

석사학위논문

질소 결핍이 부지화[(*C. unshiu* Marc.×
C. sinensis Osb.)×*C. reticulata* Bla.]의
생육과 양분흡수에 미치는 영향



제주대학교 대학원

농화학과

박 원 표

2003년 12월

질소 결핍이 부지화[(*C. unshiu* Marc.×
C. sinensis Osb.)×*C. reticulata* Bla.]의
생육과 양분흡수에 미치는 영향

지도교수 유 장 결

박 원 표



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2003년 12월

박원표의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	_____	(인)
위 원	_____	(인)
위 원	_____	(인)

제주대학교 대학원

2003년 12월

Effect of Nitrogen Deficiency on Growth and
Nutrient Uptake of (*C. unshiu* Marc.× *C. sinensis*
Osb.)×*C. reticulata* Bla.

Pyo-Won Park

(Supervised by Professor Zang-Kual U.)



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

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2003. 12.

목 차

Summary

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 식물재료	3
2. 수경재배 시스템	3
3. 양액의 조성	7
4. 실험처리	8
5. 측정 및 분석	8
1) 온도, 생체중 증가량, 물 흡수량 그리고 엽록소 SPAD값 측정	8
2) 양액 분석	9
3) 양분 흡수량 계산	9
4) 엽 채취 및 분석	9
III. 결과 및 고찰	10
1. 질소 결핍 증상	10
2. 생체중 증가량과 물 흡수량	15
3. 엽록소 함량	18
4. 무기양분 흡수	20
5. 엽 중 질소함량 변화	23
6. 엽 중 무기성분 함량의 변화	25
IV. 요약	31
V. 참고문헌	32

Summary

In order to investigate the effect of nitrogen deficiency on the growth and nutrient absorption, three years old citrus trees[(*C. unshiu* Marc.× *C. sinensis* Osb.)×*C. reticulata* Bla.] were hydroponic-cultured under the four different nitrogen treatments; continual cultivation in the standard solution and in the nitrogen absent solution for 120 days, and foliar application of 0.5% urea solution and resupply of the standard solution for 68 days to recover the nitrogen deficiency after 52 days of nitrogen absent treatment. The visual symptom of nitrogen deficiency, fresh weight, water uptake, chlorophyll content and absorption of inorganic nutrients were inspected.

1. The visual symptom of nitrogen deficiency on spring and summer leaves appeared light green 40 days after nitrogen absence, with nitrogen contents of less than 1.8%. The chlorosis was shown at first in the vein and midribs on spring leaves where nitrogen content was 1.59% 50 days after nitrogen absence and spreaded on the whole leaf 100 days after nitrogen absence, with reduction of nitrogen content to 1.27%. The summer leaves showed the chlorosis 100 days after nitrogen absence with nitrogen content of 1.13%.

2. Nitrogen content of leaf was recovered from the deficiency by 0.5% urea application on the leaves once in every two days or resupply of standard culture solution to the roots. Deficiency recovery of tree was more effective by nitrogen supply to the roots than by foliar application.

3. The fresh weight, water uptake and chlorophyll SPAD value tended to decrease under the nitrogen deficiency condition.

4. The total amounts of nutrient absorbed during 120 days in nitrogen absent culture solution were much lower than those cultured in the standard solution; 2/3 in P, 2/5 in K, and 1/6 in Ca and Mg.

5. Nitrogen deficient spring leaves had lower K and Ca contents than normal ones, but summer leaves had higher contents of P and Mg, and lower Ca.

I. 서 론

온주밀감은 제주지역에서 생산되는 감귤류의 96.6%를 차지하는 지역의 실질적인 소득원으로써의 역할을 하여 왔으나 최근 외국산 오렌지와 경쟁 그리고 과잉생산과 단기간 집중 출하 등의 문제점으로 가격 경쟁력이 더욱 약화되고 있는 실정이다. 따라서 소비자에 기호에 맞는 고품질의 감귤 생산과 재배 품종의 다양화는 온주밀감 재배 일변도에서 야기된 감귤 경쟁력의 저하를 방지하고 감귤산업을 지속적으로 발전시키기 위해 매우 필요한 일이다.

부지화[(*C. unshiu* Marc. × *C. sinensis* Osb.) × *C. reticulata* Bla.]는 1972년 일본에서 청견(請見)에 중야(中野) 3호 품종을 교배시켜 육성된 교잡종(河瀬宪次, 1999)으로 제주지역에서는 1990년대 초반 일부 독농가와 농업기술센터의 시범사업으로도 도입 재배되기 시작하였다. 부지화는 온주밀감에 비해 당도가 높고, 향기가 좋아서 소비자의 선호도가 매우 큰 편으로 최근 재배면적도 급격히 증가하고 있다.

그러나 부지화는 온주밀감과 다른 영양생리적인 특성을 지닌 관계로 좀더 까다로운 재배기술이 요구되며 재배역사가 짧고 아직까지 재배기술이 잘 확립되어 있지 않은 관계로 재배 농가 간에 수세, 과일의 생산량과 품질 면에서 큰 차이를 보이고 있어 수체의 영양 생리에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 특히, 부지화는 생육이 왕성하여 양분 요구도가 큰 편이고 만감류인 관계로 과일을 다음해 2월에 수확하기 때문에 온주밀감에서 잘 나타나지 않는 양분의 과부족 장애나 과실에 여러 가지의 생리장애가 발생하기 쉬운 성질이 있다(河瀬宪次, 1999). 특히, 도내에서는 칼슘, 마그네슘, 아연 등의 결핍으로 보이는 증세와 질소 등에 의한 부피과 문제가 발생된다고 알려져 있으나(Personal communication) 과연 이들 양분에 의한 것인지 아니면 다른 양분에 의한 것인지에 대한 체계적인 영양생리적인 접근 연구가 필요한 실정이다.

특히, 질소는 감귤나무의 수체의 성장과 과실 품질과 생산량에 가장 밀접한 관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 온주 밀감나무의 엽 중 질소 함량은 2.8~2.9%일

때 적당하다고 보고하였고(石原, 1982), 오렌지 나무의 경우는 2.4~2.6%일 때 적당하나, 2.2%이하 일 때는 결핍이라고 하였다(Embleton 등, 1973). 질소가 결핍되면 과실의 수량이 감소하고 과피의 색은 명확하지 못하며 과육은 단단하고 산미가 적고 저장성이 좋지 않다. 과잉 시에는 착색이 늦어지고 과피가 거칠고 두껍고 과즙과 당 함량이 적어지고 산이 증가되어 맛이 떨어진다(石原, 1982; Chapman, 1967; Reitz and Koo, 1959). 따라서 부지화의 경우도 질소 양분이 수체의 생육이나 과실의 품질과 생산량에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되므로 다른 무기 양분보다 먼저 질소의 흡수 및 생리장해에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

일반적으로 토양조건에서 무기양분을 결제시키거나 조절이 어렵기 때문에 식물에 대한 무기양분이 영양생리에 미치는 영향을 보기 위해서는 사경 또는 수경재배기술을 활용하는 것이 바람직하며 온주 밀감 나무의 경우에 Cl^- 과 SO_4^{2-} 가 과일의 품질에 미치는 영향(송, 1985), 인산과 가리의 영양진단법개발(송, 1992), 무기 양분 흡수 특성 연구(Anh, 2003)를 위해서 사경 또는 수경재배기술이 활용된 적이 있다. 그러나 사경재배는 수경재배에 비해 관리가 용이하나 사용된 모래로부터 일부의 무기성분이 용해되어 나올 수 있기 때문에 양분 결핍 실험인 경우에 수경재배방법이 더욱 더 적극적인 무기 양분 결제 실험방법이 될 수 있다.

그러므로, 본 연구는 질소의 공급을 달리한 수경시스템에서 부지화를 재배하여 질소의 결핍시 증상과 엽 중 농도를 조사하는 한편, 수체의 생육 및 양분흡수에 미치는 영향을 조사함으로써 부지화의 영양생리학적 특성을 알아보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 식물재료

3년생 부지화 감귤나무[(*C. unshiu* Marc. × *C. sinensis* Osb.) × *C. reticulata* Bla.]을 하우스 내에 설치된 수경재배시스템(Fig. 1)에 재식하고 6개월 정도 수경재배를 실시하여 정상적인 생육을 유도한 뒤 식물재료로 활용하였다. 한편, 재배 기간 중 Ca 결핍에 의한 춘엽(春葉)의 괴사를 방지하기 위하여 0.2% 질산칼슘[$5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$]을 3일 간격으로 엽면시비 하였다.

2. 수경재배 시스템

수경 재배 시스템은 담액식 재배방법으로 포트, 양액 공급부 그리고 양액 공급시간 조절 장치로 구성하여 제작하였다(Fig. 1).

1) 포트

수경재배를 위한 포트는 폴리에틸렌 재질의 15 L 원통형 용기를 사용하였으며, 5 cm 두께의 스티로폼으로 박스(60×60×35 cm)를 제작하여 중심부에 포트를 넣은 뒤 주변을 토양을 채웠다. 재배용기 아랫부분에는 양액의 공급과 배수를 할 수 있는 호스를 양액 공급부와 연결하였으며, 양액이 넘쳐흐르는 것을 방지하기 위한 호스를 포트의 상부에 설치하여 양액 공급통과 연결하였다. 한편, 제작된 담액식 수경재배 시스템의 근권과 양액의 온도 변화를 알아보기 위하여 data logger(Thermorecorder, TR-71FS, Korea)의 온도 센서를 나무주변(하우스 실내 온도 측정), 재배용기(근권 온도), 양액 공급 용기 그리고 하우스 내 토양 20 cm 깊이에 설치하여 주기적으로 온도 변화를 관찰하였던 바(Fig. 2) 본 수경재배실험조건이 토양재배의 경우와 유사함을 알 수 있었다.

2) 양액 공급부

양액의 자연적인 배수와 양액의 온도를 안정되게 유지하기 위하여 지면으로부터 50 cm 정도 깊이에 스티로폼 박스(35×45×50 cm)를 설치한 후 그 안에 20 L 양액 공급 용기를 넣었다. 그리고 양액통속 하부에 수중 전기 펌프(ID-7, In-Dy Electronics)를 설치하여 양액을 포트에 공급하였다.

3) 양액 공급 시간 조절 장치

양액 공급 시간 조절은 24시간 타이머와 분단위의 시간을 조절할 수 있는 IC 타이머를 결합하여 회로를 구성함으로써 낮에는 40분, 밤에는 70분 간격으로 2분 30초 동안 양액 7 L 정도의 양액을 자동 공급하도록 하였다.



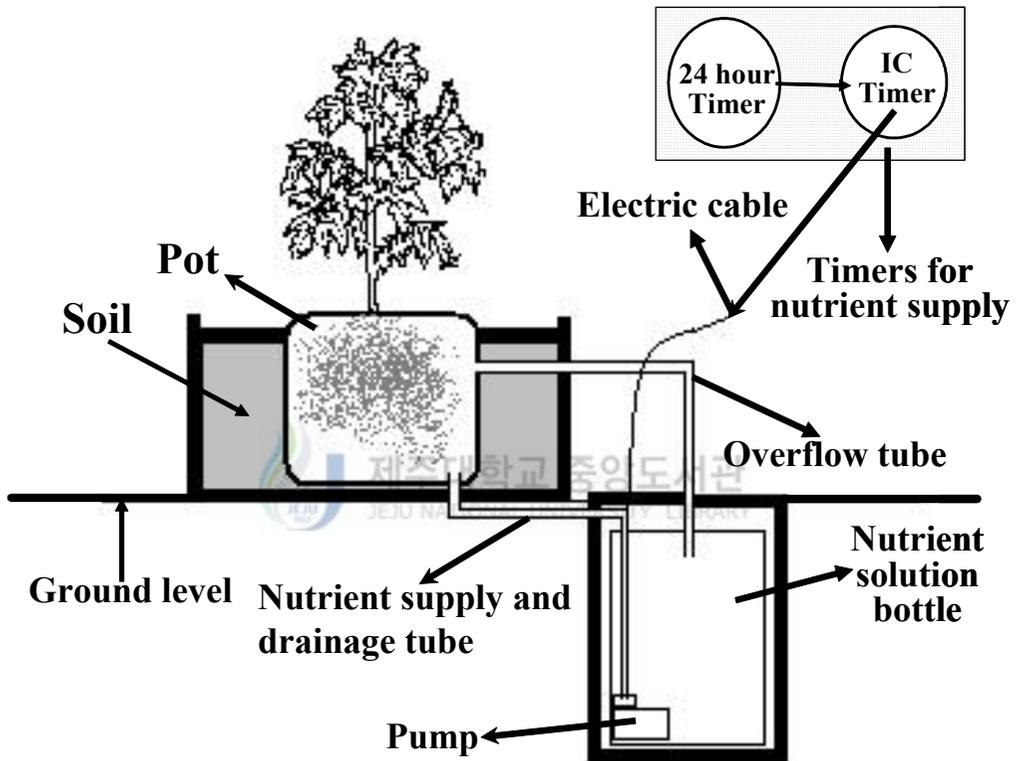


Fig. 1. The diagram of hydroponic culture system.

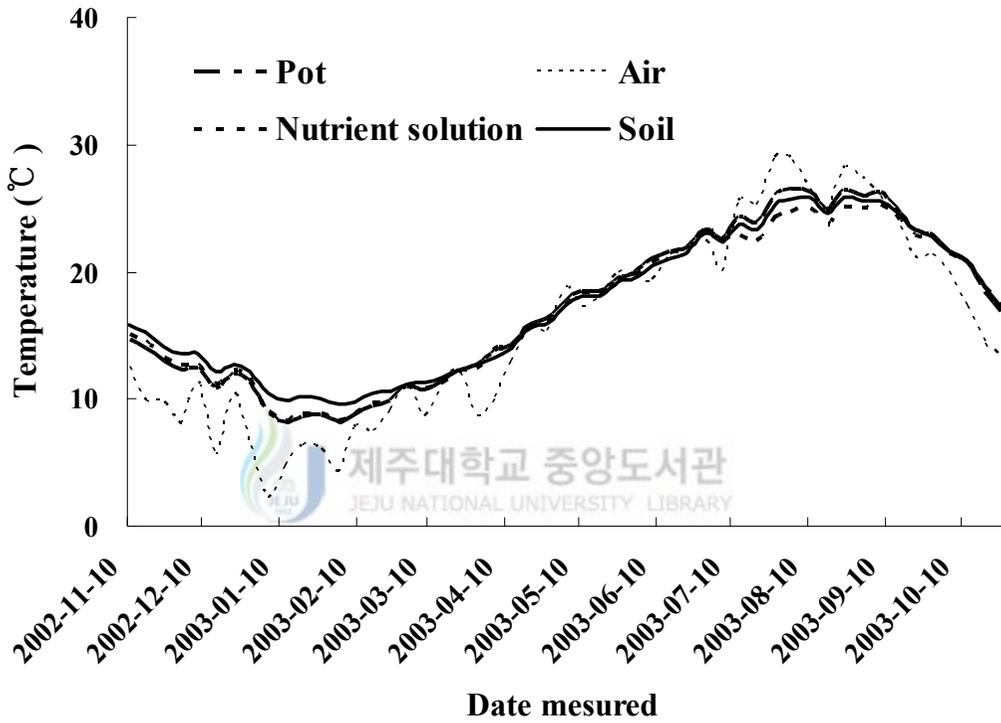


Fig. 2. Weekly changes of air, pot, nutrient solution and soil temperature during experimental periods.

3. 양액의 조성

공급된 양액은 Table 1에서 보는 바와 같이 Anh 등(2003)에 의해 고안된 조성으로 조제하였으며, 질소를 결제시키기 위해서 질소원으로 사용된 KNO_3 와 $5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$ 와 NH_4NO_3 를 제외시키고, K과 Ca의 농도를 보정해 주기 위하여 KCl과 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가하였다.

Table 1. The compositions of inorganic nutrients supplied for standard and nitrogen absent culture solution(mg/L)

Macro nutrient	Concentration	Micro nutrient [†]	Concentration
$\text{NH}_4\text{-N}$	18.0 or 0	Fe	1.08
$\text{NO}_3\text{-N}$	91.0 or 0	B	0.26
$\text{PO}_4\text{-P}$	20.8	Mn	0.23
K	89.2	Zn	0.25
Ca	72.3	Cu	0.025
Mg	17.8	Mo	0.006
$\text{SO}_4\text{-S}$	23.6		

Nutrient source	Concentration	Culture solution	
		Standard	-N [‡]
KNO_3	162.8	+	-
$5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	390	+	-
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	180	+	+
KH_2PO_4	91.2	+	+
NH_4NO_3	73.6	+	-
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	264.6	-	+
KCl	120	-	+

[†] 8 mg/L of Fe-EDTA, 1.5 mg/L of H_3BO_3 , 0.7 mg/L of $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0.88 mg/L of $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.1 mg/L of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and 0.015 mg/L of $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ were supplemented in the nutrient solution.

[‡] Composition of nitrogen absent solution.

4. 실험처리

Table 2와 같은 실험처리를 하기 위하여 하엽(夏葉) 발생 후 20일 경과한 7월 12일에 질소를 결제시켜 9월 2일까지 52일간 양분을 공급하였고, 질소 결핍증상이 나타났을 때, 3반복으로 재배한 나무 중 한 나무는 계속하여 결핍을 유지하기 위하여 질소를 결제시킨 양액(Table 1)을 공급하였고 나머지 두개의 나무 중 하나는 0.5% 요소를 이틀 간격으로 재배기간 동안 엽면시비를 하였고, 다른 하나는 대조구와 같은 양액조성을 공급하였다.

Table 2. Experimental treatments

Treatment	Description
Control	Cultivation with the standard solution for 120 days
N-N	Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days
F-N	Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days
N+N	Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days

5. 측정 및 분석

1) 생체중 증가량, 물 흡수량 그리고 엽록소 SPAD값 측정

생체중 증가량은 일정기간별로 나무의 생체중을 현장에서 저울로 측정한 뒤 그 기간 전후의 생체중의 증가분을 계산하여 나타냈다. 물의 흡수량은 양액의 공급전과 후의 무게 차로부터 산정하였다. 엽록소 SPAD값은 엽 채취시기에 동일한 위치의 춘엽과 하엽을 각각 5개씩을 선정하여 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)로 측정하였다.

2) 양액 분석

공급 전후 양액을 여과지(Advantec-Toyo, 5C)를 이용하여 여과한 다음 NO₃, PO₄의 농도는 이온 크로마토그래프(DX 500, Dionex, USA)로 측정하였고, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn, Fe, Cu는 유도결합 플라즈마 원자방출분광계(JY panorama, Jobin Yvon, France)로 측정하였다.

3) 양분 흡수량 계산

공급전후 양액 양과 양액 중 각 성분의 농도 그리고 나무의 생체중을 이용하여 아래 수식에 의해 생체중 1 kg 일 때 다량 및 미량 원소의 양분 흡수량을 계산하였다.

$$A = (B-C) / D$$

A : 생체중 kg 당 양분 흡수량(mg/kg · fresh weight)

B : 공급 전 양액 양(L)×공급 전 원소의 농도(mg L⁻¹)

C : 공급 후 양액 양(L)×공급 후 원소의 농도(mg L⁻¹)

D : 시기별 생체중(kg)



4) 엽 채취 및 분석

엽 채취는 질소 결핍처리 후 20일 간격으로 춘엽(春葉)과 하엽(夏葉)을 채취하여 수돗물로 씻은 후 약 70℃ 건조기에서 24시간 동안 건조 시켰다. 건조된 시료는 켈달플라스크에 정확히 취하여 H₂SO₄-H₂O₂법으로 분해시켰다. 분해액의 일부를 직접 취하여 Kjeldahl 방법에 의해 총 질소 분석을 하였고(Bremner와 Mulvaney, 1982) 나머지 시료는 여과 회석을 한 뒤, 유도결합 플라즈마 원자방출분광계를 이용하여 P, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn, Fe, Cu함량을 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 질소 결핍 증상

질소 결제시 부지화의 춘엽과 하엽에 발생된 결핍 증상을 조사한 결과는 Fig. 3, 4와 같다.

엽색이 연한 녹색으로 변하는 초기 질소 결핍 증상은 결핍 처리 40일 경과 후에 육안으로 관찰할 수가 있었으며, 이때 춘엽과 하엽 중의 질소 함량은 약 1.80%이었다. 그 후 50일 경과하였을 때 춘엽에서 먼저 엽맥과 중륵(中肋)에 황변현상이 나타났고, 100일 경과 후에는 엽맥과 엽맥사이 부분이 황화되었다. 120일경에는 전형적인 질소결핍에 의한 황화현상이 엽 전체로 진전되었고(Chapman, 1967; Smith, 1969; Weir와 Creswell, 1993; Stephen과 Tucker, 2001), 엽 중 질소 함량은 1.21%이었다.

하지만 하엽은 약 100일 경과 후 엽맥과 중륵(中肋)에 황변현상이 발견되었고 엽 중 질소 함량은 1.13%였으며, 엽 전체가 황화되는 현상은 발생하지 않았다. 일반적으로 질소가 결핍되면 성엽이나 구엽의 질소가 신엽으로 이동되기 때문에(Bennett, 1993; Embleton 등, 1963; Smith, 1966) 부지화 춘엽의 결핍현상이 하엽보다 먼저 발생하였고 황화정도도 더 컸던 것으로 사료된다.

또한, 초기 질소 결핍증상이 나타난 후 0.5% 요소를 엽면시비하거나 또는 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급하여 재배하였을 때 춘엽에서는 엽맥과 중륵의 황변현상이 없어졌고 하엽에서는 엽색이 연한 녹색에서 진한 녹색으로 변화하였다(Fig. 5).

Figure 6은 결핍 실험이 종료되었을 때 질소 결제로 인한 나무의 생육 상태와 엽 중 결핍 증상을 나타낸 것이다. 질소 결제구는 대조구에 비해 지상부와 지하부의 생육상태가 아주 불량하였고, 구엽이 먼저 엽 전체가 황화되어 엽맥 주변이 갈색으로 변한 다음 낙엽되었으며, 춘엽과 하엽은 모두 엽 전체가 황화되거나 엽맥과 중륵에 황화현상이 나타났다.

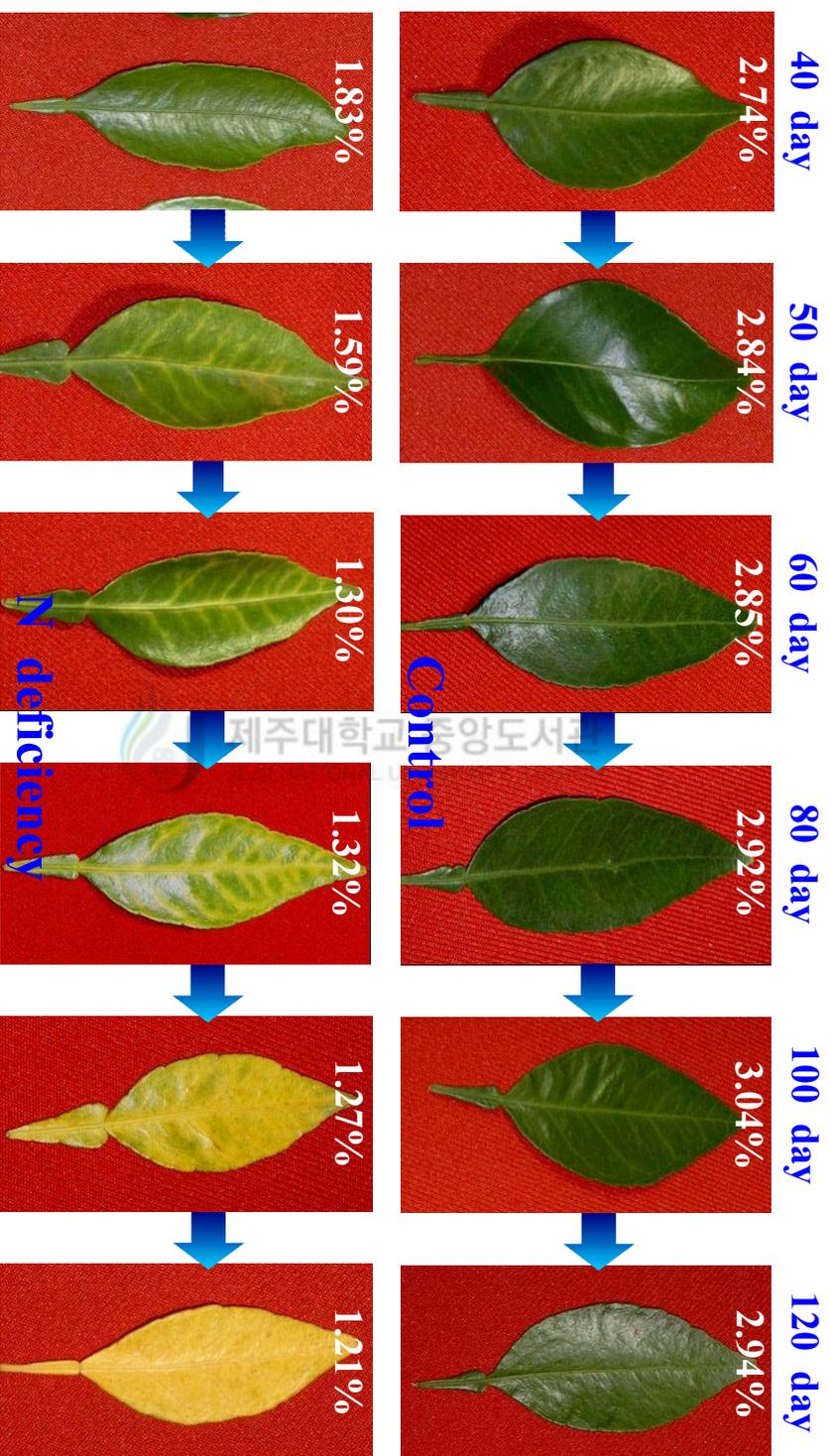


Fig. 3. Deficiency symptom and nitrogen contents in spring leaf after nitrogen absent treatment.

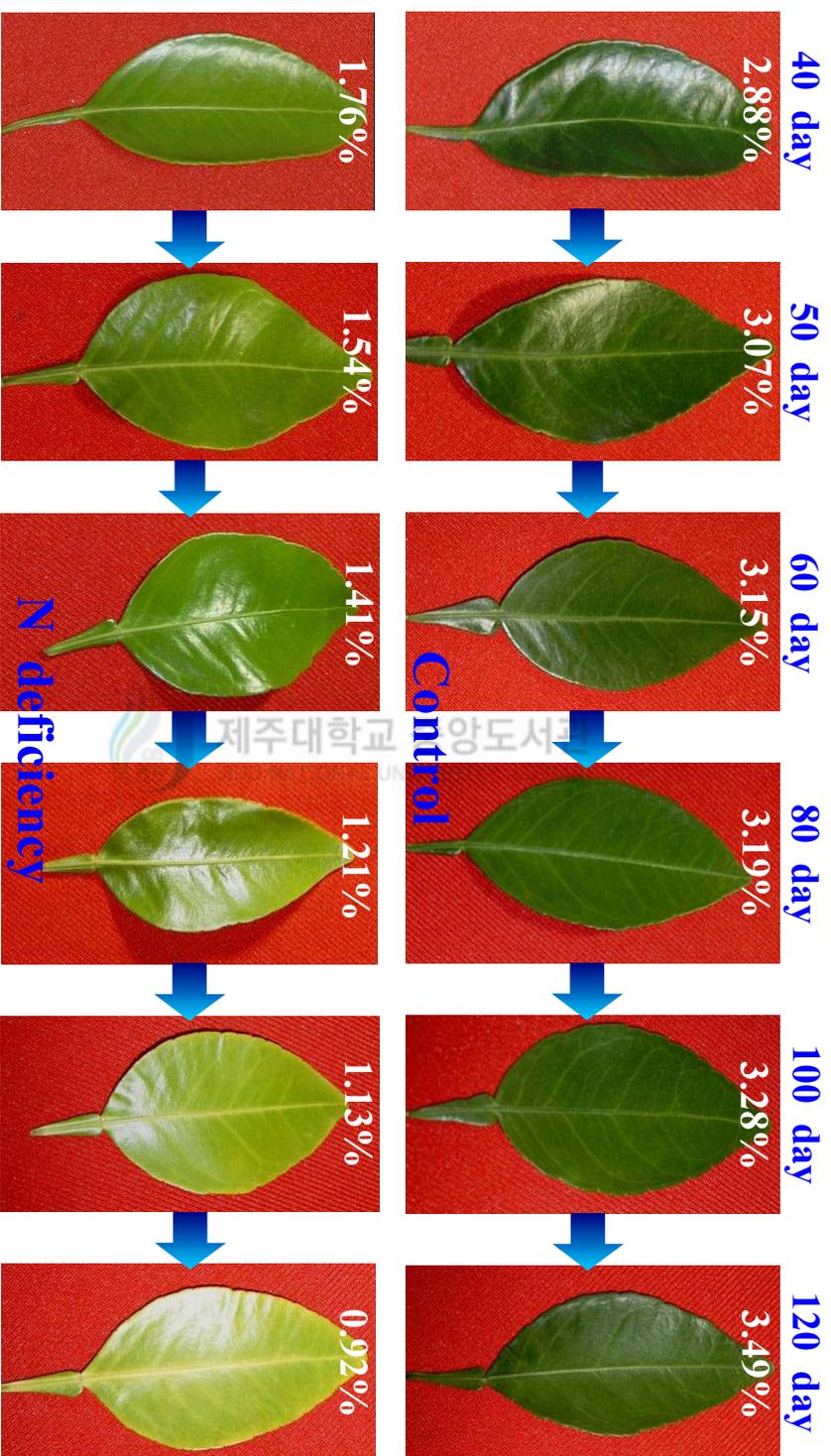


Fig. 4. Deficiency symptom and nitrogen contents in summer leaf after nitrogen absent treatment.

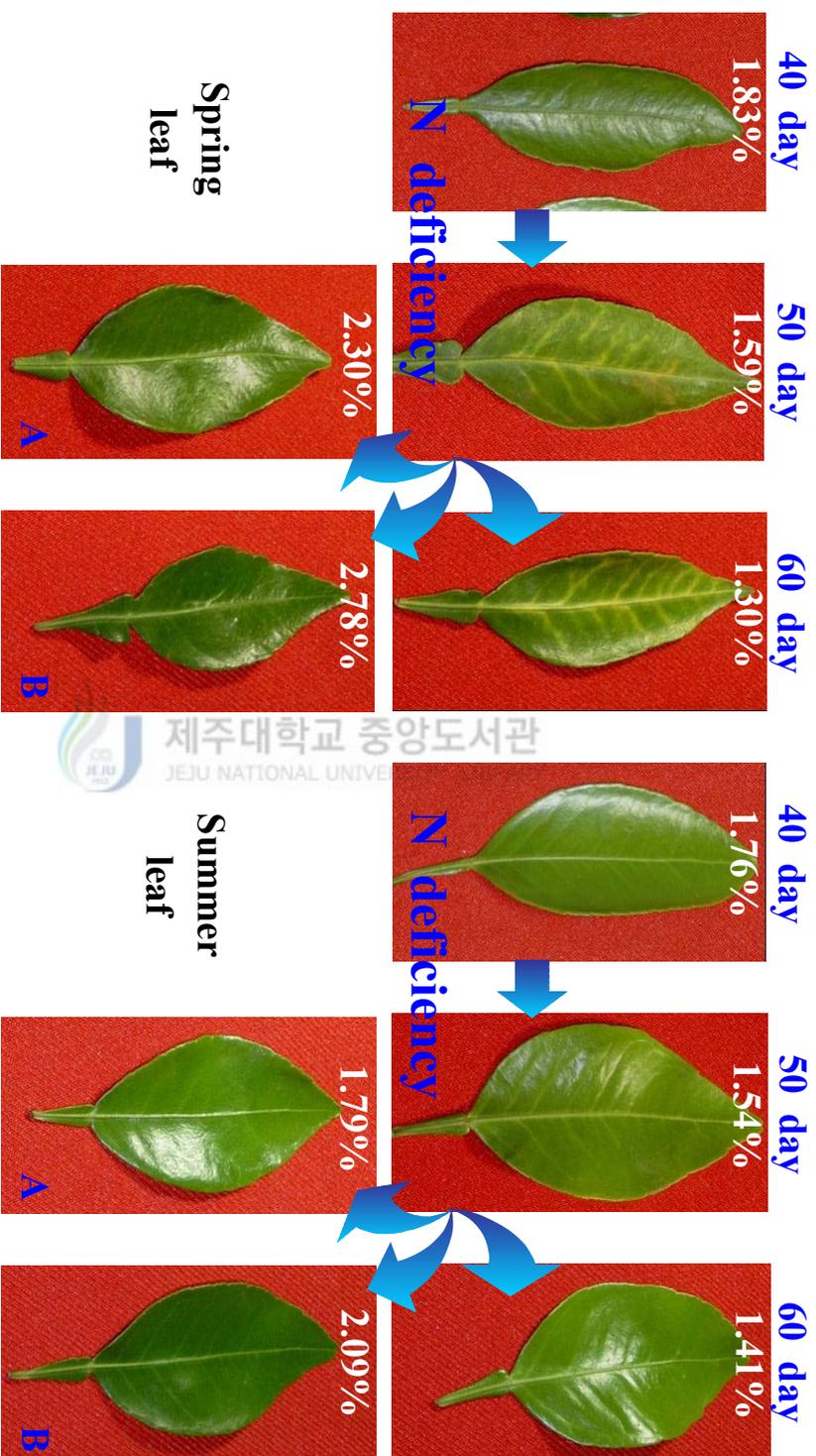


Fig. 5. Deficiency symptom and nitrogen contents in spring and summer leaf after nitrogen absent treatment and N resupply (A : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days, B : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days).



Fig. 6. Growth of leaves and branches, and roots (A) and deficiency symptoms of leaf (B) at the end of the experiment. Defoliation of old leaves observed after culture of 54 days.

2. 생체중 증가량과 물 흡수량

질소 결핍이 나무의 생체중 증가량 및 물의 흡수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 7, 8과 같다.

대조구에서 생체중 증가량은 주로 영양 생장을 하는 시기인 7월에서 9월 사이에 증가하다가 10월 이후에는 감소하는 경향을 보였고, 질소 결핍구는 시간이 경과할수록 그 증가량이 점점 감소하였다. 온주밀감의 생체중은 춘지가 성장하여 엽의 성장하는 5월과 6월 그리고 춘엽이 완전히 전엽되고 과실이 맺어 성장하고 하지가 발생하고 그 엽이 성장하는 8월과 10월 사이에 가장 많이 증가한다고 알려졌는데(Hirobe와 Ogake, 1968; Anh 등, 2003) 부지화의 생육특성도 온주밀감나무와 크게 다르지 않은 것으로 사료된다.

결핍된 나무에 0.5% 요소를 엽면시비 하거나 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급했을 때 엽면시비보다 질소를 함유한 정상적인 양액을 뿌리에 공급한 경우에 결핍으로부터 생체중의 회복이 신속하게 이루어져 대조구의 증가량에 거의 상응하는 경향을 보였다. 그러나 엽면시비를 하여 결핍을 회복시킨 경우에 생체중 증가량이 적은 것은 지속적으로 질소를 공급하지 못하였기 때문이라고 생각된다.

대조구의 물 흡수량은 생체중의 변화와 밀접한 관계를 보였는데, 7월과 9월 사이에 증가하였고 10월 이후에는 감소하는 경향이였다. 질소 결핍구는 7월에서 10월까지 일정하게 유지하였으나, 생체중이 감소하는 시기인 10월 이후에는 물 흡수가 거의 일어나지 않았다. 그리고 결핍된 나무에 엽면시비 또는 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급하여 회복시킨 결과 엽면시비보다 양액을 뿌리에 공급한 경우가 물 흡수량이 더 많았으나, 대조구보다는 적었다.

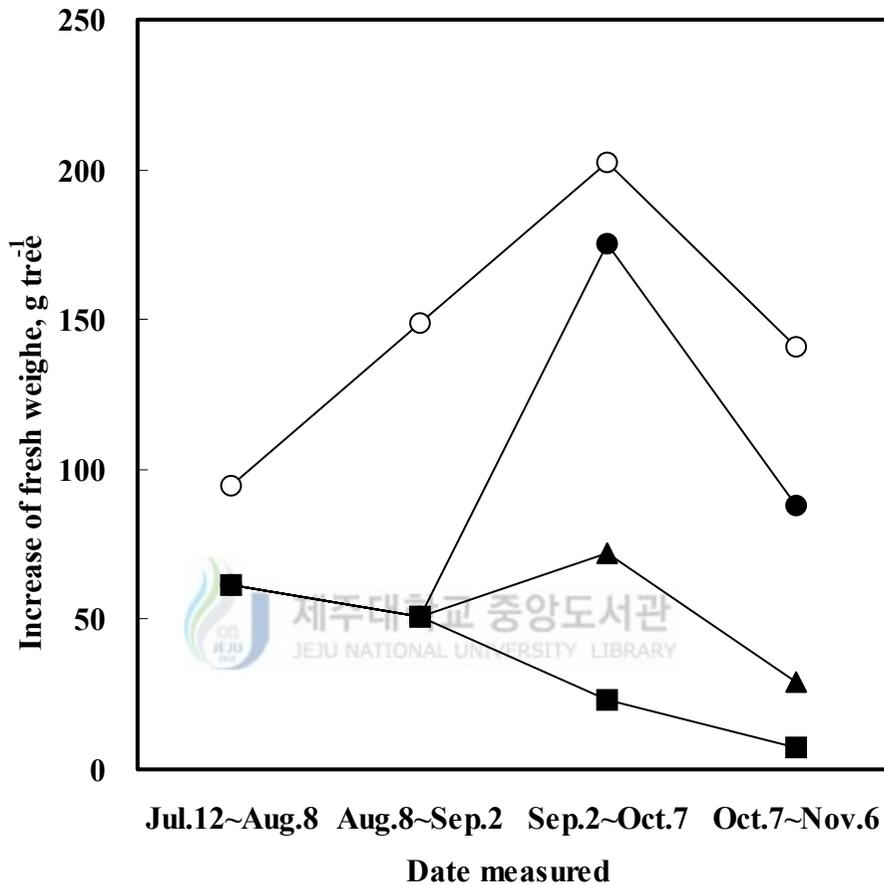


Fig. 7. Change of fresh weight depending on the different nitrogen treatment.

- : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)
- : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)
- ▲ : F-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days)
- : N+N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days)

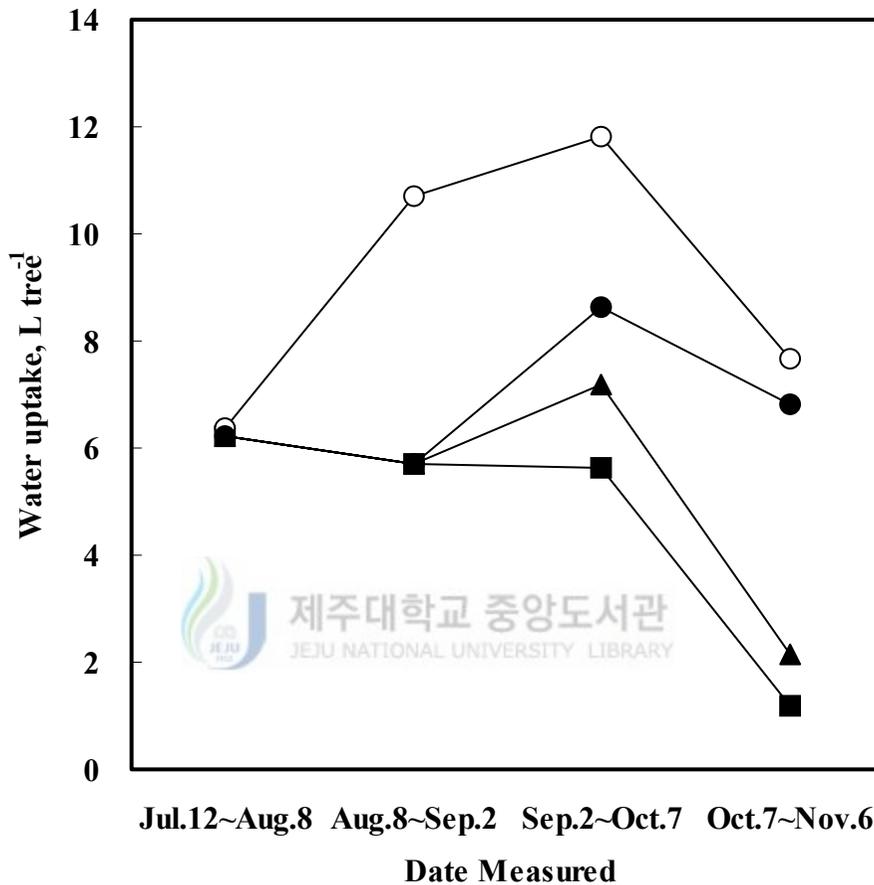


Fig. 8. Change of water uptake depending on the different nitrogen treatment.

- : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)
- : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)
- ▲ : F-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days)
- : N+N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days)

2. 엽록소 함량

질소 결핍이 부지화 엽의 엽록소 함량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 9와 같다.

대조구의 경우 이미 성엽으로 발달된 춘엽의 엽록소 SPAD값은 일정한 반면에, 하엽의 그 값은 엽의 성장과 함께 증가하였다. 질소 결제 직후 춘엽의 엽록소 SPAD 값은 대조구와 비슷한 값(SPAD 값 80)을 보였으나 결제 처리 후 약 50일 경과하여 결핍 증상이 가시적으로 나타날 때 급격히 감소하는 경향(SPAD 값 20)을 보였다. 그리고 하엽은 질소 결제 처리 전 20일 경에 발생하였기 때문에 그 엽록소 SPAD값은 대조구에 비해 아주 적은 값을 보였으며, 가시적인 질소 결핍 증상이 보이지 않았으나 서서히 감소하는 경향을 보였다. 춘엽의 초기 결핍의 회복은 엽면 시비를 처리했을 때가 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급한 경우 보다 더 효과적이었고 대조구와 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 하엽의 경우에는 두 처리 간에 비슷한 경향을 보였으며, 대조구보다 낮은 경향이였다.

엽록소와 질소함량 간에는 매우 밀접한 관계가 있는 것처럼(한, 1997; Kim 등 2002; Rodriguez와 Miller, 2000) 부지화의 엽록소 SPAD값도 질소의 함량을 잘 반영하고 있었으나, 온주밀감의 경우처럼(한, 1997) 엽 중 질소함량이 3.0 % 정도 이상되면 엽록소 SPAD값은 그 이상 증가되지 않았다.

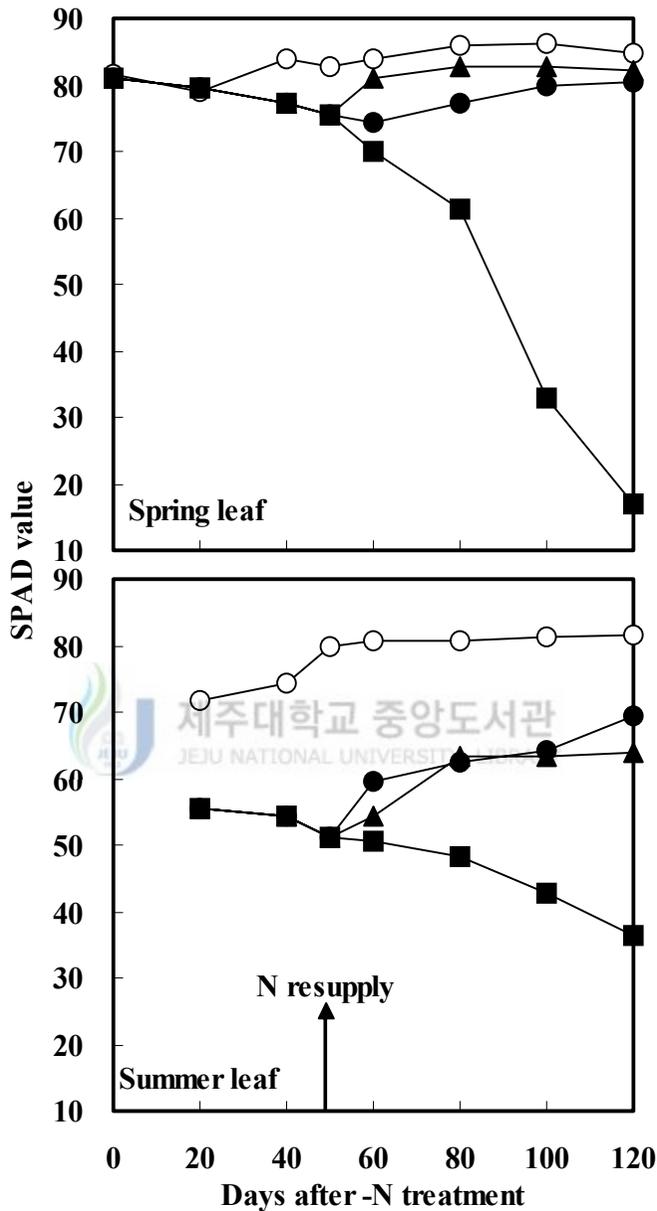


Fig. 9. Change of chlorophyll content in leaves depending on the different nitrogen treatment. ○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days), ■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days), ▲ : F-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days), ● : N+N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days)

3. 무기양분 흡수

질소 결핍이 다량원소의 양분 흡수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

대조구인 경우 다량원소는 나무의 생체중이 증가하는 영양생장기인 8월과 9월 사이에 가장 많이 흡수하였고, 10월 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 온주밀감나무와 마찬가지로(Hirobe와 Ogake, 1968; Anh 등, 2003) 부지화의 양분 요구도는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 가장 컸으며 K, Ca, P, Mg순으로 나타나 부지화 나무는 $\text{NO}_3\text{-N}$, K, Ca 이 가장 많이 필요로 하였다.

질소를 결제시킬 경우 P, K, Ca, Mg 흡수도 감소하였는데, 이는 질소의 공급제한으로 인한 수체의 생육이 점점 불량해져 흡수량이 적어진 것으로 사료된다.

또한, 질소결핍 처리 후 0.5% 요소 엽면시비로는 수체의 생육회복 효과가 미약하여(Fig. 7) $\text{NO}_3\text{-N}$, K, Ca, P, Mg 흡수량이 결제구와 비슷한 경향을 보였으나, 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급시킨 경우에는 신초가 발생하는 등 수체의 생장이 다시 왕성해져 대조구와 비슷한 경향을 나타냈다.

재배기간 동안 대조구에서 $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, Ca, Mg의 총 흡수량은 나무 1 kg 일 때를 기준으로 하여 계산하면 각각 6,649, 692, 5,856, 3,843, 402 mg 이었고, 결제구의 P, K, Ca, Mg은 각각 422, 2,309, 662, 65.0 mg으로 대조구에 비해 P의 흡수량은 2/3배, K 2/5배, Ca과 Mg은 1/6배 정도 적은 양이었다.

Table 4는 미량원소의 흡수량을 나타낸 것으로 Fe를 제외한 결제구의 B, Mn, Zn, Cu의 총 흡수량은 대조구에 비해 모두 적었고, 질소 결핍으로부터의 수세 회복 시 다량원소의 경우와 마찬가지로 뿌리에 의한 양액 공급에서 미량원소의 흡수가 많이 되었다.

이상의 결과에서처럼 질소는 수체의 생장에 영향을 주어 다량 및 미량 원소의 양분 흡수에 관여하였으며 질소 결제는 Ca와 Mg 흡수의 가장 크게 작용하였다. 또한, 질소의 결핍 시 적극적인 수세회복방법은 뿌리에 질소를 공급하는 것이다.

Table 3. Nutrient uptake of macro elements absorbed by fresh weight(kg) depending on the different nitrogen treatment

Nutrient treatment	Period	NO ₃ -N -	PO ₄ -P	K mg	Ca	Mg -
Control	Jul.12~ Aug.8	1,174	143	1,395	670	69.8
	Aug.8~ Sep.2	2,255	235	2,278	1,512	125
	Sep.2~ Oct.7	1,912	191	1,584	1,137	128
	Oct.7~ Nov.6	1,308	122	598	524	79.8
	Sum	6,649	692	5,856	3,843	402
N-N	Jul.12~ Aug.8	0	131	974	423	43.9
	Aug.8~ Sep.2	0	119	534	188	12.8
	Sep.2~ Oct.7	0	103	322	51.8	8.31
	Oct.7~ Nov.6	0	69.8	480	0	0
	Sum	0	422	2,309	662	65.0
F-N	Sep.2~ Oct.7	0	188	338	179	33.4
	Oct.7~ Nov.6	0	69.4	223	0	0
	Sum	0	258	561	179	33.4
N+N	Sep.2~ Oct.7	2,430	112	2,385	1,265	220
	Oct.7~ Nov.6	2,083	198	796	802	171
	Sum	4,513	310	3,181	2,066	391

Control : Cultivation with the standard solution for 120 days

N-N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days

F-N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days

N+N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days.

Table 4. Nutrient uptake of micro elements absorbed by fresh weight(kg) depending on the different nitrogen treatment

Nutrient treatment	Period	Fe -	B	Mn mg	Zn	Cu -
Control	Jul.12~ Aug.8	17.6	3.20	7.00	8.02	0.93
	Aug.8~ Sep.2	19.5	4.77	5.51	7.92	0.76
	Sep.2~ Oct.7	3.27	3.59	4.62	5.01	0.49
	Oct.7~ Nov.6	5.94	2.26	3.43	1.33	0.42
	Sum	46.2	13.8	20.6	22.3	2.60
N-N	Jul.12~ Aug.8	16.4	3.41	3.88	5.75	0.40
	Aug.8~ Sep.2	3.32	1.81	0.94	1.13	0.33
	Sep.2~ Oct.7	0	1.69	0.31	2.27	0.27
	Oct.7~ Nov.6	15.7	0.37	0.48	0	0
	Sum	35.4	7.27	5.62	9.15	1.00
F-N	Sep.2~ Oct.7	0	2.20	0.39	0.57	0.35
	Oct.7~ Nov.6	16.6	0.96	2.71	0	0
	Sum	16.6	3.16	3.10	0.57	0.35
N+N	Sep.2~ Oct.7	12.8	2.52	6.41	2.27	0.39
	Oct.7~ Nov.6	6.99	2.98	5.36	1.72	0.25
	Sum	19.8	5.50	11.8	3.99	0.64

Control : Cultivation with the standard solution for 120 days

N-N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days

F-N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days

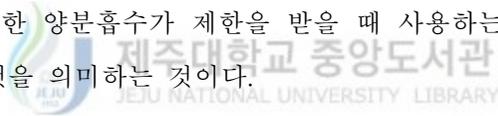
N+N : Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days.

4. 엽 중 질소함량 변화

질소 결핍이 엽 중 질소함량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 10과 같다.

대조구의 엽 중 질소함량은 점차 증가하는 경향이었고, 결제구는 반대의 경향을 보였다. 질소 결제구에서 결핍이 현격히 진행된 경우에 춘엽과 하엽 중 질소함량은 1.30% 정도까지 낮아졌다. 결핍증상은 춘엽에서 먼저 나타나기 시작하였는데, 이는 질소가 결핍될 경우 성엽이나 구엽의 질소가 신엽으로 이동하기 되기 때문에 구엽이나 성엽에서 먼저 결핍증상이 발생하게 된 것이다(Bennett, 1993; Embleton 등, 1963; Chapman, 1967; Smith, 1969; Marschner, 1995).

한편, 질소 결핍 시 엽면시비나 대조구와 같은 양액을 뿌리에 공급할 경우 춘엽과 하엽 중 질소 함량은 신속히 증가하여 10일 후에 대조구의 함량 수준으로 회복하였고, 뿌리에 공급한 경우가 회복시간이 더 빨랐다. 이는 비록 엽을 통해 양분이 흡수될 수 있지만 뿌리에 의한 흡수가 더 신속하고 효율적임을 나타내는 것이고 엽면시비는 뿌리에 의한 양분흡수가 제한을 받을 때 사용하는 보조 역할 정도 밖에 기대할 수 없다는 것을 의미하는 것이다.



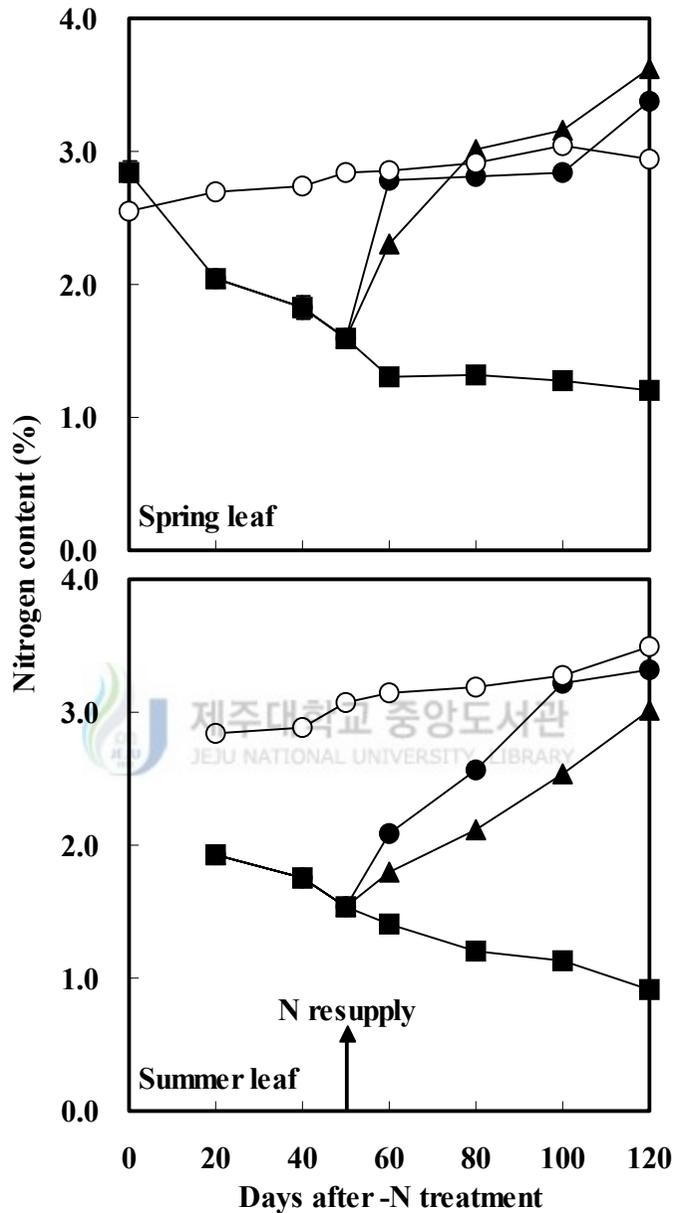


Fig. 10. Change of nitrogen content in leaves depending on the different nitrogen treatment. ○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days), ■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days), ▲ : F-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by the foliar application of 0.5% urea once in every two days for 68 days), ● : N+N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 52 days following by resupply of the standard solution for 68 days)

5. 엽 중 무기성분 함량의 변화

질소 결핍이 엽 중 P, K, Ca, Mg 변화에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

먼저 P 함량의 경우 대조구와 결제구의 춘엽에서는 같은 경향이었고 하엽에서는 대조구보다 결제구에서 시간이 경과할수록 높아졌으며(Fig. 11), 오렌지 나무에서도 엽 중 질소 함량이 결핍된 경우 엽 중 P 함량은 높다고 보고 하였다(Smith, 1966).

K 함량은 대조구의 춘엽에서는 시간이 경과할수록 약 2.0% 정도였고 결제구는 시간이 경과할수록 감소하였으며, 하엽에서는 대조구와 결제구는 같은 경향이였다(Fig. 12). 하지만 Smith(1966)는 엽 중 질소 함량이 낮은 경우 K 함량은 높아진다고 하였다.

Ca 함량은 대조구의 춘엽인 경우 일정하게 약 2.3%로 유지되었고, 결제구는 시간이 경과할수록 감소하였다. 하엽인 경우 대조구는 시간이 경과할수록 증가하여 약 2.0% 정도로 높아졌으나, 결제구는 증가하지 않고 약 1.3%를 유지되었다(Fig. 13).

Mg 함량은 대조구와 결제구의 춘엽인 경우 같은 경향이였으나 하엽에서는 대조구보다 결제구에서 시간이 경과할수록 높아졌다(Fig. 14). Reitz 와 Koo(1959)는 토양에서 질소 시비량을 달리하여 6년 동안 오렌지 나무에 공급하였을 때 질소 시비량이 적은 경우 엽 중 Mg 함량이 감소한다고 하였다.

따라서, 본 연구에서 질소 결제로 엽 중 무기성분 함량의 변화는 춘엽인 경우 P, Mg 함량이 대조구와 같은 경향이였고, K와 Ca 함량은 낮은 경향이였다. 하엽인 경우 K는 대조구와 같은 경향이였고, Ca 함량은 낮았고, P, Mg 함량은 높았다.

Table 5와 6는 결제 처리 후 춘엽과 하엽 중 Fe, B, Mn, Zn, Cu의 함량을 나타내었고, 질소 결제 처리 120일 기간동안 결제구와 대조구간에는 별 다른 차이를 알 수가 없었다.

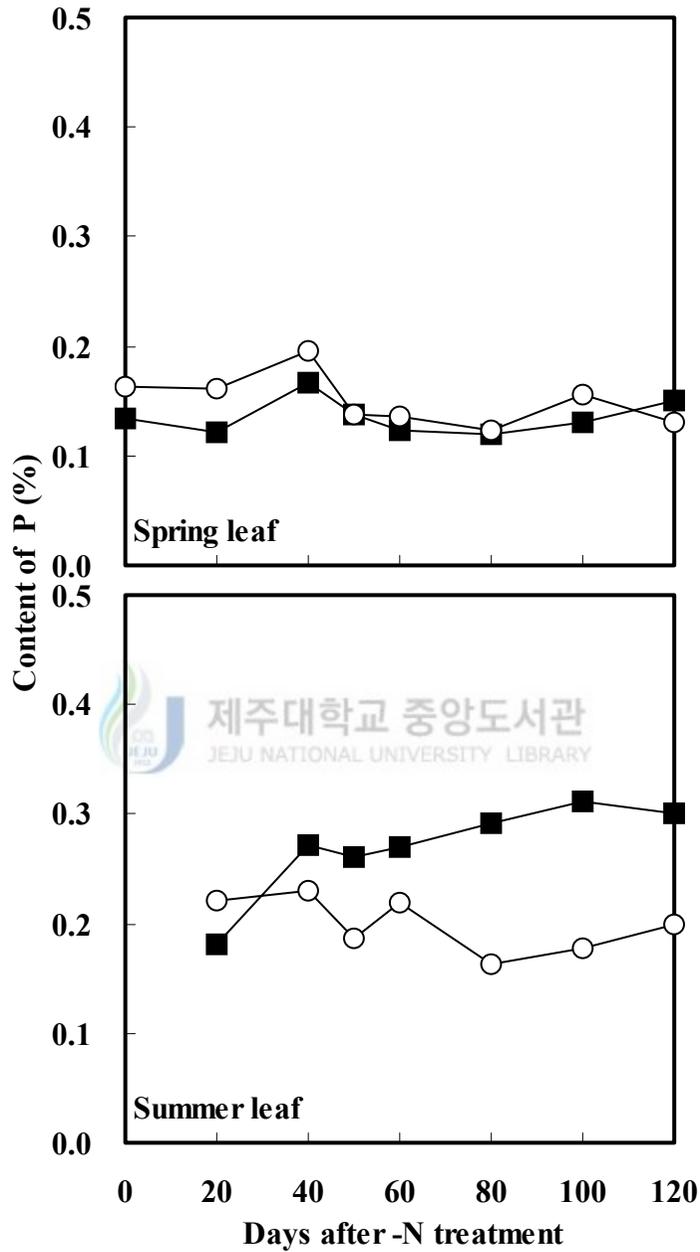


Fig. 11. Change of Phosphorus content in leaves depending on the different nitrogen treatment.

○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)

■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)

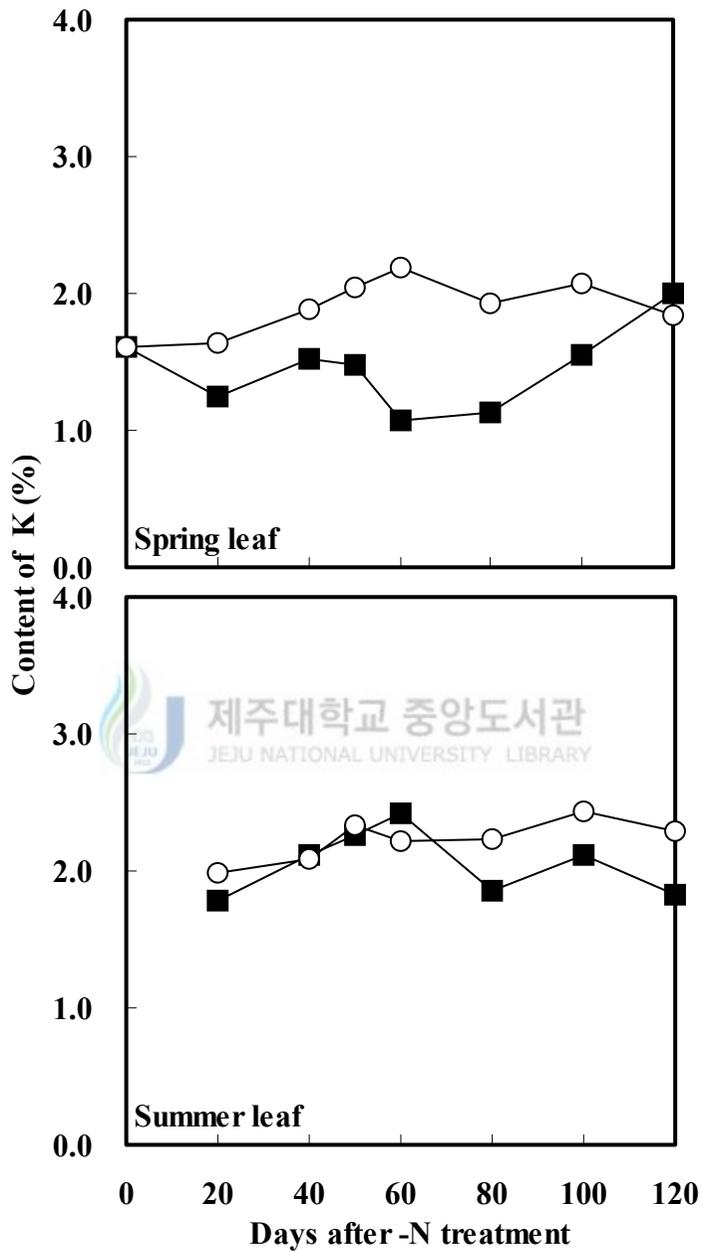


Fig. 12. Change of potassium content in leaves depending on the different nitrogen treatment.

○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)

■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)

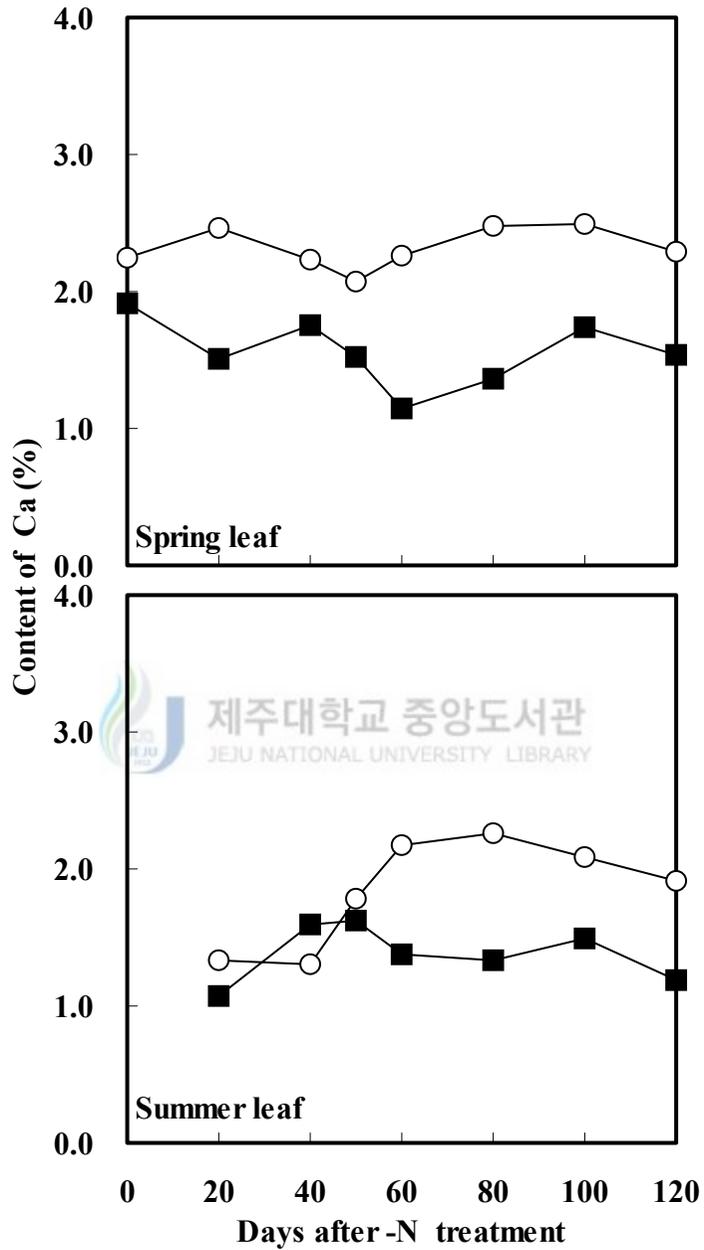


Fig. 13. Change of calcium content in leaves depending on the different nitrogen treatment.

○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)

■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)

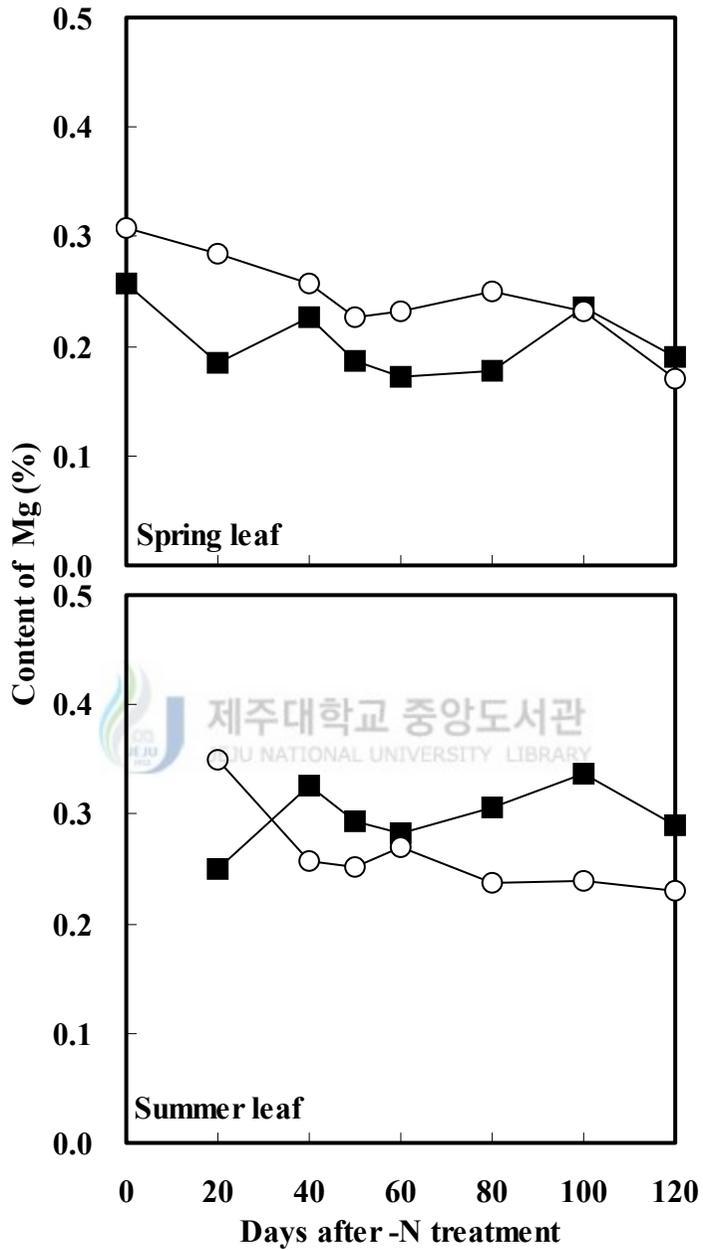


Fig. 14. Change of magnesium content in leaves depending on the different nitrogen treatment.

○ : Control(Cultivation with the standard solution for 120 days)

■ : N-N(Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days)

Table 5. Micro elements content in spring leaves depending on nitrogen absent treatment

Nutrient Treatment	Days after -N treatment	Fe -	B	Mn mg/kg	Zn	Cu -
Control	0	73.0	41.2	25.5	26.8	1.68
	20	69.9	63.7	37.1	62.0	6.23
	40	35.1	69.9	48.6	22.9	2.69
	50	39.3	52.3	57.2	27.9	1.94
	60	99.3	46.9	60.1	28.1	1.59
	80	40.6	48.6	48.6	17.8	3.38
	100	42.0	60.6	67.9	14.6	3.48
	120	38.4	50.1	43.6	18.6	2.89
	Mean	54.7	54.2	48.6	27.3	2.70
N-N [†]	0	88.6	80.1	32.3	20.8	4.16
	20	100	71.2	30.4	35.6	2.81
	40	35.7	54.3	43.0	17.2	2.12
	50	35.6	49.5	48.7	20.8	1.79
	60	32.6	37.7	32.9	13.3	1.25
	80	26.6	44.8	35.2	12.6	2.34
	100	67.5	56.9	47.0	19.1	3.88
	120	27.0	62.6	35.0	17.3	2.96
	Mean	50.0	55.6	43.6	23.7	2.68

[†] N-N: Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days.

Table 6. Micro elements content in summer leaves depending on nitrogen absent treatment

Nutrient treatment	Days after -N treatment	Fe -	B	Mn mg/kg	Zn	Cu -
Control	20	73.7	64.1	40.9	41.3	4.45
	40	44.0	36.6	60.8	23.0	3.65
	50	29.0	37.5	62.7	24.1	2.68
	60	35.1	33.1	53.6	15.6	1.33
	80	40.0	38.5	52.0	15.0	3.16
	100	42.9	39.8	44.0	12.8	3.67
	120	38.5	56.6	48.1	18.2	3.45
	Mean	43.3	43.7	51.7	21.4	3.20
	N-N [†]	20	36.4	40.5	24.9	31.6
40		38.8	37.2	63.1	23.0	2.08
50		38.9	42.0	60.6	23.6	1.46
60		32.6	37.7	32.9	13.3	1.25
80		29.1	42.4	36.5	11.4	1.89
100		28.7	49.7	51.2	12.0	2.33
120		20.0	40.2	30.0	10.9	1.60
Mean		35.7	42.6	47.5	19.8	2.66

[†] N-N: Cultivation with the nitrogen absent solution for 120 days.

IV. 요약

질소의 결핍에 따른 부지화의 생육과 양분흡수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 질소처리(120일 질소 공급구, 120일 질소 결제구, 52일 질소 결제 후 0.5% 요소 2일 1회 엽면시비구, 52일 질소 결제 후 68일 질소 공급구)를 달리한 수경재배시스템에서 3년생 부지화를 재배하고 질소결핍증상, 생체중 증가량, 물의 흡수량, 엽록소 함량과 무기양분 흡수량을 조사하였다.

1. 춘엽과 하엽 중 질소함량이 약 1.8% 이하일 때(결핍 처리 후 약 40일 경과) 엽 전체가 연녹색을 띠는 초기 질소 결핍 증상이 나타났다. 춘엽의 경우 질소함량이 1.59% 일 때(결핍 처리 후 약 50일 경과) 엽맥에서 부터 황화현상이 보이기 시작하여, 질소함량이 1.27% 일 때(결핍 처리 후 100일 경과) 엽 전체가 황화 되었다. 그러나 하엽의 경우는 질소함량 약 1.13% 일 때(결핍 처리 후 100일 경과)부터 춘엽과 같은 증상을 보이기 시작하였다.

2. 결핍된 엽 중 질소함량은 0.5 % 요소를 이틀 간격으로 1회 엽면시비하거나 대조구와 같은 양액을 뿌리로 공급하면 정상 수준으로 회복되었으나, 회복속도는 뿌리에 질소를 공급할 경우에 빨랐다.

3. 부지화의 생체중 증가량, 물의 흡수량과 엽록소 함량은 감소하는 경향을 보였다.

4. 질소 결핍시 P, K, Ca, Mg의 총 흡수량은 대조구에 비해 P은 2/3배, K은 2/5배, Ca과 Mg은 1/6정도 적었고, Ca와 Mg의 흡수량이 가장 영향을 많이 받았다.

5. 엽 중 P, K, Ca, Mg 함량의 변화는 대조구에 비해 춘엽인 경우는 K과 Ca이 낮은 경향을 보였고, 하엽은 Ca이 낮았으나 P, Mg은 높은 경향을 보였다.

V. 참고문헌

Anh, N. T., T. W. Kang, S. J. Song, W. P. Park, N. N. Nong and Z. K. U. 2003. Nutrient absorption by *Citrus unshiu* Marc. grown in out-door solution culture. Korean J. Soil Sci. Fert., 36(4) 225~232.

Bennett, W. F. 1993. Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. pp. 1~195.

Bondada, B. R., J. P. Syvertsen and L. G. Albrigo. 2001. Urea nitrogen uptake by citrus leaves. HortScience, 36(6) 1061~1065.

Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen Total. pp. 595~624. In "Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties (2nd ed.)" (ed. Page, A. L. et al.). Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Chapman, H. D., G. F. Liebig, Jr. and A. P. Vanselow. 1939. Some nutritional relationships as revealed by a study of mineral deficiency and excess symptoms on citrus. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 4 : 196~200.

Chapman, H. D. and E. R. Parker. 1945. Weekly absorption of nitrate by young bearing orange trees out of door in solution culture. Plant Physiol., 17 : 366~375.

Chapman, H. D. 1967. The mineral nutrition of citrus(chapter 3). pp. 127~298. In "The citrus industry Vol. III Anatomy, Physiology, Mineral Nutrition, Seed Propagation, Genetics, Growth Regulators" (ed. Reuther, W., L. D. Batchelor and H. J. webber). Univ. Calif. Div. Agr. Sci., Berkley, California.

Choi, J. M., S. K. Jeong, K. H. Cha, H. J. Chung and K. S. Seo. 2000. Deficiency symptom growth characteristics, and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry as affected by controlled nitrogen concentrations in fertilizer solution. J. Kor. Soc. Hort. Sci., 41(4) 339~344.

Cox, D. A. and J. G. Seeley. 1983. The effect of nitrogen and potassium fertilization and sample date on the macronutrient composition of poinsettia leaves. HortScience, 18 : 751~752.

Dole, J. M. and H. F. Wilkins. 1991. Relationship between nodal position and plant age on the nutrient composition of vegetative poinsettia leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 116 : 248~252

Embleton, T. W., W. W. Jones, C. K. Labanauskas and W. Reuther 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization(chapter 6). pp. 183~210. In "The citrus industry Vol. III Anatomy, Physiology, Mineral Nutrition, Seed Propagation, Genetics, Growth Regulators" (ed. Reuther, W., L. D. Batchelor and H. J. webber). Univ. Calif. Div. Agr. Sci., Berkley, California.

Embleton, T. W., C. K. Labanauskas, W. W. Jones and C. B. Cree. 1963. Interrelations of leaf sampling methods and nutritional status of orange tree and their influence on the macro-and micronutrient concentratins in orange leaves. Proc. Amer Soc. Hort. Sci., 82 : 131~141

河瀬憲次. 1999. デコポンおつくりこなす。農文協, 213 pp.

한승갑. 1997. 시비량이 감귤원 토양 화학성 및 감귤의 생육에 미치는 영향. 제주대학교 대학원 석사 학위 논문, pp 26~29.

Harry, W. F., W. Reuther and P. F. Smith. 1956 Effect of nitrogen on root development of valencia orange trees. American society for horticultural science, 70 : 237~244.

Hirobe, M. and C. Ogaki. 1968. Experiment on the absorption of nutrient elements by unshiu orange tree. Report of Kanagawa Prefecture. Horticultural Experimental Station, Japan. 16 : 4~11.

Hiroshi, I. and K. Ikuo. 1992. Effects of nutrition and temperature on flower bud differentiation of Satsuma Mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 60(4) 771~776.

제주도 농업기술원. 2003. 한라봉 재배기술.

Kang, Y. K., Z. K. U. and B. K. Kang. 1998. Nitrogen recovery and application method in a Satsuma mandarins orchard. Korean J. Soil Sci. Fert., 31(2) 143~150.

Kang, Y. K., Z. K. U. and Y. C. Kim. 2000. Distribution of fall-applied N in various parts of Satsuma mandarins. Korean J. Soil Sci. Fert., 33(5) 325~332.

Kim, D. S., Y. H. Yoon, J. C. Shin, J. K. Kim and S. D. Kim. 2002. Varietal difference in relationship between SPAD value and chlorophyll and nitrogen concentration in rice leaf. Korean J. Crop Sci., 47(3) 263~276.

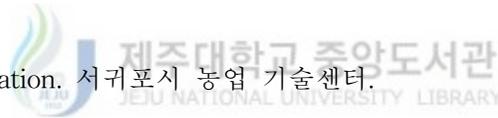
Labanauskas, C. K., W. W. Jones and T. W. Embleton. 1959. Seasonal changes in concentrations of micronutrients(Zinc, Copper, Boron, Manganese and Iron)in leaves of Washington Navel Orange. American society for horticultural science, 74 : 300~307.

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

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic press. Inc., San Diego, pp. 436~478.

Miriam, A. and A. Bar-Akiva. 1973. Nitrogen accumulation induced by phosphorus deficiency in citrus plants. Scientia Horticulturae, 1: 251~262

Personal communication. 서귀포시 농업 기술센터.



Rodriguez, I. R. and G. L. Miller. 2000. Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration, nitrogen concentration, and visual quality of St. Augustinegrass. HortScience, 35(4) 751~754.

Reitz. H. R. and R. C. J. Koo. 1959. Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality, and leaf analysis of valencai orange. American society for horticultural science, 75 : 244~252.

石原正義 1982. 果樹の 榮養生理. 農文協.

Smith, P. F. 1966. Citrus nutrition(chapter VII), pp 174~199. In " Fruit Nutrition (2nd Ed.)"(ed Childers, N. F.). Hort. Publications, Rutgers Univ., New Brunswick, N. J.

Smith, P. F. 1966. Leaf analysis of citrus(chapter VIII), pp 208~225. In " Fruit Nutrition (2nd Ed.)"(ed Childers, N. F.). Hort. Publications, Rutgers Univ., New Brunswick, N. J.

Smith, P. F. 1969. Nitrogen stress and premature leaf abscission in citrus. Hortscience, 4(4) 326~327.

송성준. 1985. Cl과 SO₄처리가 감귤의 무기물과 당 및 유기산의 조성에 미치는 영향. 제주대학교 대학원 석사 학위 논문.

송성준. 1992. 32P Bioassay에 의한 감귤나무의 인산 영양진단법 개발. 제주대학교 대학원 박사 학위 논문.

Spencer, W. F. and R. C. J. Koo. 1962. Calcium deficiency in field-grown citrus trees. American society for horticultural science, 81 : 202~208.

Stephen, H. F. and David P. H. Tucker. 2001. A Guide to citrus nutritional deficiency and toxicity identification. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Yeh, D. M., L. Lin and C. J. Wright. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of Spathiphyllum. Scientia Horticulturae, 86 : 223~233.