

사과 ‘후지’ 품종의 품질에 미치는 토양이화학성의 상대적 기여도

김승희 · 최인명 · 한점화 · 조정건 · 손인창 · 임태준^{1*} · 윤해근²

국립원예특작과학원 과수과, ¹국립원예특작과학원 원예특작환경과, ²영남대학교 원예학과

Relative Contribution rate on Soil Physico-chemical properties Related to Fruit Quality of ‘Fuji’ apple

Seung-Heui Kim, In-Myung Choi, Jeom-Wha Han, Jung-Gun Cho, In-Chang Son,
Tae-Jun Lim^{1*}, and Hea-Keun Yun²

Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea

¹*Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science,
RDA, Suwon 441-706, Korea*

²*Department of Horticultural Science, Yeungnam University, Gyeong san, 712-749, Korea*

The management standard on soil conditions in ‘Fuji’ apple to produce high quality fruit were not yet made. Therefore, this study was carried out to investigate the optimum soil environmental conditions of ten contents on production of high quality fruit in ‘Fuji’ apple. The soil and fruit characteristics were analyzed at total 60 orchards in major apple producing areas such as Chungju, Moonkyeung, yeongju, andong, yeosan and yeongcheon (10 orchards an area). The soil environmental factors affected fruit weight was highest relative contribution in saturated hydraulic conductivity of 36.5%. The bulk density and soil pH were low as relative contribution. The fruit weight was influenced by soil physical properties more than soil chemical properties. The soil environmental factors affected sugar content were hydraulic conductivity of 28.3% and organic matter content of 18.2%. The cultivation layer depth and soil pH were low as relative contribution. The fruit coloring was highest relative contribution in saturated hydraulic conductivity 55.9% while soil pH, cation and soil texture were low. Fruit coloring was high influenced over 70% by soil physical properties. Finally, relative contribution on fruit quality related with sugar content, fruit weight, and coloring were high influenced by saturated hydraulic conductivity of 21.% and organic matter content of 18.7% but bulk density and cultivation layer depth were low relative contribution. The fruit growth and saturated hydraulic conductivity in ‘Fuji’ apple were very closely related. Therefore, orchard soil management to produce high quality fruit was very importance drainage management and organic matter application. We concluded that scientific soil management is possible by qualifiable of soil management factors.

Key words: Apple, coloring, Fruit weight, Soil factor, Sugar content

서 언

사과는 심근성 영년작물로서 고소득 작목이기 때문에 매년 동일한 재배포장에서 연작되고 있다. 이러한 과원의 효율적인 재배관리는 지상부와 지하부의 관리로 나누어 생각 할 수 있는데, 최근 들어 지하부에 관심이 증가하고 있다. 사과 과원의 생산력에 미치는 주요 토양인자는 토양 유기물, 질소 및 유효인산과 같은 잠재보비력인자, 점토 및

모래와 같은 토성인자, 그리고 치환성 석회 및 고토와 같은 염기인자로 알려져 있다 (Suh et al., 1979). 그러한 토양인자 중 질소는 과수재배에 있어서 수체 생육과 수량, 그리고 과실 품질에 중요한 영향을 미친다 하지만 질소의 과다한 시용은 과실의 착색을 나쁘게 한다 (Komamura et al., 2000).

우리 나라의 많은 과수원은 경사지에 위치하고 있어 대부분 작토심이 얇고 농기계 사용에 따른 토양 압밀 현상에 의해 토양 물리성은 더욱 불량해지고 있다. 특히 과수는 심근성 작목이기 때문에 토양 경도, 용적 밀도, 투수 속도 및 작토심에 따라 생장에 영향을 많이 받으므로 토양 물리성과 동시에 화학성도 개선할 필요가 있다. 천근성 작물인 과수의 생육은 토양경도 (Barley, 1963), 용적밀도

접수 : 2011. 8. 29 수리 : 2011. 9. 26

*연락처 : Phone: +822906263

E-mail: taejun06@korea.kr

(Taylor and Gardner, 1963), 투수속도 및 작토심에 따라 영향을 많이 받는다.

토양 및 수체를 진단하여 재배관리를 합리적으로 하기 위해 Im (1999)은 성분별로 다소 다른적정범위를 제안하였으나, 이러한 제안 범위는 수량증가를 목표로 작성된 결과이므로 품질을 증시하는 재배환경에 적용하는 데에는 한계가 있는 것으로 생각된다. 토양 비옥도는 과수의 엽내 양분상태에 직접 영향을 주기 때문에 (Boynton and Oberly, 1966) 과수의 영양 진단은 엽 분석을 통해 하는 것이 가장 합리적인 방법으로 생각된다. 외국의 경우 엽의 양분함량을 지표로 한 영양진단 방법으로서 Emmert (1955)는 적정, 부족, 과다범위에 표준편차를 가감하여 임계치를 정하였고, Kenworthy (1961)는 각 성분별 표준치를 '정상보다 부족', '정상', '정상보다 과다' 등으로 3등분 하여 과수 영양진단 자료를 제안하였다. Shin et al. (1988)은 왜성 '후지' 사과 엽 중 무기성분 함량에 대한 영양진단 기준을 제시하였으나, 당시의 기준은 과실 품질보다는 수량 증수를 목표로 과다 시비된 경우가 많았기 때문에 착색과 당도 등 품질을 증시는 근래의 소비자 선호 경향을 고려 할 때 새로운 엽 분석 진단 기준이 필요하다고 생각한다. 그에 따라 Choi et al. (1999), Jung 및 Song (2000)은 고품질 과실생산을 위한 새로운 엽 질소 양분진단 기준치를 제안했다.

이러한 결과는 엽분석을 통하여 영양진단을 실시하는 방법으로 근본적인 치유 방법으로는 한계가 있다. 따라서 본 연구는 고품질 사과 '후지' 과실을 생산하기 위해 토양의 이화학성별 과중, 당도, 과실 품질에 대한 상대적 기여도를 분석하여 최적 토양환경 조건을 설정하기 위한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사 지역 및 식물 재료 2006년부터 2008년까지 사과 주요 주산단지인 안동, 영주, 문경, 충주, 예산, 영천에서 작목반 1개를 선정하여 한 작목반당 10농가, 총 60농가를 조사하였다. 지역 선정은 우리나라 사과재배 지역 가운데 상위 10지역 내에서 선정하였으며, 토양요인을 조사하기 위해서는 표본의 선정 즉 같은 조건의 사과나무가 재식되어 있어야 하고 또한 재배기술의 수준도 비슷해야 오차를 줄일 수 있다. 조사 과원은 M.9인 왜성대목을 사용한 수령 5-7년생인 사과나무 3주에 대해서 라벨링하였다. 나무 당 80개 내외로 착과수를 조절하고 병해충 방제 및 재배 관리를 농가 관행적으로 수행하였다.

과실 특성 분석 과실은 수확기에 3주의 과실을 전수 조사하였다. 과중은 전체 과중의 평균을 사용하였고, 평균

과중은 10개씩 1반복하여 3반복으로 30개 과실에 대해 가용성고형물 함량은 각각의 과실을 착즙하여 디지털굴절당도계 (Atago DBX-55, Japan)를 사용하여 측정하였다. 착색도는 육안검정으로 조사하였다. 과실 품질 등급은 농촌진흥청에서 제시한 탐푸르트 기준인 과중 $320 \text{ g} \pm 1\%$, 당도 14°Brix , 착색 70%이상을 사용하였다.

토양 분석 토양이화학성 분석용 시료는 장마기 이후 8월에서 9월에 조사과원 60농가에서 채취하였고, 토양물리성은 4월에서 6월 사이에 현지 조사하였다. 포화수리 전도도, 토성, 작토심의 깊이, 토양 삼상 그리고 용적밀도 등을 분석하였다. 화학성 분석용 시료는 2 mm를 통과한 풍건시료를 농업과학기술원 표준분석방법에 준하여, 토양 pH는 토양과 증류수의 비를 1:5로 혼합하여 1시간동안 진탕한 후 pH meter (ORION Model 720A, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로, 그리고 치환성 K, Ca, Mg은 NH_4OAc (pH 7.0) 추출 후 Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (GBC Integra XM2 model, Australia)로 측정하였다. 양이온치환용량 (CEC)은 10 g의 토양에 침출액 NH_4OAc (pH 7.0) 50 ml를 혼합하여 12시간 동안 침출이 완료되도록 조절한 후 80% 에틸알콜로 세척을 한 뒤에 토양을 켈달증류기로 증류하여 측정하였다. 물리성 분석의 경우, 토성은 5% sodium hexametaphosphate를 분산제로 하여 pipette법으로 분석하였으며, 포화수리전도도는 Inverse auger hole method법으로, 용적밀도는 Core method법을 이용하여 분석하였다.

양이온 등급 토양이화학성 요인중 양이온 (K, Ca, Mg)은 토양 시료를 분석한 결과 값을 모두 합하여 각각의 백분율로 환산하였다. 각각 원소의 배합에 따라 상의한 차이가 있으므로, 가장 좋은 함량비로 조사된 K, Ca, Mg 각각 10-70-20%의 조합비를 1 등급으로 하여 함량비를 조절하여 4 등급까지 나누었다 (Table 1).

통계분석 조사된 과원의 과실 특성분석 자료를 이용하여 토양요인들의 상대적기여도를 분석하기 SAS 프로그램의 편상관계수 (partial correlation coefficient)방법을 이용하였다. 60농가의 과실특성분석값과 토양분석 10요인 값을 엑셀시트에 정리한 후 선형모형에서 종속변수를 과실분석값으로 하였고, 한글로 입력된 토성값을 분류변수로 하였다. 토성을 제외한 나머지 9요인은 수치화 되었으므로 양적변수로 하여 실행하였다. 각 항목에 대한 변량값이 표출되면, 그 값들을 원데이터값에 곱하였다. 모든 값을 변량된 수치 값으로 입력한 후 회귀분석의 선형을 선택하였다. 과실 특성값을 종속변수로 토양요인들을 독립변수로 선택하여 통계량을 실시하였다. 최종적으로 상관관계수에서 편상관계

Table 1. Grade classification of cation.

Ration (%)			Grade
K	Ca	Mg	
9~11	60~61	28~31	D
7~9	62~63	28~31	D
22~24	63~64	22~24	D
8~10	63~64	26~28	D
13~16	65~66	19~21	C
10~12	65~66	22~25	C
5~7	67~68	25~28	B
11~14	67~68	22~24	B
8~12	69~71	19~21	A
6~9	72~73	19~21	B
10~12	72~73	15~18	B
2~4	73~74	22~24	C
10~12	74~75	12~16	C
4~7	74~75	19~21	D
3~5	77~78	18~21	D
7~9	79~80	16~19	D
2~4	79~80	11~14	D

수를 실행한 후 표출된 토양요인 10가지 항목을 합하여 각 항목별로 나누어 기여도를 계산하였다.

결과 및 고찰

사과 후지 품종의 과중, 당도, 착색에 관여하는 토양 이 화학성 10가지 요인에 대한 각각의 상대적 기여도를 조사 하였다. 과중에 관여하는 토양 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과 (Table 2), 토양환경요인들 중에서 포화수리 전도도가 36.6%로 가장 높은 기여도를 나타냈고, 그 다음이 유기물 함량이었다. 용적밀도 및 토양산도는 각각 0.2%, 0.1%로 아주 낮았다. 나머지 요인들은 비슷한 기여정도를 나타냈다. 사과 후지 품종의 과중에는 토양의 물리성 요인들이 화학성 요인들 보다는 크게 기여 했고, 상대적으로 화학성은 낮았다.

과수원에서의 강우 또는 관계에 의하여 발생하는 침수는 토양 내의 공기순환을 악화시키고 침식을 조장하며, Kozlowski (1984)은 배수가 불량한 토양은 강우나 과다 관수에 의해 지하수위가 상승함으로써 지표면이 침수되어 (Kozlowski, 1984), 토양 내 근권 환경과 대기와의 공기 접촉이 차단되고 용존 산소의 급격한 고갈이 일어난다고 하였다. Blackwell (1983)은 또한 용존산소의 고갈은 작물 뿌리와 토양 미생물의 호흡에 의해 가속화되며 그 결과, 토양 내 산소량은 급격히 감소하고 이산화탄소의 농도가 높아지며 이러한 반응들은 토양온도, 작물 뿌리와 미생물의 활동에 따라 차이가 있다

Table 2. Contribution rate soil properties to fruit weight of 'Fuji' apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
	Saturated hydraulic conductivity	36.6
Soil physical properties	Soil texture	9.7
	Cultivation depth	2.7
	Solid phase	10.6
	Bulk density	0.2
	Phosphate	8.4
Soil chemical properties	Soil pH	0.1
	Organic matter	18.1
	Cation	5.0
	CEC	8.6

Table 3. Contribution rate soil properties to sugar content of 'Fuji' apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
	Saturated hydraulic conductivity	28.3
Soil physical properties	Soil texture	8.8
	Cultivation depth	0.1
	Solid phase	13.7
	Bulk density	1.3
	Phosphate	13.0
Soil chemical properties	Soil pH	0.1
	Organic matter	18.2
	Cation	2.7
	CEC	13.3

고 했다.

De Boodt and Verdonk (1972)은 식물의 생육에 이용되는 수분은 단순한 건조중량에 의한 수분함량보다는 뿌리가 흡수하는데 소요되는 에너지를 나타내는 수분장력과 밀접한 상관이 있다고 보고하였다. 한편 장력이 낮은 토양수분이 많더라도 산소 공급 능력이 없으면 식물의 뿌리는 양분이나 수분을 흡수하는데 필요한 에너지를 만들지 못하므로 흡수가 정지되며, 정도가 너무 단단하면 뿌리는 신장을 못하므로 생육이 나쁘게 된다. 과수원의 토양물리성은 과실의 생장은 밀접한 관련이 있는데, 토양의 배수 능력이 좋으면 산소의 공급량이 많고 뿌리 발달이 양호하여 과실의 생장을 증가시킨다. 사과원의 경우도 마찬가지로 과실의 생장은 포화수리전도도 즉 배수가 양호해야만 과실생장이 원활하다.

사과 후지품종의 과실 당도와 토양 이화학성 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과 (Table 3), 포화수리전도도가 28.3%, 유기물함량이 18.2%의 높은 기여도를 나타냈다. 하

지만 작토층의 깊이, 토양 산도는 0.1%의 낮은 기여도를 보였고 용적밀도도 역시 1.3%로 낮았다. 고상, 인산함량, 양이온치환용량은 13% 정도의 기여도를 차지하였다. 토양 물리성과 화학성 요인으로 분류하여 보면 약 50%씩 기여하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 Liao and Lin (1994)의 보고에 미루어 배수가 불량하여 침수상태가 지속되면 근권 내의 산소고갈에 의해 뿌리의 호흡 곤란이 먼저 일어나고 이어 광합성과 관련된 기공 개폐, 증산율, 수분 흡수 등에 변화가 일어나는데, 침수 초기에는 기공폐쇄에 의해 기공전도도가 줄어들고 잎의 호흡률 증가가 이루어진다. 아울러 광합성의 감소와 더불어 광계 II의 전자 전달 활성이 제한되며 (Ladygin, 1999) 광화학적으로 소멸되는 에너지가 줄어드는 대신에 비광화학적 형광 소멸을 통하여 방출되는 에너지가 커지게 되므로 광합성이 억제되면 광계 II의 P680 안테나 색소에서 방출되는 엽록소 형광이 크게 증가한다. 광합성의 억제는 동화산물의 생산이 줄어들고 그에 따라 과실로 당의 전류가 불량하게 된다. 과실의 당은 토양환경조건중에서 배수 및 유기물 사용과 밀접한 관련이 있는데 유기물 사용 또한 토양 물리성을 개량하는 하나의 방법이므로 토양의 물리성에 따라 수체의 광합성이 크게 영향을 받는다.

Song (2000)에 따르면 과실의 당도는 착과량이 많아질수록 당도가 떨어지고, 질소의 과다 시비는 과실의 착색을 나쁘게 하거나 토양을 산성화시킨다. Komamura et al. (2000)은 토양의 물리성이 불량하여 배수가 안 되는 경우 과일의 수분이 존재하는 경우에는 근부 호흡이 원활하지 못하여 칼륨 흡수는 저해된다고 하였다.

사과 후지품종의 과실 착색과 토양 이화학성 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과 (Table 4), 포화수리전도도가 55.9%의 월등한 기여도를 나타냈고 그다음이 유기물함량 16.3%였다. 나머지 토양환경 요인들은 큰 기여도를 나타내지 못하였다. 토양물리성 요인이 70%정도 차지하여 과실의 착색에는 토양물리성이 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

착색에 관여하는 요인은 착과량 조절, 수분관리 및 비배관리에 영향을 받으며, 강우 직후 병해충 방제를 위해 SS기 (Speed Spray) 사용은 토양용적밀도를 높여 배수를 불량하게 한다. 질소과다는 일반적으로 과수에서 과실의 착색을 떨어뜨리는 가장 중요한 요소중에 하나로 질소의 함량이 높을수록 가용성 고형물의 함량이 감소하고 (Lee, 1999), 착색이 불량하며 (Papp and Ibrahim, 1995), 과피 내 안토시아닌 함량이 낮은데 기인한다 (Byun et al., 1989).

사과 후지 품종의 과실품질, 즉 앞에서 언급한 과중, 당도, 착색은 농진청 탐프루트 기준을 적용하여 과중 320g, 당도 14이상, 착색 70%이상을 1등급을 기준 하여 과실 특성분석 자료를 분석하여 7등급까지 분류한 후 토양환경요인들의 기여도를 살펴본 결과 (Table 5), 포화수리전도도

Table 4. Contribution rate soil properties to Coloring of 'Fuji' apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
	Saturated hydraulic conductivity	55.9
Soil physical properties	Soil texture	0.4
	Cultivation depth	1.4
	Solid phase	10.6
	Bulk density	0.3
	Phosphate	8.2
Soil chemical properties	Soil pH	0.1
	Organic matter	16.3
	Cation	0.1
	CEC	6.7

Table 5. Contribution rate soil properties to fruit quality of 'Fuji' apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
	Saturated hydraulic conductivity	21.0
Soil physical properties	Soil texture	9.1
	Cultivation depth	0.4
	Solid phase	12.0
	Bulk density	1.3
	Phosphate	16.9
Soil chemical properties	Soil pH	1.9
	Organic matter	18.7
	Cation	5.6
	CEC	13.1

21.0%, 유기물 함량 18.7%, 인산함량 16.9% 순으로 나타났습니다. 작토층의 깊이, 용적밀도, 토양산도는 아주 낮은 기여도를 나타냈고, 토성 및 양이온이 10% 이하였다. 토양물리성요인과 화학성요인으로 나누어 보면 약 50%씩 차지하여 두가지 요인이 고르게 작용하는 것으로 나타났다.

Peterson and Stevens (1994)에 따르면 질소 과다 시비로 토양에 매년 축적되는 질소는 새가지 성장을 자극하고 과실의 착색, 품질 및 저장성을 떨어뜨리고 병 발생을 많게 하는 요인으로 작용을 한다고 한다. 질소의 함량이 높을수록 가용성 고형물의 함량이 감소하고, 착색이 불량하며, 과피 내 안토시아닌 함량이 낮았다고 한다 (Byun et al., 1989). 토양의 비배관리가 적절하지 않으면 과실의 품질을 향상시키는 데에 한계가 있다. 최근에는 가축분을 이용한 유기질 비료의 생산과 투입이 급증하고 있어 문제의 발생 소지가 많다. 양이온의 함량 밸런스가 맞지 않아 마그네슘 결핍 등의 발생이 많기 때문에, 알맞은 시비체계가 이루어져야 고품질의 사과를 생산할 수 있으며, 고품질의 후지를 생산하기

위해서는 단편적인 토양관리가 아닌 토양이화학성을 전체적으로 고려하는 관리 체계가 필요하며 또한 화학성 보다는 토양 물리성을 우선 개선하여야 할 것으로 판단된다.

결 론

사과 후지 품종의 토양환경요인들에 대한 정밀한 관리 기술이 아직 만들어져 있지 않다. 따라서 본 연구는 사과 후지 품종의 고품질 과실 생산을 위한 최적 토양환경 요인을 구명하기 위해 수행되었다. 토양환경조건들은 전국의 사과 주산지 충주, 문경, 영주, 안동, 예산, 영천 지역에서 각각 농가당 10농가를 대상으로 총 60농가에서 토양 및 과실특성을 조사하였다. 과중에 영향을 미치는 토양환경요인은 포화수리전도도가 36.5%로 가장 기여도가 높았으며, 용적밀도 및 토양산도는 아주 낮았다. 토양물리성 요인이 화학성 요인보다는 과중에 영향을 주었다. 과실의 당도에 미치는 토양환경요인들에서는 포화수리전도도 28.3%, 유기물함량 18.2% 순이었으며, 작토층의 깊이와 토양산도는 상대적으로 기여도가 매우 낮았다. 과실의 착색은 포화수리전도도가 55.9%로 매우 높은 기여도를 나타냈고 반면에 토양산도와 양이온 및 토성은 영향이 적었다. 토양물리성은 약 70%로 과실착색에 크게 영향을 주었다. 최종적으로 과중, 당도, 과실착색을 종합적으로 고려한 과실품질에 대한 상대적 기여도에서는 포화수리전도도가 21.0%, 유기물함량이 18.7%로 높았다. 작토층 깊이와 용적밀도는 낮았다. 사과 후지품종은 포화수리전도도와 매우 밀접한 관련이 있으며, 따라서 고품질의 과실을 생산하기 위해서는 과원의 배수관리 및 유기물 사용이 가장 중요하게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 과원의 토양관리 요인들을 계량화 하여 과학적 토양관리 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

Barley, K.P. 1963. Influences of soil strength on growth of roots. *Soil Sci.* 96:175-180.

Blackwell, P.S. 1983. Measurements of aeration in water-logged soils: Some improvements of techniques and their application to experiments using lysimeters. *J. Soil Sci.* 34:271-285.

Boynton, D. and G.H. Oberly. 1966. Apple nutrition, p.1-50. In: N.F. Childers (ed.). *Nutrition of fruit crops*. Hort. Publ. Rutgers Univ. New Brunswick, NJ.

Byun, J.K., B.Y. Byun, and K.H. Chang. 1989. Effect of fruit bagging and application of additional nitrogen fertilizer on color development of 'Fuji' apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 30:270-277.

Choi, S.W., M.S. Hur, and K.R. Kim. 1999. Optimum nitrogen contents of leaves for quality fruit production of 'Fuji' apples. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* (Abstr.) 17:616.

DeBoodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.

Emmert, F.H. 1955. Foliar analysis result from forty connecticut apple orchards. *Conn. Agr. Expt. Sta. Bul.* 317.

Ladygin, V.G. 1999. Effect of root zone hypoxia and anoxia on the functional activity and chloroplast ultrastructure in leaves of *Pisum sativum* and *Glycine max*. *Fiziol. Rast.* 46:246-258.

Liao, C.T. and C.H. Lin. 1994. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. *Plant Physiol. Biochem.* 32:1-5.

Im, J.N. 1999. Guideline for recommendation of fertilizer application in crops Natl. Inst. Agr. Sci. Technol. RDA. Korea.

Jung, J.K. and Y.I. Song. 2000. Optimal mineral nutrient contents in the leaves of 'Fuji'/M.26 apple trees. *Res. Rpt. Kor. Natl. Hort. Res. Inst. for 1999.* p. 340-346.

Kenworthy, A.L. 1961. Interpreting the balance of nutrient element in leaves of fruit tree, p. 29-43. In: W. Reuther (ed). *Plant analysis and fertilizer problem*. Amer. Ins. of Bio. Sci. Washington.

Komamura, K., A. Suzuki, M. Fukumoto, K. Kato, and Y. sato. 2000. Effects of long-term nitrogen application on tree growth, yield, and fruit qualities in a 'Jonathan' apple orchard. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69:617-623.

Kozlowski, T.T. 1984. Responses of woody plants to flooding, p. 129-163. In: T.T. Kozlowski (ed.). *Flooding and plant growth*. Academic Press, Orlando, FL, USA.

Papp, J. and Z.I. Ibrahim. 1995. Distribution of some N compounds in shoots and fruit s of the apple cv. 'Jonathan' after soil and foliar application of nitrogen. *Kerteszet-Tudomány.* 27:43-49.

Perterson, A.B. and R.G. Stevens. 1994. Tree fruit nutrition. p. 41-42. *Yakima, Washington.*

Shin, K.C., J.S. Choi, M.S. Kim, S.B. Kim, J.H. Kim, J.Y. Moon, and Y.J. Lee. 1988. Studies on the nutritional diagnosis of dwarf apple trees (*Malus domestica* Borkh). *Res. Rpt. RDA. (H).* 30:38-48.

Song, G.C., I.M. Choi, and M.D. Cho. 2000. Cold hardiness in relation to in management in 'campbell Early' grapevines. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 18:387-390.

Suh, Y.S., S.B. Kim, and C.H. Chung. 1979. Studies on the capability evaluation for Korean apple orchard. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 20:157-165.

Taylor, H.M. and H.P. Gardner. 1963. Penetration of cotton seeding top roots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soils. *Soil Sci.* 96:153-156.