질은 개선되지만, 격년결과 문제는 오히려 증가하였다고 하였다. 아울러 Iwakiri 등(1981)은 감귤원에서 질소 추천시비는 극조생 감귤은 10 a당 18~25 kg, 만생종은 10 a당 22~30 kg이 적합하다고 하였는데, 이는 일본의 1970년대 적정시비량보다 10%내외로 감소된 양이라고 하고 있다.

2. 질소 흡수이동

감귤나무는 주 질소원으로 토양중 질산태질소와 암모니아태질소가 뿌리를 통하여 흡수되고, 질산태질소는 환원되어 암모니아태로 된 다음 아미노산이나 다른 질소화합물로 전환되어 기관에 저장되었다가 새로운 조직이나 과실을 형성하는데 신속하게 이용되는 것으로 알려져 있다(加藤, 1982a). 질소의 흡수 이동은

토양수분, 온도, 생육단계와 과실의 착과 정도, 새로운 기관의 발생정도 등의 영향을 받는데, 질소 흡수율이 높은 것은 늦은 여름비료이며 낮은 것은 이른 봄비료인 것으로 알려져 있다(加藤, 1982). 여름에 시비된 비료 중 질소는 과실로 이동하고 가을에 시비된 비료 중 질소는 세근에 저장되었다가 봄에 새롭게 발육 성장하는 기관으로 전류 하게 된다. 가을에 늦게 시용한 질소흡수의 감소는 지온이 높아지는 봄에 이를 때까지 계속된다(Kato 와 Kubota, 1982b). 시용된 비료에서 꾸준히 질소를 흡수하기 위해서는 지온이 10℃ 이상으로 유지되어야 하는 것으로 알려져 있다(Iwakiri와 Nakahara, 1981). 千葉(1982)에 의하면, 감귤 묘목에 있어서 질소는 9월에 흡수 량이 가장 높고 11월에도 어느 정도 흡수되며 성목에 있어서는 6월에 가장 흡수량이 많았고 그 후 차차 감소하다가 9월에 다시 약간 많아진다고 하였다. 흡수 동화된 질소는 일부를 제외하고는 작물의 생육기간 동안 신생기관으로부터 다음의 신생기관으로 점진적으로 전류된다. 저장질소의 주요한 형태는 단백질, 유리아미노산 등이며(加藤 등, 1984), 가지의 농도는 개화기에 최고치를 나타내다가 수확 때까지 꾸준히 감소하는 것으로 알려져 있다(Mooney와 Richardon, 1992).

3. 질소 분포

온주밀감나무의 기관별 질소 함유율은 어떤 생육단계에서도 엽과 세근 등 수체의 선단부위 가까운 곳이 높은 것이 일반적이다. 온주밀감의 질소분포는 부위별과 시기별로 차이가 있는 데 Mooney 등(1992)에 의하면, 질소함량과 ^{15}N atom excess%는 가지, 주간 뿌리 순으로 높았으며 같은 부위에서도 계절적으로는 발아시기에 높아졌다가 점차 감소하여 수확 후까지 점진적으로 낮아진다고 보고하였다. 久保田 등(1972)에 의하면 초여름에 흡수한 질소는 다른 시기보다 엽과 세근에 집중적으로 분포하는 경향이 높다고 하였으며 가을에는 여름에 비해 적은 량이라고 하였다. 또한 온도조건 및 생육단계 등에 의해서도 달라지는데, 加藤(1982)는 평균기온이 2~3℃에서는 흡수한 질소의

90%가 뿌리에 잔류한다고 하였다. 市來(1983)은 수용성 단백질은 과실과 엽에서 높았으며 암모니아태질소는 지하부에 다량 분포하는 것으로 보고하였다. 加藤 등(1982b)에 의하면, 봄비료는 감귤나무의 신생기관 특히, 신엽이나 새로운 가지에 우선적으로 분배되고, 여름에 시비된 질소비료는 신생기관 중에서 과실에 중점적으로 분배된다고 하였다. Kato와 Kubota(1982b)에 의하면 저온에서는 흡수된 ^{15}N -ammonium이 세근과 소근에 분배되는 비가 높았으나 과실에는 낮았다고 하였다. Kato 등(1981)도 늦게 준 여름비료는 과실에 30%, 봄엽에 31%이었으며 신생기관에 63%가 분포하였고 늦은 여름비료는 일찍 준 여름비료에 비해 과실에 분포비가 적은 반면 뿌리에서 분포비가 높게 나타났다고 하였다.

4. 중질소(^{15}N) 이용

농업분야에서 중질소(^{15}N) 표지 질소를 이용한 작물의 질소흡수(Power 등, 1986), 영양생리, 비료의 이용률(Jensen, 1994) 및 수지(Cao 등, 1984; De Datta 등, 1988; Pomares-Garica와 Pratt, 1978) 뿐만 아니라 토양에서의 질소비료의 행동 등의 연구에 매우 유용한 수단으로 사용하여 왔던 바, 시비된 비료의 잔류효과(Westerman와 Kurtz, 1972), 아질산태질소의 전환(Sterven와 Laughlin, 1995), 탈질작용(Focht와 Stolzy, 1978), 논토양에서 표층시용 요소 비료의 행동(이와 유, 1994), 침수 토양에서의 질산태질소와 아질산태질소의 손실(Chien 등, 1977), 암모늄이온의 유기화(Trehan, 1994), 두과작물의 질소 고정량(金, 1983) 등을 그 예로 들 수 있다. 특히 감귤과 같은 영년생 과수는 개체간의 편차가 커서 보통 질소비료로는 질소흡수 및 이행 등을 명확하게 밝혀내지 못하지만 久保田 등(1972)은 온주밀감에 중질소(^{15}N) 동위원소표지 비료를 이용하면 수체내에서 질소의 흡수 및 이동 상황을 알아내는 데 특히 유리하다고 하였다. 중질소를 이용하여 감귤유목의 질소 영양상태(Kato, 1983)와 감귤엽에 의한 질소흡수 상황(Lea-Cox 와 Syvertsen, 1995), 그리고 동절기와

여름철간에 감귤나무의 질소동화와 환원(久保田 등, 1972)과 가을철 저온이 감귤 나무의 질소분배와 동화흡수에 미치는 영향(Kato, 1982b), 감귤 유목의 질소 흡수 이용률, 손실, 생육에 미치는 질소 공급방법을 통해 질소흡수와 분배 특성을 조사하는데(Lea-Cox와 Syvertsen, 1996)에 중질소(^{15}N)가 이용되었다. 久保田와 掛鯛(1992)은 포도나무 질소흡수와 전류에 미치는 비료시용시기 및 뿌리온도의 영향을 구명하는 데 중질소(^{15}N)를 이용하였으며, Mooney와 Richardon(1992)은 온주밀감이 지온에 따른 질소흡수 및 분포를, Kato 등 (1982)은 감귤에서 저온 조건이 질소의 동화 및 분배에 미치는 연구에 중질소 (^{15}N)를 이용하였다. 또한, 久保田 등(1972a; 1972b; 1972c)은 감귤의 수채 및 과실을 위한 질소관리를 위해서, 그리고 Mooney와 Richardon(1992)은 감귤에서 질소흡수 및 분포의 계절적 경향을 구명하는데 중질소(^{15}N)를 이용하였다. 제주지역에서는 강 등(1998)도 중질소(^{15}N)를 추적자로 이용하여 감귤나무 전체의 질소 회수율과 봄과 여름에 사용된 질소에 대해 토양 잔존율을 연구한 바가 있다.

5. 토양 질소

제주지역에서 주로 사용하는 질소질비료인 요소는 토양 중에서 가수분해되어 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 형태로 바뀌며 암모니아태질소는 산화상태의 밭토양에서 질산태질소로 바뀐다. 이들은 식물체로 흡수되거나, 용탈, 탈질, 암모니아의 고정, 휘산, 그리고 생물학적인 고정이라는 다양한 과정을 통해 자연계에서 순환된다. 제주지역에서 토양 중 총질소 함량은 화산회토양이 비화산회토양에 비해 높은 것으로 알려져 있는데 총질소 중 KCl 침출성 암모니아태 질소함량은 화산회토양이 비화산회토양보다 낮다. 李 등(1983)에 의하면 화산회토양은 유기태 질소의 함량이 높은 반면 무기화 될 수 있는 질소의 비율이 낮다고 하였고, 愼과 金(1975)은 화산회토양의 경작지는 요소활성도(urease activity)가 129.8인데 비하여 비화산회토양의 경작지는 53.4로 요소활성도는 2배 이상 된다고

했으며, 또한 알로판을 주점토광물로 하는 토양에서는 NH_4^+ 의 흡착은 Ca^{++} 에 비하여 1/4에 불과하며 이로 인한 유실량이 80%나 된다고 하였다. Nkrumah 등(1989)는 열대토양에서 요소비료 시용 후 3시간에서 7시간 안에 암모니아태질소로 가수분해가 일어나고 암모니아태질소에서 질산태질소로 전환되는 것은 점진적이며 요소에서 질산태질소로 변화되는 데는 56일이 소요되었다고 하였다. 질소는 자연계에 순환됨으로 토양 중에는 작물이 이용되는 질소가 존재하는데 千葉(1982)에 의하면 6년생 감귤나무에 질소비료를 시용 하지 않아도 연간 질소흡수량은 우량한 감귤나무가 흡수하는 양의 48~62%에 달하였다고 하였다. 또한 西田(1982)에 의하면, 온주 밀감원에서 질소 시비량이 증가하면 세근량도 증가하지만 과잉 시비가 되면 토양의 pH를 저하시켜 세근량을 감소시킨다고 하였다.



Ⅲ. 材料 및 方法

1. 지역별 포장 선정 및 중질소(¹⁵N-urea) 처리

가. 시험 포장

1996년부터 1998년까지 3 개년동안 본 시험을 수행한 남제주군 남원읍 의귀리에 소재하는 온주밀감원 시험포장은 농암갈색 화산회토양이며 남원통(Namwon series, ashy, thermic family of Typic Melanudands)이었고, 제주시 영평동에 있는 감귤원 시험포장은 암갈색 비화산회토양으로 용당통(Yongdang series, fine loamy, mixed, thermic family of Aquic Eutrudepts)이었다. 남원읍의 시험포장을 “남원 온주밀감(Namwon area)” 그리고 제주시 영평동의 시험포장은 “제주시 온주밀감원(Jeju-si area)”이라고 표시했다. 시험전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다.



Table 1. Chemical properties of soil before experiment

Field	pH (1:5 H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)			EC (dS m ⁻¹)
					K	Ca	Mg	
Namwon	4.8	102	21.7	248	0.48	4.13	0.82	0.28
Jeju-si	4.1	26	15.8	375	0.12	0.41	0.27	0.22

시험수는 수세가 균일하고 수관용적 등이 유사한 온주밀감나무를 선정하였으며 남원 온주밀감원은 26년생 궁천조생으로 재식거리는 3.9×3.9 m 이었고 10 a 당 65 주가 식재되고 있다. 그리고 제주 온주밀감원은 18년생 궁천조생으로 재식거리는 2.5×2.5 m 이었고, 10 a 당 165 주가 식재되고 있다.

시험구 간의 비료의 이동을 방지하기 위하여 0.7 mm 두께의 플라스틱 골판을 35 cm 깊이로 묻고 표면 위로 10 cm가 나오도록 설치하였다.

나. ^{15}N -urea 처리

본 시험에 사용한 ^{15}N -urea는 atom excess percentage가 5.0~5.6%이었으며 (Isotec Inc. USA), 표지되지 않은 일반 비료는 요소, 용성인비, 염화칼리를 사용하였다. ^{15}N -urea와 요소는 Table 2와 같이 5수준으로 하여 골채하였고 질소흡수를 조사하는 나무에는 시험기간 동안 ^{15}N -urea를 시기별로 한 번 사용 하였다. 그 외 시기에는 일반 요소비료를 사용하였다. 질소비료의 5수준은 남원 온주밀감원에서는 10 a당 0 kg(무질소구), 15 kg(기준 시비량의 1/2 량), 30 kg(기준 시비량), 60 kg(기준 시비량의 2 배량), 90 kg(기준 시비량의 3 배 량)을, 제주 온주밀감원에서는 10 a당 0 kg(무질소구), 10 kg(기준 시비량의 1/2 량), 20 kg(기준 시비량), 40 kg(기준 시비량의 2 배량), 80 kg(기준 시비량의 4 배량)로 하였다. 인산과 칼리비료는 기준 시비량을 적용하여 남원 온주밀 감원에서는 각각 10 a당 40 kg, 30 kg를, 제주시 온주밀감원에는 10 a당 각각 18 kg, 15 kg를 사용 하였다. 이때 3요소의 분시량은 ^{15}N -urea 및 요소로 봄비료 50%, 여름비료 20%, 가을비료 30%를, 인산질 비료는 전량 봄비료로, 칼리질 비료는 봄 30%, 여름 40%, 가을 30%로 하여 표층시비하였다.

Table 2. The application rates of ^{15}N -urea in citrus orchards

Field	N application rates (kg 10a ⁻¹)	The split rate of ^{15}N -urea fertilizer(kg 10a ⁻¹)		
		Spring fertilizer	Summer fertilizer	Autumn fertilizer
Namwon	0	0	0	0
	15	7.5	3.0	4.5
	30	15.0	6.0	9.0
	60	30.0	12.0	18.0
	90	45.0	18.0	27.0
Jeju-si	0	0	0	0
	10	5.0	2.0	3.0
	20	10.0	4.0	6.0
	40	20.0	8.0	12.0
	80	40.0	16.0	24.0

다. ^{15}N -urea 시험구 배치

시험구는 한 그루를 한 개의 시험구로 하고 처리는 5수준의 질소시비를 난괴법 12 반복으로 배치하였으며 1개 시험포장에서 60 주를 공시하여 수행하였다.

Table 3. The application time of ^{15}N -urea and harvest time in the citrus orchards

Treat- ment ^{z)}	Namwon			jeju-si		
	Application time	Harvest(collect) time		Application time	Harvest(collect)time	
		Fruit	Tree		Fruit	Tree
A	June 14 1996	Nov. 1996 Nov. 1997	Mar. 1998	June 15 1996	Nov. 1996 Nov. 1997	Mar. 1998
B	Nov. 10 1996	Nov. 1997	Mar. 1998	Nov. 13 1996	Nov. 1997	Mar. 1998
C	Mar. 17 1997	Nov. 1997	Mar. 1998	Mar. 18 1997	Nov. 1997	Mar. 1998
D	June 21 1997	Nov. 1997	Mar. 1998	June 21 1997	Nov. 1997	Mar. 1998
E	Dec. 2 1997	Nov. 1998	Dec. 1998	Dec. 2 1997	Nov. 1998	Dec. 1998
F	Mar. 13 1998	Nov. 1998	Dec. 1998	Mar. 13 1998	Nov. 1998	Dec. 1998
G	June 5 1998	Nov. 1998	Dec. 1998	June 5 1998	Nov. 1998	Dec. 1998

^{z)} A, B, C, D, E, F, and G were all treated with five levels of ^{15}N -urea, as shown in Table 2 and Fig. 1.

시험구에 ^{15}N -urea 처리는 비료 시용 시기에 질소 시비량별로 하여 각각 하나의 시험구(온주밀감나무)에 시용하고 나머지는 일반 urea(요소)로 시용 하였다. 비료 시용 시기마다 질소 시비량별로 ^{15}N -urea는 중복되지 않도록 하고 Table 3과 같이 7시기에 걸쳐 시험구를 Fig. 1과 같이 배치 처리하여 7시기 중에는 ^{15}N -urea 처리 1 회와 일반 요소 처리 6 회로 구성되도록 하였다.

N-1	N-4	N-5	N-3	N-2
¹⁵ N-A4	¹⁵ N-A2	¹⁵ N-A3	¹⁵ N-A5	¹⁵ N-A1
N-2	N-3	¹⁵ N-B1	¹⁵ N-B4	N-5
¹⁵ N-B5	¹⁵ N-D1	¹⁵ N-B3	¹⁵ N-B2	¹⁵ N-C4
¹⁵ N-C3	¹⁵ N-C2	¹⁵ N-C1	N-4	¹⁵ N-C5
N-2	¹⁵ N-D1	¹⁵ N-D4	¹⁵ N-D5	N-3
¹⁵ N-D2	¹⁵ N-E5	¹⁵ N-E1	¹⁵ N-D3	¹⁵ N-E4
N-4	¹⁵ N-E2	¹⁵ N-F5	¹⁵ N-E1	N-3
N-5	N-2	¹⁵ N-E3	¹⁵ N-F1	¹⁵ N-F4
¹⁵ N-G4	¹⁵ N-F5	¹⁵ N-F2	¹⁵ N-F3	¹⁵ N-1
N-4	N-5	¹⁵ N-G3	¹⁵ N-G1	¹⁵ N-G2
N-2	N-3	N-4	N-1	N-5

Fig. 1. Experimental design of ¹⁵N-urea and non-labelled urea treatment.

N : Non-labelled urea, ¹⁵N : ¹⁵N-labelled urea.

Ai,Bi,Ci,Di,Ei,Fi,Gi : Treatment of fertilizer application. Tree and fruit were harvested as shown in Table 3.

2. 시료채취 및 분석방법

가. 토양 시료

토양의 분석시료는 auger를 이용하여 시험 전 토양을 20 cm 깊이로 시료를 채취하였으며 시험 후 토양은 0~20 cm, 21~40 cm, 41~60 cm, 61~80 cm 깊이로 시료를 채취하고 이물질 제거 및 풍건후 2 mm체를 통과시켰다. 토양 중 ¹⁵N-urea로 부터 유래된 질소를 측정하기 위하여 토양을 풍건하여 1mm체에 통과시키고 막자사발에서 재 분쇄하여 입자 크기가 200 μm이하가 되도록 조제하였다.

나. 식물체 시료

감귤엽은 감귤나무의 중앙 상단 높이로 하여 동서남북 4방향에서 결과 모지에 있는 잎을 주당 25~30 매를 채취하였으며, 과실 특성조사용 시료는 Table 3의 수확시기에 상·중·하 및 동·서·남·북으로 하여 각각 20 과를 채취하였다.

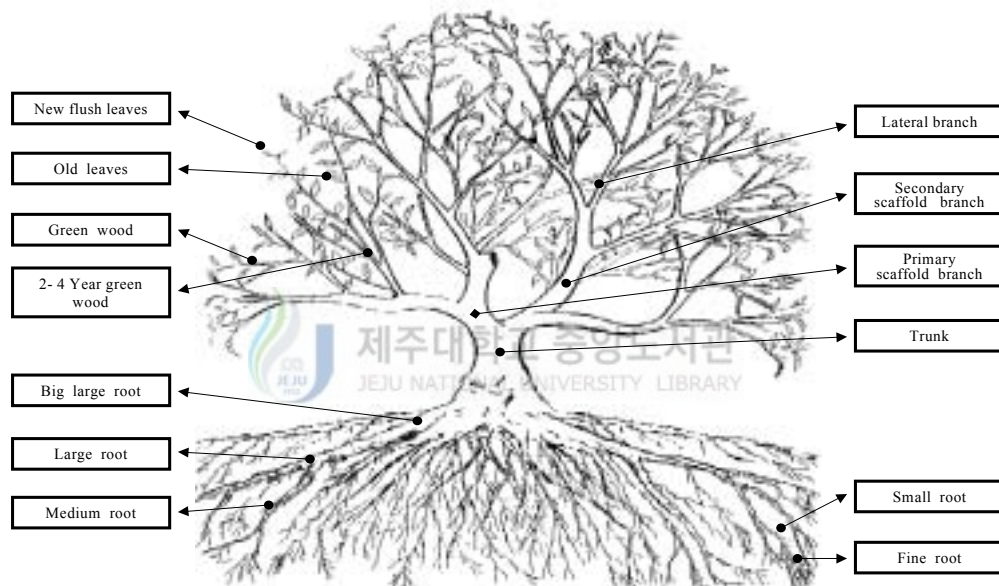


Fig. 2. Partial names of Satsuma mandarin tree.

질소분석용 시료는 중성세제를 사용하여 세척하고 증류수로 행균 다음 60~70°C 열풍건조기에서 건조하여 분쇄하고 중질소(¹⁵N) 분석용 시료는 200 μm 이하가 되도록 조제하였다.

감귤나무는 각각의 부위를 Fig. 2와 같이 구분하고 Table 3의 굴채시기에 굴채하고 부위별로 시료를 구분하고 조제하였다.

감귤나무의 지상부위는 신엽(new flush leaves), 구엽(old leaves), 녹지(green wood), 2-4년 녹지(2-4 year old green wood), 측지(lateral branch) 아주지(secondary scaffold branch), 주지(primary scaffold branch) 및 주간(trunk)으로 나누었으며 지하부위는 세근(fine root, \varnothing 0.2 cm이하), 소근(small root, \varnothing 0.2~0.5 cm), 중근(medium root, \varnothing 0.5~1.0 cm), 대근(large root, \varnothing 1.0~2.0 cm) 및 특대근(very large root, \varnothing 2.0 cm이상)으로 하였다.

다. 무기성분 분석

1) 토양

토양의 pH는 증류수와 풍건토 비율을 1:5로 하여 pH-meter(Horiba 1024, Japan)로 측정하였으며 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산 함량은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate 침출법을 이용하였고, 인산 및 양이온은 ICP(inductively coupled plasma, JY-70C, France)로 분석하였다(농진청, 2000).

2) 식물체

감귤엽, 과실 및 감귤나무의 부위별 전질소 함량은 황산분해 후 Kjeldahl 증류법으로 측정하였다(농진청, 2000).

라. 중질소 (^{15}N) 분석

토양 및 식물체 중 중질소 원자 과잉율(^{15}N -atom excess%)은 원소분석기(Fisons Instruments, model EA1108, Italy)와 동위원소 질량분석기(VG Isotech, SIRA II, England)를 사용하여 분석하였으며, 총질소 원자에 대한 ^{15}N 원자의 존재 비로부터 ^{15}N 원자의 천연존재비인 0.367%를 빼준 값으로 계산하였다. 중질소 분석 조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Optimal conditions of ion source tuning for ^{15}N mass spectrometer

Parameter	Continuous flower mode
Source current(mA)	0.8
Trap current	0.2
Ion repeller	-5 ~ -1
Electron volts(V)	100 ~ 110
High voltage(kV)	4,176 ~ 4,180
Hilf plates(%)	25
δ Half plates(%)	-1 ~ 0

마. 과실 수량 및 특성 조사

한 그루에서 수확한 과실의 총 무게를 달아 주당 수량으로 하였고 평균 주당 수량을 10 a당 수량으로 환산하였다. 과실의 당과 산함량은 주당 20 과를 채취한 뒤 감귤의 껍질을 벗기고 과육을 압착시켜 얻은 과즙을 산당도 분석 장치(Horiba 2000, Japan)로 측정하였다. 횡경, 종경, 과피 두께는 캘리퍼(Mitutoyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

3. 온주밀감의 질소 이용률

가. 중질소(^{15}N)회석법을 이용한 질소 이용률

1) 질소비료의 이용률

(1) ^{15}N -urea로 부터 유래한 질소함량(%Ndff)

^{15}N -urea로 부터 유래한 비료 즉 Ndff (nitrogen derived from fertilizer)는 ^{15}N -urea를 처리한 다음 시료(토양, 식물체)의 ^{15}N atom excess%를 측정하고 일반 요소를 처리한 시료의 ^{15}N 의 자연존재비(0.367)를 빼 주면 시료 중의

^{15}N atom excess%(중질소원자 과잉율)가 되며, 시료의 ^{15}N atom excess%를 비료의 ^{15}N atom excess%로 나누고 100을 곱하면 비료로부터 유래한 질소 함량 즉 %Ndff를 계산되는 데 그 과정은 식 1 및 식 2와 같았다.

$$^{15}\text{N atom excess \% of sample} = ^{15}\text{N atom abundance \% of sample} - \text{natural abundance \% of } ^{15}\text{N atom\%} \quad (\text{식 1})$$

$$\% \text{ Ndff} = \frac{^{15}\text{N atom excess of sample(plant or soil)}}{^{15}\text{N atom excess of fertilizer}} \times 100 \quad (\text{식 2})$$

(2) 질소비료의 이용률

온주밀감나무의 비료이용률은 부위별 총질소량에 %Ndff를 곱하여 Ndff(g)을 부위별로 계산하고, 부위별 Ndff(g)를 모두 합하면 온주밀감나무의 Ndff(g), 즉 질소비료의 주당 총 흡수량을 알게 된다. 그리고 온주밀감나무에 사용한 질소비료량으로 나눈 뒤 100을 곱하여 식 3과 같이 계산하였다.

$$\text{비료의 온주밀감나무 기여율} = \frac{\text{과실을 제외한 온주밀감나무의 Ndff(g)}}{\text{온주밀감나무의 총 Ndff(g)}} \times 100 \quad (\text{식 3})$$

나. 중질소(^{15}N)를 이용한 적정시비량 결정

온주밀감원의 시비량 산출은 수령, 재배조건, 품종 및 재식주수 등에 따라서 달라진다. ^{15}N -urea를 이용한 시험결과에서 과실 및 온주밀감나무로의 비료흡수량을 알아내면 공급해야 할 질소량을 다음과 같이 계산할 수 있다. 단, 연간 감귤나무의 증가량은 무질소구의 온주밀감나무 무게와의 차이를 추정하였다.

1) 과실의 목표수량을 얻기 위해 필요한 질소량

= 목표수량 × 과실 중 질소함량 × 비료의 과실 기여율

$$\text{비료의 과실기여율} = \frac{\text{과육의 Ndff(g)} + \text{과피의 Ndff(g)}}{\text{온주밀감나무의 총 Ndff(g)}} \times 100$$

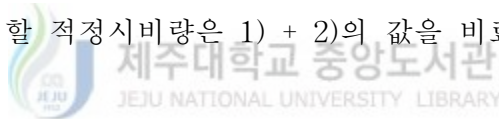
2) 과실을 제외한 온주밀감나무의 연간 증가량을 위해 필요한 질소량

= 연간 수체 증가량 × 수체의 질소함량 × 비료의 수체 기여율

$$\text{비료의 온주밀감나무기여율} = \frac{\text{과실을 제외한 온주밀감나무의 Ndff(g)}}{\text{온주밀감나무의 총 Ndff(g)}} \times 100$$

3) 과실의 목표수량과 온주밀감나무의 연간 증가량을 위해 필요한 질소량

= 공급해야 할 적정시비량은 1) + 2)의 값을 비료 이용률로 나누어서 산출했다.



IV. 結果 및 考察

1. 질소 시비수준에 따른 온주밀감원 토양의 화학성 변화

가. 남원 온주밀감원 토양의 화학성 변화

남원 온주밀감원 토양의 화학적 특성은 Table 5와 같았으며 질소 시비량이 증가하면 토양의 pH는 5.2에서 4.9로 낮아졌는데, 千葉(1982)은 질소비료의 과다사용은 토양을 산성화시킨다고 하였다. 전기전도도는 0.13에서 0.23 dS/m로 증가하였으며, 질산태질소는 15에서 53 mg/kg으로 증가하였다.

Table 5. Effects of N application rates on chemical properties of the citrus orchard soil in Namwon

N application rates (kg 10a ⁻¹)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
0	5.2ab ²⁾	0.13b	88a	15b	147a	0.62bc	2.91a	1.01a	0.16a
15	5.3a	0.18ab	80a	27ab	171a	0.88a	4.62a	0.81ab	0.14a
30	4.9ab	0.17ab	93a	22ab	155a	0.69abc	2.07a	0.53ab	0.13a
60	4.6b	0.20a	92a	43ab	147a	0.52c	1.03a	0.33b	0.12a
90	4.9ab	0.23a	90a	53a	144a	0.84ab	3.71a	0.48ab	0.11a
C.V.(%)	10	34	17	91	58	30	132	77	38

²⁾ Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

나. 제주시 온주밀감원 토양의 화학성 변화

제주시 온주밀감원 토양은 Table 6과 같다. 남원 온주밀감원의 화산회토양과 마찬가지로 질소시비량의 증가하면서 토양의 pH는 낮아 졌으나 E.C는 0.09에서 0.16 dS/m로 증가하였으며 질산태질소의 함량도 6에서 30 mg/kg으로 증가하는 경향을 보였다.

Table 6. Effects of N application rates on chemical properties of the citrus orchard soil in Jeju-si

N application rates (kg 10a ⁻¹)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
0	4.7a	0.09c ^z	177a	6b	260a	0.22a	0.81a	0.49a	0.04b
10	4.6a	0.10bc	89b	7b	185a	0.26a	0.57a	0.36a	0.07ab
20	4.6a	0.10bc	97b	10b	299a	0.25a	0.64a	0.40a	0.07ab
40	4.5a	0.12b	65b	15b	284a	0.26a	0.66a	0.39a	0.07a
80	4.5a	0.16a	33b	30a	222a	0.21a	0.65a	0.37a	0.06ab
C.V.(%)	5	23	73	65	83	23	68	63	36

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

2. 질소 시비수준에 따른 온주밀감의 건물중과 질소함량 및 과실 특성

가. 남원 온주밀감의 건물중과 질소함량

1) 부위별 건물중 및 건물중 분포비율

남원 온주밀감원에서 26년생 온주밀감나무를 굴채하여 부위별로 나누어 다음 건물중을 측정한 결과는 Table 7과 같았으며 건물중의 분포비율은 Fig. 3과 같다. 부위별 건물중은 질소 시비량이 증가하면서 무질소구에 비하

여 대부분 증가하였으며, 유의성 있게 증가한 부위는 녹지, 2~4년 녹지, 아
주지, 주지, 주간, 세근, 중근, 대근, 특대근이었다. 온주밀감나무의 전체 건물중
도 무질소구와는 유의성 있는 차이를 보였으나 질소 시비량 간에는 뚜렷한 차
이를 보이지 않았다. 이는 온주밀감나무의 개체간에 건물중의 차가 컸기 때
문인 것으로 사료되며 공시 온주밀감나무의 반복 수를 크게 증가시키면 시비
량 차이를 관찰할 수 있을 것으로 사료되었다. 정과 김(1986)도 질소 시비량을
달리하여 홍진조생 12년생 감귤나무를 4년간 재배하였을 때 수관용적과 관주비
대의 증가를 관찰한 바 있다.

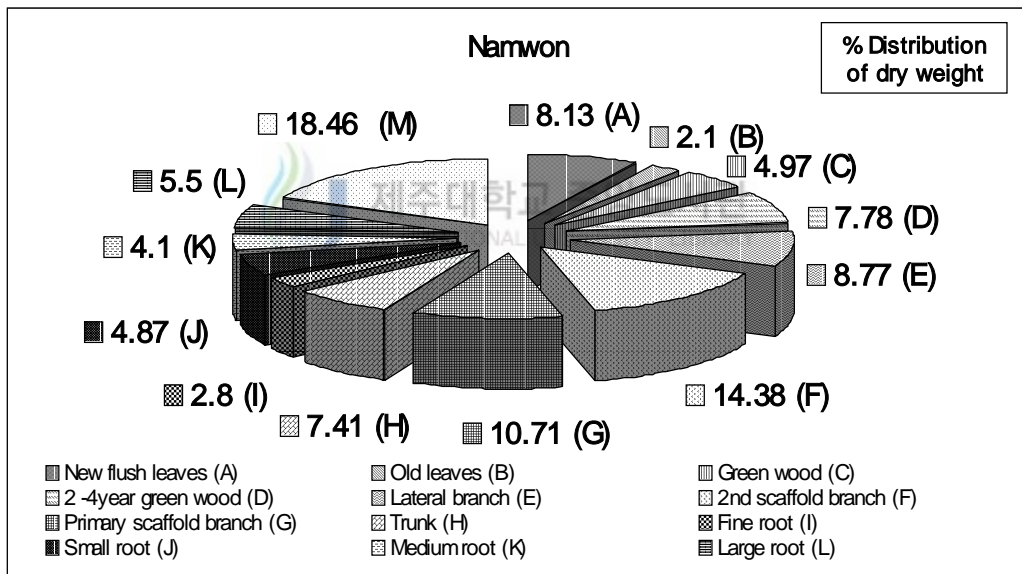


Fig. 3. Distribution percentage of average dry weight for applied 26- year old satsuma mandarin tree collected in Apr. 1998 and Nov. 1998 in Namwon.

온주밀감나무의 세근량은 질소 시비량의 증가와 함께 증가하지만 과도한 질소 시비량에서는 감소한다고 보고하였는데(西田, 1982), Table 7에서 보는 바와 같이 질소 시비량을 60 kg까지 증가함에 따라 세근량도 증가하였는데

질소 시비량 90 kg(기준시비량의 3배)에서는 감소하는 경향이였다.

부위별 건물중의 분포비는 특대근 18.5% > 아주지 14.4% > 주지 10.7% > 측지 8.8% > 신엽이 8.1% > 2~4년 녹지 7.8% > 주간 7.4% > 대근 5.5% > 녹지 5.0% > 소근 4.8% > 중근 4.1 > 세근 2.8% > 구엽 2.1% 순이었다. 남원 온주밀감나무의 지상부는 64%, 지하부는 36%이었고 제주도 온주밀감나무의 지상부와 지하부는 각각 62%, 38%로 나타났는데 남원 온주밀감나무는 제주도 온주밀감나무에 비해 2~4년 녹지, 측지, 주간에서 분포비가 큰 반면 특대근에서는 분포비가 작은 것으로 나타났다.

2) 부위별 전질소 함량 및 전질소량

남원 온주밀감원 시험포장의 시험수(26년생 밀감나무)의 전질소 함량을 처리별로 분석한 결과는 Table 8과 같았으며 부위별 건물중을 전질소 함량으로 곱하여 부위별 전질소량으로 나타낸 것은 Table 9와 같았다. 온주밀감나무는 질소 시비량이 증가함에 따라 대부분의 수체 부위에서 전질소의 함량이 유의성 있게 증가하였는데, 2~4년 녹지와 중근, 전체 감귤나무에서는 유의성이 없었다. 한편, 온주밀감나무에서 전질소함량이 높은 부위는 신엽 > 구엽 > 세근 > 녹지 ≒ 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 ≒ 아주지 ≒ 측지 ≒ 2~4년 녹지 ≒ 주간 > 주지 순이었다.

온주밀감나무의 부위별 전질소량이 높은 부위는 신엽과 특대근이었으며, 무질소구에 비하여 질소 시비량이 증가함에 따라 대부분의 수체기관에서 전질소량이 유의성 있게 증가하였는데, 온주밀감나무의 부위별 전질소량은 신엽 > 특대근 > 주지 > 아주지 > 녹지 ≒ 측지 > 세근 > 소근 > 2~4년 녹지 ≒ 구엽 > 주간 > 중근 > 대근의 순이었다. 온주밀감나무의 부위별 전질소 함량과 전질소량은 엽에서 가장 높게 나타나므로(久保田 등, 1972b), 잎은 중요한 질소 저장기관이라고 생각되었다.

Table 7. Dry weight in each part of satsuma mandarin trees at various N application rates in Namwon

(unit ; g part⁻¹)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary scaffold branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	2,891a ^{z)}	894a	1,932b	2,512a	2,871a	4,278c	6,793a	2,674b	946b	1,937a	1,812ab	1,766b	2,518b	33,723b
15	5,138a	950a	2,555ab	4,024a	5,347a	6,275cb	5,926a	4,092ab	1,139b	2,614a	1,514b	2,699ab	8,414a	50,688a
30	3,813a	1,218a	2,816a	4,074a	3,309a	8,429ab	5,817a	3,743ab	1,384ab	2,855a	2,182ab	3,398a	8,952a	51,988a
60	4,562a	1,261a	3,036a	4,758a	4,715a	8,863a	6,090a	4,671a	2,033a	2,750a	2,499ab	3,183a	11,848a	60,267a
90	4,064a	1,109a	2,351ab	3,972a	5,596a	7,533ab	5,333a	3,509ab	1,506ab	2,310a	2,682a	2,617ab	10,712a	53,294a
C.V(%)	59	37	28	30	64	31	40	38	43	51	44	45	58	19

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 9. Total amounts of nitrogen in each part of satsuma mandarin trees at various N fertilizer rates in Namwon

(unit ; g part⁻¹)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary scaffold branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	75a ²⁾	21b	27b	18b	27a	32c	38b	16b	24b	28a	18ab	1.9a	24b	404b
15	141a	24ab	34ab	29a	38a	46cb	84a	25ab	25b	28a	15b	2.1a	71ab	561a
30	101a	30ab	42a	28a	25a	71ab	83a	27a	29b	31a	21ab	2.9a	75ab	566a
60	123a	33a	39ab	33a	31a	76a	82a	30a	42a	28a	23a	2.4a	98a	641a
90	97a	29ab	32ab	29a	46a	64ab	84a	23ab	30ab	27a	17ab	2.1a	91a	588a
C.V(%)	66	35	32	29	60	40	48	37	42	35	41	42	67	23

²⁾ Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 8. Total nitrogen content in each part of satsuma mandarin trees at various N application rates in Namwon

(unit ; %)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary scaffold branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	2.60b ^{z)}	2.39b	1.42ab	0.72a	0.91a	0.76ab	0.56b	0.61b	2.56a	1.61a	1.00a	1.10a	0.94a	1.10a
15	2.73ab	2.49b	1.31b	0.73a	0.71b	0.73ab	0.29a	0.65b	2.34b	1.28b	0.95a	0.80b	0.77b	1.05a
30	2.67b	2.47b	1.51a	0.70a	0.72b	0.81a	0.36a	0.72a	2.18b	1.25b	0.97a	0.80b	0.77b	1.05a
60	2.72ab	2.64a	1.30b	0.70a	0.66b	0.80ab	0.46a	0.66ab	2.00b	1.21b	0.97a	0.80b	0.74b	1.03a
90	2.82a	2.63a	1.33ab	0.74a	0.72b	0.69b	0.33a	0.64b	2.05b	1.25b	0.87a	0.80b	0.71b	1.02a
C.V(%)	4	4	12	11	14	13	23	10	8	21	22	19	17	7

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

3) 과실의 건물중과 질소함량 및 총질소량

남원 온주감귤원에서 수확한 과실의 건물중은 무질소구에 비해 질소시비구에 높은 경향을 보였으나 질소함량은 질소 시비수준과 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 10. Dry matter(DM) weight and, nitrogen content, and nitrogen amount of fruits in satsuma mandarin trees at various N application rates in Namwon

N application rates (kg 10a ⁻¹)	Dry weight (g DM tree ⁻¹)		N content (% DM)		N amount (g DM tree ⁻¹)	
	Fruit juice	Fruit peel	Fruit juice	Fruit peel	Fruit juice	Fruit peel
0	4942c ^{z)}	4926c	0.94a	0.88ab	46.42b	43.61b
15	7848ab	7279ab	0.82cb	0.87ab	65.71ab	63.30ab
30	8751a	8197a	0.87abc	0.89ab	76.67a	74.11a
60	6307cb	5850cb	0.83c	0.75b	53.72b	44.47b
90	6740abc	5882cb	0.91ab	0.95a	53.72b	55.78ab
C.V(%)	31	30	7	16	30	36

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

나. 제주시 온주밀감의 건물중과 질소함량

1) 부위별 건물중 및 건물중 분포비율

제주시 온주밀감원에서 18년생 온주밀감나무를 굴채하여 부위별로 분할한 다음 건물중을 측정된 결과는 Table 11과 같았으며 건물중의 분포비율은 Fig. 4와 같았다. 온주밀감나무의 부위별 건물중은 대부분 질소시비에 의해 무질소구에 비하여 증가하였는데 유의성 있게 증가한 부위는 신엽, 구엽, 2~4년 녹지, 측지, 아주지, 주지 및 특대근이었으며 녹지, 주간, 세근, 소근, 중근, 대 N근에서는 유의성이 나타나지 않았고 세근에서는 감소하는 경향을 보였다. 또한 온주밀감나무 부위별 건물중의 분포비율은 신엽이 8.4%, 구엽 2.2%,

Table 11. Dry weight in each part of satsuma mandarin trees at various N application rates in Jeju-si

N application rates (kg 10a ⁻¹)	(unit ; g part ⁻¹)													
	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year Green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary scaffold branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	1,164b ^{z)}	423ab	997a	1,868a	798b	2,218b	1,677b	1,200a	674a	404a	1,160a	964a	2,935b	1,6483b
10	1,371ab	347b	944a	1,218b	1,133ab	3,513a	3,126a	1,138a	678a	508a	1,643a	1,298a	4,673a	21,592ab
20	2,123a	483ab	829a	1,364ab	1,114ab	3,093ab	2,640ab	1,430a	604a	530a	964a	1,177a	4,657a	21,008ab
40	1,779ab	475ab	957a	1,346ab	1,094ab	3,093ab	2,575ab	1,441a	644a	516a	768a	1,227a	4,830a	20,747ab
80	2,137a	654a	1,177a	1,670ab	2,316a	3,286ab	3,303a	1,092a	487a	909a	913a	1,167a	5,398a	24,507a
C.V(%)	46	44	43	33	99	32	33	35	54	107	95	40	30	23

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 12. Total nitrogen content in each part of satsuma mandarin trees at various N fertilizer rates in Jeju-si

(unit ; %)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary second branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	2.69b ^{z)}	2.58b	1.64ab	0.89a	0.65a	0.72a	0.55b	0.57a	1.79b	1.13b	0.94b	0.70c	0.58a	1.03ab
10	2.85ab	2.78a	1.51b	0.96a	0.64a	0.63a	0.54b	0.50b	2.00a	1.29ab	1.04ab	0.85ab	0.56a	0.98b
20	2.84ab	2.70ab	1.52b	0.98a	0.62a	0.66a	0.54b	0.49b	2.00a	1.22ab	0.99ab	0.79cb	0.57a	1.05ab
40	2.86ab	2.73ab	1.60ab	0.94a	0.63a	0.66a	0.60ab	0.48b	2.01a	1.28ab	1.00ab	0.79cb	0.56a	1.05ab
80	2.88a	2.81a	1.68a	1.02a	0.66a	0.66a	0.64a	0.46b	2.03a	1.36a	1.11a	0.91a	0.60a	1.09a
C.V(%)	6	5	8	15	10	15	11	11	6	13	12	10	8	7

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 13. Total amounts of nitrogen in each part of satsuma mandarin trees at various N application rates in Jeju-si

(unit ; g part⁻¹)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	New flush leaves	Old leaves	Green wood	2-4 year green wood	Lateral branch	Secondary scaffold branch	Primary scaffold branch	Trunk	Fine root	Small root	Medium root	Large root	Very large root	Whole tree
0	30.9c ²⁾	10.9b	16.3a	17.3a	5.1b	15.5a	9.2c	7.0a	11.9a	4.7a	10.8a	6.6b	16.8b	162.9b
10	38.8cb	9.4b	13.8a	11.6a	4.1ab	22.0a	16.6ab	5.7a	13.5a	6.3a	17.6a	10.7a	26.2a	199.4ab
20	59.5ab	13.0ab	12.6a	13.4a	7.1ab	21.0a	14.4b	7.1a	11.7a	6.6a	9.2a	9.2ab	26.4a	211.2ab
40	50.8abc	12.8ab	14.7a	13.0a	6.9ab	21.0a	14.4b	7.1a	13.5a	6.5a	7.4a	9.6ab	26.6a	205.4ab
80	61.3a	18.1a	19.9a	17.8a	15.9a	21.7a	20.9a	5.2a	10.0a	10.8a	9.6a	10.5ab	32.0a	253.6a
C.V(%)	41	42	44	44	109	36	30	35	57	97	106	37	30	26

²⁾ Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

녹지 4.5%, 2~4년 녹지 6.4%, 측지 6.4%, 아주지 14.8%, 주지 13.3%, 주간 5.8%, 세근 2.8%, 소근 2.8%, 중근 4.9%, 대근 5.5%, 특대근 22.3% 이었는데, 부위별 건물중의 분포비율은 특대근 > 아주지 > 주지 > 신엽 > 측지 > 2~4년 녹지 > 주간 > 대근 > 중근 > 녹지 > 소근 > 세근 > 구엽 순이었다. 남원 온주밀감원의 26년생 밀감나무의 건물중 분포비율과 매우 유사한 경향을 보였다. 이는 감귤나무의 수형을 세계의 주지가 있는 개심 자연형으로 동일하게 관리하였기 때문으로 사료되었다.

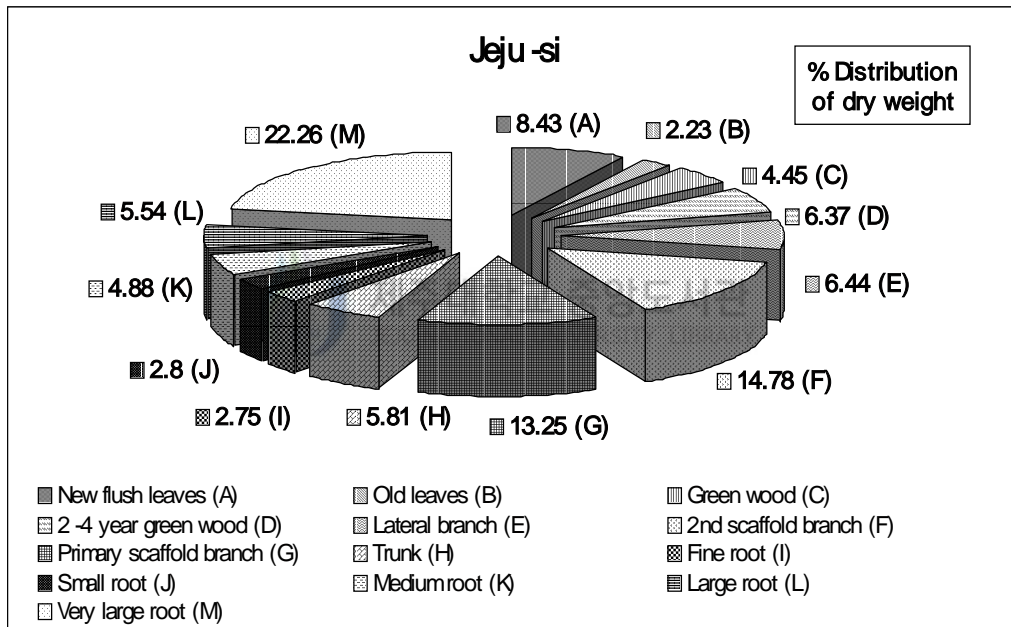


Fig. 4. Distribution percentage of average dry weight for N-applied 18 year-old satsuma mandarin tree collected in Mar. and Nov. 1998 in Jeju-si.

2) 부위별 전질소 함량 및 전질소량

제주시 온주밀감원의 감귤나무 부위별 전질소 함량을 조사한 결과 Table 12와 같았으며 부위별 건조중량에 부위별 전질소 함량을 곱하여 부위별 전질소량을 조사한 결과는 Table 13과 같았다. 부위별 전질소 함량은 신엽 ≒ 구엽 > 세근 > 녹지 > 소근 > 중근 ≒ 2~4년 녹지 > 대근 > 아주지 ≒ 측지 > 특대

근 ≒ 주지 ≒ 주간 순으로 높았으며 온주밀감나무의 말단부위가 전질소 함량이 높은 것이 특징으로 나타났다. 질소 시비량에 따른 부위별 전질소 함량은 신엽, 구엽, 녹지, 주간, 세근, 소근, 중근, 대근 및 전체 나무에서도 유의성 있는 차이를 보였다. 그리고 유의성이 없는 부위에서도 질소시비에 의해 전질소 함량은 증가하는 경향을 보였다. 부위별 전질소량은 신엽 > 특대근 > 아주지 > 녹지 > 주지 > 2~4년 녹지 > 구엽 > 세근 > 중근 > 대근 > 측지 > 소근 > 주간 순으로 높았으며 부위별로 전질소 함량과 건물중의 차지하는 비중이 높은 신엽과 특대근에서 전질소 함량이 높았는데 남원 온주밀감원에서 비슷한 결과를 얻었다.

3) 과실의 건물중과 질소함량 및 총질소량

제주시 온주밀감원에서 수확한 과실의 건물중과 질소함량을 조사한 결과는 Table 14와 같았다. 과실의 건물중은 무질소구에 비해 질소시비량이 증가할 수록 유의성 있는 증가를 나타냈으며, 전질소 함량도 유의성 있게 증가하였다.



Table 14. Dry matter (DM) weight and total nitrogen content, and amount of satsuma mandarin fruits at various N application rates in jeju-si

N application rates (kg 10a ⁻¹)	Fruit weight (g DM tree ⁻¹)		Fruit N content (% DM)		Fruit N amount (g DM tree ⁻¹)	
	Fruit juice	Fruit peel	Fruit juice	Fruit peel	Fruit juice	Fruit peel
0	3001a ^{z)}	2883a	0.89a	0.89ab	26.8ab	25.6ab
10	2877a	2747a	0.90a	0.86b	25.1b	23.4b
20	3537a	3404a	0.94a	0.94a	32.9ab	31.9ab
40	3669a	3527a	0.92a	0.92ab	34.0ab	33.4ab
80	4134a	3925a	0.94a	0.96a	38.6a	37.1a
C.V(%)	35	34	5	7	34	36

^{z)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

다. 과실수량 및 품질특성

1) 남원 온주밀감원

남원 온주밀감원에서 질소 시비량에 따른 수확감귤의 과실특성을 조사한 결과 Table 15와 같다.

Table 15. Effects of N application rates on fruit quality of satsuma mandarin tree in Namwon (mean values of three years from 1996 to 1998)

N application rates (kg/10a)	Transversal diameter (mm)	Shape ^{z)} index (%)	Peel thickness (mm)	Fruit pulp ratio (%)	Juice Brix (°B _x)	Acid content (%)	Brix/Acid ratio	Yield (kg tree ⁻¹)
0	61.8a ^{y)}	124a	2.35a	78.6a	10.15a	1.11a	9.17a	46.5b
15	64.5a	127a	2.29a	80.4a	10.10a	1.05a	9.71a	55.5b
30	61.0a	126a	2.29a	78.4a	10.24a	1.12a	9.27a	51.2b
60	59.9a	126a	2.38a	78.7a	10.46a	1.13a	9.28a	65.1a
90	61.0a	127a	2.36a	78.5a	10.30a	1.10a	9.39a	53.4b
C.V.(%)	5	2	5	2	2	5	6	9

^{z)} Shape index was calculated as transversal diameter/longitudinal diameter × 100.

^{y)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

질소 시비량이 증가함에 따라 과실의 산도는 높아지고 과실의 껍질이 두꺼워지면서 당산비는 낮아진다고 하였는데(Jones과 Embleton, 1967; 坂本와 輿地, 1969; 정과 김, 1986), 본 시험결과에서는 관찰되지 않았다. 과육율에서는 15kg 질소 처리구에서는 일부 높아지기도 했으나 질소 시비량 증가에 따른 유의성은 나타나지 않았다. 수량성은 60 kg 수준에서 유의성을 보였으나 타 수준의 시비반응에 대한 경향을 이 시험기간으로는 충분한 검토가 어렵다고 사료되며, 鄭과 金(1979)의 의하면, 5년동안 온주밀감나무에 주당 500g의 질소

질비료 처리와 그 시비량의 1/4량을 처리를 하여 시험을 수행한 결과 시비량 간에는 과실 수량성의 차이가 나타나지 않았다고 하였다.

2) 제주시 온주밀감원

제주시 온주밀감원에서 질소 시비량에 따른 감귤의 과실특성을 조사한 결과를 Table 16에 나타내었다. 질소 시비량의 증가에 따라 무질소구에 비하여 과피두께가 2.36 mm에서 2.63 mm로 증가로 유의성을 보였으며, 산함량은 1.21%에서 1.31%로 증가하였는데 한 등(1997)의 시험결과와 일치하였으며 당산비는 9.07에서 8.90으로 감소하였고, 과육율은 시비량이 증가함에 따라 감소하는 경향이었으나 유의성은 인정되지 않았다.

Table 16. Effects of N application rates on fruit quality of satsuma mandarin tree in Jeju-si (mean values of three years from 1996 to 1998)

N application rates (kg 10a ⁻¹)	Transversal diameter (mm)	Shape ^{z)} index	Peel thickness (mm)	Fruit pulp ratio (%)	Juice Brix (°Bx)	Acid content (%)	Brix/Acid ratio	Yield (kg tree ⁻¹)
0	62.1a ^{y)}	123a	2.36c	77.9a	11.4a	1.21a	9.07a	26.5a
10	62.0a	125a	2.43c	77.3a	11.6a	1.22a	9.58a	26.3a
20	61.5a	123a	2.52b	77.3a	11.9a	1.30a	9.01a	32.0a
40	61.3a	124a	2.56ab	76.6a	11.6a	1.28a	9.08a	32.7a
80	60.9a	124a	2.63a	75.9a	11.7a	1.31a	8.90a	30.2a
C.V.(%)	3	1	2	1	2	3	3	16

^{z)} Shape index was calculated as transversal diameter/longitudinal diameter × 100.

^{y)} Means in each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

3. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감 엽과 과실 중 %Ndff 변화

가. 남원 온주밀감 엽 중 %Ndff 변화

1) 여름비료

남원 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 수준별로 나누어 표층 시비하여 1개월 간격으로 나무의 신엽과 구엽 중 ^{15}N atom excess %를 측정하고 ^{15}N -urea로부터 유래한 %Ndff 값으로 환산하여 Fig. 5에 나타내었다. 나무의 신엽 중 엽신장과 성숙기간을 통해 지속적인 질소흡수의 증가를 나타내다가 다음해 3월경에 엽 연령이 증가되면서 함께 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 과실과 새로이 형성되는 기관으로 재전류가 이루어지고, 비표지 질소 질비료 시용에 의해 새롭게 유입된 질소원이 전류되면서(久保田 등, 1972a; 1972b; 1972c) 엽 중 ^{15}N -urea 유래의 질소농도가 희석되었기 때문인 것으로 판단되었다(中原 등, 1985).

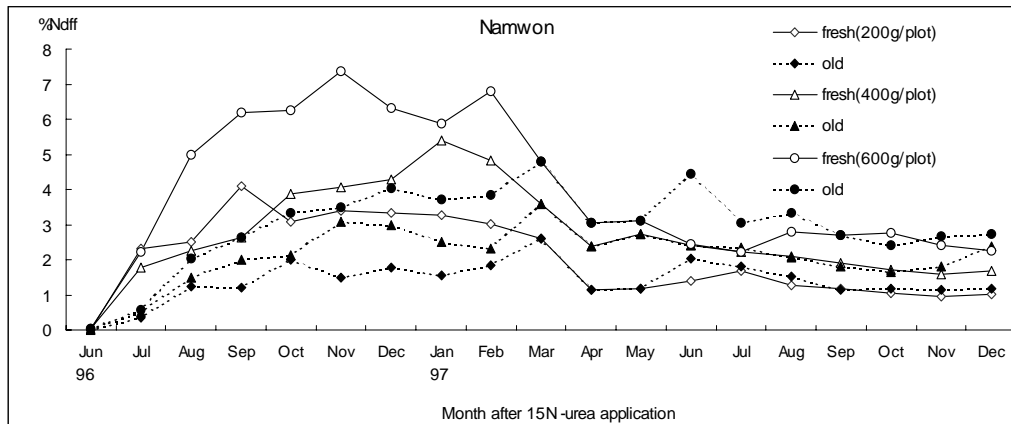


Fig. 5. Changes of %Ndff in spring flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as summer fertilizer in Namwon.

또한 米山(1992)에 의하면 엽생장 초기에는 흡수된 질소와 재전류된 질소를 식물체내에서 이용하고 그 후 성숙한 엽에서는 질소의 유입과 전류의 균형을 유지하다가 점진적으로 식물체내에서 질소의 이용률은 증가되면서 전체적으로 엽중 전질소의 함량이 감소한다고 하였다. 구엽에서는 엽연령이 증가함에 따라 생리적 기능이 감소되면서 신엽과 달리 엽신장과 성숙기간을 지나 완만한 질소저장과 재전류가 일어나지만 점차 다음해 3월을 정점으로 해서 비표지 질소질비료 시용에 의해 새롭게 유입된 질소원에 의해 자연존재비 수준으로 감소하는 것을 나타내었으며, 中原 등 (1985)에 의하면 자연존재비 수준으로 낮아지는 것은 회석효과라고 하고있다.

2) 가을비료

^{15}N -urea를 가을비료로 시비한 후 1개월 간격으로 감귤의 신엽과 구엽중 ^{15}N atom excess%를 측정하고 ^{15}N -urea로 부터 유래한 %Ndff를 측정한 결과 Fig. 6에 나타내었다. 일반적으로 요소는 온도가 낮은 가을에는 여름보다 분해가 늦고 질산태질소 형태로 전환되는 기간도 길어질 뿐만 아니라 질소의 흡수 및 전류도 온도에 의해 크게 영향을 받는다고 알려져 있다. 그러므로 이 시험의 경우에도 가을비료로 시비된 ^{15}N -urea의 흡수 및 엽으로의 전류가 늦가을과 겨울에는 억제되는 것으로 생각된다. 따라서 감귤원에서 가을비료로 사용한 질소질비료는 대부분 뿌리에 흡수 저장되었다가 온도가 상승하는 다음해 3월 이후부터 전류되어 상승되면서 8월경에는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 과실과 신생기관에 재전류가 이루어진 다음 새로이 질소를 흡수하는 과정에서 나타난 회석효과 때문인 것으로 판단되었다(中原 등, 1985).

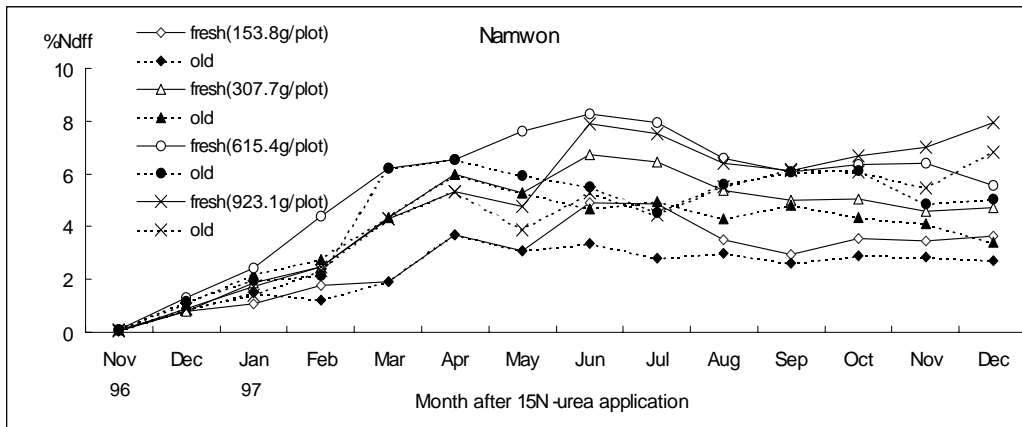


Fig. 6. Changes of %Ndff in spring flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as autumn fertilizer in Namwon.

3) 봄비료



Kato 등(1984)에 의하면, 감귤나무는 봄철 신생기관의 형성에 필요한 질소의 대부분을 수체 각 부위에 저장한 질소를 이용함으로 봄에 시용한 질소비료 의존률이 높지 않다고 하였다. 봄비료는 5월경부터 엽 중 %Ndff는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 급격하게 높아지기 시작한 반면 가을비료는 이와 달리 Fig. 6에 나타난 바와 같이 6월을 정점으로 감소하기 시작하였다. 봄비료는 8월을 정점으로 하여 감소하기 시작하였다. 봄비료는 연중 질소 시비량의 50%를 시용하고 있어 엽 중 %Ndff의 정점위치는 가장 높은 것으로 나타났으며 엽 연령이 증가하면서 비슷한 엽 중 %Ndff를 나타내고 있다. 따라서 양분저장기관으로서 엽에서의 양분의 저장과 신생기관의 영양 원으로서 재전류가 새로운 질소원으로 전류에 의해 일어나고 있음을 ^{15}N -urea로 부터 유래한 엽 중 질소함량 변화를 통해 시사하였다.

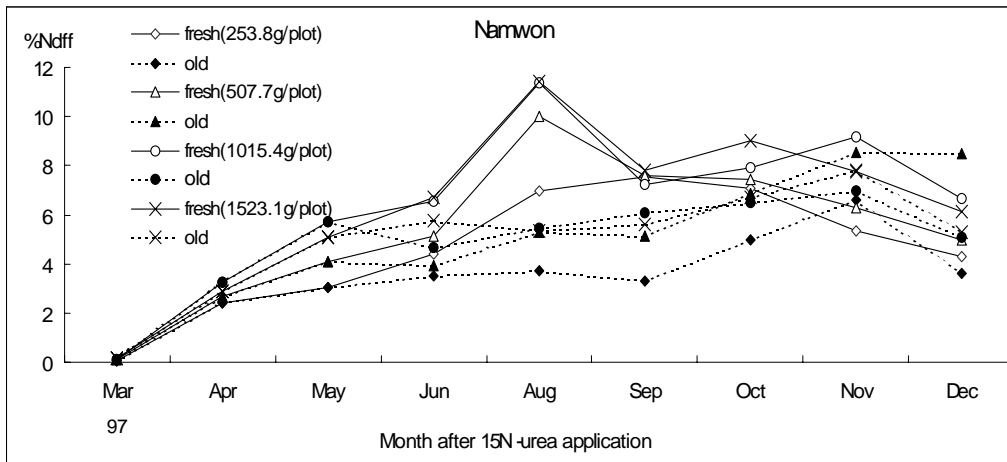


Fig. 7. Changes of %Ndff in spring flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as spring fertilizer fertilizer in Namwon.

나. 제주시 온주밀감 엽 중 %Ndff 변화

1) 여름비료

제주시 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 여름비료로 시비한 후 감귤의 신엽과 구엽 중 %Ndff를 측정한 결과 Fig. 8에 나타내었다. 온주밀감나무의 신엽 중 %Ndff는 남원지역의 Fig. 5에 비하면 매우 낮은 수준으로 완만하게 흡수와 재전류가 이루어지다가 신엽은 다음해 6월에, 구엽은 11월에 최고 값을 보임으로써 같은 계절에 시비된 비료의 엽 중 질소함량에 미친 기여율이 남원지역보다 낮은 편이다. 비효의 지속은 다음해까지 이어진다는 것을 보여 주었다.

제주시 지역의 암갈색 비화산화토양은 남원지역의 농암갈색 화산화토양보다 시용한 질소가 토양 중에 잔류되는 성질이 크지만 회석되면서(中原 등 1985), ^{15}N -urea 유래의 질소가 더 오랫동안 남아 질소성분이 빠져나가는 기간이 길어지는 것으로 판단되었다.

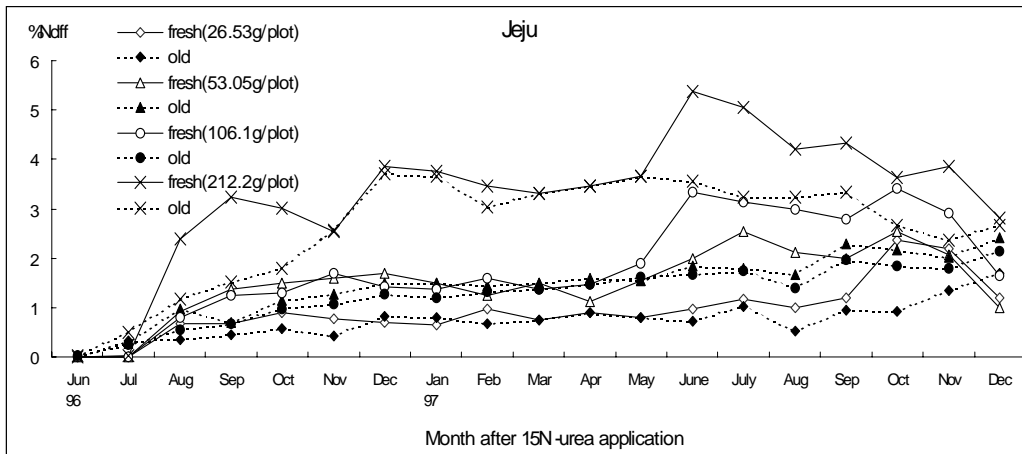


Fig. 8. Changes of %Ndff in spring flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as summer fertilizer in jeju-si.

2) 가을비료

가을비료에 대한 %Ndff을 측정 한 결과는 Fig. 9에 나타냈다. ^{15}N -urea를 사용한 다음 11월부터 다음해 2월까지의 감귤엽 중 %Ndff는 거의 무시할 정도로 적었는데 Kato와 Kubota(1982a)에 의하면, 저온에서는 온주밀감나무에 의해 흡수된 ^{15}N -nitrate의 양은 여름에 흡수된 것의 약 1/10 이며 흡수된 질소의 90% 이상이 뿌리부위에 잔류하며 지상부에 이동한 양은 10% 정도라고 하였다. 가을비료로 사용한 중질소(^{15}N)의 엽중 질소 기여율이 이 시기에도 토양 중에 시비된 요소의 분해는 어느 정도 일어나 적은 양이나마 일부의 질소가 흡수될 가능성이 있지만 남원지역과 제주시 지역간에는 차이가 컸었다.

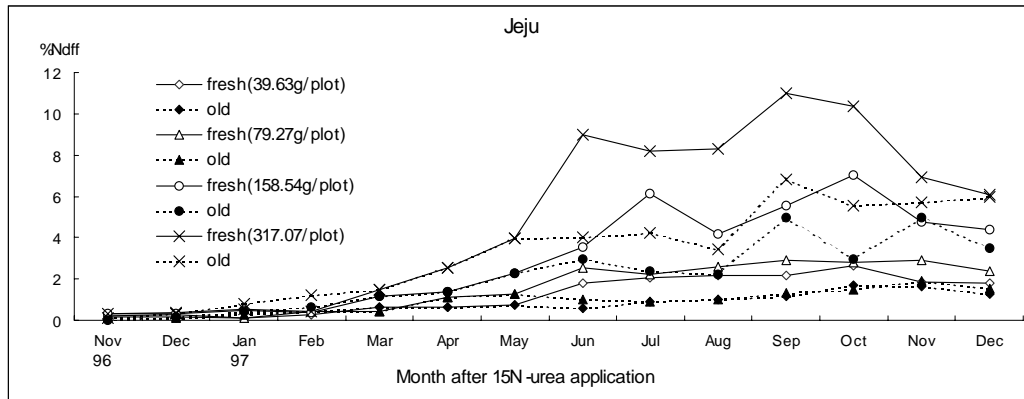


Fig. 9. Changes of %Ndff in new flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as autumn fertilizer in Jeju-si.

특히 기존 권장 시비량보다 높을 때 가을비료의 엽 중 기여율이 이듬해 엽 중 %Ndff가 3월부터 높아지는 것은(赤尾 등, 1978) 저온기인 가을에 시용한 질소가 뿌리에 저장되거나 토양에 잔류되어 있다가 흡수 및 재전류되어(加藤 등, 1982b) 9~10월에 가서 최고값을 나타낸 것으로 보인다. 따라서 가을비료 시용이 과다 시비되는 경우는 다음해에 과실 성숙기까지 장기간 잔류한 토양질소에 의해서 과실품질에 나쁜 영향을 줄 수 있음을 시사하였다.

3) 봄비료

봄비료로 ^{15}N -urea를 시비한 후 남원 온주밀감원의 온주밀감나무와 마찬가지로 %Ndff가 증가되는 경향을 보이고 있는 것은 성엽 중 함유된 질소가 타 신생기관으로 이동함에 따라 새로이 흡수된 질소유입이 일어났음을 나타내는 것이며, 남원 온주밀감원 보다 %Ndff가 높지 않은 것은 시비된 질소비료의 흡수보다 지력질소의 흡수가 더 많았기 때문인 것으로 사료되었다.

Fig. 10에 나타난 바와 같이 봄비료는 8월경에 최대흡수를 보이다가 완만한 증가를 보였다. 제주지역에서의 가을비료의 흡수량은 매우 낮았다. 또한

구엽에서는 신엽보다 다소 낮은 수준으로 완만한 증가를 보이고 9월과 11월에 정점으로 하여 감소하는 경향을 보인 점도 회석효과가 주원인으로 생각되었다.

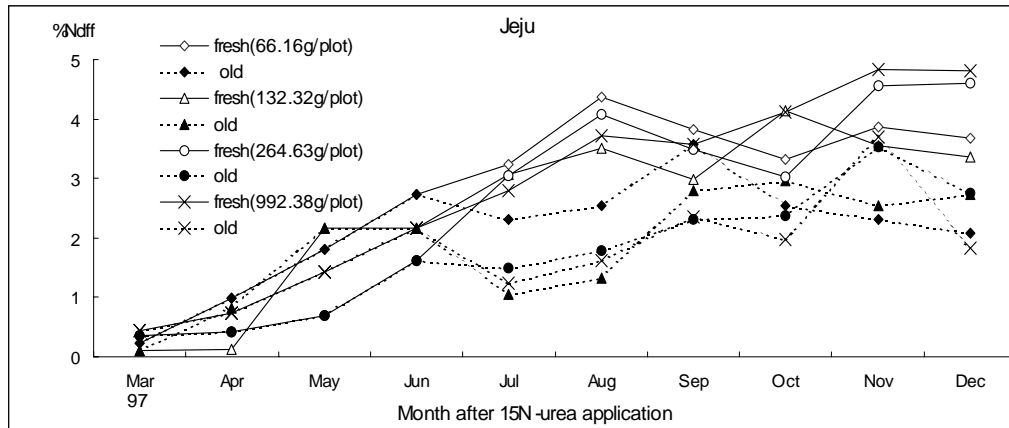


Fig. 10. Changes of %Ndff in new flush leaves and old leaves of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea as spring fertilizer in Jeju-si.

다. ^{15}N -urea에 의한 은주밀감 과실 중 %Ndff 변화

1) 남원 은주밀감

남원 은주밀감원에서 여름비료로 1996년 6월 14일에 ^{15}N -urea를 처리하고 1996년 11월 수확한 과실과 1997년 11월 수확과실 중의 %Ndff는 Fig. 11과 같았다. 1996년도 여름비료로 사용한 ^{15}N -urea에서 유래한 질소는 1996년도에 수확한 과실은 물론 1997년 과실에서도 감소되기는 하였으나 잔류효과가 컸음을 보였다. 이는 수체에 흡수저장 되었다가 과일로 재전류되거나 지력 질소화 되었다가 흡수되어 과일로 이행되기 때문인 것으로 사료되었다. 그러므로 감귤과 같은 영년생 작물의 시비량 결정에는 시비 전년도에 비료의 잔류효과에 대한 검토가 필요할 것으로 사료되었다.

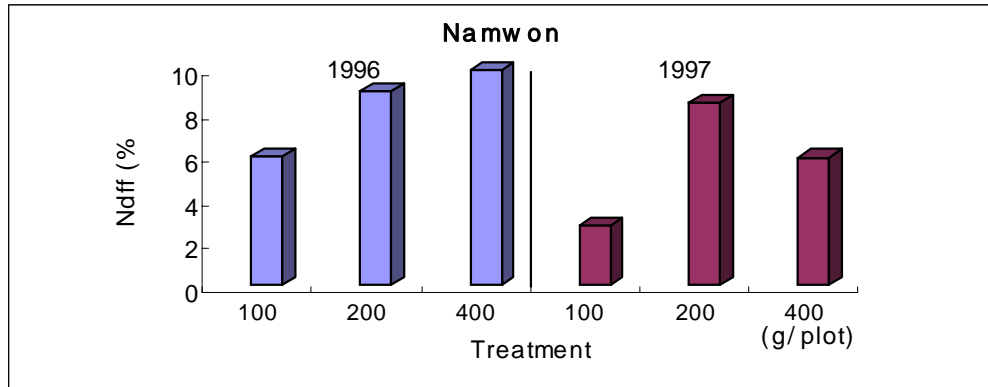


Fig. 11. The yearly change of %Ndff in the fruits of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea in June 1996 at various rates in Namwon. (Fruits were harvested in Dec. 1996 and 1997, respectively)

Fig. 12와 같이 1996년도 여름비료로 사용한 질소비료의 당해년도의 과실에 의한 흡수율은 시비수준에 따른 차이가 없었고, 또한 다음해에도 비슷한 경향 이었으며, 흡수율은 각 시비수준에서 전년도에 비해 약간씩 감소하였다.

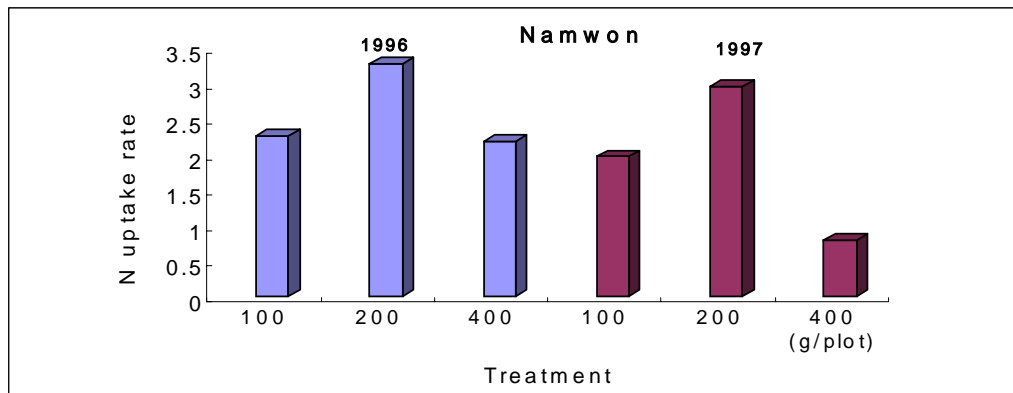


Fig. 12. The yearly change of nitrogen uptake rates by fruits of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea in June 1996 at various rates in Namwon. (Fruits were harvested in Dec. 1996 and 1997, respectively).

2) 제주시 온주밀감

Fig. 13에서 보는 바와 같이 여름비료를 사용한 연도의 과실 중 %Ndff는 시비수준에 따라 높아지는 경향이며 다음해에는 그 경향이 뚜렷해졌다. 특히, 남원 온주밀감원과는 달리 시비년도보다 다음해의 잔류효과가 더 큰 것은 앞서 Fig. 8의 엽 중 %Ndff 결과에서 보듯이 토양 중 긴 잔류효과 때문으로 생각되었다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 과실에 의한 질소흡수율은 시비량 간에는 일정한 경향이 없었으며 시비한 당 년도와 그 다음해 간에도 큰 차이를 보이지 않았다.

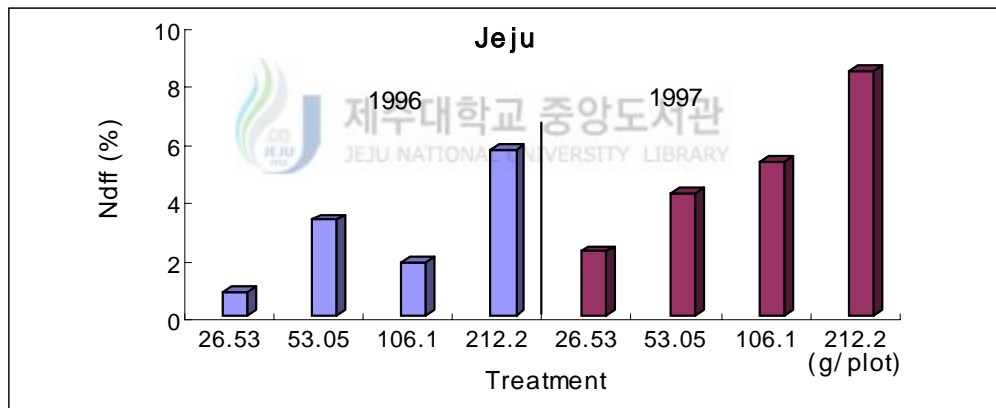


Fig. 13. The yearly change of %Ndff by fruits of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea in June 1996 at various rates in Jeju-si. (Fruits were harvested in Dec. 1996 and 1997, respectively).

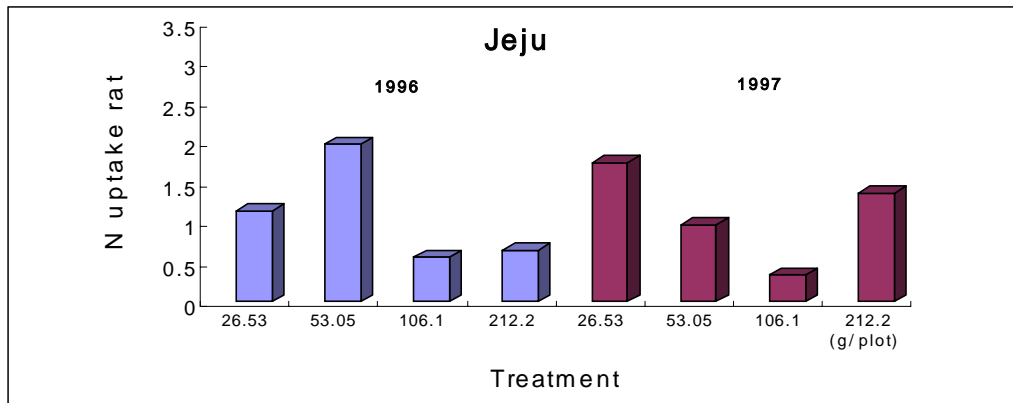


Fig. 14. The yearly change of nitrogen uptake rate by fruits of satsuma mandarin trees applied with ^{15}N -urea in June 1996 at various rates in Jeju-si (Fruits were harvested in Dec. 1996 and 1997, respectively).

4. ^{15}N -urea 처리 시기에 따른 온주밀감나무 중 질소 성분 분포

가. 온주밀감나무의 가지 위치별 질소 성분 분포

1) 남원 온주밀감나무

(1) 가을 비료

남원 온주밀감원에서 1996년 가을 비료로 ^{15}N -urea를 표면 시비한 다음 1988년 3월에 굴채한 온주밀감나무 가지의 위치별 atom% 함량을 Fig. 15에 나타냈다. 온주밀감나무 가지의 위치가 높을수록, 주간보다 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom% 함량은 높게 검출되었다. 식물양분은 곧게 위로 상승하려는 직상성이 강하며, 가지의 세력이 강한 순서는 수직지(垂直枝), 사향지(斜向枝), 횡향지(橫向枝) 하수지(下垂枝) 순이고, 온주밀감나무 가지는 양분 흡인성(養分 吸引性)에 의해 긴 가지와 짧은 가지에서는 수액유동(樹液流動)에 차가 있어 긴 가지일수록 양분의 전류가 용이한 것으로 알려져 있다(韓, 1990).

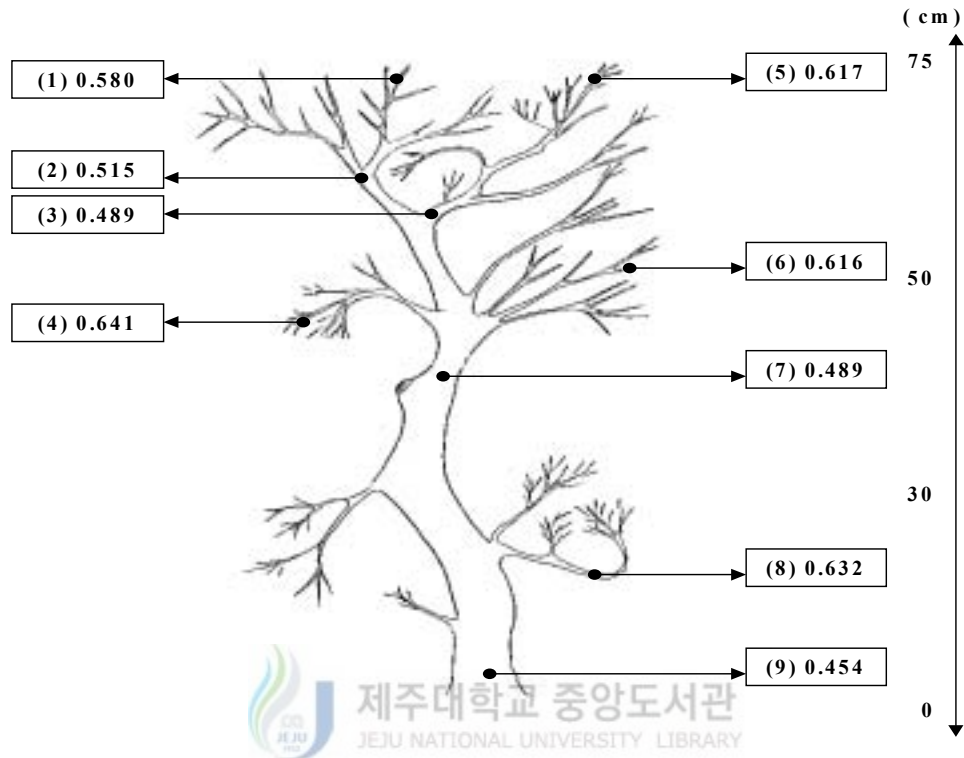


Fig. 15. ^{15}N atom % in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Namwon (^{15}N -urea was applied on Nov. 10, 1997 and tree was collected in Mar. 1998).

- (1) ; Green wood, (2) ; Lateral branch, (3) ; Lateral branch, (4) ; Green wood,
 (5) ; Green wood, (6) ; Green wood, (7) ; Secondary scaffold branch,
 (8) ; Lateral branch, (9) ; Secondary scaffold wood.

(2) 봄비료

봄비료에 따라 온주밀감나무가지의 위치별 ^{15}N atom% 을 Fig. 16에 나타냈다. 밀감나무가지의 위치가 높을 수록, 주간보다는 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom%가 높게 검출되었다. 久保田 등(1972)은 전질소 함유율은 어떤 생육단계에서도 나무의 선단에 가까운 부위에서 높다고 하였다.

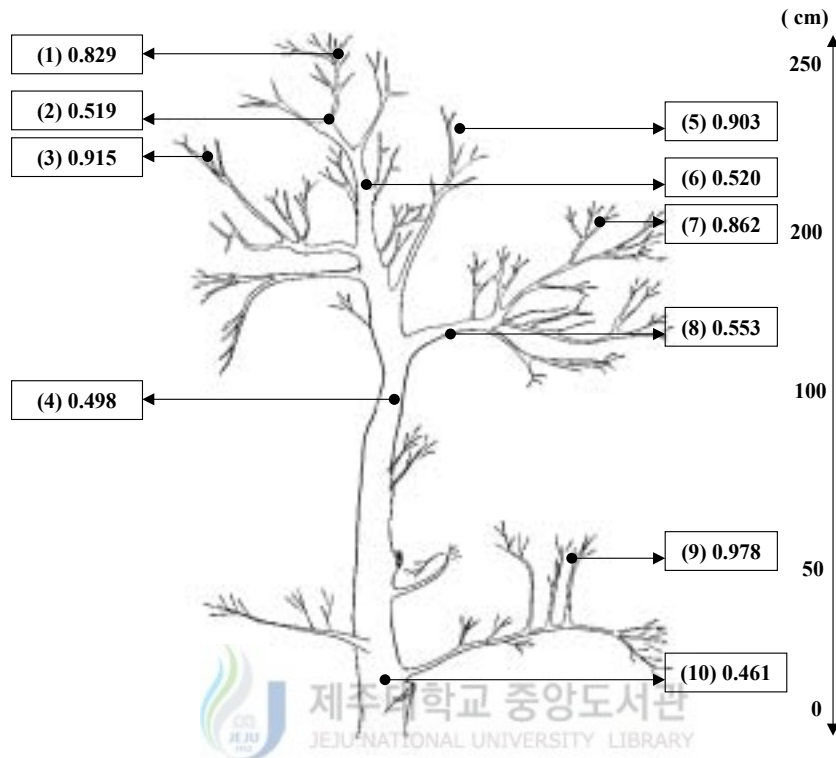


Fig. 16. ^{15}N atom % in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Namwon area (^{15}N -urea was applied on Apr. 17, 1997 and tree was collected in Mar. 1998).
 (1) ; Green wood, (2) ; 2-4 year old green wood, (3) ; Green wood, (4) ; Secondary scaffold wood, (5) ; Green wood, (6) ; Lateral branch, (7) ; Green wood, (8) ; Lateral branch, (9) ; Green wood, (10) ; Secondary scaffold wood,

(3) 여름비료

여름비료에 대한 온주밀감나무 가지의 위치별 ^{15}N atom%는 Fig. 17과 같았다. 온주밀감나무 가지의 위치가 높을 수록, 주간보다 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom% 은 높게 관찰되었으나 전반적으로 여름비료 사용에서 가장 낮은 ^{15}N atom% 분포를 나타냈다. 이 시험에서 여름비료를 사용 하여

흡수이동 및 전류된 질소가 신생기관 즉 엽 및 과실에 기여한 후 다음 해 3월에 굴채한 나무의 엽중 저장질소를 측정한 것이며 이때 기존 계절별 시비량의 비율 중 여름비료가 가장 낮았기 때문에 온주밀감나무의 부위별 ^{15}N atom% 분포가 다른 시기보다 낮은 것으로 사료되었다.

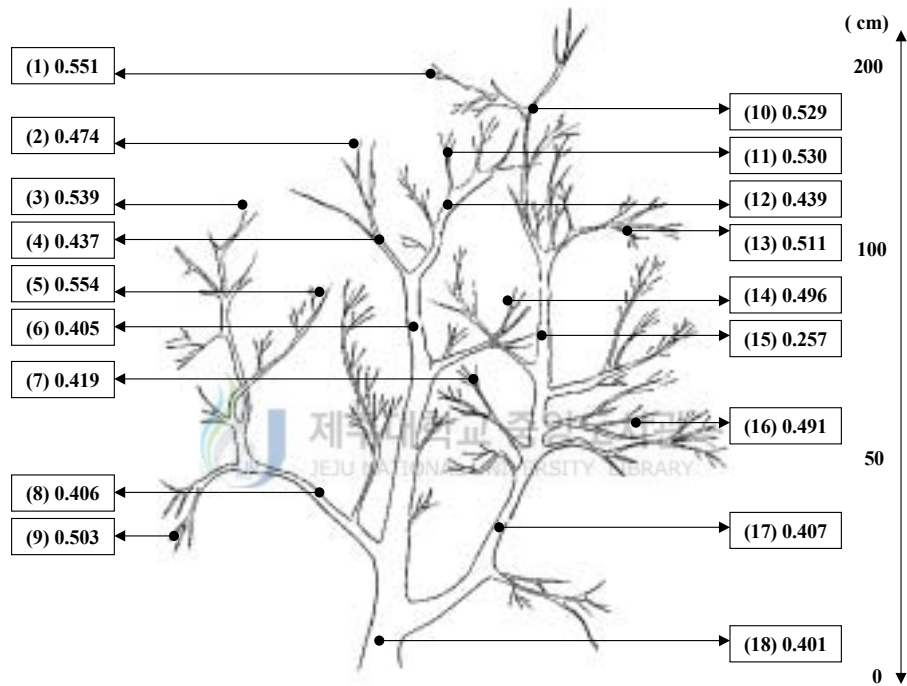


Fig. 17. ^{15}N atom % in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Namwon (^{15}N -urea was applied June 21, 1997 and tree was collected in Mar. 1998)

- (1) ; Green on wood (2) ; Green wood (3) ; Green wood (4) ; 2-4 year old green wood (5) ; Green wood (6) ; Secondary scaffold branch (7) ; Green wood (8) ; Lateral branch (9) ; Green wood (10) ; 2-4 year old green wood (11) ; Green wood (12) ; Lateral branch (13) ; Green wood (14) ; Green wood (15) ; Lateral branch (16) ; Green wood (17) ; Secondary scaffold branch (18) ; Secondary scaffold branch

2) 제주시 온주밀감나무

(1) 가을비료

제주시 온주밀감원 온주밀감나무의 위치별 ^{15}N atom%을 Fig. 18과 같았다. 남원 온주밀감과 마찬가지로 온주밀감나무 가지의 위치가 높을 수록, 온주밀감나무의 주간보다는 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom%는 높게 관찰되었다.

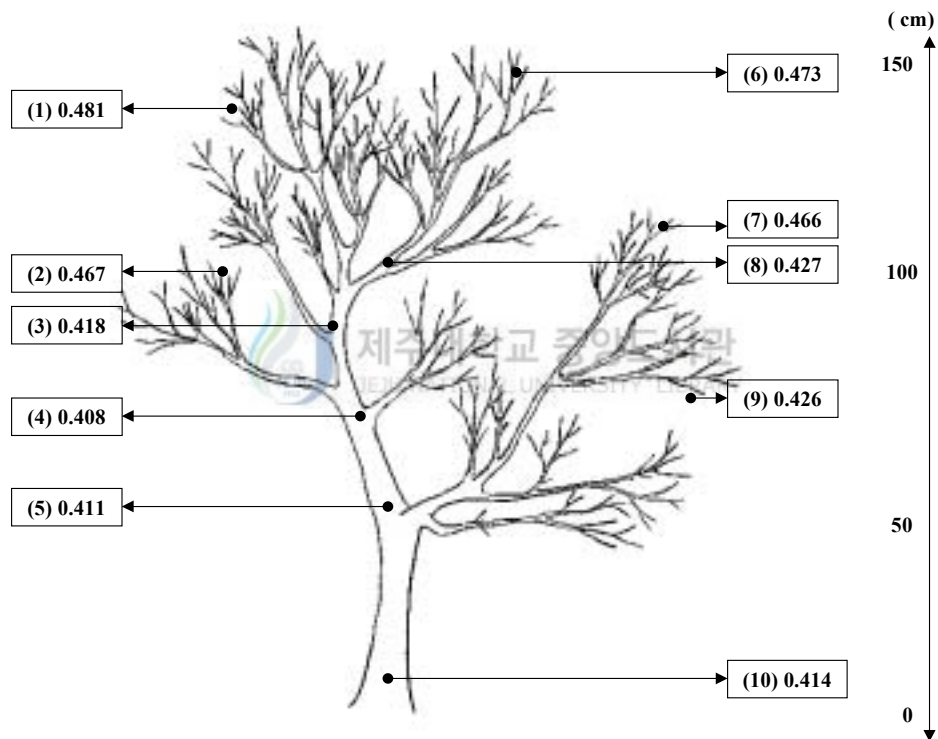


Fig. 18. ^{15}N atom % in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Jeju-si (^{15}N -urea was applied on Nov. 13, 1996 and tree was collected in Mar. 1998)

(1) ; Green wood, (2) ; Green wood, (3) ; lateral branch, (4) ; lateral branch, (5) ; Second scaffold branch, (6) ; Green wood, (7) ; Green wood, (8) ; lateral branch, (9) ; Green wood, (10) ; Second scaffold branch

(2) 봄비료

봄비료의 경우에는 Fig. 19에서 보는 바와 같이 온주밀감나무 가지 중 위치가 높을 수록, 그리고 주간보다는 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom %은 높게 검출되었다. 봄비료는 시비량도 다른 시기 보다 많은데 위치별로도 높은 ^{15}N atom % 분포를 나타냈다.

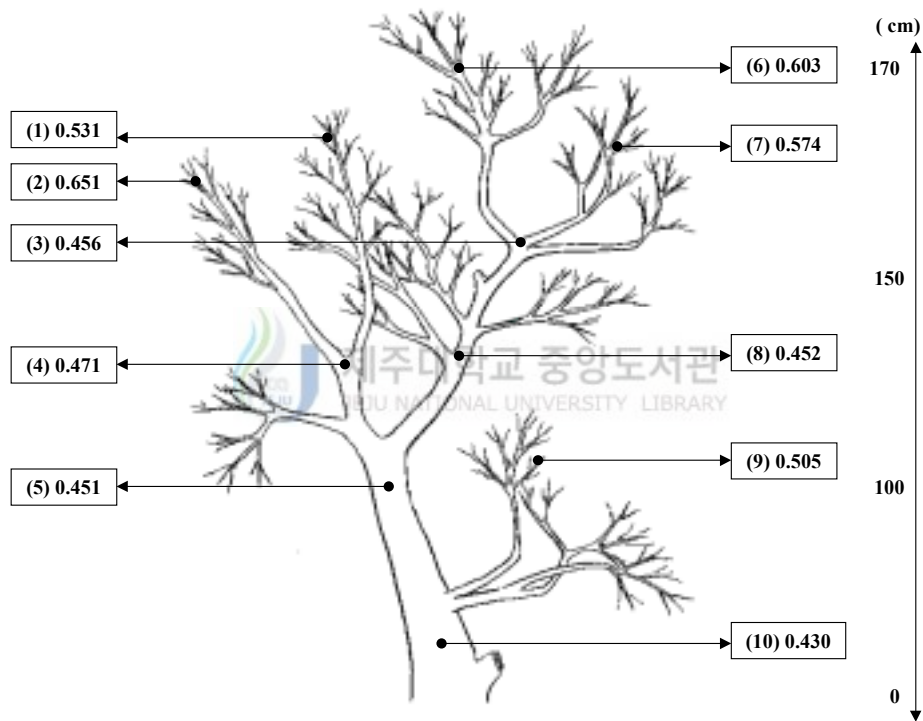


Fig. 19. ^{15}N atom % in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Jeju-si.

(^{15}N -urea was applied on Mar. 18, 1997 and tree was collected on Mar. 1998)

(1) ; Green wood, (2) ; Green wood, (3) ; Lateral branch, (4) ; Lateral branch, (5) ; Second scaffold branch, (6) ; Green wood, (7) ; Green wood, (8) ; Lateral branch, (9) ; Green wood, (10) ; Second scaffold branch.

(3) 여름비료

여름비료의 경우에도 온주밀감나무 가지 위치별 ^{15}N atom%를 측정 한 결과 Fig. 20에 나타났다. 온주밀감나무 가지의 위치가 높을 수록, 온주밀감나무 주간보다는 가지에서, 또한 긴 가지일수록 ^{15}N atom %는 높게 관찰되었다. 이상의 남원과 제주지역 온주밀감원의 온주밀감나무의 가지, 주간 등에서 ^{15}N atom %에 가장 크게 기여한 시비시기는 봄인 것으로 나타났으며 이것은 현재의 시비비율의 관행에 기인된 것으로 생각되었다.

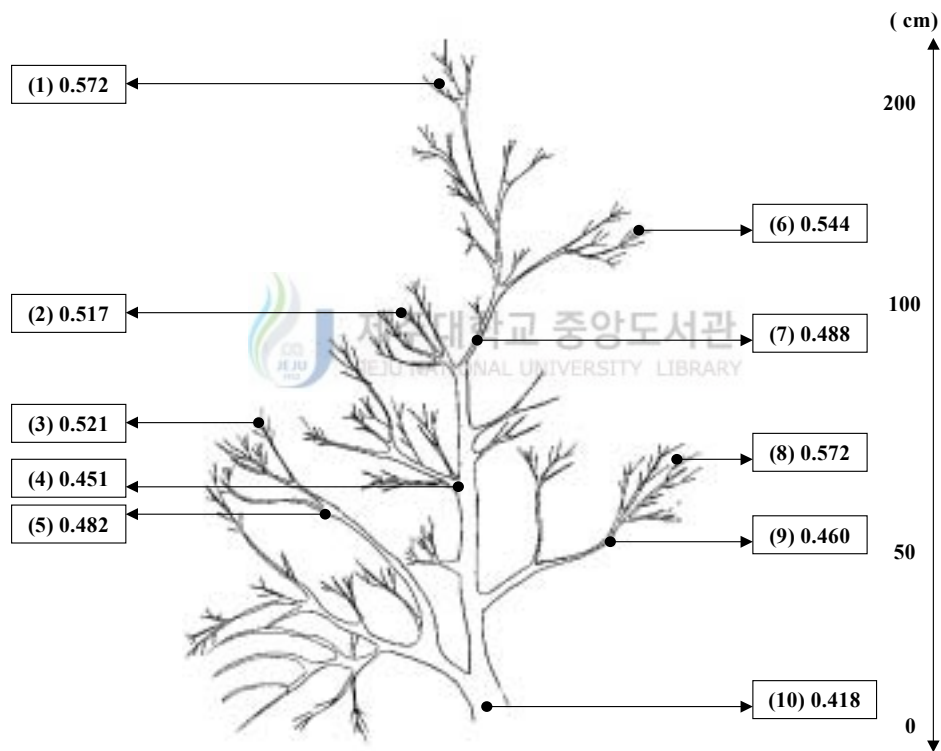


Fig. 20. ^{15}N atom% in various parts of satsuma mandarin trees in relation to sink strength of nitrogen in Jeju-si.

(^{15}N -urea as applied on Jun. 21, 1997 and tree was collected in Mar. 1998).

- (1) ; Green wood, (2) ; Green wood, (3) ; Green wood, (4) ; Lateral branch, (5) ; Lateral branch, (6) ; Green wood, (7) ; Lateral branch, (8) ; Green wood, (9) ; Lateral branch, (10) ; Second scaffold branch

나. 온주밀감 나무의 부위별 질소성분 분포

1) 남원 온주밀감나무

(1) 가을비료

남원 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 가을비료로 처리하였을 때 부위별 %Ndff 분포를 Fig. 21에 나타냈다. 온주밀감나무의 부위별 %Ndff의 분포를 보면 지상부는 과육 ≍ 과피 > 신엽 ≍ 구엽 > 녹지 > 2-4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순서로 나타났고, 지하부에서는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 나타났다. 특히, 지하부에서 세근이 지상부의 측지부위 다음으로 높은 %Ndff 분포수준을 나타냈다. 또한, 부위별 %Ndff는 시비량이 증가함에 따라 함께 증가하는 경향을 보였다.

(2) 봄비료

봄비료의 부위별 엽 중 %Ndff 분포를 조사한 결과 Fig. 22와 같았다. 온주밀감나무의 부위별 %Ndff의 분포는 지상부의 경우는 과육 ≍ 과피 > 신엽 ≍ 구엽 > 녹지 > 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순서로 나타났고, 지하부에서는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 나타났다. 특히, 지하부에서 세근은 지상부에서 측지와 유사한 %Ndff 분포 수준을 나타냈다.

(3) 여름비료

여름비료의 부위별 %Ndff 함량 분포를 조사한 결과는 Fig. 23에 나타냈다. 온주밀감나무의 부위별 %Ndff 분포는 지상부의 경우 과피 ≍ 과육 > 신엽 > 구엽 > 녹지 ≍ 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 ≍ 주간 순서로 나타났고, 지하부에서는 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 > 세근 순으로 나타났다.

종합적으로 남원 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 처리시기별 %Ndff 분포 현황을 조사한 결과, 가을처리에서는 2~4년 녹지, 측지, 주지, 주간, 중근, 대근, 특대근 순으로 주로 저장기관에 분포하였고, 봄비료 처리에서는 과육, 과피, 신엽, 구엽, 녹지 순으로 신생기관인 과실, 엽 및 녹지 등에 주로 분포하는 특징을 보였다.

2) 제주도 온주밀감나무

(1) 가을 비료

제주도 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 가을비료로 처리하였을 때 부위별 %Ndff 함량분포를 조사한 결과는 Fig. 24와 같았다. 부위별 %Ndff는 지상부의 경우 과육 > 과피 > 신엽 > 구엽 ≍ 녹지 > 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순서로 나타났고, 지하부에서는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 나타났다. 특히, 세근은 지상부에서 측지 부위의 분포 수준과 비슷한 값을 보였다.

(2) 봄비료

봄비료에 대한 부위별 %Ndff 함량 분포를 조사한 결과는 Fig. 25과 같았다. 밀감나무의 부위별 %Ndff 분포는 지상부의 경우는 과피 > 과육 > 신엽 > 구엽 > 녹지 > 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순서로 나타났고 지하부는 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 > 세근 순으로 나타났다. 특히, 지하부에서 세근이 지상부에서는 과피와 유사한 %Ndff 분포 수준을 나타냈다.

(3) 여름비료

여름비료에 대한 부위별 %Ndff 함량 분포는 Fig. 26와 같았다. 밀감나무의 부위별 %Ndff가 지상부에서 과피 ≍ 과육 > 신엽 ≍ 구엽 > 녹지 > 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순서로 높게 나타났고, 지하부에서는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 나타났다. 특히, 지하부의 세근은 지상부의 2~4년 녹지와 비슷한 수준의 분포를 나타냈다.

제주 온주밀감원에서 ^{15}N -urea의 처리시기별 %Ndff의 분포현황을 종합해 보면, 가을비료 처리에서는 주지, 소근, 중근, 대근, 특대근에서 높았고, 봄처리에서는 과육, 과피, 신엽, 구엽, 측지, 아주지, 세근에서 높았으며 이때 대근은 가을비료 처리시와 비슷한 수준으로 분포하였다. 여름비료 처리에서는 녹지, 2~4년 녹지 순이었으며, 여름비료 처리에서의 세근은 봄비료 처리 시와 비슷한 수준으로 분포하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 남원 온주밀감원의 결과와 같이 가을시비는 주로 저장기관에, 그리고 봄비료는 신생기관인 잎과 과실에 전류된다는 사실이 입증된 결과라고 생각되었다.

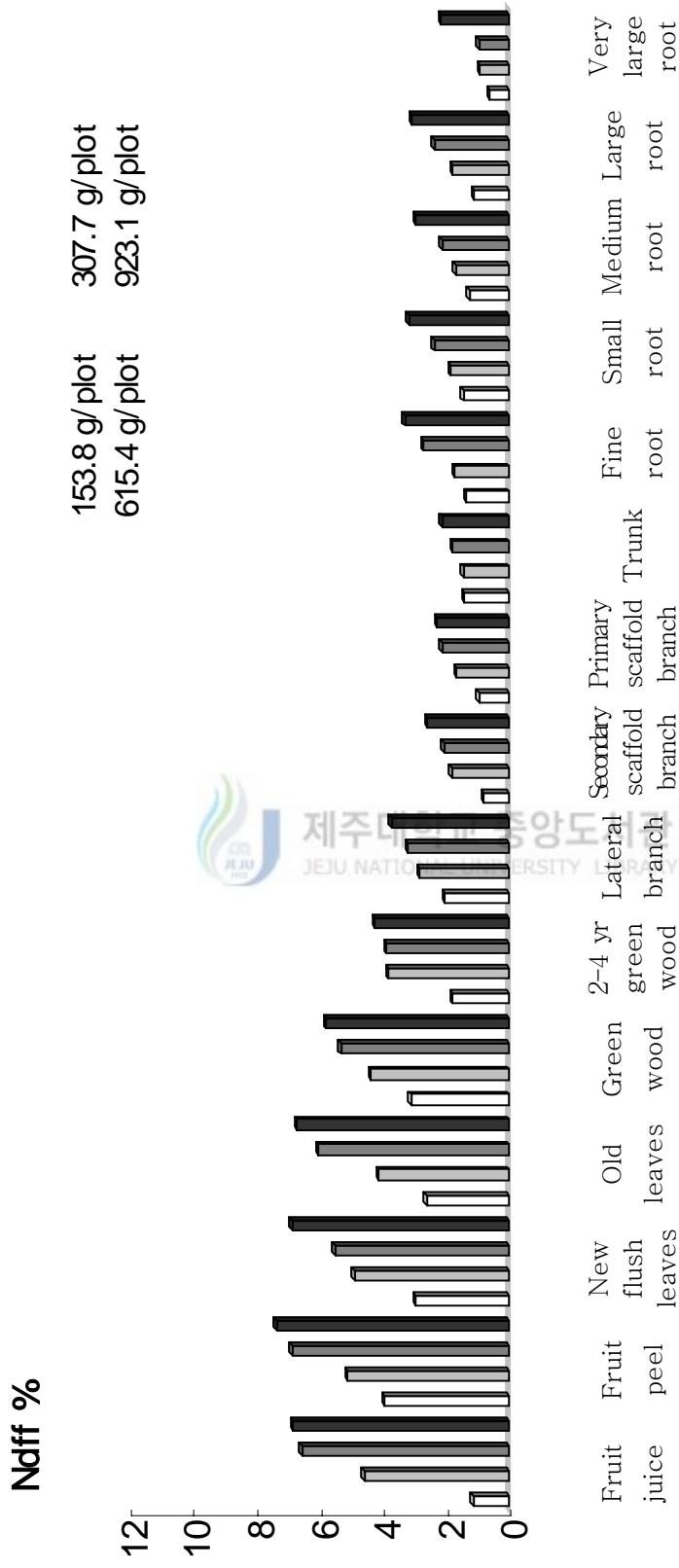


Fig. 21. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on Nov. 10, 1996 in Namwon (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively).



Fig. 22. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on Mar.17, 1997 in Namwon (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively.).



Fig. 23. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on June 21, 1997 in Namwon (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively).

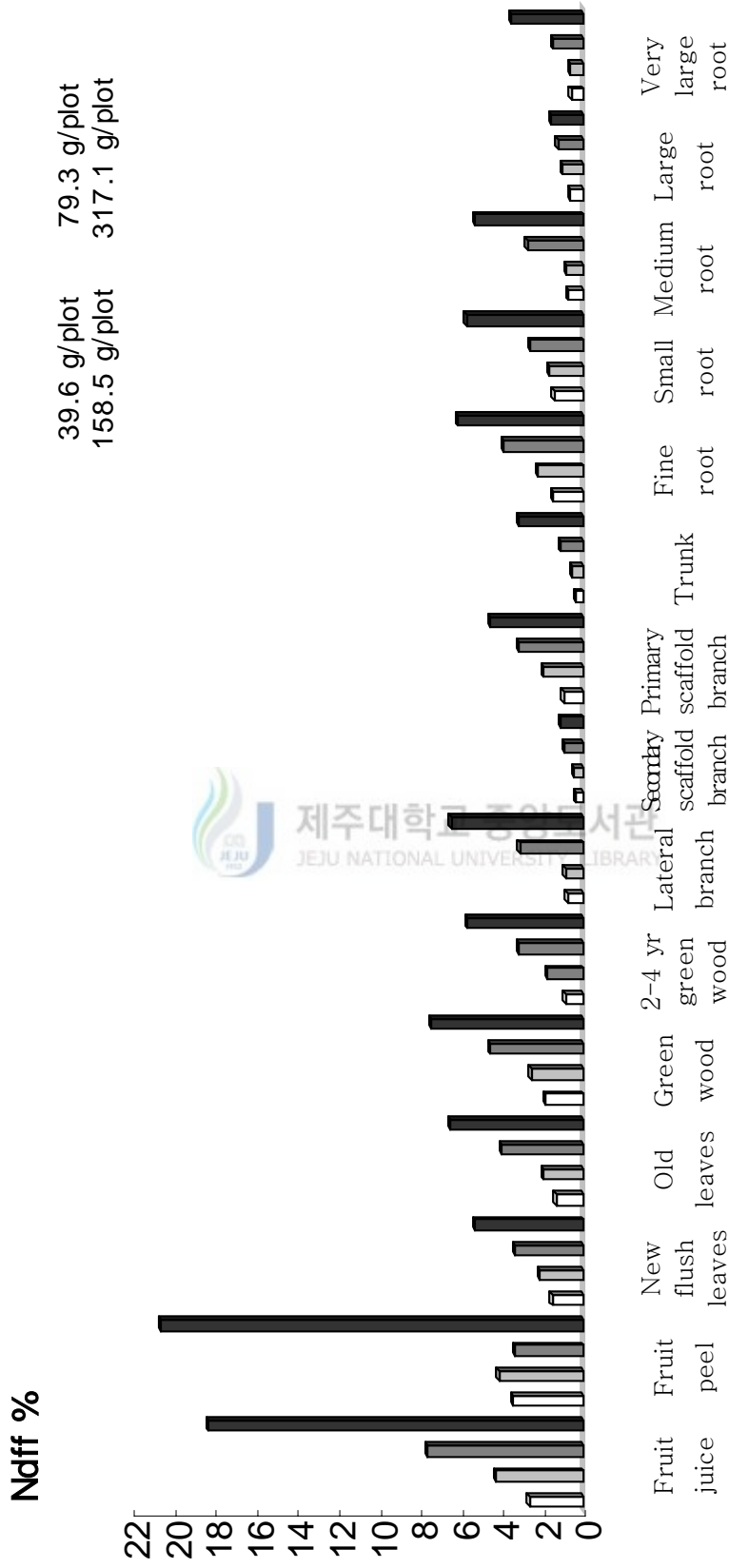


Fig. 24. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on Nov. 13, 1996 in Jeju-si (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively.).

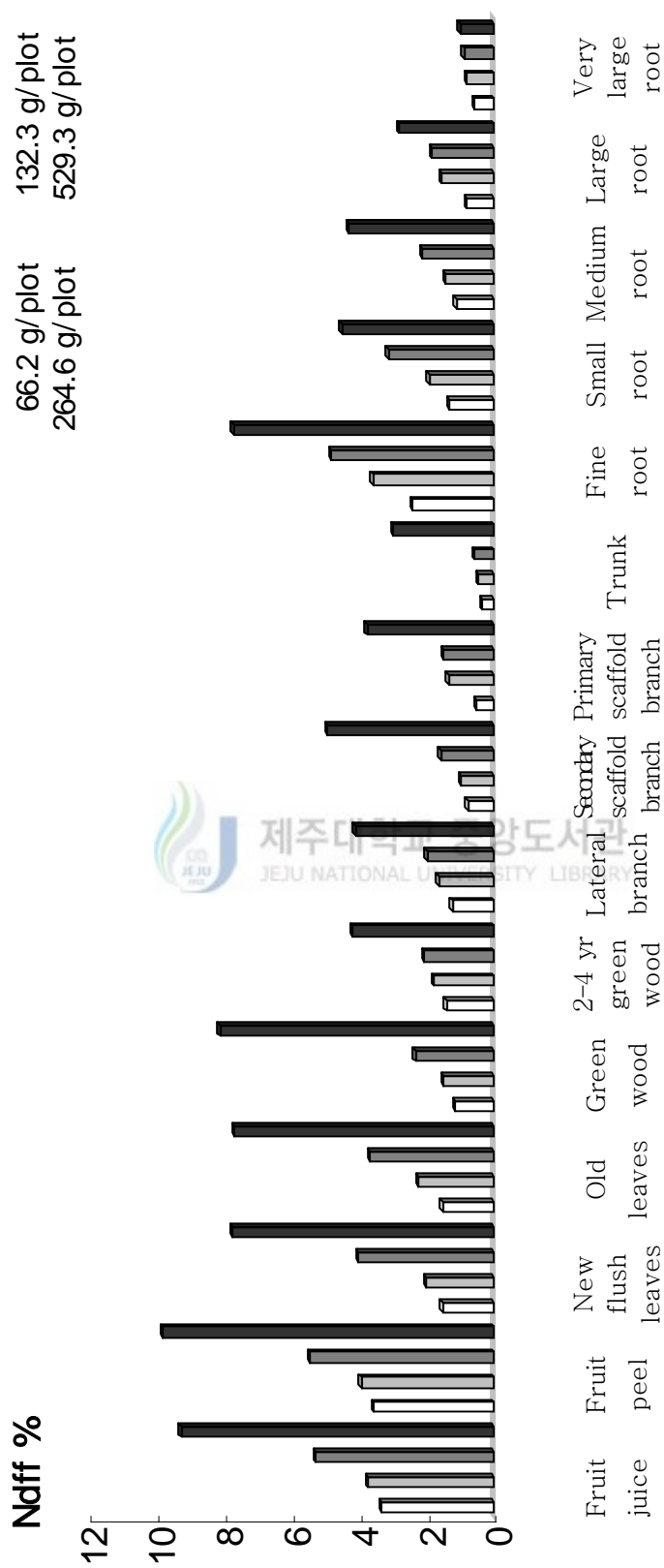


Fig. 25. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on Mar.

18, 1997 in Jeju-si (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively).

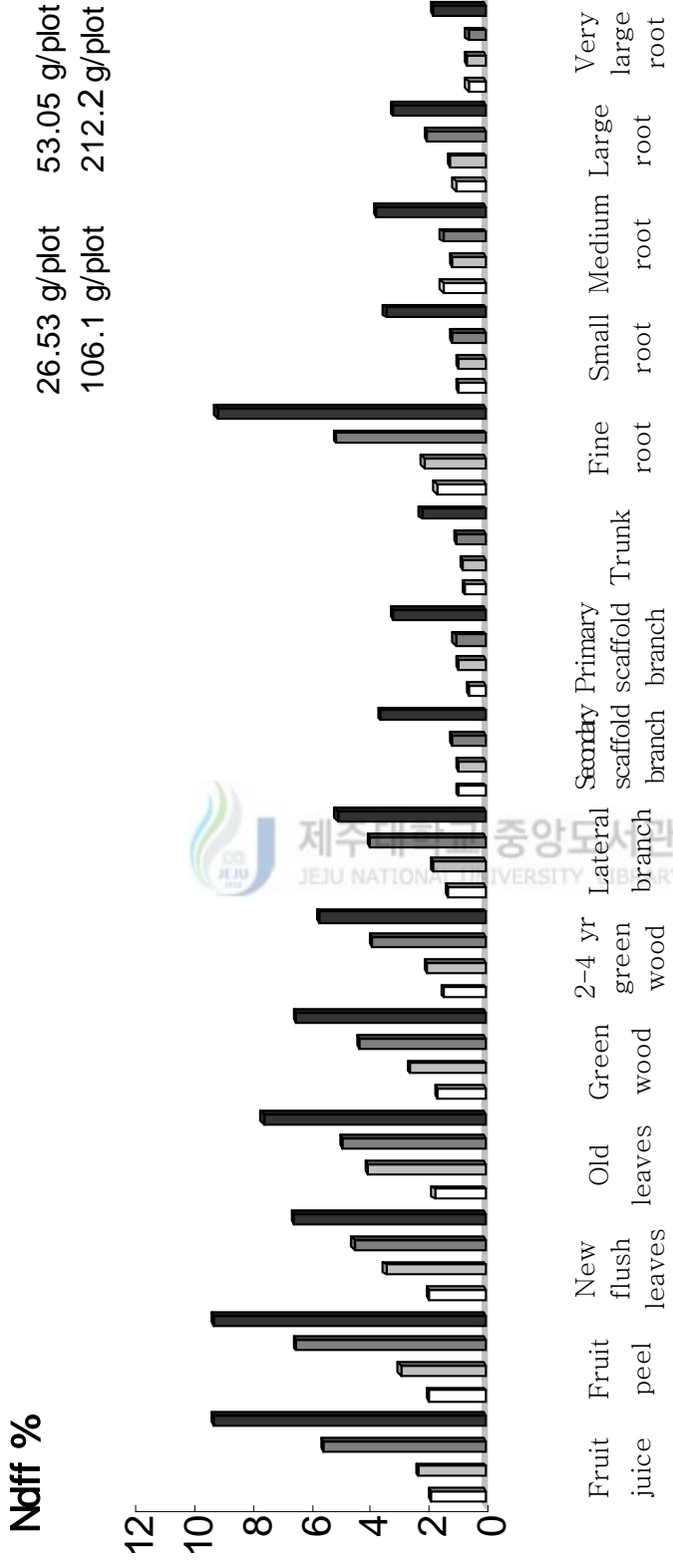


Fig. 26. %Ndff in each part of satsuma mandarin trees applied with ¹⁵N-urea at various rates on June 21, 1997 in Jeju-si (Fruits and trees were collected in Nov. 1997 and Mar. 1998, respectively.).

다. 온주밀감나무의 부위별 질소성분 분포비

1) 남원 온주밀감나무

(1) 가을비료

남원 온주밀감원에서 신생기관의 총질소 함량과 시비질소의 분포비를 알아보기 위해서 ^{15}N -urea를 가을비료로 사용한 결과는 Table 17과 같았다. 특히 시비질소의 분포비는 수체 부위별 전질소 함량의 분포비(B)와 부위별 Ndff 함량의 분포(A)에 대한 비(A/B)를 계산하여 나타냈다. 1997년과 1998년에 가을비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 786 g, 752 g이며 ^{15}N -urea로 부터 흡수한 질소는 각각 26.9 g, 33.9 g으로 전질소 함량의 3.4%, 4.5%이었다. 신생기관의 형성에는 대부분 저장질소의 역할이 비교적 크며 질소함량은 선단부 특히 엽, 1년지, 세근 등에 많았다(加藤 등, 1984). 지상부에서 흡수질소의 기관별 분포비가 1보다 큰 기관은 과육 > 과피 > 신엽 > 구엽 > 녹지 순으로 조사되었고, 흡수질소의 기관별 분포비가 1보다 작은 기관은 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부 기관은 흡수질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 분포비는 대근 > 중근 > 세근 > 소근 > 특대근 순이었다. 세근과 소근은 지상부의 2~4년 녹지 다음으로 높은 분포비를 보였다.

(2) 봄비료

봄비료에 대한 신생기관의 총질소 함량과 시비질소의 분포비는 Table 18과 같았으며, 1997년과 1998년에 봄비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 713, 521 g이며 ^{15}N -urea로 부터 흡수한 질소는 각각 31.1 g, 31.8 g으로 총질소함량의 4.4%, 6.1%이었다. 가을비료가 지하부에 편중되는 것과 대조적으로 봄비료는 여름비료의 분포에 가깝다고 알려져 있다(久保田 등, 1972). 봄비료는 신생기관에 분포비가 높는데 지상부에서 시비질소의 부위별 분포비가 1보다 큰 부위는 과피 > 과육 > 녹지 > 구엽 > 신엽 > 2~4년 녹지 순으로 조

사되었으며, 흡수질소의 기관별 분포비가 1보다 작은 부위는 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부에서 각 기관별 시비질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 부위별 분포비는 세근 > 대근 > 중근 > 소근 > 특대근 순으로 높았다. 특히 세근은 지상부의 2~4년 녹지 다음으로 높은 분포비를 보였다.

(3) 여름비료

남원 온주밀감원에서 신생기관의 총질소 함량과 시비질소의 분포비를 알아보기 위해서 ^{15}N -urea를 여름비료로 사용하여 조사한 결과는 Table 19와 같다. 1997년과 1998년에 여름비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 757.7g, 692.7g이며 ^{15}N -urea로부터 흡수한 질소는 각각 15.7g, 23.1g으로 총질소 함량에 대한 2.1%, 3.3%이었다. 지상부에서 시비질소의 부위별 분포비가 1보다 큰 기관의 부위는 과피 > 과육 > 신엽 > 녹지 > 구엽 > 2~4년 녹지 순으로 조사되었으며, 흡수질소의 기관별 분포비가 1보다 작은 기관의 부위는 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부에서 각 기관별 시비질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 기관별 분포비는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 높았다. 특히 세근은 2~4년 녹지 다음으로 높은 분포비를 보였다. 따라서 남원 온주밀감원에서 시비질소의 부위별 분포비 (A/B)는 감귤나무의 기관별 또한 비료시용 시기별로 달랐으며 그 비가 높은 시비시기는 봄 > 가을 > 여름 순이었으며, 부위별로는 과피, 과육, 신엽, 구엽, 녹지, 2~4년 녹지, 세근 등의 순으로 높았다(米山 1982). 특히 그 분포비는 과육과 과피에서 시비질소의 분포비가 여름비료 > 봄비료 > 가을비료 순으로 높았으며, 신엽, 구엽, 녹지 및 2~4년 녹지에서는 봄비료 > 가을비료 > 여름비료 순으로 높았다. 세근에서는 여름비료 > 가을비료 > 봄비료 순으로 높았으며, 특대근에서는 봄비료 > 가을비료 > 여름비료 순으로 그 비가 높았다.

Table 17. Influence of autumn application of ^{15}N -urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Namwon

Plant part	Total-N (g)		Distribution of total- N (B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ^{15}N (A) (%)			A/B				
	'96 ^{z)}	'97 ^{y)}	'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97				
	Fruit juice	60.39	56.94	7.7	8.1	2.90	3.89	10.6	12.0	1.43	1.36			
Fruit peel	55.29	52.79	7.1	7.6	3.20	3.70	12.7	12.1	1.81	1.40				
New flush leaves	120.93	223.41	15.4	27.8	7.51	11.41	27.8	34.7	1.80	1.27				
Old leaves	25.06	43.19	3.2	5.3	1.43	2.62	5.2	7.5	1.63	1.29				
Green wood	37.62	40.01	4.9	5.4	1.99	2.30	7.4	6.6	1.52	1.22				
2-4 year old green wood	25.67	43.79	3.3	6.1	0.99	2.12	3.7	5.9	1.13	0.96				
Lateral branch	17.06	60.84	2.2	7.9	0.59	1.65	2.1	4.4	0.94	0.55				
Secondary scaffold branch	95.24	36.59	12.0	24.1	4.9	20.6	2.14	0.96	7.6	15.3	2.6	10.9	0.63	0.53
Primary scaffold branch	75.52	55.74	9.9	7.8	1.57	1.42	5.6	3.9	0.57	0.48				
Trunk	24.45	31.76	3.1	3.1	4.1	0.47	0.67	1.8	1.8	1.8	0.60	0.41		
Fine root	54.85	18.91	6.9	2.6	1.50	0.69	5.3	1.8	0.76	0.70				
Small root	21.90	46.64	2.8	6.6	0.58	1.35	3.9	3.9	0.75	0.61				
Medium root	20.60	13.17	2.7	31.5	1.7	14.7	0.50	0.44	1.8	17.5	1.2	8.7	0.69	0.68
Large root	2.61	2.52	0.3	0.4	0.07	0.09	0.2	0.3	0.73	0.74				
Very large root	148.78	26.00	18.8	3.5	1.50	0.56	6.3	1.5	0.36	0.44				
Sum	785.94	752.28	100.0	100.0	26.93	33.85	101.78	100.0	1.00	1.00				

^{z)} ^{15}N -urea was applied on Nov. 10, 1996, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1997.

^{y)} ^{15}N -urea was applied on Dec. 2, 1997, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1998.

Table 18. Influence of spring application of ^{15}N -urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Namwon

Plant part	Total-N (g)		Distribution of total-N (B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ^{15}N (A) (%)		A/B	
	'97 ^{z)}	'98 ^{y)}	'97	'98	'97	'98	'97	'98	'97	'98
	Fruit juice	83.53	39.21	11.7	7.4	8.29	3.57	27.5	11.7	2.39
Fruit peel	83.07	36.56	11.6	6.6	8.22	3.81	25.3	12.4	2.18	1.64
New flush leaves	73.03	111.98	10.3	21.4	4.55	8.56	14.8	27.4	1.453	1.27
Old leaves	20.42	28.69	2.9	5.6	1.32	2.33	4.1	7.0	1.43	1.29
Green wood	32.86	39.07	4.6	7.7	1.99	3.12	3.1	10.1	1.41	1.35
2-4 year old green wood	25.20	29.86	3.6	5.7	0.70	2.02	2.3	6.2	0.66	1.05
Lateral branch	11.62	57.74	1.6	10.9	0.31	2.19	1.0	6.3	0.62	0.59
Secondary scaffold branch	82.84	24.23	11.4	31.8	4.7	23.9	1.36	0.65	4.1	11.2
Primary scaffold branch	128.31	42.92	18.7	8.30	1.68	1.25	6.1	3.8	0.32	0.45
Trunk	22.28	19.23	3.1	3.1	3.8	0.25	0.47	0.8	0.80	1.5
Fine root	35.48	20.75	4.5	4.1	0.87	1.17	2.8	3.2	0.60	0.82
Small root	19.70	35.65	2.8	6.8	0.46	1.35	1.5	3.8	0.52	0.54
Medium root	21.59	15.70	3.1	20.0	3.1	17.8	0.46	0.68	1.4	14.0
Large root	2.05	1.55	0.3	0.3	0.07	0.07	0.1	0.2	11.2	2.3
Very large root	71.08	17.92	9.4	3.5	0.61	0.57	8.3	1.8	0.47	0.68
Sum	713.03	521.05	99.45	100.0	31.14	31.82	106.5	99.62	1.00	1.00

^{z)} ^{15}N -urea was applied on Mar. 17, 1997, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1997.

^{y)} ^{15}N -urea was applied on Mar. 13, 1998, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1998.

Table 19. Influence of summer application of ^{15}N -urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Namwon

Plant part	Total-N (g)		Distribution of total-N (B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ^{15}N (A) (%)		A/B		
	'97 ^{z)}	'98 ^{y)}	'97	'98	'97	'98	'97	'98	'97	'98	
Fruit juice	78.62	64.34	10.5	8.9	3.81	3.01	24.5	14.9	2.33	1.68	
Fruit peel	60.80	67.84	7.7	9.3	3.06	3.68	19.0	18.1	2.57	1.97	
New flush leaves	52.72	161.84	6.7	23.4	1.97	6.39	12.4	26.2	1.85	1.13	
Old leaves	17.26	43.44	2.3	6.3	0.60	1.59	3.8	6.3	1.68	1.01	
Green wood	36.81	37.78	4.8	5.5	1.39	1.39	9.3	6.0	1.90	1.11	
2-4 yr old green wood	24.37	38.29	3.3	5.7	0.58	1.38	3.9	6.0	1.14	1.07	
Lateral branch	10.32	67.26	1.4	10.0	0.17	1.52	1.1	6.0	0.76	0.59	
Secondary scaffold branch	86.44	28.18	11.2	30.2	21.2	0.69	0.46	4.2	11.0	0.37	0.47
Primary scaffold branch	129.38	48.18	17.6	7.3	0.99	0.89	6.5	3.2	0.37	0.40	
Trunk	22.90	41.09	3.0	3.0	5.9	0.14	1.17	0.9	4.2	0.30	0.73
Fine root	35.43	7.64	4.7	1.2	0.86	0.18	5.2	0.8	1.10	0.78	
Small root	19.69	35.53	2.6	5.0	0.24	0.63	1.5	3.5	0.57	0.68	
Medium root	24.26	17.63	3.1	2.5	13.8	0.25	0.33	1.6	7.3	0.51	0.61
Large root	2.78	2.85	0.4	0.4	0.05	0.04	0.3	0.2	0.83	0.38	
Very large root	155.96	31.72	20.7	4.7	0.93	0.40	5.8	1.5	0.28	0.32	
Sum	757.71	692.75	100.0	100.0	15.71	23.08	100.0	100.0	1.00	1.00	

^{z)} ^{15}N -urea was applied on June 21, 1997, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested on Nov. 1997.

^{y)} ^{15}N -urea was applied on June 5, 1998, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested on Nov. 1998.

2) 제주도 온주밀감나무

(1) 가을비료

제주시 온주밀감원에서 신생기관이 점유하는 총질소 함량과 시비질소 분포비를 알아보기 위해서 ^{15}N -urea를 가을비료로 사용하여 조사한 결과는 Table 20과 같았다. 1997년과 1998년에 가을비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 226.7 g, 225.8 g이며 ^{15}N -urea로부터 흡수한 질소는 각각 9.0 g, 12.6 g로 전질소 함량의 4.0%, 5.6%이었다. 지상부에서 흡수질소의 부위별 분포비가 1보다 큰 부위는 과육 > 과피 > 구엽 > 신엽 > 녹지 순으로 조사되었으며, 그 부위별 분포비가 1보다 작은 부위는 측지 > 2~4년 녹지 > 아주지 > 주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부에서 각 부위별 시비질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 지하부에서 부위별 분포비를 보면 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순이었으며 세근은 1보다 큰 분포비를 나타내었으며 과피 다음으로 큰 분포비를 보였다.



(2) 봄비료

봄비료에 대한 신생기관의 부위에 점유하는 총질소 함량과 시비질소의 분포비는, 1997년과 1998년에 봄비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 301.4 g, 257.2 g이며 ^{15}N -urea로부터 흡수한 질소는 각각 9.9 g, 14.1g로 전질소 함량의 3.3%, 5.5%이었다. 가을비료가 지하부에 편중되는 것과는 달리 봄비료는 여름비료의 분포와 가깝다고 알려져 있다(久保田 등, 1972). 봄비료는 신생기관에 높은 질소 점유율을 보이는 데 지상부에서 시비질소의 기관별 분포비가 1보다 큰 부위는 과피 > 과육 > 신엽 > 구엽 > 녹지 순으로 조사되었으며, 흡수질소의 부위별 분포비가 1보다 작은 부위는 2~4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부에서 각 부위별 시비질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 부위별 분포비는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순으로 나타나 비료시비 시기별로 차이를 보이고 있었다. 특히 세근은 1보다 큰 분포비를 보였으며 과육 다음으로 높은 분포비를 보였다(Table 21).

(3) 여름비료

제주시 온주밀감원에서 신생기관이 점유하는 총질소 함량과 시비질소의 분포비를 알아보기 위해서 ^{15}N -urea를 여름비료로 사용하여 조사한 결과는 Table 22와 같았다. 1997년과 1998년에 여름비료를 사용한 시험수의 총질소 함량은 각각 301, 310.8g이며 ^{15}N -urea로부터 시비 흡수한 질소는 각각 10.3g 13.9g로 전질소 함량의 3.4%, 4.5%이었다.

여름비료는 신생기관에 분배가 주로 이루어지는데(加藤 등, 1981) 지상부에서 시비질소의 부위별 분포비가 1보다 큰 부위는 과피 > 과육 > 구엽 > 신엽 > 측지 순으로 조사되었다. 시비질소의 부위별 분포비가 1보다 작은 부위는 2~4년녹지 > 주지 > 아주지 > 주간 순으로 나타났다. 지하부에서 각 부위별 시비질소의 분포비가 1보다 작게 나타났으며, 기관별 분포비는 세근 > 대근 > 소근 > 중근 > 특대근 순으로 나타나 비료시비 시기별로 차이를 보이고 있었다. 특히 세근은 분포비가 1보다 크며 과피 다음으로 높은 분포비를 보였다. 따라서 제주 온주밀감원에서 시비질소의 부위별 분포비(A/B)는 부위별 또는 비료 사용 시기별로 달랐다. 시비질소 분포비가 높은 시비시기는 가을 > 봄 > 여름 순이었으며, 부위별로 보면 시비질소는 신생기관인 과피, 과육, 신엽, 구엽, 녹지, 2~4년 녹지, 세근 등에서 높은 분포비를 보였는데 이는 加藤 등 (1981)과 米山(1982)의 결과와 일치하였다. 한편, 과육과 과피 기관은 가을비료 > 봄비료 > 여름비료 순으로 그 영향이 커졌으며, 녹지, 2~4년 녹지 기관은 봄비료 > 여름비료 > 가을비료 순으로 커졌다. 세근 부위는 여름비료 > 봄비료 > 가을비료 순으로 그리고, 특대근 기관에서 분포비는 봄비료 > 가을비료 > 여름비료 순으로 커졌다. 시비질소의 부위별 분포비는 남원 또는 제주시 온주밀감원의 온주밀감나무 모두 시비시기 간에 다소의 차이는 있으나 제일 큰 비를 갖고 있는 것은 과실과 엽이라는 사실을 알 수 있으며 이는 온주밀감나무의 부위 중 큰 sink를 하기 때문인 것으로 생각되었다.

Table 20. Influence of autumn application of ^{15}N -urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Jeju-si

Plant parts	Total-N (g)		Distribution of total-N (B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ^{15}N (A) (%)		A/B	
	'96 ^{z)}	'97 ^{y)}	'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97
	Fruit juice	26.73	25.45	12.1	11.3	2.27	2.27	27.0	19.1	2.26
Fruit peel	24.92	26.45	11.4	11.6	1.93	2.63	22.2	21.9	2.15	1.94
New flush leaves	42.54	43.16	18.4	18.9	1.53	2.15	18.0	22.2	1.005	1.16
Old leaves	6.97	14.56	3.2	6.7	0.23	1.11	3.3	8.6	1.04	1.26
Green wood	13.75	8.31	6.1	3.6	0.58	0.36	7.7	3.8	1.28	1.05
2-4 year old green wood	11.45	8.92	5.1	4.1	0.34	0.36	4.2	3.5	0.84	0.83
Lateral branch	4.58	7.99	2.0	3.6	0.15	0.32	1.5	3.5	0.74	0.89
Secondary scaffold branch	14.60	14.05	6.3	13.4	0.11	0.59	1.6	7.4	0.26	0.81
Primary scaffold branch	11.88	15.11	5.2	6.5	0.35	0.45	4.3	4.3	0.83	0.67
Trunk	4.82	7.80	2.2	2.2	0.06	0.18	0.7	2.0	0.34	0.54
Fine root	11.34	10.20	5.0	4.96	0.40	0.76	5.3	6.6	1.08	1.37
Small root	6.52	7.66	2.8	3.56	0.21	0.34	2.5	3.3	0.89	0.90
Medium root	6.04	10.46	2.6	28.2	0.17	0.30	1.1	16.5	0.66	0.71
Large root	6.72	11.54	3.0	5.0	0.08	0.31	1.1	3.1	0.40	0.61
Very large root	33.87	14.15	14.8	6.3	0.61	0.43	6.5	3.5	0.44	0.55
Sum	226.72	225.79	99.90	100.0	9.02	12.56	107.1	110.8	1.00	1.00

z) ^{15}N -urea was applied on Nov. 13, 1996, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1997.

y) ^{15}N -urea was applied on Dec. 2, 1997, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1998.

Table 21. Influence of spring application of ¹⁵N-urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Jeju-si

Plant part	Total-N (g)		Distribution of total-N(B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ¹⁵ N(A) (%)		A/B					
	'97 ^{z)}	'98 ^{y)}	'97	'98	'97	'98	'97	'98	'97	'98				
	Fruit juice	39.48	29.94	13.3	10.9	2.13	2.44	26.6	20.0	1.99	2.14			
Fruit peel	37.12	29.60	12.5	10.7	2.11	2.55	26.26	20.2	2.10	2.20				
New flush leaves	58.32	50.13	17.9	18.7	2.00	3.24	21.86	25.6	1.28	1.41				
Old leaves	8.94	18.89	3.0	7.0	0.35	1.21	3.86	9.3	1.26	1.37				
Green Wood	20.50	10.70	6.83	4.1	0.68	0.720	6.85	5.7	1.00	1.37				
2-4 yr old green wood	13.38	14.28	4.50	5.6	0.31	0.58	3.90	5.2	0.87	0.93				
Lateral branch	5.76	11.67	2.03	4.7	0.13	0.39	1.65	3.6	0.86	0.74				
Secondary scaffold branch	27.35	15.95	9.03	17.9	6.8	18.1	0.61	0.52	6.05	11.6	4.6	12.4	0.65	0.71
Primary scaffold branch	19.64	16.76	6.88	6.7	0.38	0.53	3.93	4.3	0.59	0.66				
Trunk	4.11	10.16	1.50	1.5	4.2	4.2	0.05	0.24	5.6	5.6	2.13	2.1	0.33	0.52
Fine root	10.09	4.26	3.28	2.0	0.44	0.23	5.60	3.3	1.69	1.45				
Small root	4.63	5.17	1.48	2.1	0.12	0.20	1.45	2.2	0.98	0.97				
Medium Root	6.19	10.09	2.05	22.8	4.0	20.8	0.14	0.34	1.60	14.9	3.1	16.8	0.78	0.76
Large root	8.63	12.70	3.00	5.9	0.16	0.44	1.88	4.31	0.65	0.73				
Very large root	37.28	16.88	12.95	6.8	0.31	0.47	4.35	3.91	0.38	0.58				
Sum	301.4	257.18	100.1	99.9	9.91	14.10	116.15	117.33	1.00	1.00				

z) ¹⁵N-urea was applied on Mar. 18, 1997, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1997.

y) ¹⁵N-urea was applied on Mar. 13, 1998, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1998.

Table 22. Influence of summer application of ^{15}N -urea on the nitrogen partitioning in each part of satsuma mandarin trees in Jeju-si

Plant part	Total-N (g)		Distribution of total-N(B) (%)		Ndff (g)		Distribution of ^{15}N (A) (%)		A/B	
	'97 ^{z)}	'98 ^{y)}	'97	'98	'97	'98	'97	'98	'97	'98
	Fruit juice	40.16	41.16	13.4	13.5	1.94	2.67	22.1	23.9	1.67
Fruit peel	37.23	40.28	12.4	13.3	2.02	2.44	22.8	24.0	1.85	1.84
New flush leaves	49.25	56.04	16.5	18.1	1.99	2.64	26.6	24.2	1.61	1.35
Old leaves	11.65	18.18	3.9	5.6	0.53	1.00	6.9	7.3	1.75	1.28
Green wood	18.65	15.55	6.2	4.8	0.72	0.74	8.8	5.8	1.41	1.20
2-4 yr old green wood	13.41	16.55	4.5	4.7	0.47	0.71	5.2	4.3	1.20	0.86
Lateral branch	5.16	21.69	1.7	5.5	0.15	1.34	2.0	7.9	1.13	1.39
Second scaffold branch	20.80	23.46	6.9	9.4	0.33	0.35	4.0	9.1	0.60	0.50
Primary scaffold branch	18.54	11.81	6.1	4.1	0.33	0.23	3.1	2.2	0.50	0.55
Trunk	2.97	9.15	1.0	3.2	0.03	0.13	0.5	1.3	0.45	0.43
Fine root	22.65	10.34	7.5	4.1	1.05	0.48	11.9	7.1	1.55	1.56
Small root	6.92	13.90	2.3	3.6	0.11	0.40	1.4	2.5	0.59	0.63
Medium root	7.99	9.28	2.7	2.9	0.15	0.217	1.9	2.9	0.59	0.63
Large root	38.31	11.62	12.7	3.6	0.37	0.15	4.5	2.0	0.71	0.72
Very large root	38.31	11.62	12.7	3.6	0.37	0.15	4.5	1.2	0.36	0.32
Sum	300.95	310.83	100.0	100.0	10.33	13.85	123.5	121.5	16.14	15.17

z) ^{15}N -urea was applied on June 21, 1997, Trees were collected in Mar. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1997.

y) ^{15}N -urea was applied on June 5, 1998, Trees were collected in Dec. 1998, Fruits were harvested in Nov. 1998.

5. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감나무의 질소 이용률

가. 온주밀감 과실의 질소이용률

1) 남원 온주밀감

남원 온주밀감원에 해당하는 ^{15}N -urea를 Table 3과 같이 처리별(B~G처리)로 시비한 후 수확한 과실에 대한 질소 이용률은 Table 23과 Table 24에서 나타났다. 질소 시비량의 증가는 과실 중 Ndff(g) 량을 증가시켰지만 과실에서 질소 이용률은 낮은 것으로 나타났다.

과실의 질소이용률은 0.005~6.23% 범위였으며 시비량이나 시비시기에 따라 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 비록 N atom excess% 값이 시비량에 따라 증가했으나 과실에 의한 질소의 이용률이 다른 것은 시비량에 따른 과실의 생산량과 질소함량이 개체간 변이 폭이 컸기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 Table 23에서 과실의 평균 질소 이용률은 봄비료(처리C) 2.35%, 여름비료(처리D) 2.19%, 가을비료(처리B) 1.54% 이었으며, Table 24에서 과실의 평균 질소 이용률은 가을비료(처리E)와 봄비료(처리F)에서 공시수의 착과량이 적은 경우, 과실 중 질소이용률은 매우 낮게 나타났는데, 이들을 제외하고 계산한 평균 이용률은 여름비료(처리G)) 2.94%, 가을비료(처리E) 2.58%, 봄비료(처리F) 1.15%로 나타났다. Table 24의 가을비료(처리E)와 봄비료(처리 F)에서 각각 질소이용률이 4수준에서 0.03%, 0.005%가 나타난 것은 극히 착과량이 불량한 감귤나무로 사료된다. 그러나 이들 감귤나무의 질소이용률은 착과량이 부진에 의한 과실 기여율이 낮은 대신에 나무에 대한 기여율이 증가하는 것으로 Table 28에 나타났는데, 이는 저장양분이 증가하면서 다음해 착과량 증가가 예상되었다.

Table 23. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin fruits in Namwon

Application time ^{z)}	N rate kg 10a^{-1} (g tree ⁻¹)	Fruit dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	^{15}N -Atom %excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
B	4.5 (153.8)	17,043	0.766	130.43	0.1183	2.553	3.306	2.150
	9.0 (307.7)	15,328	0.837	128.29	0.2245	4.846	6.204	2.020
	18.0 (615.4)	16,553	0.829	137.15	0.3104	6.699	9.180	1.492
	27.0 (923.1)	7,047	0.945	66.82	0.3287	7.095	4.719	0.511
C	7.5 (253.8)	12,308	0.989	121.67	0.3230	6.417	7.878	3.104
	15.0 (507.7)	20,939	0.948	198.38	0.4076	8.099	16.056	3.162
	30.0 (1015.4)	17,446	0.960	167.11	0.6029	11.978	20.025	1.972
	45.0 (1523.1)	17,323	1.037	179.25	0.5508	10.526	18.876	1.239
D	3.0 (100.0)	14,006	0.860	120.18	0.2106	4.546	5.468	2.734
	6.0 (200.0)	20,685	0.954	197.34	0.1344	2.901	5.698	2.849
	12.0 (400.0)	15,809	0.517	84.25	0.3024	6.528	5.320	1.330
	18.0 (600.0)	17,040	0.918	155.88	0.3258	7.033	10.979	1.830

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 10, 1996, C ; Apr. 17, 1997,
D ; June 21, 1997.

Fruits were harvested in Nov. 1997.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

Table 24. Effects of ¹⁵N-urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin fruits in Namwon

Application time ^{z)}	N rates kg 10a ⁻¹ (g tree ⁻¹)	Fruit dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	¹⁵ N-Atom % excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
E	4.5 (153.8)	18,593	0.819	152.17	0.1380	2.979	4.513	1.467
	9.0 (307.7)	16,245	0.894	144.72	0.4729	10.207	14.789	4.806
	18.0 (615.4)	648	0.797	5.16	0.1634	3.527	0.182	0.030 ^{v)}
	27.0 (923.1)	15,809	0.863	136.85	0.4523	9.762	13.409	1.453
F	7.5 (253.8)	14,102	0.842	118.76	0.2976	6.424	7.589	1.495
	15.0 (507.7)	8,290	0.822	67.94	0.3061	6.608	4.485	0.883
	30.0 (1015.4)	61	0.744	0.46	0.4981	10.750	0.0494	0.005 ^{w)}
	45.0 (1523.1)	12,990	0.893	115.91	0.6565	14.169	16.408	1.077
G	3.0 (100.0)	16,562	0.907	149.91	0.1926	4.157	6.232	6.232
	6.0 (200.0)	20,238	0.880	177.69	0.0793	1.712	3.064	1.532
	12.0 (400.0)	19,731	0.850	167.09	0.3720	8.029	13.418	3.354
	18.0 (600.0)	3,676	0.925	33.97	0.4405	9.508	3.226	0.538

z) Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 3, 1998,

G ; June. 21, 1998.

Fruits were harvested on Nov. 1998.

y) R : N utilization ratio(%), v, w) poor bearing tree.

2) 제주도 온주밀감

제주도 온주밀감원에서 질소 시비량의 증가는 과실 중 Ndff(g)량을 증가시켰지만 과실에 의한 질소 이용률은 남원 온주밀감원의 경우와 같이 질소 시비량과 시비시기에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 25. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on nitrogen recovery by Satsuma mandarin fruits in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rates kg 10a ⁻¹ (g tree ⁻¹)	Fruit dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	^{15}N -Atom %excess	Ndff (%)	Ndff ^{x)} (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
B	3.0 (39.6)	3,498	0.944	33.03	0.1533	3.046	0.997	2.516
	6.0 (79.3)	6,604	0.999	65.91	0.2155	4.198	2.766	3.490
	12.0 (158.5)	6,100	0.925	56.45	0.2548	5.499	3.157	1.991
	24.0 (317.1)	4,958	1.032	51.20	0.8995	19.416	9.898	3.122
C	5.0 (66.2)	6,523	0.906	59.12	0.1806	3.452	2.038	3.080
	10.0 (132.3)	9,375	0.919	86.19	0.2003	3.827	3.295	2.490
	20.0 (264.6)	10,007	0.893	89.32	0.2700	5.365	4.791	1.810
	40.0 (529.3)	7,723	0.929	71.75	0.4992	9.539	6.840	1.292
D	2.0 (26.53)	7,530	0.954	72.00	0.0888	1.917	1.378	5.195
	4.0 (53.05)	7,677	0.992	76.18	0.1206	2.604	1.970	3.713
	8.0 (106.1)	7,867	0.960	75.49	0.2780	6.001	4.532	4.271
	16.0 (212.2)	8,890	0.963	85.57	0.4303	9.289	7.948	3.746

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 13, '96, C ; Apr. 18, '97, D ; June 21, '97. Trees were collected in Mar. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

한편 남원이나 제주시 온주밀감원 모두 과실에 질소 이용률은 최고 6~8%였는데 이용률은 매년 과실에 의해 온주밀감원으로부터 탈취되는 비료양으로 온주밀감나무의 비대에 소요되는 양을 제외하고도 매년 최소한으로 공급되어야 하는 비료양 임을 추정할 수 있었다.

Table 26. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin fruits in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rates kg 10a^{-1} (g tree ⁻¹)	Fruit dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	^{15}N -Atom % excess	Ndff (%)	Ndff ^{x)} (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
E	3.0 (39.6)	9,900	0.809	80.0	0.1888	4.074	3.278	8.272
	6.0 (79.3)	5,639	0.880	49.61	0.2154	4.649	2.308	2.911
	12.0 (158.5)	2,269	0.782	17.75	0.5317	11.476	2.043	1.289
	24.0 (317.1)	6,239	0.984	61.23	0.9045	19.522	11.974	3.777
F	5.0 (66.2)	1,676	0.908	15.23	0.3023	6.525	0.996	1.505
	10.0 (132.3)	5,173	0.935	48.35	0.3077	6.642	3.211	2.427
	20.0 (264.6)	9,161	1.047	95.82	0.3477	7.505	7.202	2.721
	40.0 (529.3)	8,473	0.929	78.69	0.5042	10.882	8.559	1.617
G	2.0 (26.53)	4,089	0.843	34.47	0.1497	3.211	1.112	4.193
	4.0 (53.05)	9,102	0.924	84.05	0.2114	4.563	3.835	7.229
	8.0 (106.1)	9,951	0.930	92.52	0.2786	6.013	5.561	5.242
	16.0 (212.2)	5,876	0.884	51.91	0.4003	8.639	4.490	2.116

^{z)} Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 3, 1998, G ; June 21, 1998. Trees were collected in Dec. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

Table 25에서 과실의 질소 이용률은 평균 여름비료(처리D) 4.23%, 가을비료(처리B) 2.78%, 봄비료(처리C) 2.17%이었으며, Table 26에서 과실의 질소 이용률은 여름비료(처리G) 4.70%, 가을비료(처리E) 4.06%, 봄비료(처리C) 2.07%로 나타났다. 2개년동안 수확한 과실에서의 질소 이용률은 여름비료> 가을비료> 봄비료 순으로 높았으며 제주시 온주밀감원이 남원 온주밀감원에 비해 이용률은 높게 나타났다

나. 온주밀감나무의 질소 이용률

1) 남원 온주밀감

남원 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 시기별로 1996년 가을비료(처리B), 1997년 봄비료(처리C) 및 1997년 여름비료(처리D) 처리한 후 1998년 3월에 굴채하여 감귤나무의 질소 이용률은 Table 27에 나타났다. 질소 시비량이 증가하면서 대부분 ^{15}N atom excess%와 Ndff(g)은 증가한 반면 이용효율은 감소하는 것으로 조사되었다. 질소시비량에 따라 가을비료(처리B)시기에 Ndff(g)은 주당 14.70 g에서 32.54 g로 증가하였으나 질소 이용률은 4.14%에서 1.70%으로 감소하였고, 봄비료(처리C)시기에는 Ndff(g)은 주당 7.76 g에서 2.34 g이었고, 그 이용률은 3.06%에서 1.44%로 낮아졌다. 여름비료(처리D)시기에 Ndff(g)은 주당 6.07g에서 12.57g이었으며 질소 이용률은 6.07%에서 2.10%으로 낮아졌다.

1997년 가을비료(처리 E), 1998년 봄비료(처리 F) 및 1998년 여름비료(처리 G) 처리후 1998년 12월에 굴채한 감귤나무의 질소 이용률은 Table 28과 같다. 전년도 시비시험결과와 비슷한 경향으로 질소시비량의 증가하면서 ^{15}N atom excess%와 Ndff(g)는 증가한 반면, 비료사용량의 증가는 이용률을 감소시켰다. 따라서 남원지역의 온주밀감나무에서의 비료 이용률은 1.44~12.73% 범위를 보였으며 여기에 과실의 질소이용률은 합치면 온주밀감나무의 비료 이용률은 2~18%으로 그 변이의 폭이 매우 큰 편임을 알 수 있었다. 이러한 이유는 나무 개체간의 생육과 생산량이 매우 상이하기 때문인 것으로 특히, 격년결과는 비료의 이용률에 가장 크게 미치는 인자 중의 하나임을 시사했다.

Table 27. Effects of ¹⁵N-urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin trees in Namwon

Application time ^{z)}	N rates kg 10a ⁻¹ (g tree ⁻¹)	Tree dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	¹⁵ N-Atom % excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
B	4.5 (153.8)	52,337	1.115	593.02	0.1355	1.9384	14.695	9.56
	9.0 (307.7)	49,998	1.220	620.25	0.1467	1.9374	15.091	4.90
	18.0 (615.4)	63,366	1.173	738.78	0.1460	2.0596	20.990	3.41
	27.0 (923.1)	60,978	1.172	728.98	0.2034	3.2981	32.539	3.53
C	7.5 (253.8)	38,231	1.244	481.18	0.1174	1.2434	7.755	3.06
	15.0 (507.7)	43,345	1.174	518.52	0.1505	1.8015	13.599	2.68
	30.0 (1015.4)	56,852	0.960	551.62	0.1269	1.7182	15.054	1.48
	45.0 (1523.1)	59,974	1.039	634.42	0.1744	2.5624	22.337	1.44
D	3.0 (100.0)	42,606	1.073	463.33	0.0934	1.0970	6.067	6.07
	6.0 (200.0)	71,321	1.018	756.15	0.0717	0.7126	7.322	3.66
	12.0 (400.0)	49,737	1.073	541.62	0.1064	1.2996	9.419	2.36
	18.0 (600.0)	63,639	1.106	712.02	0.0976	1.3594	12.575	2.10

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 10, 1996, C ; Apr. 17, 1997, D ; June 21, 1997. Trees were collected in Apr. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

Table 28. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin trees in Namwon

Application time ^{z)}	N rates kg 10a^{-1} (g tree ⁻¹)	Tree dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	^{15}N -Atom % excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
E	4.5 (153.8)	70,820	1.161	831.15	0.1180	1.7015	19.583	12.73
	9.0 (307.7)	46,019	0.934	441.64	0.1518	2.2113	13.812	4.49
	18.0 (615.4)	78,771	0.998	803.05	0.2388	4.0108	40.444	6.57
	27.0 (923.1)	54,981	0.888	493.88	0.2771	5.2391	31.171	3.38
F	7.5 (253.8)	45,528	0.962	444.44	0.1550	2.2383	13.910	5.48
	15.0 (507.7)	41,439	0.926	403.16	0.2686	3.4263	19.317	3.81
	30.0 (1015.4)	51,293	0.970	505.24	0.3349	6.0196	38.578	3.80
	45.0 (1523.1)	37,899	1.116	428.13	0.2663	4.8980	25.958	1.70
G	3.0 (100.0)	52,735	0.968	524.53	0.0823	0.4744	3.755	3.76
	6.0 (200.0)	58,647	1.025	610.70	0.1486	2.5903	17.933	8.97
	12.0 (400.0)	62,383	0.930	596.93	0.1579	2.4485	18.748	4.69
	18.0 (600.0)	50,547	0.998	510.16	0.2232	3.8126	25.108	4.19

^{z)} Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 3, 1998, G ; June 21, 1998. Trees were collected on Dec. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

2) 제주시 온주밀감

제주시 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 1996년 가을비료(처리B), 1997년 봄비료(처리C) 및 1997년 여름비료(처리 D)를 시비한 후 1998년 3월에 굴채한 감귤나무의 질소 이용률 결과는 Table 29에 나타났다. 남원 온주밀감원과 마찬가지로 대부분 질소 시비량이 증가하면 ^{15}N atom% excess와 Ndff(g)는 증가한 반면, 질소비료의 이용효율은 감소하는 것으로 조사되었다.

질소 시비량에 따라 처리B에서 Ndff(g)는 주당 1.88 g에서 11.18 g으로 증가하였고 질소이용률은 4.75%에서 2.52%로 감소하였으며, 처리C에서 Ndff(g)는 주당 1.61 g에서 10.43 g으로 증가하였고 질소 이용률은 3.06%에서 1.44%로 감소하였다. 처리D 시기에서 Ndff(g)는 주당 2.71 g에서 11.62 g로 증가한 반면 질소이용률은 10.22%에서 5.48%로 감소하였다. 시비시기에 따른 질소이용률은 처리D에서 가장 높았으며 Ndff(g)에 있어서는 처리B와 처리D는 대체로 비슷하였다.

전년도 시험결과와 마찬가지로 ^{15}N -urea를 1997년 가을비료(처리E), 1998년 봄비료(처리F) 및 1998년 여름비료(처리 G) 처리 후 1998년 3월에 굴채한 감귤나무의 질소 이용률을 Table 30에 나타냈는데 대부분 질소 시비량의 증가하면서 ^{15}N Atom excess%와 Ndff값은 증가한 반면, 비료 이용률은 감소하였다. 질소 시비량에 따라 처리 E에서 Ndff(g)는 주당 4.05 g에서 12.45 g으로 증가하였고 질소이용률은 4.75%에서 3.93%로 낮아졌으며, 처리 F에서 Ndff(g)는 주당 2.53 g에서 18.32 g로 증가하였으며, 질소 이용률은 4.68%에서 3.46%로 감소하였다. 처리 G에서 Ndff(g)는 주당 2.557g에서 6.31 g으로 증가하였고 질소이용률은 9.64에서 2.974%로 증가하였다. 이 시험에서 질소 이용률은 처리E와 처리 G에서는 비슷하였지만 처리 F에서는 낮았다. 질소 흡수량인 Ndff(g)에 있어서는 처리 F에서가 많은 것으로 나타났다.

이상의 시험결과를 보면 온주밀감나무의 비료 이용률은 2~20%이내에 불과 했는데 이는 표층시비의 관행이 가장 큰 원인인 것으로 판단되었다. 따라서 비료의 이용률을 높이기 위해서는 근권까지 침투가 용이하고 생육 단계별 시기 적절한 양분공급이 이루어질 수 있는 관주법과 같은 시비기술 도입이 바람직하다고 사료되었다.

Table 29. Effects of ¹⁵N-urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin trees in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rates kg 10a ⁻¹ (g tree ⁻¹)	Tree dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	¹⁵ N-Atom % excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^{y)} (%)
B	3.0 (39.6)	17,709	0.98	178.01	0.080	0.787	1.882	4.75
	6.0 (79.3)	16,301	0.84	142.59	0.121	1.080	2.214	2.79
	12.0 (158.5)	13,810	0.99	139.76	0.146	2.198	3.996	2.52
	24.0 (317.1)	21,478	1.09	239.94	0.217	3.796	11.183	3.53
C	5.0 (66.2)	20,528	0.75	156.89	0.088	0.811	1.606	2.43
	10.0 (132.3)	27,109	1.08	303.79	0.123	1.385	5.259	3.97
	20.0 (264.6)	26,518	0.83	226.46	0.145	1.635	5.377	2.03
	40.0 (529.3)	22,877	0.89	212.06	0.224	3.371	10.433	1.97
D	2.0 (26.53)	20,385	0.98	203.73	0.112	0.976	2.712	10.22
	4.0 (53.05)	21,492	0.99	216.57	0.120	1.301	4.264	8.04
	8.0 (106.1)	23,917	0.94	230.99	0.130	1.788	6.900	6.50
	16.0 (212.2)	26,168	0.90	242.92	0.205	3.345	11.620	5.48

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 13, 1996, C ; Apr. 18, 1997, D ; June 21, 1997.

Trees were collected in Mar. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

Table 30. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on nitrogen recovery by satsuma mandarin trees in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rates kg 10a^{-1} (g tree ⁻¹)	Tree dry wt. (g tree ⁻¹)	T-N (%)	T-N (g tree ⁻¹)	^{15}N -Atom % excess	Ndff (%)	Ndff (g tree ⁻¹)	R ^y (%)
E	3.0 (39.6)	27,898	0.84	238.23	0.102	1.421	4.302	10.86
	6.0 (79.3)	15,173	0.92	140.75	0.128	2.299	4.049	5.11
	12.0 (158.5)	18,549	0.98	185.44	0.222	4.385	9.841	6.21
	24.0 (317.1)	12,446	1.03	131.08	0.420	8.383	12.454	3.93
F	5.0 (66.2)	16,726	0.83	142.40	0.085	1.306	2.529	3.82
	10.0 (132.3)	18,622	0.98	185.40	0.157	2.697	6.198	4.68
	20.0 (264.6)	18,723	0.99	187.61	0.208	4.007	9.362	3.54
	40.0 (529.3)	28,508	0.96	280.71	0.271	5.026	18.321	3.46
G	2.0 (26.53)	17,522	0.91	161.77	0.077	1.132	2.557	9.64
	4.0 (53.05)	19,454	0.86	172.81	0.113	1.673	3.688	6.95
	8.0 (106.1)	16,214	1.03	173.43	0.180	2.835	6.221	5.86
	16.0 (212.2)	14,317	1.04	152.65	0.224	4.133	6.309	2.97

^{z)} Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 13, 1997, G ; Jun. 5, 1997.

Trees were collected on Dec. 1998.

^{y)} R : N utilization ratio(%).

6. ^{15}N -urea 에 의한 온주밀감원 토양질소의 잔존 및 손실

가. 남원 온주밀감원 토양의 질소 잔존율

Table 31은 ^{15}N -urea를 1996년 가을비료(처리 B), 1997년 봄비료(처리C) 및 1997년 여름비료(처리D) 시비한 후 1998년 3월에 굴채전 토양의 질소 잔존율을 측정 한 것이다. 질소 시비량이 증가하면서 ^{15}N atom % excess와 Ndff(g)는 증가한 반면, 비료시용량의 증가로 잔존율은 감소하였다. 질소 시비량에 따라 가을비료(처리 B)시기에서의 토양 잔존율은 5.62~ 9.85%, Ndff(g)는 주당 15.20~51.89 g이었으며 봄비료(처리C)시기에서의 토양 잔존율은 3.72~6.73%, Ndff(g)은 주당 17.07~58.21 g이었다. 여름비료(처리 D)시기에서 온주밀감 나무의 질소 이용률은 6.73~19.31%였으며 Ndff(g)는 주당 19.31~40.35g 이었다. 시비시기에 따른 토양 잔존율은 여름비료(처리 D)시기에서 높았는데 Ndff에 있어서는 가을비료(처리 B)에서는 여름비료(처리 C)시기에서는 비슷하였으나 처리 D에서는 이들 처리보다 낮았다.

Table 32는 ^{15}N -urea를 1997년 가을비료(처리 E), 1997년 봄비료(처리 F) 및 1997년 여름비료(처리 G)를 처리한 다음 1998년 12월에 굴채 전 토양의 질소 잔존율을 나타내고 있다. 질소 시비량이 증가하면서 ^{15}N atom % excess와 Ndff(g)은 증가한 반면, 비료 시용량의 증가는 토양 잔존율을 감소시켰다..

질소 시비량에 따라 처리B에서의 토양 잔존율은 6.34%~18.42%, Ndff(g)는 주당 28.34 g~58.57 g이었으며 처리 C에서의 토양 잔존율은 5.65%~9.79%, Ndff(g)는 주당 24.85 g~107.49 g이었다. 처리D에서 온주밀감나무의 질소 이용률은 8.10%~20.64%이었으며 Ndff는 주당 20.50 g~48.58 g이었다. 시비시기에 따른 토양 잔존율은 처리 D에서 높았는데 Ndff(g)에 있어서는 처리 E와 처리 G에서는 비슷하였으나 처리 F에서는 이들 값보다 낮았다.

Table 31. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on the residual nitrogen in soil in Namwon

Application time ^{z)}	N rates (kg N 10a ⁻¹)	Soil dry wt (g plot ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	T-N (g plot ⁻¹)	^{15}N -atom % excess	Ndff (%)	A ^{y)} (g plot ⁻¹)	R ^{x)} (%)
B	4.5 (153.8g)	6,834,516	0.335	22,896	0.0031	0.0664	15.20	9.85
	9.0 (307.7g)	6,834,516	0.328	22,417	0.0063	0.1349	30.24	9.83
	18.0 (615.4g)	6,834,516	0.323	22,075	0.0075	0.1613	36.61	5.95
	27.0 (923.1g)	6,834,516	0.322	22,007	0.0109	0.2358	51.89	5.62
C	7.5 (253.8g)	6,834,516	0.338	23,101	0.0040	0.0739	17.07	6.73
	15.0 (507.7g)	6,834,516	0.395	26,996	0.0036	0.0720	19.44	3.83
	30.0 (1015.4g)	6,834,516	0.307	20,982	0.0137	0.1798	37.73	3.72
	45.0 (1523.1g)	6,834,516	0.315	21,529	0.0142	0.2704	58.21	3.82
D	3.0 (100.0g)	6,834,516	0.366	25,014	0.0036	0.0772	19.31	19.31
	6.0 (200.0g)	6,834,516	0.345	23,579	0.0042	0.0895	21.10	10.55
	12.0 (400.0g)	6,834,516	0.431	29,457	0.0050	0.0969	28.54	7.14
	18.0 (600.0g)	6,834,516	0.392	26,791	0.0070	0.1506	40.35	6.73

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 10, 1996, C ; Apr. 17, 1997,

D ; June 21, 1997. Trees were collected on Apr. 1998.

^{y)} A : the amount of ^{15}N labelled fertilizer in soil,

^{x)} R : the recovery of fertilizer nitrogen by soil.

Table 32. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on the residual nitrogen in soil in Namwon

Application time ^{z)}	N rates (kg N 10a ⁻¹)	Soil dry wt (g plot ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	T-N (g plot ⁻¹)	^{15}N -atom % excess	Ndff (%)	A ^{y)} (g plot ⁻¹)	R ^{x)} (%)
E	4.5 (153.8g)	6,834,516	0.378	25,834	0.0051	0.1097	28.34	18.42
	9.0 (307.7g)	6,834,516	0.436	29,911	0.0067	0.1453	43.37	15.00
	18.0 (615.4g)	6,834,516	0.459	31,370	0.0076	0.1650	51.76	8.41
	27.0 (923.1g)	6,834,516	0.410	28,022	0.0097	0.2090	58.57	6.34
F	7.5 (253.8g)	6,834,516	0.411	28,090	0.0041	0.0885	24.85	9.79
	15.0 (507.7g)	6,834,516	0.513	35,061	0.0038	0.0818	28.68	5.65
	30.0 (1015.4g)	6,834,516	0.409	27,953	0.0098	0.2104	58.82	5.79
	45.0 (1523.1g)	6,834,516	0.429	29,320	0.0170	0.3666	107.49	7.06
G	3.0 (100.0g)	6,834,516	0.400	27,338	0.0035	0.0755	20.64	20.64
	6.0 (200.0g)	6,834,516	0.337	23,032	0.0034	0.0890	20.50	10.25
	12.0 (400.0g)	6,834,516	0.465	31,780	0.0062	0.1330	42.27	10.57
	18.0 (600.0g)	6,834,516	0.409	27,953	0.0081	0.1738	48.58	8.10

^{z)} Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F; Apr. 3, 1998,

G ; June 21, 1998. Trees were collected in Dec. 1998.

^{y)} A : the amount of ^{15}N labelled fertilizer in soil.

^{x)} R : the recovery of fertilizer nitrogen by soil.

나. 제주도 온주밀감원 토양의 질소 잔존율

제주도 온주밀감원에서 ^{15}N -urea를 시기별로 1996년 가을비료(처리 B), 1997년 봄비료(처리C) 그리고 1997년 여름비료(처리 D) 처리한 후 1998년 3월에 굴채전 토양의 질소 잔존율을 조사한 결과 Table 33과 같았다. 질소 시비량의 증가하면서 ^{15}N atom excess%와 Ndff(g)는 증가한 반면 비료 잔존율은 감소하였다. 질소 시비량에 따라 가을비료(처리 B)에서의 Ndff(g)는 주당 22.92 g에서 41.29 g로 증가하였고 토양 잔존율은 57.77%에서 13.02%로 감소하였으며, 봄비료(처리 C)에서의 Ndff(g)는 주당 21.32 g에서 47.30 g로 증가하였고, 토양 잔존율은 32.19%에서 8.94%로 감소하였다. 그리고 여름비료(처리 D)에서 Ndff(g)는 주당 12.68 g에서 72.81 g로 증가한 반면 질소 이용률은 53.74%에서 34.31%로 감소하였다. Ndff(g)량에 있어서는 처리 D에서 높았으나 처리 B와 처리 C에서는 이보다 낮았으며 시비시기에 따른 토양 잔존율은 처리 D > 처리 B > 처리 C 순이었다. 전년도 시험결과와 마찬가지로 ^{15}N -urea를 시기별로 1997년 가을비료(E구), 1998년 봄비료(F구) 및 1998년 여름비료(G구) 처리 후 1998년 12월에 굴채전 토양의 질소 잔존율을 측정된 결과 Table 34와 같았으며, 질소 시비량의 증가 하면서 ^{15}N atom excess%와 Ndff(g)는 증가한 반면 비료 잔존율은 감소하였다. 질소 시비량 증가에 따라 처리E에서의 Ndff(g)는 주당 30.19 g에서 60.16 g로 증가하였으며, 토양 잔존율은 76.17%에서 18.97%로 감소하였으며, 처리 F에서 Ndff(g)는 주당 11.68 g에서 42.33 g로 증가하였으며 토양 잔존율은 60.07%에서 8.00%로 감소하였다. 그리고 처리 G에서 Ndff(g)는 주당 8.86 g에서 22.46 g로 증가한 반면 질소 이용률은 33.38%에서 10.58%로 감소하였다. 시비시기에 따른 Ndff(g)는 처리 D > 처리 B > 처리 C 순으로 높았는데 토양 잔존율은 처리 E에서가 다소 높았고 처리 B와 처리 C는 비슷하였다.

Table 33. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on the residual nitrogen in soil in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rates (kg N 10a ⁻¹)	Soil dry wt (g plot ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	T-Ntotal (g plot ⁻¹)	^{15}N -atom %excess	Ndff (%)	A ^{y)} (g plot ⁻¹)	R ^{x)} (%)
B	3.0 (39.6g)	4,112,500	0.134	5,511	0.0210	0.4160	22.92	57.88
	6.0 (79.3g)	4,112,500	0.151	6,210	0.0252	0.4914	30.52	38.48
	12.0 (158.5g)	4,112,500	0.141	5,799	0.0273	0.5882	34.11	21.52
	24.0 (317.1g)	4,112,500	0.148	6,087	0.0314	0.6783	41.29	13.02
C	5 (66.2g)	4,112,500	0.138	5,675	0.0197	0.3755	21.32	32.19
	10 (132.3g)	4,112,500	0.127	5,223	0.0351	0.6974	40.73	27.53
	20 (264.6g)	4,112,500	0.134	5,511	0.0368	0.7032	38.75	14.64
	40 (529.3g)	4,112,500	0.155	6,374	0.0344	0.7420	47.30	8.94
D	2.0 (26.53g)	4,112,500	0.133	5,470	0.0107	0.2319	12.68	47.81
	4.0 (53.05g)	4,112,500	0.142	5,758	0.0450	0.4951	28.51	53.74
	8.0 (106.1g)	4,112,500	0.143	5,881	0.0365	0.7884	46.42	43.70
	16.0 (212.2g)	4,112,500	0.149	6,128	0.0551	1.1882	72.81	34.31

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 13, 1996, C ; Apr. 18, 1997,

D ; June 21, 1997. Trees were collected in Apr. 1998.

^{y)} A : the amount of ^{15}N labeled fertilizer in soil.

^{x)} R : the recovery of fertilizer nitrogen by soil.

Table 34. Effects of ¹⁵N-urea fertilizer application time and rates on the residual nitrogen in soil in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rate (kg N 10a ⁻¹)	Soil dry wt (g plot ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	T-N (g plot ⁻¹)	¹⁵ N-atom %excess	Ndff (%)	A ^{y)} (g plot ⁻¹)	R ^{x)} (%)
E	3.0 (39.63g)	4,112,500	0.142	5,840	0.0240	0.5169	30.19	76.17
	6.0 (79.3g)	4,112,500	0.143	5,881	0.0430	0.9287	54.62	68.88
	12.0 (158.5g)	4,112,500	0.133	5,470	0.0301	0.6486	35.48	22.38
	24.0 (317.1g)	4,112,500	0.140	5,758	0.0483	1.0431	60.16	18.97
F	5 (66.2g)	4,112,500	0.131	5,387	0.0100	0.2168	11.68	60.07
	10 (132.3g)	4,112,500	0.135	5,552	0.0238	0.5143	28.55	21.58
	20 (264.6g)	4,112,500	0.142	5,840	0.0297	0.6417	37.48	14.16
	40 (529.3g)	4,112,500	0.145	5,963	0.0329	0.7098	42.33	8.00
G	2.0 (26.53g)	4,112,500	0.122	5,017	0.0827	0.1765	8.86	33.38
	4.0 (53.05g)	4,112,500	0.128	5,264	0.0134	0.2890	15.21	28.68
	8.0 (106.1g)	4,112,500	0.132	5,429	0.0168	0.3636	19.74	18.60
	16.0 (212.2g)	4,112,500	0.138	5,675	0.0183	0.3957	22.46	10.58

^{z)} Application time were respectively, E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 13, 1997, G ; June 5, 1998. Trees were collected in Dec. 1998.

^{y)} A : the amount of ¹⁵N labeled fertilizer in soil.

^{x)} R : the recovery of fertilizer nitrogen by soil.

다. 남원 온주밀감원 토양 질소의 손실량

¹⁵N-urea를 처리한 후 남원 온주밀감원 토양의 손실량은 Table 35와 같이 조사되었다. 토양 중 질소 손실량은 시비시기에 관계없이 질소 시비량의 증가하면서 많아졌으며 손실율도 높게 나타났다. 비료사용 시기별로 손실율은

시비량이 많은 봄비료(처리 C와 처리 F)에서 88~91%로 높았으며 가을비료(처리 B와 처리 E)에서는 80~85%, 여름비료(처리 D와 처리 G)에서는 79~83%이었다.

Table 35. Effects of ¹⁵N-urea application time and rates on loss ratio of fertilizer N in soil in Namwon

Application time ^{z)}	N rate (g N plot ⁻¹)	Uptake (g tree ⁻¹ plot ⁻¹)	Residue (g plot ⁻¹)	Loss (g plot ⁻¹)	Loss ratio (%)
B	153.8	18.0	15.2	120.6	78.4
	307.7	21.3	30.2	256.2	83.3
	615.4	30.2	36.6	548.6	89.2
	923.3	38.3	51.9	833.1	90.2
C	253.8	15.6	17.1	218.7	86.2
	507.7	28.7	19.4	459.6	90.5
	1015.4	35.1	37.7	942.6	92.8
	1523.1	44.4	58.2	1420.5	93.3
D	100.0	11.5	19.3	69.2	69.2
	200.0	13.0	21.1	165.9	82.9
	400.0	14.7	28.5	356.7	89.2
	600.0	23.6	40.4	536.1	89.4
E	153.8	24.1	28.3	101.4	65.9
	307.7	26.0	43.4	234.4	76.2
	615.4	40.8	51.8	522.9	85.0
	923.3	44.6	58.6	820.2	88.8
F	253.8	21.5	24.9	207.5	81.7
	507.7	24.8	28.7	454.0	89.4
	1015.4	38.6	58.8	918.0	90.4
	1523.1	42.4	107.5	1373.2	90.2
G	100.0	9.1	20.6	70.3	70.3
	200.0	22.7	20.5	156.8	78.4
	400.0	32.2	42.3	325.6	81.4
	600.0	28.3	48.6	523.1	87.2

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 10, 1996, C ; Apr. 17, 1997, D ; June. 21, 1997, and trees were collected in Apr. 1998 and E ; Dec. 2, 1997, F ; Apr. 3, 1998, G ; June 21, 1998, and trees were collected in Dec. 1998.

라. 제주시 온주밀감원 토양의 질소 손실량

제주시 온주밀감원 토양에서 ^{15}N -urea를 처리한 후 질소 손실량은 Table 36와 같이 조사되었다.

Table 36. Effects of ^{15}N -urea application time and rates on loss ratio of fertilizer N in soil in Jeju-si

Application time ^{z)}	N rate (g N plot ⁻¹)	Uptake (g tree ⁻¹ plot ⁻¹)	Residue (g plot ⁻¹)	Loss (g plot ⁻¹)	Loss rate (%)
B	39.6	2.9	22.9	13.8	34.9
	79.3	4.3	30.5	44.5	56.1
	158.5	6.4	34.1	118.0	74.3
	317.1	19.7	41.3	256.1	80.8
C	66.2	3.1	21.3	41.8	63.1
	132.3	7.9	40.7	83.7	63.3
	264.6	8.5	38.8	217.4	82.1
	529.3	14.5	47.3	467.5	88.3
D	26.5	3.5	12.7	10.4	39.1
	53.1	5.0	28.5	19.6	36.9
	106.1	8.8	46.4	50.9	47.9
	212.2	16.4	72.8	123.0	58.0
E	39.6	6.8	30.2	2.6	6.6
	79.3	5.3	54.6	19.4	24.5
	158.5	10.3	35.5	112.7	71.1
	317.1	22.9	60.2	234.1	73.8
F	66.2	2.8	11.7	51.7	78.1
	132.3	8.3	28.6	95.4	72.1
	264.6	14.6	37.5	212.5	80.3
	529.3	22.8	42.3	464.2	87.7
G	26.5	3.0	8.9	14.7	55.4
	53.1	6.5	15.2	31.3	59.1
	106.1	10.0	19.7	72.8	68.6
	212.2	10.9	22.6	178.9	84.3

^{z)} Application time were respectively, B ; Nov. 13, 1996, C ; Apr. 18, 1997
D ; June 21, 1997, and trees were collected in Apr. 1998 and E ; Dec. 2, 1997,
F ; Apr. 13, 1997, G ; June 5, 1998, and trees were collected in Dec. 1998.

남원 온주밀감원과 마찬가지로 ^{15}N -urea를 처리한 후 토양의 질소 손실량은 시비시기에 관계없이 질소 시비량의 증가하면서 많아 졌으며 질소 손실율도 높게 나타났다. 질소비료 사용 시기별로 손실율은 시비량이 많은 봄비료(처리 C와 처리 F)에서 74~80%로 높았으며, 가을비료(처리 B와 처리 E)에서는 44~62%, 봄비료(처리 D와 처리 G)에서는 46~67%로 이들 간에는 비슷한 손실율을 보였다. 제주시 온주밀감원 토양의 질소 손실량은 화산회토양인 남원 온주밀감원에 비해 낮았는데 토양특성의 차이에 기인된 것으로 추정된다.

7. ^{15}N -Urea를 이용한 온주밀감원의 질소 적정시비량 결정

가. 남원 온주밀감원

남원 온주밀감원에서 적정질소 시비량을 산출 하기 위해 ^{15}N -urea 처리한 다음 ^{15}N atom excess% 를 측정하고 이용률 계산식을 이용하였다. 이때 과실과 온주밀감나무의 %Ndff 및 이용률은 Table 23와 Table 24 그리고 Table 27과 Table 28와 같았으며 적정시비량 결정에 필요한 조건들은 Table 37과 같았다.

Table 37. Determination of optimal N fertilization in Namwon

N content of tree (%)		Increased amount of D.M. (kg 10a ⁻¹ yr. ⁻¹)	Target yield (kg 10a ⁻¹)	Adequate amount of N fertilizer (kg 10a ⁻¹)
Fruit	Tree			
0.160	1.125	184	4,000	36.5

과실의 질소함량은 수확기 과실중의 질소함량을 측정한 값이며 수체 질소는 굴채 감귤나무의 가중 평균 질소함량이다. 연간 건물 증가량은 수체의 증가량이 높은 수준의 처리구의 건물중에서 무질소구의 건물중을 뺀 값으로 하여 184 kg/10a로 설정하였고 목표수량은 남원지역 감귤원에서는 4,000 kg/10a로 하였다. 이와 같이 계산된 적정시비량 36.5 kg이 산출되었는데 퇴비를 사용하지 않은 조건에서 표층시비에 의한 만큼 제주도농업기술원의 감귤에 대한 추천시비량에서는 퇴비를 10 a당 2톤 사용하고 질소질비료를 30 kg사용하도록 하고 인는 바와 비교하면 화학비료는 20%가 증가한 량이나 Tachibana와 Yahata(1996)의 연구결과에 의하면 온주밀감원에서 퇴비 사용시 화학비료가 50% 감소하였던 결과를 감안하면 첨가되는 퇴비 사용량 만큼 비료를 줄여 사용해야 할 것이라고 판단되었다. 또한 화학비료만을 사용하여 목표수량과 수체 증가분에 필요한 질소질비료를 사용하는데는 토양특성과 지역환경조건이 비료사용량이 제주도 지역보다 더 필요함을 나타낸 결과라고 판단되었다. 그러나 이와같은 산정된 적정질소 시비량은 비료의 이용률에 따라 달라질수 있으며 시비개선을 통해 이용률을 높이면 적정시비량은 이보다 낮은 값이 설정될 수 있다고 사료된다.

나. 제주도 온주밀감귤원

제주도 온주밀감원에서도 적정질소 시비량을 산출 하기 위해 ^{15}N -urea 처리한 다음 ^{15}N atom excess% 를 측정하고 이용률 계산식을 이용하였다. 이때 과실과 감귤나무의 %Ndff 및 이용률은 Table 25와 Table 26 그리고 Table 29와 Table 30의 결과와 같았으며 적정시비량 결정에 필요한 조건들은 Table 38과 같았다.

Table 38. Determination of optimal N fertilization in Jeju-si

N content of tree (%)		Increased amount of D.M. (kg 10a ⁻¹ yr. ⁻¹)	Target yield (kg 10a ⁻¹)	Adequate amount of N fertilizer (kg 10a ⁻¹)
Fruit	Tree			
0.158	1.060	140	3,000	13.7

과실의 질소함량은 수확기 과실중의 질소함량을 측정하여 평균한 값이며 수체질소는 굴채 감귤나무의 전부위를 가중 평균한 질소함량이다. 연간 건물 증가분은 건물중과 수체의 증가량이 높은 수준의 처리구의 건물중에서 무질소구의 건물중을 뺀 값으로 하여 140 kg/10a를 설정하였고 제주 온주밀감원에서 목표수량은 10 a당 3,000 kg으로 하였다.

제주시 온주밀감원에서 퇴비를 사용하지 않고 산출한 적정시비량이 13.7 kg으로 산출된 바, 기존의 제주도 농업기술원의 감귤에 대한 적정시비량은 퇴비를 10a당 2톤 시용할 때 10a당 20kg과 비교하면 화학비료에서 30%가 감소한 양으로 산출되었으며 퇴비시용시는 비료량을 화학비료를 절감시비해야 한다고 판단되었다. 남원 온주밀감원에서와 같이 제주시 온주밀감원에서 산정된 적정질소 시비량은 비료의 이용률에 따라 달라질수 있으며 남원 온주밀감원과 달리 토양특성과 지역환경조건이 비료이용효율을 크게 하는 것으로 보았다.

V. 摘 要

제주도 온주밀감의 적정 질소시비량을 결정하기 위하여 중질소로 표지된 요소(^{15}N -urea)를 이용하여 제주지역과 남원읍 지역의 온주밀감원에서 시비량과 시비시기를 달리하여 1996년부터 1998년까지 3개년 동안 비료시험을 수행했다. 품종은 궁천조생이었으며 남원지역에서는 26년생, 제주시 지역에서는 18년생의 온주밀감나무가 사용되었고 연간 질소 시용량은 각각 15~90 kg N/10a 과 10~80 kg N/10a이었다. 온주밀감나무를 부위별로 %Ndff, 질소이용율, 건물중, 질소함량을 측정하고 과실의 특성에 관해서 조사했다.

1. 질소 시비수준에 따른 온주밀감원 토양의 화학성변화

질소시비량 증가에 따라 남원과 제주시 지역 토양 pH는 각각 5.2에서 4.9로, 4.7에서 4.5로 낮아지고 토양 중 질산태질소 함량은 각각 15에서 53 mg/kg로, 6에서 30 mg/kg으로 증가하였다.

2. 질소 시비수준에 따른 온주밀감의 건물중과 질소함량 및 과실 특성

질소 시비수준이 높아짐에 따라 온주밀감나무의 부위별 질소함량은 증가하였고 남원지역에서는 건물중은 녹지, 2~4년 녹지, 아주지, 주지, 주간, 세근, 중근, 대근, 특대근에서, 제주지역에서는 신엽, 구엽, 2~4년 녹지, 측지, 아주지, 특대근에서 유의성 있게 증가되었다.

남원지역 26년생 온주밀감나무의 부위별 건물중 분포비율은 신엽 8.1%, 구엽 2.1%, 녹지 5.0%, 2~4년 녹지 7.8%, 측지 8.8%, 아주지 14.4%, 주지 10.7%, 주간 7.4%, 세근 2.8%, 소근 4.9%, 중근 4.1%, 대근 5.5%, 특대근 18.5%이었다.

제주시 지역 18년생 온주밀감나무의 부위별 건물중 분포비율은 신엽 8.43%, 구엽 2.2%, 녹지 4.5%, 2~4년 녹지 6.4%, 측지 6.4%, 아주지 14.8%, 주지 13.3%, 주간 5.8%, 세근 2.8%, 소근 2.8%, 중근 4.9%, 대근 5.5%, 특대근 22.3% 이었으며 지역간 그리고 수령간에 비슷한 값을 보였다.

질소 시비량에 따른 온주밀감의 과실 껍질두께는 제주시 지역의 경우 2.36 mm에서 2.63 mm로 유의성 있는 차이를 보였으나, 두 지역 모두 당도와 산함량에서는 유의성은 없었다.

3. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감 엽과 과실 중 %Ndff 변화

두 지역에서 ^{15}N -urea의 여름비료사용에 의해서 신엽중의 %Ndff 함량이 직선적으로 높아졌으나 구엽중의 %Ndff 함량은 완만한 증가를 보였다. 가을비료와 봄비료 사용에서도 신엽과 구엽 모두 온주밀감엽 중 %Ndff함량의 변화가 완만한 증가를 보였다.

제주시 지역에서 ^{15}N -urea의 가을비료 사용 후 겨울동안의 신엽과 구엽의 %Ndff는 매우 낮았으나 3월경부터는 급속한 증가를 보였다.

1996년도에 ^{15}N -urea를 여름비료로 사용하고 가을에 수확한 과실의 %Ndff는 남원지역에서 3.0~6.1%, 제주시 지역에서 0.4~2.9%이었다. 그리고 1997년도의 과일에서는 %Ndff가 남원지역에서 1.4~4.3%로 감소한 반면 제주시 지역에서는 1.1~4.2%로 증가하였다.

4. ^{15}N -urea 처리시기에 따른 온주밀감나무 중 질소성분 분포

흡수질소의 전류는 시비시기에 관계없이 낮은 부위보다 높은 부위로, 짧은 가지보다 긴 가지로 많이 일어났다.

두지역에서 %Ndff의 분포는 시비시기에 관계없이 지상부의 경우 과실 > 엽 > 녹지 > 2-4년 녹지 > 측지 > 아주지 > 주지 > 주간 순이었으며, 지하부에서는 세근 > 소근 > 중근 > 대근 > 특대근 순이었다. 특히 세근은 지하부에

서 %Ndff값이 월등히 높았고 이는 %Ndff 값이 높은 지상부의 측지, 2~4년 녹지, 과실과 비슷한 수준이었다.

5. ^{15}N -urea처리시기에 따른 온주밀감나무의 질소 이용률

남원지역에서의 1997년 수확한 과실의 질소 이용률은 가을비료에서 0.5~2.2%이었으며, 여름비료에서는 1.3~2.9%, 그리고 봄비료에서는 1.2~3.2%이었다. 1998년 수확한 과실의 질소 이용률은 봄비료에서 0.9~1.5%이었고, 가을비료에서는 1.5~4.8%, 그리고 여름비료에서는 0.5~6.2%이었다.

제주시 지역에서의 1997년 수확한 과실의 질소 이용률은 봄비료에서 1.3~3.1%이었으며 가을비료에서는 2.0~3.5%, 여름비료에서는 3.7~5.2%이었다. 1998년 수확한 과실의 질소 이용률은 봄비료에서는 1.5~2.7%이었고, 여름비료에서 3.1~7.2%이며, 가을비료에서는 1.3~8.3%이었다

남원지역에서 1998년 3월에 굴채한 나무의 질소 이용률은 봄비료에서 1.4~3.1%이었고, 여름비료에서 2.1~6.7%이며, 가을비료에서는 4.1~11.7%이었다. 1998년 12월에 굴채한 나무의 질소 이용률은 봄비료에서 1.7~5.5%이었으며, 여름비료에서 3.8~9.1%이며 가을비료에서 3.4~12.7%이었다.

제주시 지역에서 1998년 3월에 굴채한 나무의 질소 이용률은 봄비료에서 2.0~4.0%이었고, 가을비료에서 2.5~4.8%이며, 여름비료에서는 5.5~10.2%이었다. 1998년 12월에 굴채한 나무의 질소 이용률은 봄에서 3.5~4.7%이었고, 가을비료에서 3.9~4.8%이며, 여름비료에서는 3.0~9.6%이었다.

6. ^{15}N -urea에 의한 온주밀감원 토양질소의 잔존

남원지역에서 토양 질소 잔존율은 1998년 3월 굴채시 여름비료에서 6.7~19.3%이었으며, 가을비료는 5.6~9.9%이고, 봄비료에서는 3.7~6.7%이었다. 1998년 12월 굴채시 토양질소 잔존율은 봄비료에서 5.7~9.8%이었고, 가을비료에서 6.4~18.7%이며, 여름비료는 8.1~20.6%이었다.

제주시 지역에서 토양 질소 잔존율은 1998년 3월 굴채시 봄비료에서 8.9~32.2%

이였으며, 가을비료에서 13.0~57.9%이고, 여름비료는 34.3~53.7%이었다. 1998년 12월 굴채시 토양질소 잔존율은 여름비료에서 10.6~33.4%였으며, 봄비료에서 8.0~60.1%이고, 가을비료에서는 19.0~76.2%이었다. 남원 온주밀감원에서의 토양질소 잔존율이 제주시 온주밀감원 보다 낮은 것은 화산회토양의 특성과 많은 강우량에 기인하는 것으로 사료된다.

7. ^{15}N -urea를 이용한 온주밀감원의 질소 적정시비량 결정

본 시험의 질소 적정시비량 결정을 위한 조건을 설정하고, 계산한 결과에 의하면, 남원지역의 온주밀감원에서의 적정 질소 시비량은 36.5 kg/10a이었으며 제주시 지역의 온주밀감원에서는 13.7 kg/10a이었다.



VI. 引用文献

- 赤尾勝一郎, 久保田收治, 林田至人. 1978. 温州ミカン樹の春季新生器官形成時における樹体内貯蔵窒素,特に秋肥窒素の利用について(その1). 日本園學雜. 47 (1) : 31~38.
- Cao, Z. H., S. K. De Datta and I. R. P. Filler. 1984. Nitrogen-15 balance and residual effected by deep placement techniques. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 48 : 203~208.
- Chien, S. H., G. Shearer and D. A. Kohl. 1977. The nitrogen isotope effect associated with nitrate and nitrite loss from waterlogged Soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41 : 63~69.
- 千葉 勉. 1982. 果樹園の土壤管理と施肥技術. 博友社. p. 21~256.
- De Datta, S. K., R. J. Buresh, M. I. Samson, and W. Kai-Rong. 1988. Nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balances in broadcast-seeded flooded and transplanted rice. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52: 849~855.
- Focht, D. D. and L. H. Stolzy. 1978. Long-term denitrification studies in soil fertilized with $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 42 : 899-902.
- 韓海龍. 1990. 柑橘整枝剪定論. p. 44~45.

- 한승갑, 문두경. 1997. 시비량에 따른 감귤원 토양 및 수체의 년차적 변화조사. 제주감귤시험장. p. 487~491.
- IAEA. 2001. Use of Isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training course series 14. IAEA Austria. p. 4~166.
- Iwakiri, T. and M. Nakahara. 1981. Nitrogen fertilization programs in Satsuma mandarin groves in japan. Proc. Int. Soc. Citriculture. 2 : 571~574.
- 市來小太郎. 1983. 川野なつだいだい成木樹の含窒素化合物組成. 農林水産省果樹試験場口之津支場試験研究年報. p. 83~85.
- Jensen, E. S. 1994. Availability of nitrogen in ^{15}N -labelled mature pea residues to subsequent crops in the field. Soil Biol. Biochem. 26(4) : 465~472.
- 제주도. 1965. 제주도 통계연보. .
- 제주도. 1975. 제주도 통계연보.
- 제주도. 2000. 제주도 통계연보.
- 제주도농업기술원. 1993. 감귤원 시비기준표.
- 정순경, 유장현, 남인희. 1972. 감귤재배법 개선에 관한 시험, 시험4 : 감귤재배농가 경영조사. 제주농업시험장연구보고서. p. 24~30.

정순경, 김한용. 1979. 감귤원 시비적기와 적량에 관한 시험. 제주농업시험장 보고서. p. 75~97.

정재권, 김광식. 1986. 질소 시용수준 구명시험. 제주농업시험장연구보고서. p. 290~298.

Jones, W. W. and T. W. Embleton. 1967. Yield and fruit quality of 'Washington' Navel Orange trees as related to leaf nitrogen and nitrogen. Amer. Soc. Horti. Sci. 91 : 138~142.

강호준, 한근섭, 오세건, 김우일, 이중석, 현근수, 이신찬, 황재종, 성문석, 김유경, 한원탁. 1999. 밭토양정밀검정. 제주농업시험연구보고서. p. 341~366.

장영길, 유장걸, 강봉균. 1998. 온주밀감 과원 토양에서 질소에 대한 시비 방법과 시비수준에 따른 회수율. 한국토양비료학회지 31(2) : 143~150

Kato, T. 1983. Nitrogen nutrition of young citrus fruit with special reference to asparagine. J. Japan Soc. Hort. Sci. 51(4) : 379~386

加藤忠司. 1982. 作物の生長と窒素の轉流(10)ミカンを中心とした果樹の轉流. 農業および園藝. 57(12) ; 1473~1478.

Kato, T. and S. Kubota. 1982a. Reduction and assimilation of ^{15}N -nitrate by citrus trees in cold season in comparison with summer. J. Japan. Soc Hort. Sci. 50(4) : 413~420.

Kato, T. and S. Kubota, 1982b. Effects of low temperature in autumn on the uptake, assimilation and partitioning of nitrogen in citrus trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51(1) : 1~8.

加藤忠司, 久保田收治, S. Bambang. 1982a. ウンシュウミカン樹の低温期における窒素の吸収, 利用. 四國農試報. 40 : 1~15.

Kato, T., S. Kubota and S. Bambang. 1982b. Uptake of ¹⁵N-nitrate by citrus trees in winter and repartioning in spring. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 50(4): 421~426.

Kato, T., M. Yamagata and S. Tsukahara. 1986a. Isolation and spring mobilization of proteins in citrus trees(*Citrus unshiu* Marc.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 55(3) : 266~272.

加藤忠司 山縣眞人 塚原貞雄, 1986b. ウンシュウミカンの成木の窒素栄養状態と葉, 枝, 果實の窒素成分含量の關係. 四國農試報 46 : 1~9.

加藤忠司, 山縣眞人, 塚原貞雄. 1984. ウンシュウミカンの樹の春梢形成に用いられる貯藏窒素の形態と貯藏部位. 日本園學雜 52(4) : 393~398.

加藤忠司, 久保田收治, 塚原貞雄. 1981. 重窒素利用による, 温州ミカンの窒素の吸収とその体内移行に関する研究. 第6報. 後期夏肥窒素について. 四國農試報 36 : 1~6.

Kawaguchi, S. H. Kai and T. Aibe. 1986. Nitrogen Dynamics in Soils Following the Addition of ¹⁵N-Labelled Rice Straw. J. Fac., Kyushu Univ., 30(4): 247~252.

- 西田和男. 1982. 温州ミカン根群分布と土壤の化学性. 広島懸果樹試験研報
8 : 1~11.
- 金種天, 鄭碩文, 孔聖宰. 1969. 葉分析에 의한 우리나라 柑橘樹(温州蜜柑)의
榮養狀態에 관한 研究. 農事試驗研究報告書 12(2) : 45~51.
- 金武成. 1983. 重窒素를 사용한 豆科飼料作物의 窒素 固定量 測定에 관한 研究.
韓國土壤肥料學會誌 16(1) : 50~55.
- 高官達. 1985. 濟州道 柑橘園의 施肥 및 營養에 관한 研究. 忠北大學校 大學院
碩士學位論文集 p. 1~35.
- 久保田收治, 福井春雄, 本山榮一. 1973. 温州ミカンの成木の器官別無機有機
成分組成の一事例. 第1報. 多量要素および微量重金屬元素. 四國農試報 26 :
91~103.
- 久保田收治, 赤尾勝一郎, 福井春雄. 1972a. 重窒素利用による温州ミカンの窒
素の吸収とその体内移行に関する研究, 第1報初夏肥窒素について(豫備實驗).
四國農試報 25 : 93~103.
- 久保田收治, 赤尾勝一郎, 福井春雄. 1972b. 重窒素利用による温州ミカンの窒
素の吸収とその体内移行に関する研究, 第2報 秋肥窒素について. 四國農試報
22 : 105~118.
- 久保田收治, 加藤忠司, 赤尾勝一郎, 文屋千代. 1976c. 重窒素利用による, 温
州ミカンの窒素の 吸収とその体内移行に関する研究, 第3報早春肥窒素につい
て. 四國農試報. 29 : 49~53.

久保田尚浩, 掛鯛吉洋. 1992. 加温時期の異なるブドウ ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’樹における¹⁵Nの吸収と移行に及ぼす地温ならびに¹⁵N施与時期の影響. 日本園學雜. 61(2) : 257~264.

Lea-Cox, J. D. and J. P. Syvertsen. 1995. Nitrogen uptake by citrus leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(3) : 505~509.

李相奎, 車圭錫, 金仁卓. 1983. 濟州道 火山灰土壤의 理化學的 特性 및 有機物 性狀에 關한 研究. 韓國土壤肥料學會誌 16(1) : 20~27.

이상모, 류순호, 1994. 논토양에서 중질소(N-15)를 이용한 표면시용 요소로부터 유래하는 질소의 행동에 관한 연구. 한국농화학회지 37(4), 277~286.

이신찬, 강호준, 황재종, 김유경, 강상훈, 한원탁, 유장걸. 2000. 감귤원 토양 검정에 의한 시비절감효과 실증시험. 제주농업시험 연구보고서. 제주도 농업기술원. p. 272~278.

문덕영, 고상유, 김용호, 김유학. 1993. 감귤원 영양 및 관리실태조사에 의한 종합기술 전산화에 관한 연구. 제주도감귤시험장. p. 759~766

中原美智男, 岩切 徹, 涉谷政夫, 小山雄生, 西垣 晋 1985. アイントープ¹⁵N 利用によるウンシュウミカン成木樹のチッ素施肥法改善に關する研究. 佐賀縣果樹試驗場特別報告書 第3号. p. 1~159

Mooney, P. A. and A. C. Richardon. 1992. Seasonal trends in the uptake and distribution of nitrogen in Satsuma Mandrins. Proc. Int. Soc. Citriculture. 593~597.

Nkrumah, M., S. M. Griffith and N. Ahmad. 1989. Lysimeter and field studies on ^{15}N in a tropical soil. II. Transformation of $(\text{NH}_2)_2\text{CO}-^{15}\text{N}$ in a tropical loam in lysimeter and field plots. *Plant Soil* 114, 13~18.

농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. p. 29~147.

柳長杰. 1994. 濟州道 柑橘園의 施肥 問題點과 對策. 濟州道農業技術院 심포지엄자료. p. 21~40.

오승범, 문재현. 1969. 감귤나무에 대한 3요소 시험. 제주도 농업기술원. p.163~164

朴 薰, 柳順昊, 洪淳範. 1975. 濟州道 柑橘園 土壤의 特性과 管理. 韓國土壤肥料學會誌. 8(3) : 135~152.

Pomares-Garcia, F. and P. F. Pratt. 1978. Recovery of ^{15}N -labeled fertilizer from manured and sludge-amended soil. *Soil. Sci. Amer. J.* 42: 717~720.

Power, J. F., J. W. Doran and W. W. Wilhelm. 1986. Uptake of nitrogen from soil, fertilizer, and crop residues by no-till corn and soybean. *soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50 : 137~142

坂本辰馬, 奥地 進. 1969. 温州ミカン果實の酸, 可溶性固形物に及ぼす窒素の榮養の 影響. *日本園學雜* 38(4) : 14~22

Rao, S. M. and N. Ahmad. 1984. Role of soil organic matter in urea adsorption. Trop. Agric. (Trinidad) 61(4) : 285~288.

愼鏞華, 金滢玉. 1975. 火山灰土의 特性에 關하여. 韓國土壤肥料學會誌 8(3) : 113~119.

송영철, 김성홍, 오순미, 김길성, 김태현, 김세라, 고용구, 류성필, 유장걸. 1997. 질소안전동위원소비를 이용한 제주도 지하수중의 오염원 추정. 제주도보건환경연구원보 8 : 177~188.

Stevens, R. J. and R. J. Laughlin. 1955. Nitrite transformations during soil extraction with potassium chloride. Soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 59 : 933~938.

Tachibana, S. and S. Yahata. 1996. Optimizing nitrogen fertilizer application for a high density planting of Satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65(3) : 471~477.

Trehan, S. P. 1994. Immobilization of $^{15}\text{NH}_4$ by cattle slurry decomposing in soil. Soil Biol. Biochem. 26 : 743~745.

Westerman, R. L., and L. T. Kurtz. 1972. Residual effects of ^{15}N -labeled fertilizers in a field study. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36 : 91~94.

米山忠克. 1982a. 作物の生長と窒素の轉流 [1] . I. 窒素の榮養構造と轉流. 農業および園藝. 57(3) : 373~378.

米山忠克. 1982b. 作物の生長と窒素の轉流 [2] . I. 窒素の榮養構造と轉流. 農業および園藝. 57(4) : 509~515.