ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 48(4), 240-245 (2015)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2015.48.4.240

**Article**

# Long-term Assessment of Soil Chemical Properties in Different Soil Texture Orchard Fields in Gyeongnam Province

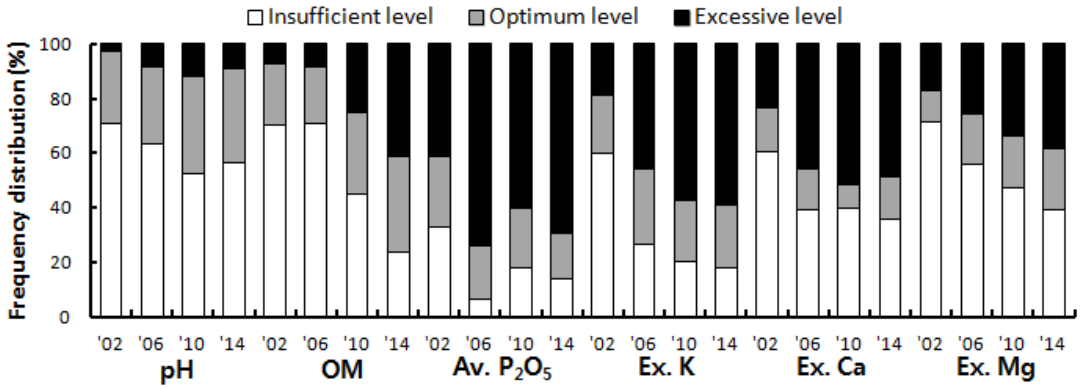
**Min Keun Kim, Yeon-Kyu Sonn[1], Seong-Soo Kang[1], Jae-Young Heo, Dae-Ho Kim, Yong-Jo Choi, Sang-Dae Lee, Hyun-Yul Shin[2], Yong Sik Ok[3]**, and Young Han Lee***

*Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Republic of Korea*
*[1]National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 565-851, Republic of Korea*
*[2]Gyeongsangnam-do Office of Planning and Coordination, Changwon 641-702, Republic of Korea*
*[3]Biochar Research Center, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea*

(Received: July 29 2015, Revised: August 19 2015, Accepted: August 20 2015)

**The monitoring of soil fertility changes in orchard is very important for agricultural sustainability. Field monitoring was performed to evaluate the soil chemical properties of 140 orchard (23 sites for sandy loam, 88 sites for loam, 28 sites for silt loam, and 1 site for loamy fine sand) in Gyeongnam province every 4 years from 2002 to 2014. Soil chemical properties such as pH, electrical conductivity, amount of organic matter (OM), available phosphate ($P_2O_5$), lime requirement (LR), exchangeable potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sodium were analyzed. The amount of OM, exchangeable K, Ca, and Mg were significantly increased as cultivation year increases. The frequency distribution within optimum range of subsoil chemical properties in 2014 was 34.3% for pH, 35.0% for OM, 17.1% for available $P_2O_5$, 22.9% for exchangeable K, 15.7% for exchangeable Ca, and 22.1% for exchangeable Mg. In addition, the available $P_2O_5$ and exchangeable calcium were excess level with portions of 69.3% and 48.6%, respectively. The soil chemical properties in the topsoil and subsoil showed that soil pH was significantly higher in sandy loam soil than those from the loam and silt loam soils. The OM, exchangeable K, Mg, and LR of loam soil were higher than those from the sandy loam soil. These results indicated that a balanced management of soil chemical properties as affected by soil texture can improve the amount of fertilizer applied for sustainable agriculture in orchard field.**

**Key words:** Chemical property, Orchard field, Soil fertility, Soil texture




**Frequency distribution of chemical properties of subsoils from orchard field in Gyeongnam province ($n$=140).**

*Corresponding author : Phone: +82552541313, Fax: +82552541319, E-mail: lyh2011@korea.kr
**Co-corresponding author : Phone: +82332506443, Fax: +82332416640, E-mail: soilok@kangwon.ac.kr
§Acknowledgement : This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ009198242015)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

경남지역 과수원 면적은 20,011 ha로 전국 과수원 면적의 약 12.3%를 차지하고 있으며 재배면적은 단감, 사과, 배, 복숭아 순으로 많이 재배되고 있다 (Kim et al. 2015). 경남이 포함되어 있는 남부지역의 과수원 79%는 15% 이상의 경사지에 분포되어 있어 (Jung et al., 1993) 여름철 집중강우로 인한 토양 침식과 양분 유실이 심하여 토양 양분관리가 매우 어려운 실정이다 (Heo et al., 2010; Jung et al., 2007; Lee et al., 2006; Lee et al., 2010a). 수치 정밀토양도를 이용한 결과 실제 경남지역은 강우인자와 경사도가 크게 나타나 단위면적당 연간 토양 유실량이 가장 높아 양분관리가 중요함을 알 수 있다 (Jung et al., 2005). 과수원 토양의 화학성 및 양분관리는 과실의 생산성과 품질을 증대시키는데 가장 중요한 요인으로 알려져 있다 (Lee et al., 2000). 토양 pH, EC (electrical conductivity), 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 등을 포함하는 화학적 특성은 과수의 생육에 적합한 근권의 영양상태를 결정하는 중요한 요인이다 (Ahn et al., 2011). 과수원 표토의 pH는 Mn 함량과 고도로 유의성 있는 부의상관을 나타낸다 (Bekele and Hudnall, 2006; Lee et al., 2010b). 단감 재배지에서 토양이 산성화되면 Mn이 과잉으로 용출되고 녹반병 등의 생리장애가 유발되어 품질저하와 수량감소가 필연적으로 나타난다 (Farhoodi and Coventry, 2008; Munns and Fox, 1977). 그리고 사과 재배지에서 표토의 pH와 치환성 칼슘 함량은 고두병 발생비율과 고도로 유의적인 부의상관을 보여 토양개량제 시용 등으로 양분관리가 필요하다 (Heo et al., 2010). 그러나 경남지역의 과수원 토양에 대한 토양 화학성을 검토한 연구결과는 매우 미흡하며 이에 따른 농민들의 요구가 많은 실정이다. 따라서 본 연구는 경남지역 과수원을 대상으로 토양화학성분을 주기적으로 분석하고 주성분분석에 의한 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 토양 양분관리를 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

**토양 시료채취 방법** 경남지역 과수원 토양의 화학성분을 분석하기 위하여 재배면적과 토양환경을 고려하여 사양토 23개소, 양토 88개소, 미사질양토 28개소 및 양질사토 1개소 등 140지점을 선정하였다. 토양 시료 채취는 2002년부터 4년 주기로 2014년까지 동일지점에서 비료를 시용하기 전인 3월부터 4월 사이에 표토를 1 cm 정도 걷어내고 토양채취기를 이용하여 표토는 0–15 cm, 심토는 15–30 cm 깊이로 500 g 정도 채취하였다.

**토양 화학성분 분석방법** 토성별로 채취한 토양시료는 그늘에서 깨끗한 플라스틱 평판 위에 얇게 펴서 7일간 건조하여 고무망치로 입자를 분리한 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 토양의 화학성분은 토양화학 분석법 (NIAST, 2010a)을 적용하여 pH와 EC는 토양 10 g에 50 mL 증류수를 가하여 1:5 비율로 희석하고 비이커를 가끔씩 저어주면서 1시간 정치한 후 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와, EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법으로 측정하였고 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등의 양이온은 1 M $NH_4OAc$로 추출하여 ICP (AAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였고 석회소요량은 ORD법으로 분석하였다.

**통계분석** 분석된 토양 화학성분은 SAS 프로그램 9.1.3 버젼 (2006)을 사용하여 통계 분석하였다. 토성별 토양 화학성은 2014년도 분석된 값을 5% 수준에서 Tukey's studentized range test를 하였다. 그리고 연차별 토양 화학성은 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test를 하였고 각 성분의 주성분 분석을 통하여 토성별 차이를 검토하였다.

## Results and Discussion

**연도별 토양 화학성** 경남지역 과수원 표토의 화학성분을 2002년부터 4년 주기로 2014년까지 분석한 결과는 Table 1과 같다. 경남 과수원 표토의 pH는 2002년 5.7에서 2006년 6.0의 적정범위 (NIAST, 2010b) 수준까지 높아졌으며 2010년 6.2까지 유의적으로 증가하였다가 2014년에 6.1의 수치로 낮아졌다 ($p < 0.05$). 토양의 EC값은 2002년 0.42 dS $m^{-1}$에서 2006년 0.77 dS $m^{-1}$로 유의적으로 증가하여 2014년까지 비슷한 수준을 유지하였다. 유기물 함량은 2014년에 36 g $kg^{-1}$으로 2002년 20 g $kg^{-1}$에서 4년마다 유의적으로 증가하는 경향이었다. 유효인산 함량은 2002년 665 mg $kg^{-1}$의 수준에서 2006년 946 mg $kg^{-1}$으로 급격히 높아져 적정범위 상한기준의 1.7배 수준이었으며 2014년에는 832 mg $kg^{-1}$으로 적정범위 상한기준의 1.5배를 나타냈다. 이러한 결과는 경사지가 많은 경남의 과수원 농가에서 비료의 용탈을 염려하여 관습적으로 퇴비나 화학비료를 과다하게 시용한 결과로 해석되었다 (Kim et al., 2015; Lee et al., 2010a). 치환성 칼륨 함량은 2002년에 0.71 $cmol_c$ $kg^{-1}$에서 2006년에 1.16 $cmol_c$ $kg^{-1}$로 유의적으로 증가한 이후 2014년까지 비슷한 수준을 유지하였으며 적정범위의 1.6배를 나타냈다. 치환성 칼륨 함량의 증가는 가축분 퇴비의 시용량을 감안하지 않고 화학비료를 시용함으로 토양에 축

**Table 1. Surface soil chemical properties of orchard field in Gyeongnam province ($n$=140).**

| Year | pH | EC | OM | Avail. $P_2O_5$ | K | Ca | Mg | Na | LR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1:5) | dS $m^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | mg $kg^{-1}$ | ---------- Exch. Cation ($cmol_c$ $kg^{-1}$) ---------- | | | | kg $ha^{-1}$ |
| 2002 | 5.7c† | 0.42b | 20d | 665c | 0.71b | 5.1b | 1.4c | 0.12b | 1,690a |
| 2006 | 6.0b | 0.77a | 25c | 946a | 1.16a | 8.1a | 1.8b | 0.10b | 650c |
| 2010 | 6.2a | 0.63a | 31b | 752bc | 1.27a | 8.3a | 2.1a | 0.06c | 1,190b |
| 2014 | 6.1ab | 0.73a | 36a | 832b | 1.24a | 8.5a | 2.1a | 0.31a | 1,470a |
| Optimum range‡ | 6.0-7.0 | < 2 | 20-30 | 300-550 | 0.5-0.8 | 5.0-6.0 | 1.5-2.0 | - | - |

†Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.
‡NIAST (2010): Fertilizer recommendation for crops.

**Table 2. Subsoil Chemical properties of orchard field in Gyeongnam province ($n$=140).**

| Year | pH | EC | OM | Avail. $P_2O_5$ | K | Ca | Mg | Na | LR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1:5) | dS $m^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | mg $kg^{-1}$ | ---------- Exch. Cation ($cmol_c$ $kg^{-1}$) ---------- | | | | kg $ha^{-1}$ |
| 2002 | 5.6c† | 0.40b | 16c | 549c | 0.53c | 4.2b | 1.3c | 0.12b | 2,090a |
| 2006 | 5.7bc | 0.67a | 18c | 791a | 0.87b | 6.5a | 1.6b | 0.08c | 1,210c |
| 2010 | 6.0a | 0.53a | 24b | 682b | 0.99ab | 6.5a | 1.8a | 0.06d | 1,550b |
| 2014 | 5.8b | 0.59a | 30a | 749ab | 1.01a | 6.7a | 1.8a | 0.30a | 1,620b |
| Optimum range‡ | 6.0-7.0 | < 2 | 20-30 | 300-550 | 0.5-0.8 | 5.0-6.0 | 1.5-2.0 | - | - |

†Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.
‡NIAST (2010): Fertilizer recommendation for crops.

적된 것으로 판단되었으며 가축분 시용 시 인산과 칼리질 비료의 시비를 대폭 감축하여야 할 것으로 생각된다 (Kim et al., 2015). 치환성 칼슘과 마그네슘 함량도 치환성 칼륨 함량과 유사한 경향을 나타냈으나 치환성 나트륨 함량은 2014년에 0.31 $cmol_c$ $kg^{-1}$로 다른 연도에 비해 유의적으로 높았다. 석회소요량은 2014년에 1,470 kg $ha^{-1}$을 나타내어 2006년 650 kg $ha^{-1}$와 2010년 1,190 kg $ha^{-1}$보다 유의적으로 많은 것으로 나타나 과수원에서는 토양개량제의 공급확대가 필요한 것으로 판단되었다.

경남지역 과수원 심토의 화학성분을 2002년부터 4년 주기로 2014년까지 분석한 결과는 Table 2와 같다. 경남 과수원 심토의 연도별 화학성분은 표토의 경향과 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 심토의 화학성분은 표토에 비해 pH는 0.1~0.3, EC는 0.02~0.14 dS $m^{-1}$, 유기물 함량은 4~7 g $kg^{-1}$, 유효인산 함량은 70~155 mg $kg^{-1}$, 치환성 칼륨 함량은 0.18~0.29 $cmol_c$ $kg^{-1}$, 치환성 칼슘 함량은 0.9~1.8 $cmol_c$ $kg^{-1}$, 치환성 마그네슘 함량은 0.1~0.3 $cmol_c$ $kg^{-1}$ 정도 낮은 반면 석회소요량은 150~560 kg $ha^{-1}$ 높은 것으로 나타났으며 치환성 나트륨 함량은 비슷한 수준을 보였다.

경남지역 과수원 심토의 연도별 화학성분 주성분 분석결과는 Fig. 1과 같다. 주성분분석은 많은 변수들로부터 몇 개의 주성분들을 추출하는 다변량 분석 방법으로 과수원 토양 양분관리와 시비처방 기준인 심토를 대상으로 주성분 분석을 하였다. 주성분 분석으로 PC 1은 42.1%, PC 2는 23.7%

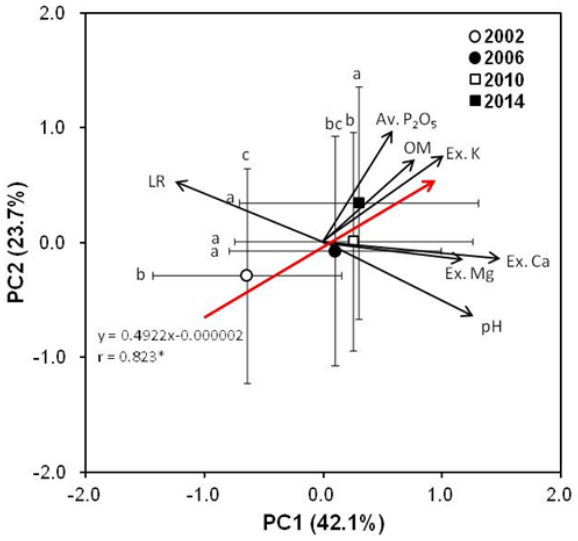



**Fig. 1. Principal components analyses of subsoil chemical properties of orchard field in Gyeongnam Province ($n$=140). The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. The bars represent standard deviation of the mean.**

를 보였으며 전체 65.8%를 나타냈다. 토양 화학성분의 PC 1 주성분은 치환성 칼슘 (1.490), pH (1.257), 석회소요량 (−1.220), 치환성 마그네슘 (1.190), 치환성 칼륨 (1.024)이 관련되었으며 PC 2는 유효인산 (0.948) 및 유기물 (0.725)이 관련되었다. 주성분으로 PC 1은 토양개량제, PC 2는 가

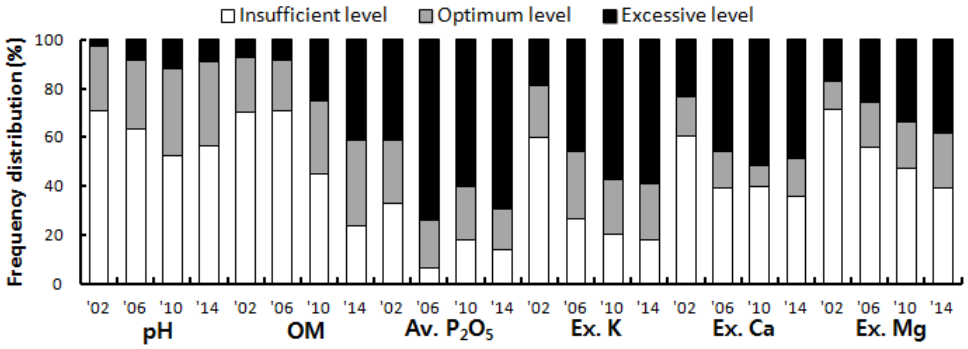



**Fig. 2. Frequency distribution of subsoil chemical properties of orchard field in Gyeongnam province ($n$=140).**

축분 퇴비로 판단할 수 있었다. 주성분 분석결과를 연도별로 상관관계을 구한 결과 경남지역의 과수원 토양은 치환성 칼륨과 유효인산의 집적이 우려되었다.

**과수원 심토 양분 과부족률** 경남지역 과수원 심토의 연도별 양분의 과부족률은 Fig. 2와 같다. 토양 pH는 적정범위인 6.0에서 7.0 (NIAST, 2010b)의 범위보다 부족한 비율은 2002년 70.7%, 2006년 63.6%, 2010년 52.1%, 2014년 56.4%로 2010년까지 낮아졌다가 2014년에 다소 높아졌다. 적정비율은 2002년 26.4%, 2006년 27.9%, 2010년 35.7%, 2014년 34.3%로 2010년까지 높아졌다가 2014년에는 비슷한 수준을 유지하였다. 과수원 토양의 pH와 관련이 있는 치환성 칼슘 함량은 적정수준인 5.0～6.0 $cmol_c$ $kg^{-1}$에 비해 부족한 비율이 2002년 60.7%, 2006년 39.3%, 2010년 40.0% 및 2014년 35.7%로 낮아지는 경향이었고 과잉비율은 2002년 23.6%, 2006년 45.7%, 2010년 51.4% 및 2014년 48.6%로 2006년 이후로 높은 수준을 유지하여 심각한 불균형 현상을 나타냈다. 따라서 석회질비료는 부족지에 공급될 수 있도록 토양검정 결과를 활용해야 할 것으로 판단된다. 토양의 칼슘 함량이 많아지고 pH가 높아지게 되면 미량성분인 철, 망간, 아연 등의 유효도가 낮아져 결핍현상이 나타날 수 있으므로 pH와 치환성 칼슘의 적정관리가 필요할 것으로 판단되었다 (Lee et al., 2010b).

토양 유기물 함량은 부족비율이 2002년 70.0%, 2006년 70.7%로 매우 높았으나 2010년 45.0% 및 2014년 23.6%로 크게 낮아졌으며 적정수준인 25～35 g $kg^{-1}$ 비율은 2002년 22.9%, 2006년 20.7%, 2010년 30.0% 및 2014년 35.0%로 개선되는 경향이었다. 유기물 함량이 높아지면 토양 공극의 증대와 양분과 수분 보유력이 증대되므로 경남지역 과수원의 작물 생산성 향상이 기대되었다. 유기물 시용은 작물의 생육 및 수량 증대와 토양 미생물의 유의적인 증가를 기대할 수 있으나 가축분퇴비 등을 과잉시용 할 경우 인산 집적 등의 문제를 야기할 수 있으므로 토양 유기물 함량을 적정수준으로 관리해야 할 것이다 (Arancon et al., 2006, Choi et al., 2010). 과수원 토양 유효인산 함량은 적정수준 300～550 mg $kg^{-1}$에 비해 초과된 비율은 2002년 41.4%, 2006년 74.3%, 2010년 60.0% 및 2014년 69.3%로서 경남지역 시설재배지 (Lee et al., 2013), 밭토양 (Lee and Ha, 2011) 및 논토양 (Lee et al., 2012)과 같이 매우 높은 경향을 보였다. 치환성 칼륨 함량은 적정수준인 0.5～0.8 $cmol_c$ $kg^{-1}$ 비율이 2002년 21.4%, 2006년 27.9%, 2010년과 2014년에 22.9%를 나타냈고 과잉비율은 2002년 18.6%, 2006년 45.7%, 2010년 57.1% 및 2014년 59.3%로 지속적인 증가 추세를 보였다.

치환성 마그네슘 함량은 적정수준인 1.5～2.0 $cmol_c$ $kg^{-1}$에 비해 부족한 비율이 2002년 71.4%, 2006년 55.7%, 2010년 47.1%, 2014년 39.3%를 나타냈고 과잉비율은 2002년 17.1%, 2006년 25.7%, 2010년 33.6% 및 2014년 38.6%를 나타내어 치환성 칼륨과 같이 지속적으로 증가하였다. 치환성 마그네슘의 부족비율은 점차로 개선되는 추세이나 토양검정 결과 마그네슘이 부족한 과수원에는 마그네슘이 함유된 비료를 추천해야 할 것으로 판단되었다.

**토성별 토양 화학성분** 경남지역 과수원 토양의 토성별 표토의 화학성분을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 과수원 표토의 화학성분은 사양토에서 pH가 6.5로 양토 및 미사질양토 6.0보다 유의적으로 높았으며 토양의 EC는 양토가 0.85 dS $m^{-1}$로 미사질양토 0.44 dS $m^{-1}$보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 유기물 함량은 양토에서 39 g $kg^{-1}$로 사양토 32 g $kg^{-1}$보다 유의적으로 높았고 ($p < 0.05$) 유효인산 함량도 양토에서 862 mg $kg^{-1}$으로 사양토 814 mg $kg^{-1}$, 미사질양토 740 mg $kg^{-1}$보다 높았으나 유의성은 없었다. 이러한 결과는 농가에서 유기물의 공급원으로 가축분 퇴비를 많이 시용하고 있으며 사양토는 통기성이 좋아 유기물 분해율이 양토나 미사질양토에 비해 높아진 것으로 생각된다 (Choi et al., 2010; Choi et al., 2014). 치환성 칼륨 함량은 양토에서 1.37 $cmol_c$ $kg^{-1}$으로 사양토 1.04 $cmol_c$ $kg^{-1}$ 및 미사질양토 1.02 $cmol_c$ $kg^{-1}$보다 유의적으로 높았으나 치환성 마그네슘 함량과 석회소요량은 양토와 미사질양토가 사양토보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 치환성 칼슘과 치

**Table 3. Surface soils chemical properties of orchard field as affected by soil texture ($n$=139).**

| Soil texture | pH | EC | OM | Avail. $P_2O_5$ | K | Ca | Mg | Na | LR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1:5) | dS $m^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | mg $kg^{-1}$ | ---------- | Exch. Cation ($cmol_c$ $kg^{-1}$) | | ---------- | kg $ha^{-1}$ |
| Sandy loam | 6.5a† | 0.55ab | 32b | 814a | 1.04b | 8.3a | 1.7b | 0.30a | 930b |
| Loam | 6.0b | 0.85a | 39a | 862a | 1.37a | 8.7a | 2.2a | 0.31a | 1,560a |
| Silt loam | 6.0b | 0.44b | 33ab | 740a | 1.02b | 8.2a | 2.2a | 0.30a | 1,580a |

†Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test.

**Table 4. Subsoils chemical properties of orchard field as affected by soil texture ($n$=139).**

| Soil texture | pH | EC | OM | Avail. $P_2O_5$ | K | Ca | Mg | Na | LR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1:5) | dS $m^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | mg $kg^{-1}$ | ---------- | Exch. Cation ($cmol_c$ $kg^{-1}$) | | ---------- | kg $ha^{-1}$ |
| Sandy loam | 6.2a† | 0.45ab | 25b | 681a | 0.81b | 5.2a | 1.4b | 0.28a | 1,240b |
| Loam | 5.8b | 0.69a | 32a | 794a | 1.13a | 7.0a | 1.9a | 0.30a | 1,690a |
| Silt loam | 5.8b | 0.39b | 27ab | 659a | 0.79b | 6.8a | 2.1a | 0.31a | 1,650ab |

†Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test.

환성 나트륨 함량은 토성별로 유의적인 차이가 없었다.

경남지역 토성별 과수원 심토의 화학성분은 Table 4와 같이 표토의 결과와 유사하였다. 심토는 표토에 비해 유효인산 함량은 사양토는 133 mg $kg^{-1}$, 미사질양토는 81 mg $kg^{-1}$, 양토는 68 mg $kg^{-1}$, 치환성 칼슘 함량은 사양토 3.1 $cmol_c$ $kg^{-1}$, 양토 1.7 $cmol_c$ $kg^{-1}$, 미사질양토 1.4 $cmol_c$ $kg^{-1}$ 감소한 반면, 석회소요량은 사양토 310 kg $ha^{-1}$, 양토 130 kg $ha^{-1}$, 미사질양토 70 kg $ha^{-1}$로 증가하였다.

## Conclusion

경남지역 과수원 토양 사양토 23개소, 양토 88개소, 미사질양토 28개소 등 140개소를 대상으로 2002년부터 2014년까지 4년 주기로 표토와 심토의 화학성을 분석하였다. 과수원 표토와 심토의 pH는 사양토가 양토 및 미사질양토에 비해 높았으며 토양의 염류농도는 양토가 미사질양토보다 높았다. 유기물, 치환성 칼륨 및 치환성 마그네슘 함량은 양토가 사양토보다 유의적으로 높았다. 연도별 과수원 심토의 화학성분에 대한 주성분 분석결과 PC1은 토양개량제와 관련이 있었고 PC2는 유기물과 관련이 있었으며 치환성 칼륨, 유기물, 유효인산 함량은 점차로 증가될 것으로 예상되었다.

## References

Ahn, B.K., J.H. Lee, and S.K. Ha. 2011. Relationships between soil physico-chemical properties and topography in Jeonbuk orchard fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:859-865.

Arancon, N.Q., C.A. Edwards, and P. Bierman. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresource Technol. 97:831-840.

Bekele, A. and W.H. Hudnall. 2006. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie-forest transition in Louisiana. Plant soil 280:7-21.

Choi, M.T., J.I. Lee, Y.U. Yun, J.E. Lee, B.C. Lee, E.S. Yang, and Y.H. Lee. 2010. Relationship between fertilizer application level and soil chemical properties for strawberry cultivation under greenhouse in Chungnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:153-159.

Choi, M.T., Y.U. Yun, J.I. Lee, J.E. Lee, S.K. Jung, Y.G. Nam, and Y.H. Lee. 2014. Characteristics of fertility of cucumber cultivated soils at controlled horticulture in Chungnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 47:262-268.

Farhoodi, A. and D.R. Coventry. 2008. Field crop responses to lime in the mid-north region of South Australis. Field Crop Res. 108:45-53.

Heo, J.Y., S.T. Lee, M.G. Kim, K.P. Hong, W.D. Song, C.W. Rho, J.S. Cho, and Y.H. Lee. 2010. Relationship between the incidence of bitter pit and the application level of crushed oyster shell in apple orchard. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:637-643.

Jung, K.H., S.O. Hur, S.G. Ha, C.W. Park, and H.H. Lee. 2007. Runoff pattern in upland soils with various soil texture and slope at torrential rainfall events. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:208-213.

Jung, K.H., Y.K. Sonn, S.Y. Hong, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2005. Assessment of national soil loss and potential erosion area using the digital detailed soil maps. Korean J. Soil Sci. Fert. 38:59-65.

Jung, Y.T., E.S. Yun, J.K. Kim, I.S. Son, J.D. So, and Y.K. Jo. 1993. Establishment of soil suitability classification

system for sweet persimmon in Yeongnam area. RDA J. Agric Sci. Soil Fert. 35:245-251.

Kim, M.K., Y.K. Sonn, H.Y. Weon, J.Y. Heo, J.S. Jeong, Y.J. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, Y.S. Ok, and Y.H. Lee. 2015. Impacts of soil texture on microbial community of orchard soils in Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 48: 81-86.

Lee, H.H., S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, W.T. Kim, and K.H. Kim. 2006. Characteristics of runoff and percolation on sloping land with different soil textures. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:268-273.

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 and peach producing area. Korean J. Soil Sci. Fert. 33:79-84.

Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:242-247.

Lee, Y.H., S.T. Choi, S.T. Lee, K.P. Hong, W.D. Song, J.H. Lee, and J.S. Cho. 2010a. Seasonal change in the soil chemical properties from sweet persimmon orchard in Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:572-577.

Lee, Y.H., S.T. Choi, S.T. Lee, K.P. Hong, W.D. Song, J.H. Lee, and J.S. Cho. 2010b. Changes in Fe, and Mn content and lime requirement based on soil pH testing in sweet persimmon fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:584-589.

Lee, Y.H., S.T. Lee, K.P. Hong, S.D. Lee, J.H. Kim, Y.S. Ok, M.K. Kim, and H.R. Kim. 2013. Long-term variations of chemical properties in controlled horticultural soils of Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 46:308-312.

Lee, Y.H., Y.K. Sonn, S.T. Lee, J.Y. Heo, M.K. Kim, E.S. Kim, W.D. Song, Y.S. Zhang, W.T. Jeon, and Y.S. Ok. 2012. Topographical chemical properties of paddy soils in Gyeongnam Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:143-148.

Munns, D.N. and R.L. Fox. 1977. Comparative lime requirements of tropical and temperate legumes. Plant Soil 46:533-548.

NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010a. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea.

NIAST. 2010b. Fertilizer recommendation for crops. Suwon, Korea.

SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.