

포도 '캠벨얼리' 품질에 미치는 토양이화학성의 상대적 기여도

김승희¹ · 최인명¹ · 윤석규¹ · 조정건¹ · 임태준^{2*} · 윤해근³

¹국립원예특작과학원 과수과, ²국립원예특작과학원 원예특작환경과, ³영남대학교 원예학과

Contribution of Soil Physico-chemical Properties to Fruit Quality of 'Campbell Early' Grapes in the Vineyards

Seung-Heui Kim¹, In-Myung Choi¹, Seok-Kyu Yun¹, Jung-Gun Cho¹, Tae-Jun Lim^{2,*}, and Hae-Keun Yun³

¹Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea.

²Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea

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

'Campbell Early', a major grape cultivar, occupies more than 70% of cultivated vineyard areas, however, recommendable standard management system of soil environmental conditions has not been developed yet in Korea. The consideration for the correlation between fruit quality and soil condition in the vineyard is required in the efficient management system of soil. This study was carried out to investigate the optimum soil environmental conditions for 'Campbell Early' grape production with high quality. The results from analyses of correlation between them were used to develop soil management guideline for promoting efficiency in grape production. Soil properties were analyzed from 120 vineyards in Hawsung, Sangju, Yeongdong, Gimcheon, Yeongju, and Yeongwol, major grape production regions. Because there is neither coloring disorder nor delayed coloration in grape production of 'Campbell Early', relative contribution of soil hardness and solid phase to fruit quality and fruit weight was analyzed. Among the soil properties, while cation and soil hardness affected sugar content at the level of 39.3% and 36.8%, respectively, saturated hydraulic conductivity, solid phase, and cation exchange capacity (CEC) showed relatively low contribution to sugar content in the vineyard. The sugar content in grapes was influenced more critically by the chemical properties than the physical ones in the soil of vineyards. While soil hardness and solid phase affected grape weight at the level of 27.8% and 26.0%, respectively, phosphate content, organic matter content, and cation showed low contribution to grape weight. Grape quality such as sugar content and grape weight was affected highly by cation and organic matters. Therefore, cation and organic matter content of soil contributed to fruit quality at the level of 33.8% and 15.5%, respectively, in the vineyard.

Key words : Campbell Early, Grape quality, Vineyard soil properties, Contribution

서 언

최근 FTA/DDA 등의 체결에 따라 과실 수입이 급증하고 있으며, 이를 극복하기 위해서는 고품질 과실 생산이 요구되고 있다. 포도의 품질은 기상, 토양, 재배기술 등 여러 요인들이 복합적으로 관여하는데, 재배기술과 기상요인에 관한 연구는 많이 진행된 반면에 토양환경과 과실품질에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이는 토양의 환경요인은 다양한 요인들이 있으

며, 하나의 요인과 관계된 결과를 얻기가 쉽지 않기 때문이다. 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).

최근성 작물인 포도의 생육은 토양경도 (Barley, 1963), 용적밀도 (Taylor and Gardner, 1963), 투수속도 및 작토심에 따라 영향을 많이 받는다. 우리나라의 많은 과수원은 최근 농기계의 급속한 보급에 따라 토양 다짐 현상에 의해 작토심의 깊이가 적다. 토양의 경도

접수 : 2009. 4. 16 수리 : 2009. 6. 2

*연락처 : Phone: +82312906263,

E-mail: taejun1575@rda.go.kr

는 주로 토성과 용적밀도 및 수분함량에 따라 항상 변하고 있으며, 일반적으로 15~20 kgf cm⁻² 이상이면 뿌리 신장에 장애가 발생한다(Jeffrey, 1995). 우리나라 “캠벨얼리” 포도 주산단지에는 대부분 답전환 과원이기 때문에 포화수리 전도도가 낮은 과원이 많으며 배수가 불량하면 산소 공급 능력이 떨어지고 양분이나 수분흡수에 장애를 받아 포도에 피해를 준다(Kuboda, 1987).

포도재배에 있어서 토양 물리성 뿐만 아니라 토양 화학성 또한 수체생육과 수량, 그리고 과실 품질에 중요한 영향을 미친다(Komamara et al., 2000). 시비관리는 포도의 생산성을 확보하고 고품질의 과일을 생산하는데 있어 가장 중요한 요인으로 알려져 있다(Lee et al., 2000). 현재 우리나라의 포도과원에 제시되어 있는 토양화학성의 적정 범위는 수량 증대를 목표로 작성된 결과이므로 고품질을 생산하기 위한 재배 관리에는 한계가 있다(Im, 1999).

따라서 본 연구는 고품질 포도 “캠벨얼리” 포도를 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 2007년까지 포도 주요 주산단지(영주, 영월, 화성, 천안, 안성, 영동, 김천, 상주)의 작목반 1개를 선정하여 한 작목반당 20농가를 조사하였다. 조사 과원은 비가림 재배작형이며, 나무의 수령은 5~7년생인 캠벨얼리 포도나무 3주에 라벨링하였다. 나무 당 40송이 내외로 착과수를 조절하고 병해충 방제 및 재배 관리를 농가 관행적으로 수행하였다.

과실 특성 분석 과실은 수확기에 3주의 과방 전체를 조사하였다. 과중은 전체 과중의 평균을 사용하였고, 평균과방 10개씩 1반복하여 3반복으로 30개 과방에 대해 가용성고형물 함량은 각각의 과실을 착즙하여 디지털굴절당도계(Atago DBX-55, Japan)를 사용하여 측정하였다. 착색도는 농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 포도의 착색 정도를 10단계로 분류하여 제작한 칼라차트를 이용하였고, 과실 품질 등급은 농촌진흥청 탐푸르트 사업의 기준[과중 400g±5%, 당도 15° Brix, 착색(칼라차트 10)]을 사용하였다.

토양 분석 토양화학성 분석용 시료는 장마기 이후 8월에서 9월에 채취하였고, 토양물리성은 4월에서 6월 사이에 현지 조사하였다. 포화수리 전도도, 토성, 작토심의 깊이, 토양 삼상 등을 분석하였다. 화학성

분석용 시료는 2mm를 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 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. 토양 경도는(Taidik, 5520, Japan)를 사용하여 측정하였다.

통계분석 분석에 사용한 편상관계수(partial correlation coefficient)는 일종의 표준화 편회귀계수로, 편상관계수의 제곱을 편결정계수(coefficient of partial determination)라 부르는데 SAS에서는 PCORR2로 출력된다.

결과 및 고찰

포도의 과중과 토양 환경 조건과의 상관관계를 살펴본 결과(Fig. 1), 캠벨얼리는 토양의 경도와 상관이 있는 것으로 나타났다. 토양의 경도값이 커질수록 과방의 무게는 감소하는 경향이었고 경도값이 12~15 kgf cm⁻²일 때 과방의 무게가 가장 무겁게 나타났다. 과중에 대한 상대적 기여도에서도(Table 1), 토양 경

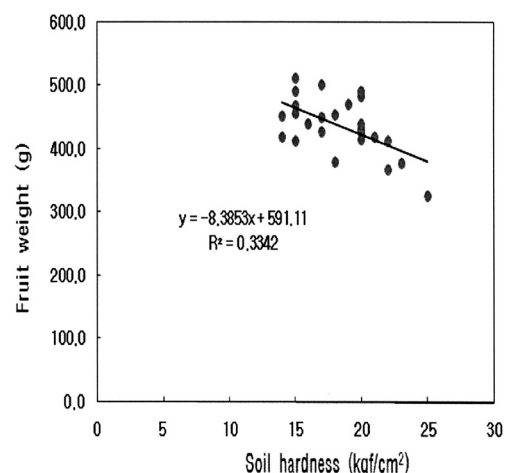


Fig. 1. Relationship between fruit weight of 'Campbell Early' grape and soil hardness in the vineyard.

Table 1. Contribution rate of various soil properties to cluster weight of 'Campbell Early' grape.

Soil environmental factors		Contribution rate
		%
Soil physical property	Saturated hydraulic conductivity	4.3
	Soil texture	8.5
	Cultivation depth	13.7
	Solid phase	26.1
	Soil hardness	27.8
Soil chemical property	Phosphate	0.2
	Soil pH	3.9
	Organic matter	1.6
	Cation	0.2
	CEC	13.7

도 27.8%, 고상 26.0%로 높았고, 양이온 함량, 인산 함량은 1% 미만으로 기여도가 낮았다. 캠벨얼리의 과방 무게는 토양의 물리성이 80.4%로 기여도가 높았고, 토양 화학성은 19.6%로 낮았다. 따라서 캠벨얼리 포도의 과방 무게는 토양의 물리성이 영향을 주는 것으로 나타났다.

포도는 영년생 작물이기 때문에 과수원 선정 시 중요인자는 토성, 경사, 배수 등 토양 특성이 되어야 한다. 포도의 생육은 토양 경도, 용적 밀도, 투수 속도 및 작토심에 따라 영향을 많이 받기 때문에(Im and Oh, 1975), 폭약에 의한 심토 파쇄(Yoo et al., 1979) 등의 방법이 있으나 폭약에 의한 심토 파쇄 방법은 사용상의 위험성을 내포하고 있어 보편화되지 못하였고, 심경은 많은 시간과 노력이 들고, 과원이 밀식으로 관리되면서 작업의 어려움 때문에 최근에는 거의 이루어지지 않고 있다. 우리나라에서는 1980년에 심토 파쇄기의 개발 시험(Jo et al., 1980)과 심토 파쇄기의 작업 기준(Min et al., 1982)이 설정되었으며, 폭식기 심토 파쇄의 효과는 배 및 사과 수량 증가를 가져왔다(Jo et al., 1993; Park et al., 1997).

식물의 생육에 이용되는 수분은 단순한 건토중량에 의한 수분함량보다는 뿌리가 흡수하는데 소요되는 에너지를 나타내는 수분장력과 밀접한 상관성이 있다(De Boodt and Verdonk, 1972), 한편 장력이 낮은 토양수분이 많더라도 산소 공급 능력이 없으면 식물의 뿌리는 양분이나 수분을 흡수하는데 필요한 에너지를 만들지 못하므로 흡수가 정지되며(Kuboda, 1987), 경도가 너무 단단하면 뿌리는 신장을 못하므로 생육이 나빠지게 된다(Cho et al., 1977). 토양 경도는 주로 토성과 용적밀도 및 수분함량에 따라 항상 변하고 있으며, 뿌리의 특성에 따라 차이는 있겠으나 전반적으로 15~20 kg cm⁻² 이상이 되면 뿌리 신장에 장애가 일어나고 있다. 보수력은 실제로는 토양표면의 친수 정도와 공극의 크기 및 연결 특성에 따라 좌우되는데, 이

들은 토성과 용적밀도에 따라 크게 영향을 받게 된다(Gabrielle et al., 1995). 최근에 포도원에 토양 경도가 높은 값을 나타내는 이유는 청경재배 및 농기계 사용이 늘기 때문이다.

포도 과실의 당도와 토양환경요인과의 상관관계에서 토양 경도는 깊은 상관을 나타냈다(Fig. 2). 토양의 경도가 낮을수록 당 함량은 증가하였는데, 토양 경도 12~15 kgf cm⁻²에서 가장 높았다. 상대적 기여도를 살펴보면(Table 2), 양이온 함량 39.2%, 토양 경도 36.8%, 유기물 함량 14.1% 순으로 기여도가 높았다. 양이온은 K, Ca, Mg 이온의 함량비를 계산한 것으로서, K 10%, Ca 70%, Mg 20%일 때 작물이 가장 잘 흡수하기 때문에 가장 좋은 등급을 주었다. 토양의 물리성과 화학성으로 구분하여 본 결과, 토양 화학성이 57.7%, 물리성 42.3%로 화학성이 당도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

포도의 당도는 착과량이 많아질수록 당도가 떨어지고(Song, 2000), 질소의 과다 시비는 과실의 착색을 나쁘게 하거나 토양을 산성화시킨다(Komamura et al.,

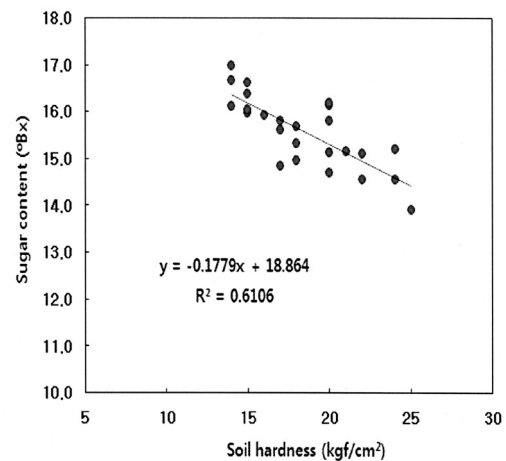


Fig. 2. Relationship between sugar content of 'Campbell Early' grape and soil hardness in the vineyard.

Table 2. Contribution rate of various soil properties to sugar content of 'Campbell Early' grape.

Soil environmental factors		Contribution rate
		%
Soil physical property	Saturated hydraulic conductivity	0.3
	Soil texture	1.2
	Cultivation depth	3.9
	Solid phase	0.1
	Soil hardness	36.8
Soil chemical property	Phosphate	1.1
	Soil pH	3.2
	Organic matter	14.0
	Cation	39.2
	CEC	0.2

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 근부 호흡이 원활하지 못하여 칼륨 흡수는 저해된다. 토양 용액에 존재하는 ion이며, ion으로 존재하는 칼륨은 치환성 칼륨과 평형관계에 있다. 토양 용액에 ion으로 존재하는 칼륨의 양은 식물의 전생육기간에 필요한 양의 극히 일부에 불과하다. 칼륨을 이용하면 토양 용액의 칼륨 농도는 증가하지만, 대부분은 치환 흡착체인 토양고상에 흡착되어 치환성 칼륨 또는 비치환성 칼륨으로 고정되므로, 동일한 양의 칼륨을 이용할 때 토양 용액의 칼륨 농도는 토양의 성질에 따라 달라진다(Topp et al., 1997). 일반적으로 유기물을 토양에 시용함으로써 얻을 수 있는 이점으로는, 토양 구조를 개선하여 통기 및 투수성을 양호하게 하며, 토양의 수분공급능을 증대시키며, 식물 생육에 필요한 양분 및 미량요소를 공급하여 줄 뿐만 아니라, 경운성을 좋게 하여 토양관리를 쉽게 하여 준다라는 점을 들 수 있다. 유기물의 시용은 토양이화학적 성질의 개선과 작물수량의 증대에 효과가 크다고 하겠다. 그러나 유기물 시용으로 토양의 어떤 성질이 어느 정도 개선되며, 이에 따라 작물 생육 및 수량은 얼마나 향상될 것인가 하는 구체적인 정량적인 해석은 아주 미흡하다(Kand et al., 1989). 최근 포도 과원에서 비료의 과다 시비에 의한 영양생리장애 발생이 많다. 본인의 의도한 시비보다는 의도되지 않은 시비로 인해 과원의 토양 내 양분 시비 균형이 맞지 않아 특정 양분의 흡수가 저해를 받는 경우가 많다.

포도 과실 품질, 즉 앞에서 언급한 과중, 착색, 당도 등을 종합적으로 고려하여 토양환경 요인과 상관관계를 살펴본 결과(Table 3), 양이온 함량이 33.8%로 기여도가 가장 높았고, 유기물 함량이 15.5%, 토성이 13.0% 순이었다. 토양의 물리성과 화학성으로 구분하여 본 결과 토양 물리성이 28.6%, 토양 화학성이 71.4%로, 포도 캠벨얼리 품종은 토양의 화학성에 의해 품질에 영향을 받는 것으로 나타났다. 질소 과다 시비로 토양에 매년 축적되는 질소는 새가지 생장을 자극하고 과실의 착색, 품질 및 저장성을 떨어뜨리고 병 발생을 막게 하는 요인으로 작용을 한다(Peterson and Stevens, 1994). 따라서, 위의 결과들은 질소의 함량이 높을수록 가용성 고형물의 함량이 감소하고(Lee, 1999), 착색이 불량하며(Papp and Ibrahim, 1995), 과피 내 안토시아닌 함량이 낮다(Byun et al.,

Table 3. Contribution rate soil properties to fruit quality of 'Campbell Early' grape.

Soil environmental factors		Contribution rate
		%
Soil physical property	Saturated hydraulic conductivity	5.6
	Soil texture	13.0
	Cultivation depth	1.5
	Solid phase	5.1
	Soil hardness	0.9
Soil chemical property	Phosphate	9.7
	Soil pH	9.0
	Organic matter	15.5
	Cation	33.8
	CEC	5.9

1989). 토양의 비배관리가 적절하지 않으면 감귤의 품질을 향상시키는 데에 한계가 있다. 그동안 오렌지를 주로 재배하는 외국의 비화산회토 지역에서 질소(Alva and Paramasivam, 1998:), 인산(Reuther et al., 1958), 칼륨(Berger et al., 1996) 등의 성분이 수체생육과 품질에 미치는 영향에 대해서 많은 연구가 수행되었지만, 무질소구의 당도는 3요소구와 비교할 때 차이가 없었는데, 이는 질소질 비료의 시용을 증가시키면 당도가 떨어진다(Jones et al., 1970). 포도 캠벨얼리 품종은 토양 시비에 특히 유의해야 한다. 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 포도를 생산할 수 있다.

결 론

캠벨얼리는 한국에서 재배되는 대표 포도 품종으로 전체 재배면적의 70% 정도이다. 고품질 생식용 캠벨얼리를 생산하기 위해 세부적인 토양관리 기준이 필요하다. 그러나 품질과 토양 환경 기준의 상관관계에 대한 연구가 미흡하다. 본 연구는 고품질 포도를 생산하기 위한 최적 토양 환경 조건을 구명하기 위해 수행하였다. 본 조사는 전국의 포도 주요 주산지(화성, 상주, 영동, 김천, 영월, 영주)에서 약 120농가를 대상으로 조사하였다. 캠벨얼리 품종은 착색에는 큰 문제가 없다. 그래서 여기서는 당도, 과중을 포함하는 과실 품질에 대한 상대적 기여도를 분석하였다. 캠벨얼리의 당도에는 양이온이 39.3%, 토양 경도가 36.8%로 크게 기여하였으며, 포화수리 전도도, 고상, CEC는 기여도가 아주 낮았다. 당도에는 토양의 물리성보다는 화학성이 더 기여를 많이 했다. 캠벨얼리 과중은 토양 경도가, 27.8%, 고상이 26.0%로 기여도가 높았으며,

인산 함량, 유기물 그리고 양이온은 낮았다. 당도와 과중을 종합한 과실 품질은 양이온과 유기물 함량이 었다. 최종적으로 당도와 과중을 포함하는 과실 품질 등급에는 양이온이 33.8%, 유기물 함량이 15.5%의 기여도를 나타냈다.

인 용 문 헌

- Alva, A.K. and S. Paramasivam. 1998. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62:1335-1342.
- Berger, H., J. Opazo, S.Orellana, and L.Galletti. 1996. Potassium fertilizers and orange postharvest quality. *Proc. Int. Soc. Citriculture* p.759-761.
- Barley, K.P. 1963. Influences of soil strength on growth of roots. *Soil Sci.* 96:175-180.
- Boi-Fayos, C., A. Calo-Cases, A.C. Imeson, M, D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44:47-67.
- Bouwer, H. 1961. A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in sites above water table. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:334-342.
- 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.
- DeBoodt, M., and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26:37-44.
- Gabrielle, B.S. Menasseri and Smouot, 1995. Analysis and field evaluation of the CERES models water balance component. *Soil Sci. Soc. Am, J.* 59: 1403-1412.
- Gupta, R.P. 1994. Physical rating of coarse textured soils to quantify production potential for sorghum. P306-311. In 15th world congress of soil science, Vol. 5a. Symposia Transactions, July 10-16, 1994. Acapulco. Mexico
- Hasegawa, S. 1994. Evaluation of water and oxygen supply ability of soils to suffice
- Im, J.N. 1999. Guideline for recommendation of fertilizer application in crops. *Natl. Inst. Agr. Sci. Technol. RDA. Korea.*
- Im, J.N. and J.S. Oh. 1975. The effects of soil physical improvement by subsoling on the growth and yield of apple. *Res. Rpt. RDA (Soil & Fertilizer, Crop Protection & Mycology)* 17:53-60.
- Jeffery, S.K. 1995. Evaluation of soil water retention models based on soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1134-1141.
- Jo, I.S., Y.J. Jo, H.Y. Jeon, H.S. Lee, and K.T. Um. 1993. Effects of hardpan breaking practices on the physical properties of the planosol-like orchard soil and yield of pear. *RDA J. Agr. Sci.* 35:256-260.
- 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.
- Jung, S.J., Park, C.S. D.C. Noh, Y.K. Jo, J.D. So, and Y.T. Jung. 1994. Soil properties criteria for apple orchard soil in terms of land characteristics. *RDA. J. Agri. Sci.* 36:241-245.
- Kang, S.J., W.C. Kim, Y.U. Shin, J.Y. Moon, B.W. Yae, and M.H. Cho. 1989. Selection of Wolbongjosaeng having large size and early ripening characteristic, a bud mutant 'Kurakatawase' peach cultivar. *RDA. J. Agri. Sci* 31(3): 43-47.
- 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.
- Lee, J. Y., J.H. Jung, S.C. Kim, S.W. Hwang, and C.S. Lee. 2000. Chemical properties of Korean orchard soils in main apple, pear, grape and peach producing area. *Korean J. Soil Sci and Fert.* 33(2): 79-84. physical properties on root distribution of barley. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 16:126-130.
- 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.
- Min, K.B., J.S. Jo, L.Y. Kim, J.N. Im, and S.C. Jo. 1982. Establishment on the standard of subsoil-breaking machine operation. *Agr. Technol. Res. Rpt.* 274-287.
- NIAS. 2000. Method of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.
- Papp, J. and Z.I. Ibrahim. 1995. Distribution of some N compounds in shoots and fruits of the apple cv. 'Jonathan' after soil and foliar application of nitrogen. *Kerteszet-Tudomány.* 27(3-4):43-49.
- Park, J.M., H.M. Ro, M.S. Yiem, and K.Y. Kim. 1997. Effect of subsoil-breaking impact on some soil physical properties and fruit quality of apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci* 38:137-141.
- Perterson, A.B and R.G. Stevens. 1994. Tree fruit nutrition. p. 41-42. Yakima, Washington.
- Phillips, R.E. and D. Kirham. 1962. Soil compaction in the field and corn growth. *Agron. J.* 54:29-34.
- Phogat, V.K. 1999. Laboratory manual for soil physical analysis. Department of soil science CCS Haryana agricultural university.
- Reuther, W., T.W. Embleton, and W.W. Jones. 1958. Mineral nutrition of tree crops. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9:175-206.
- Song, G.C., I.M. Choi, and M.D. Cho. 2000. Cold hardiness in relation to its management in 'Campbell Early' grapevines. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 18(3):387-390.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p1201-1229. In D.L. Sparks (ed.) *Method of soil analysis. part3. SSSA Book Ser.5. SSSA, Madison, WI.*
- Taylor, H.M. and H.P. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling top roots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soils. *Soil Sci.* 96: 153-156.
- Toppc, G. C., W.D. Reynolds, F.J. Cook, J.M. Kirby, and M.R. Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. p. 21-58. In E. G. Gregorich and M. R. Carter (ed.) *Soil quality for crop production and ecosystem health. developments in soil science, Vol. 25. Elsevier, New York, NY, USA.*
- Yoo, S.H., K.C. Koh, and M.E. Park. 1979. Ammonium nitrate explosion technique for the establishment of orchard. *Kor. J. Soil Sci Fert.* 12:160-178.