

사과 ‘홍로’ 품종의 과실 품질에 미치는 토양이화학성의 상대적 기여도

김승희^{1*} · 박서준¹ · 한점화¹ · 조정건¹ · 최형석¹ · 임태준² · 윤해근³

¹국립원예특작과학원 과수과, ²국립원예특작과학원 원예특작환경과, ³영남대학교 원예학과

Relative Contribution rate on Soil Physico-chemical Properties Related to Fruit Quality of ‘Hongro’ Apple

Seung-Heui Kim¹, Seo-Jun Park¹, Jeom-Wha Han¹, Jung-Gun Cho¹,
Hyeong-Suk Choi¹, Tae-Jun Lim², and Hea-Keun Yun³

¹Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea

²Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-440, Korea

³Department of Horticultural Science, Yeungnam University, Gyeong san, 712-749, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the optimum soil environmental conditions of ten contents on production of high quality fruit in ‘Hongro’ 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 were the highest relative contribution in saturated hydraulic conductivity of 33.3%. The cation was 24.6%, the bulk density, soil texture and solid phase were also high 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 highest soil texture of 21.9%, and the CEC and bulk density were low as relative contribution. The fruit coloring was the highest relative contribution in phosphate of 55.9%. While saturated hydraulic conductivity and organic matter content were low. The coloring was influenced by soil chemical properties more than soil physical properties. 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 cultivation layer depth of 25.8%, soil texture 22.2%, and soil pH of 21.0% but bulk density and solid phase were low relative contribution. The fruit growth and soil chemical properties in ‘Hongro’ 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 quantifiable of soil management factors.

Key words : apple, hongro, fruit weight, soil factor, sugar content

서 론

국내에서 최초로 육성된 ‘홍로’ 품종은 국립원예특작과학원에서 1980년에 ‘스퍼어리 브레이크’에 ‘스퍼골든 데리셔스’를 교배하여 1988년에 선발하였다(Shin 등,

1989). 이 품종은 수확기가 9월 상중순이며 과실크기는 300g 내외, 과형은 장원형, 과피는 농홍색으로 줄무늬가 없으며, 당도는 14~15°Brix, 산도는 0.25~0.31%로 육질이 단단하여 품질이 우수한 것으로 평가 받고 있다. 특히, 이 품종은 사과수요가 많은 추석에 출하되어 가격이 높게 유지되면서 최근에 재배면적이 꾸준히 증가하고 있다.

과수원 토양의 화학성 및 양분관리는 과실의 품질과

*Corresponding author: vitis@korea.kr
Received September 14, 2011; Revised May 31, 2012;
Accepted June 11, 2012

사과 '홍로' 품종의 과실 품질에 미치는 토양이화학성의 상대적 기여도

생리장해 등과 밀접한 관계가 있으므로 과수원이 조성된 이후 시비관리는 작물의 생산성을 확보하고 고품질의 과일을 생산하는데 있어 가장 중요한 요인으로 알려져 있다(Lee 등, 2000). 최근 M.9 대목을 이용한 고밀식 재배 과원이 증가하고 있으며, 다수확 위주의 토양관리에서 양분 요구도, 경제성 및 환경영향을 고려한 저투입 시비관리 기술 뿐만아니라 작물양분종합관리(INM) 개념의 확산 등 우리나라의 사과재배는 중요한 변화의 시기에 들어서고 있다.

사과나무는 영년생 작물로서 토양에서 양분과 수분을 적절하게 공급받으면서 뿌리의 호흡을 원활하게 하여야 지속적으로 품질이 좋은 과실을 안정적으로 생산할 수 있기 때문에 토양관리가 중요하게 다루어지고 있다(Park과 Oh, 2001). 과실의 안정적 생산을 위한 토양의 환경요인은 단일요인으로 작용하기 보다는 다양한 요인들이 복합적으로 작용하고 있다. 작물 생육에 직접적으로 영향을 미치는 토양의 물리적 성질은 수분 및 공기의 함량, 심토경도 등이며, 이들 직접요인들은 토양의 용적밀도, 토성, 입단 크기 및 발달 정도, 공극 분포 등에 따라 좌우된다(Gupta, 1994). 과수재배에 있어서 토양 물리성 뿐만 아니라 토양 화학성 또한 수체생육과 수량, 그리고 과실 품질에 중요한 영향을 미친다(Komamara 등, 2000).

고품질 과실생산을 위한 새로운 엽 질소 양분진단 기준치가 제되었다(Song, 2000). 이러한 결과는 엽 분석을 통하여 영양진단을 실시하는 방법으로 근본적인 치유 방법으로는 한계가 있다. 따라서 본 연구는 고품질 사과 '홍로' 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

1. 조사 지역 및 식물 재료

2006년부터 2008년까지 사과 주요 주산단지인 안동, 영주, 문경, 충주, 예산, 영천에서 각각 작목반 1개를 선정하여 한 작목반당 10 농가, 총 60 농가를 조사하였다. 조사 과원은 M.9인 왜성대목을 사용한 수령 5~7년생인 사과나무 3주에 표시하였다. 나무 당 80개 내외로 착과수를 조절하고 병해충 방제 및 재배 관리를

농가 관행적으로 수행하였다.

2. 과실 특성 분석

과실은 수확기에 3주의 과실 전체를 조사하였다. 과중은 전체 과중의 평균을 사용하였고, 평균과방 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 농촌진흥청 탐푸르트 사업의 기준[과중 320g±1%, 당도 14°Brix, 착색 70% 이상]을 사용하였다.

3. 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 2mm를 통과한 풍건시료를 농업과학기술원 표준분석방법에 준하여, 토양 pH는 토양과 증류수의 비를 1:5로 혼합하여 1시간 동안 진탕한 후 pH meter(ORION Model 720A, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster 법으로, 그리고 치환성 K, Ca, Mg은 NH₄OAc(pH 7.0) 추출 후 Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy(GBC Integra XM2 model, Australia)로 측정하였다. 양이온치환용량(CEC)은 10g의 토양에 침출액 NH₄OAc(pH 7.0) 50ml를 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.

4. 양이온 등급

토양이화학성 요인중 양이온(K, Ca, Mg)은 토양 시료를 분석한 결과 값을 모두 합하여 각각의 백분율로 환산하였다. 양이온은 각각의 적정범위보다는 세가지 이온들의 함량비를 이용하였다(Kim 등, 2009). K 10%, Ca 70%, Mg 20%의 조합비를 1 등급으로 하여 함량비를 조절하여 4 등급까지 나누었다(Table 1).

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

5. 통계분석

조사된 과원의 과실 특성분석 자료를 이용하여 토양 요인들의 상대적기여도를 분석하기 SAS 프로그램의 편상관계수(partial correlation coefficient)방법을 이용하였다. 60 농가의 과실특성 분석값과 토양분석 10 요인 값을 엑셀시트에 정리한 후 선형모형에서 종속변수를 과실 분석값으로 하였고, 한글로 입력된 토성값을 분류변수로 하였다. 토성을 제외한 나머지 9 요인은 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 편상관계수를 실행한 후 표출된 토양요인 10 가지 항목을 합하여 각 항목별로 나누어 기여도를 계산하였다.

결과 및 고찰

사과 홍로 품종의 과중, 당도, 착색에 관여하는 토양 이화학성 10가지 요인에 대한 각각의 상대적 기여도를 조사하였다. 과중에 관여하는 토양 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과(Table 2), 토양환경요인들 중에서 포화수리 전도도가 33.3%로 가장 높은 기여도를 나타

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

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
Soil physical properties	Saturated hydraulic conductivity	33.3
	Soil texture	15.3
	Cultivation depth	0.1
	Solid phase	11.4
	Bulk density	12.3
Soil chemical properties	Phosphate	0.9
	Soil pH	1.6
	Organic matter	0.1
	Cation	24.6
	CEC	0.2

냈고, 양이온이 24.6%의 기여하였다. 토성, 고상, 용적 밀도도 비교적 높은 기여도를 나타냈다. 사과 홍로 품종의 과중에는 토양의 물리성 요인들이 화학성 요인들 보다는 크게 기여 했고, 상대적으로 화학성은 낮았다.

토양의 물리성은 작물 근권에서 토양의 강도와 공기 및 수분의 전달 및 저장 특징으로 주로 언급될 수 있다(Taylor와 Gardner, 1963), 즉 물리성이 양호한 농경지 토양은 양호한 구조를 유지하고 작물을 지지하고 침식과 다짐에 저항할 만큼 강하면서, 동시에 뿌리성장과 토양생물의 증식을 제한하지 않을 만큼 약한 토양이다. 과수원에서 배수가 불량한 토양은 강우나 과다 관수에 의해 지하수위가 상승함으로써 지표면이 침수되어(Kozlowski, 1984), 토양 내 근권 환경과 대기와 의 공기 접촉이 차단되고 용존산소의 급격한 고갈이 일어난다. 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(Blackwell, 1983).

사과 홍로 품종의 과실생장은 과원 토양의 물리성과 밀접한 관련이 있다. 본 시험의 조사결과에 따르면 (Table 2), 과실생장에는 토양물리성의 요인들이 화학성의 요인들 보다 상대적으로 기여도가 높았다.

사과 홍로 품종의 과실 당도와 토양 이화학성 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과(Table 3), 토성이 21.9%로 가장 높은 기여도를 나타냈고, 포화수리전도도는 18.1%, 작토층의 깊이가 14.4% 순이었다. 양이온 치환용량(CEC)와 용적밀도가 1%대의 낮은 기여도

사과 ‘홍로’ 품종의 과실 품질에 미치는 토양이화학성의 상대적 기여도

Table 3. Contribution rate soil properties to sugar content of ‘Hongro’ apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
Soil physical properties	Saturated hydraulic conductivity	18.1
	Soil texture	21.9
	Cultivation depth	14.4
	Solid phase	7.0
	Bulk density	1.3
Soil chemical properties	Phosphate	6.5
	Soil pH	12.1
	Organic matter	5.6
	Cation	12.0
	CEC	1.0

Table 4. Contribution rate soil properties to Coloring of ‘Hongro’ apple.

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
Soil physical properties	Saturated hydraulic conductivity	0.4
	Soil texture	11.0
	Cultivation depth	15.9
	Solid phase	2.0
	Bulk density	4.4
Soil chemical properties	Phosphate	20.4
	Soil pH	13.4
	Organic matter	1.5
	Cation	13.0
	CEC	16.1

를 나타냈다. 토양물리성 및 화학성으로 분류하여 기여도를 조사한 결과 토양물리성이 화학성보다는 사과 홍로 품종의 당도에 크게 기여하는 것으로 조사되었다.

침수상태가 지속되면 근권 내의 산소고갈에 의해 뿌리 호흡이 불량해지고 광합성과 관련된 기공 개폐, 증산율, 수분 흡수 등에 변화가 일어나는데(Kang 등, 2007), 잎의 가스 교환 변수들은 식물의 광합성과 밀접한 관련이 있다(Mielke 등, 2003; Kozłowski, 1984). 아울러 침수 시에는 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 억제된다.

과실의 당도는 착과량이 많아질수록 당도가 떨어지고(Song, 2000), 질소의 과다 시비는 과실의 착색을 나쁘게 하거나 토양을 산성화시킨다(Komamura 등, 2000). 토양을 구성하는 입자의 크기, 입경별 함량과 그에 따라 칼륨의 존재 형태와 함량이 다르고, 칼륨 공급력이 광물학적 특성, 또는 이들의 토양 단면 내에서의 분포가 상이하며, 토양 내에서의 유효 칼륨의 분포와 이동하는 양상이 달라진다. 그러나 식물에 유효한 칼륨의 함량이 충분한 경우라 해도, 토양의 물리성이 불량하여 배수가 안 되는 경우 과잉의 수분이 존재하는 경우에는 근권 호흡이 원활하지 못하여 칼륨 흡수는 저해된다. 유기물의 사용은 토양이화학성 성질의 개선과 작물수량의 증대에 효과가 크다고 하겠다. 그러나 유기물 사용으로 토양의 어떤 성질이 어느 정도 개선되며, 이에 따라 작물 생육 및 수량은 얼마나 향상될

것인가 하는 구체적이고 정량적인 해석은 아주 미흡하다(Kang 등, 1989). 사과 ‘홍로’ 품종의 당도는 과원 토양의 물리성에 크게 영향을 받는다. 최근 소비자들의 기호가 당도가 높은 과실을 선호하기 때문에 토양개량이 우선적으로 이루어져야 한다. 토양물리성을 개량하기 위해서는 유기물 사용 및 배수관리를 철저히 하여야 한다.

사과 홍로 품종의 과실 착색과 토양 이화학성 요인들의 상대적 기여도를 살펴본 결과(Table 4), 인산함량이 20.4%로 가장 높았고, CEC가 16.1%, 작토층의 깊이가 15.9%였다. 포화수리 전도도와 유기물함량은 기여도가 아주 낮았다. 토양산도와 양이온도 13%대로 비교적 높은 기여도를 보였다. 사과 홍로 품종의 과실 착색에 영향을 주는 토양환경 요인은 토양물리성 보다는 화학성이 크게 기여하였다. 치환성 칼리 함량은 잎의 질소와 정의 상관, 그리고 인 함량과는 부의 상관, 치환성 칼슘 함량과 잎의 인 및 칼륨과 정의 상관관계가 인정되었으나, 잎의 마그네슘 함량과는 부의 상관을 보였다. Neilsin과 Edwards(1982)는 토양 중의 마그네슘 함량과 잎의 마그네슘 함량이 ‘Red Delicious’에서 0.40**, ‘McIntosh’에서 0.81**의 정의 상관, 그리고 이처럼 무기성분 하나의 양보다는 전체적인 균형이 맞아야 엽에서 동화산물 생산 능력이 높아진다. 반면에 칼륨 증가는 일반적으로 과실의 당도를 높이는 것으로 알려져 있으나(Dilmaghani 등, 2004) 본 시험에서는 양이온의 분배가 중요한 결정 인자로 작용하여 그에 맞는 양이온 분배를 하였다(Table 1). 양이온은 분배비율이 알맞을

때 서로의 흡수가 원활하며 특정 원소가 과다하게 되면 다른 두 가지의 원소가 결핍을 나타내기 때문이다 (Kim, 2009).

과실의 착색에 관여하는 요인은 착과량 조절, 수분 관리 및 비배관리에 영향을 받는데, 이는 강우 직후 병해충 방제를 위해 SS기(Speed Spray) 사용, 또한 유기물이 공급이 원활하지 못한 원인이라 판단된다. 또한 질소과다는 일반적으로 과수에서 과실의 착색을 떨어뜨리는 가장 중요한 원인이다. 질소의 함량이 높을수록 가용성 고형물의 함량이 감소하고(Lee, 1999), 과피 내 안토시아닌 함량이 낮다(Byun 등, 1989).

사과 홍로 품종의 과실품질, 즉 앞에서 언급한 과중, 당도, 착색은 농진청 탐프루트 기준을 적용하여 과중 320g, 당도 14°Brix이상, 착색 70% 이상을 1등급을 기준 하여 과실 특성분석 자료를 분석하여 7등급까지 분류한 후 토양환경요인들의 기여도를 살펴본 결과 (Table 5), 작토층의 깊이 25.8%, 토성 22.2%, 토양산도 21.0%로 높은 기여도를 나타냈고 고상 및 용적 밀도는 낮았다. 또한 포화수리전도도를 비롯해 인산함량, 유기물함량, 양이온, CEC는 모두 10% 이하의 기여도를 나타냈다. 과실품질에 관여하는 토양환경요인 가운데 물리성이 화학성보다는 기여도가 높았으며, 토양 물리성중에서는 과중, 당도에 높은 기여도를 나타냈던 포화수리전도는 낮은 기여도를 나타냈다.

유기물의 사용은 토양이화학적 성질의 개선과 작물 수량의 증대에 효과가 클 것으로 판단된다. 특히 토양경도와 유기물 함량이 크게 영향을 주었는데 유기물 함량이 낮은 과원에서 토양경도가 높은 것이 일반적이

었다. 질소 과다 시비로 토양에 매년 축적되는 질소는 새가지 생장을 자극하고 과실의 착색, 품질 및 저장성을 떨어뜨리고 병 발생을 많게 하는 요인으로 작용하였다(Peterson and Stevens, 1994). 질소질 비료의 사용을 증가시키면 당도가 떨어진다(Jones 등, 1970). 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 홍로를 생산할 수 있으며, 고품질의 홍로를 생산하기 위해서는 단편적인 토양관리가 아닌 토양이화학성을 전체적으로 고려하는 관리 체계가 필요하며 또한 화학성 보다는 토양 물리성을 우선 개선하여야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 사과 홍로 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 33.3%로 가장 기여도가 높았고, 양이온이 24.6% 기여하였다. 용적밀도, 토성 및 고상역시 비교적 높았다. 토양물리성요인이 화학성 요인보다는 과중에 영향을 주었다. 과실의 당도에 미치는 토양환경요인들에서는 토성이 21.9%로 가장 높은 기여도를 나타냈다. 양이온치환용량(CEC)과 용적밀도의 기여도가 매우 낮았다. 과실의 착색은 인산함량이 20.4%로 매우 높은 기여도를 나타냈다. 반면에 포화수리전도도와 유기물함량은 낮았다. 토양물리성 보다는 화학성이 크게 기여하였다. 최종적으로 과중, 당도, 과실착색을 종합적으로 고려한 과실품질에 대한 상대적 기여도에서는 작토층깊이 25.8%, 토성 22.2%, 토양산도 21.0%로 높았다. 고상 및 용적밀도는 낮았다. 사과 홍로 품종은 토양이화학성과 매우 밀접한 관련이 있으며, 따라서 고품질의 과실을 생산하기 위해서는 과원의 배수관리 및 시비관리가 중요하다. 이 결과를 바탕으로 과원의 토양관리 요인들을 계량화 하여 과학적 토양관리 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

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

Soil environmental factors		Contribution rate (%)
Soil physical properties	Saturated hydraulic conductivity	4.3
	Soil texture	22.2
	Cultivation depth	25.8
	Solid phase	1.0
	Bulk density	2.7
Soil chemical properties	Phosphate	9.0
	Soil pH	21.0
	Organic matter	3.4
	Cation	4.3
	CEC	5.4

주제어 : 과중, 당함량, 사과, 토양요인, 홍로

인 용 문 헌

1. Blackwell, P.S. 1983. Measurements of aeration in waterlogged soils: Some improvements of techniques and their application to experiments using lysimeters. *J. Soil Sci.* 34:271-285.
2. 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.
3. Dilmaghani, M.R., M.J. Malakouti, G.H. Neilson, and E. Fallahi. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Iran. *J. of Plant Nutri.* 27:1149-1162.
4. Jones, W.W., S. Embleton, B. Boswell, G.E. Goodall, and E.L. Barnhart. 1970. Nitrogen rate effects on lemon production, quality and leaf nitrogen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95:46-49.
5. Kang, S.J., W.C. Kim, Y.U. Shin, J.Y. Moon, B.W. Yae, and M.H. Cho. 1989. Selection of Wolbongjo-saeng having large size and early ripening characteristic, a bud mutant ‘Kurakatawase’ peach cultivar. *RDA. J. Agri. Sci.* 31:43-47.
6. Kang, S.B., H.I. Jang, I.B. Lee, J.M. Park, and D.K. Moon. 2007. Changes in Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ Grapevine under Long-term Waterlogging Condition. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 25:305-492.
7. Kim, S.H., I.M. Choi, S.K. Yun, J.G. Cho, and H.K. Yun. 2009. Coctribution of soil physico-chemical properties to fruit quality of ‘Campbell Early’ grapes in the vineyards. *J. Kor. Soc. Soil. Sci. Fert.* 42:187-191.
8. Komamura, K., A. Suzuki, M. Fukumoto, K. Kato, and Y. sato. 2000. Effects of long-term nitrogen application on tree growth, yield, and fruit qaulities in a ‘Jonathan’ apple orchard. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69: 617-623
9. 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.
10. Lee, H.C. 1999. Physiological and ecological factors affecting fruit coloration and color enhancement in *Malus domestica* Borkh. cv. Fuji. PhD Diss., Seoul Nat. Univ., Suwon, Korea.
11. 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.
12. Mielke, M.S., A.F. Almeida, F.P. Gomes, M.A. Aguilera, and P.A. Mangaberia. 2003. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth response of *Genipa ameircana* seedlings to soil flooding. *Environ. and Experimental Botany* 50:221-231.
13. Neilsen, G.H. and T. Edwards. 1982. Relationships between Ca, Mg, and K in soil, leaf, and fruits of okanagan apple orchards. *Can. J. Soil. Sci.* 62:365-374.
14. Perterson, A.B and R.G. Stevens. 1994. Tree fruit nutrition. p. 41-42. Yakima, Washington.
15. 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.
16. 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.