

토지이용별 전국 농경지 토양물리적 특성

조희래* · 장용선 · 한경화 · 조현준 · 유진희¹ · 정기열¹ · 조광래² · 노안성² · 임수정³ · 최승출³ ·
이진일⁴ · 이원근⁴ · 안병구⁵ · 김병호⁶ · 김찬용⁷ · 박준홍⁷ · 현승훈⁸

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹국립식량과학원, ²경기농업기술원, ³강원농업기술원, ⁴충남농업기술원,
⁵전북농업기술원, ⁶전남농업기술원, ⁷경북농업기술원, ⁸고려대학교

Soil Physical Properties of Arable Land by Land Use Across the Country

Cho H.R.*, Y.S. Zhang, K.H. Han, H.J. Cho, J.H. Ryu¹, K.Y. Jung¹, K.R. Cho², A.S. Ro², S.J. Lim³,
S.C. Choi³, J.I. Lee⁴, W.K. Lee⁴, B.K. Ahn⁵, B.H. Kim⁶, C.Y. Kim⁷, J.H. Park⁷, and S.H. Hyun⁸

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea,

¹*National Institute of Crop Science(NICS),* ²*Gyeonggi Agricultural Research & Extension Service (ARES),*

³*Gangwondo ARES,* ⁴*Chungnam ARES,* ⁵*Jeonbuk ARES,* ⁶*Jeonnam ARES,* ⁷*Gyeongbuk ARES,*

⁸*Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea*

Soil physical properties determine soil quality in aspect of root growth, infiltration, water and nutrient holding capacity. Although the monitoring of soil physical properties is important for sustainable agricultural production, there were few studies. This study was conducted to investigate the condition of soil physical properties of arable land according to land use across the country. The work was investigated on plastic film house soils, upland soils, orchard soils, and paddy soils from 2008 to 2011, including depth of topsoil, bulk density, hardness, soil texture, and organic matter. The average physical properties were following; In plastic film house soils, the depth of topsoil was 16.2 cm. For the topsoils, hardness was 9.0 mm, bulk density was 1.09 Mg m⁻³, and organic matter content was 29.0 g kg⁻¹. For the subsoils, hardness was 19.8 mm, bulk density was 1.32 Mg m⁻³, and organic matter content was 29.5 g kg⁻¹; In upland soils, depth of topsoil was 13.3 cm. For the topsoils, hardness was 11.3 mm, bulk density was 1.33 Mg m⁻³, and organic matter content was 20.6 g kg⁻¹. For the subsoils, hardness was 18.8 mm, bulk density was 1.52 Mg m⁻³, and organic matter content was 13.0 g kg⁻¹. Classified by the types of crop, soil physical properties were high value in a group of deep-rooted vegetables and a group of short-rooted vegetables soil, but low value in a group of leafy vegetables soil; In orchard soils, the depth of topsoil was 15.4 cm. For the topsoils, hardness was 16.1 mm, bulk density was 1.25 Mg m⁻³, and organic matter content was 28.5 g kg⁻¹. For the subsoils, hardness was 19.8 mm, bulk density was 1.41 Mg m⁻³, and organic matter content was 15.9 g kg⁻¹; In paddy soils, the depth of topsoil was 17.5 cm. For the topsoils, hardness was 15.3 mm, bulk density was 1.22 Mg m⁻³, and organic matter content was 23.5 g kg⁻¹. For the subsoils, hardness was 20.3 mm, bulk density was 1.47 Mg m⁻³, and organic matter content was 17.5 g kg⁻¹. The average of bulk density was plastic film house soils < paddy soils < orchard soils < upland soils in order, according to land use. The bulk density value of topsoils is mainly distributed in 1.0~1.25 Mg m⁻³. The bulk density value of subsoils is mostly distributed in more than 1.50, 1.35~1.50, and 1.0~1.50 Mg m⁻³ for upland and paddy soils, orchard soils, and plastic film house soils, respectively. Classified by soil textural family, there was lower bulk density in clayey soil, and higher bulk density in fine silty and sandy soil. Soil physical properties and distribution of topography were different classified by the types of land use and growing crops. Therefore, we need to consider the types of land use and crop for appropriate soil management.

Key words: Soil physical properties, Topography, Bulk density, Hardness, Porosity

서 언

토양 질 (soil quality)에 대한 관심이 커지고 있으며 (Wilson and Maliszewska-Kordybach, 2000), 국제경제협력개발기구 (OECD, Organization for Economic Cooperation and Development)에서는 1994년에 토양의 질을 농업환경지표의 하나로 설정하였다 (OECD, 1999). 토양의 질 평가는 물리적·화학적·생물적 세 가지 측면에서 고려된다. 토양물리성은 작물의 뿌리 뻗음, 보수성, 보비성 및 물빠짐 등을 결정하며, 화학적·생물적 특성에 영향을 끼치므로 토양의 질을 평가하는데 중요한 역할을 한다 (Topp et al., 1997; Dexter, 2004). 토양물리성이 좋은 토양은 토양구조가 발달하고, 토양침식 및 다짐 (compaction)에 영향을 적게 받으며, 토양 내 양수분 이동 및 공기의 흐름이 원활하여 작물 생육이 잘된다 (Topp et al., 1997).

우리나라는 과거 식량증산의 목적 하에 양분 투입위주형 농업이 주를 이루었으며 그에 발맞추어 토양 내 양분의 비옥도 증진 위주의 연구가 수행되어 왔다 (Jung et al., 1998;

Peters, 2000). 잦은 경운 및 대형 농기계 작업은 토양물리성을 악화시켜 양분이용 저해 등 작물생산에 부정적인 영향을 끼친다 (Wallace and Terry, 1998). 특히 우리나라는 잦은 경운 및 대형 농기계 작업 등으로 토양물리성이 악화되고 있다.

작물생산에 적합한 토양물리성은 하나의 지표로 특성을 파악할 수 없으며 몇 가지 특성을 통합적으로 이해하여야 한다 (Dexter and Czyz, 2000). 최소의 환경을 저해시키는 범위 내에서 최대의 생산을 얻을 수 있는 기준은 여전히 결론이 내려지지 않은 부분이 많다 (Wallace and Terry, 1998; Schipper and Sparling, 2000). 토양물리성 개선은 토지이용, 토성, 작물, 기후 등 여러 요소에 따라 달라지는데 적절한 토양관리를 위해서는 먼저 우리나라 농경지의 물리적 상태를 파악하는 것이 중요하다. Yoon (2004)은 밭토양의 질 평가를 위한 최소한의 물리적 지표로 토양유실, 용적밀도, 유효토심, 토성, 침투속도, 입단화도 등을 제시하였다. 본 연구는 2008년부터 2011년까지 전국을 대상으로 시설재배지, 밭, 과수, 논 등 토지이용별로 가장 많이 사용되는 지표를 이용하여 토양 물리적 특성을 파악하고자 수행하였다.

Table 1. Investigation outline including investigation period, land type, number of sites, investigation institute, and target site.

| Investigation period | Types of land type | Number of sites | Investigation institutes [†] | Target site |
|----------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 2008 | Plastic film house soils | 108 | NAAS | Gyeonggi-do, Gangwon-do, Chungbuk |
| | | | NICS DRWCC | Chungnam, Jeonbuk, Jeonnam |
| | | | NICS DFC | Gyeongbuk, Gyeongnam |
| 2009 | Upland soils | 163 | NAAS | Gangwon-do, Chungbuk |
| | | | Gyeonggi ARES | Gyeonggi-do |
| | | | Chungnam ARES | Chungnam |
| | | | Jeonbuk ARES | Jeonbuk |
| | | | Jeonnam ARES | Jeonnam |
| | | | Gyeongbuk ARES | Gyeongbuk |
| 2010 | Orchard soils | 259 | NAAS | Chungbuk |
| | | | Gyeonggi ARES | Gyeonggi-do |
| | | | Gangwon ARES | Gangwon-do |
| | | | Chungnam ARES | Chungnam |
| | | | Jeonbuk ARES | Jeonbuk |
| | | | Jeonnam ARES | Jeonnam |
| | | | Gyeongbuk ARES | Gyeongbuk |
| | | | NAAS | Chungbuk |
| 2011 | Paddy soils | 230 | Gyeonggi ARES | Gyeonggi-do |
| | | | Gangwon ARES | Gangwon-do |
| | | | Chungnam ARES | Chungnam |
| | | | Jeonbuk ARES | Jeonbuk |
| | | | Jeonnam ARES | Jeonnam |
| | | | Gyeongbuk ARES | Gyeongbuk |

[†] NAAS, National Academy of Agricultural Science; NICS, National Institute of Crop Science; DRWCC, Department of Rice and Winter Cereal Crop; DFC, Department of Functional Crop; ARES, Agricultural Research & Extension Service.

재료 및 방법

전국 농경지 토양물리성 조사시기 및 조사기관은 Table 1과 같다. 2008년에는 농촌진흥청 공동으로 전국 시설재배지를 대상으로 108지점의 토양물리성 조사를 수행하였으며, 2009년부터 2011년까지는 농촌진흥청과 각 도 농업기술원(경기, 강원, 충남, 전북, 전남, 경북, 단 강원도농업기술원은 2010년부터 참여)이 공동으로 토양물리성 조사를 실시하였다. 2009년에는 발토양 163지점, 2010년에는 과수원 토양 259지점, 2011년에는 논토양 230지점을 조사하였다. 특히 토양물리성은 토지이용에 따라 시료 채취방법이 달라지며 시료채취과정 중 오차가 크기 때문에, 매년 조사대상별로 조사기관 간 협의를 통해 조사 및 분석방법 기준을 공유하였다.

토지이용별로 시설재배지는 대단위 단지 중심으로 지점을 선정하였으며, 시료채취는 이랑과 고랑의 중간에서 다져지지 않은 부분에서 하였고, 조사시기는 작물수확 후 경운 전이었고, 조사항목은 표토심, 용적밀도, 산중식 경도, 삼상, 토성, 유기물 함량 등이었다. 발토양은 마찬가지로 이랑과 고랑 사이의 다져짐이 최소화 된 부분에서 시료를 채취하였으며, 조사항목은 표토심, 용적밀도, 산중식경도(일본 F사 제작), 삼상, 토성, 유기물 함량 등이었다. 과수원 토양은 과원 내 주도로와 보조 주행도로를 제외하고 다짐 영향이 적은 곳을 택한 후, 과수의 가장 긴 가지의 수평길이의 1/2이 되는 지점에서 조사하였다. 조사항목은 표토심, 용적밀도, 산중식경도, 삼상, 토성, 유기물 함량 등 이었다. 논 토양은 벼 수확 후 토양이 얼기 전인 10월 말~12월, 또는 다음 해 물대기 전인 3~4월에 마른 상태일 때에 조사하였고, 썩레질이나 농기계기 지나간 위치를 피해 시료를 채취하였으며, 조사항목으로는 표토심, 용적밀도, 산중식경도, 삼상, 토성, 유기물 함량 등 이었다. 이 외에 작물, 지형 등 현장조사를 하였다. 공통적으로 지표면으로부터 3~4 cm 아래에서 표토를 채취·조사하였고, 토지이용별로 조사하는 표토심에서 5 cm 아랫부분에서 심토를 채취·조사하였다. 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 용적밀도, 삼상

은 2인치 코어법으로, 토성은 비중계법(Hydrometer) 및 피펫법(Pipette)으로, 유기물은 Tyurin법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

토지이용에 따른 지형분포 비율 시설재배지는 주로 하성평탄지에 분포하였고 일부 홍적대지에 분포하여 평평한 지형에서 이루어지고 있었다. 이는 논농사의 낮은 수익성 때문에 논을 이용하여 시설재배가 많이 이루어지고 시설설비의 편의성과 작업의 용이성을 고려하였기 때문이다. 이러한 토지이용을 감안할 때 시설재배지는 배수 및 양분의 상하이동에 유의하여 관리하여야 함을 예상할 수 있다. 밭은 곡간 및 선상지에 약 50% 위치하며 구릉지 및 산악지, 하성평탄지에 37% 위치하였다. 과수원은 곡간 및 선상지에 39%, 구릉지 및 산악지와 산록경사지에 36%, 기타 하성평탄지, 홍적대지 순으로 분포하여 대부분 경사가 가파른 곳에 위치하였다. 밭과 과수원은 주로 경사지에 분포하여 토양침식과 이에 따른 양분유출 위험성이 높을 것으로 예상된다. 경사지 발토양에서 질소시비 후 유출수 및 침출수의 질소농도는 처음에 매우 높았다가 서서히 감소하는 경향을 갖는다(Jung et al., 2009). Jung and Oh (1995)에 따르면 경사지 발토양에서 보전농법시 관행농법 대비 토양유실정도가 1/6, 물 유출량이 1/2, 양분유실량이 1/3으로 감소한다고 한다. 따라서 경사지 농경지에서는 여름철 강우시기를 고려하여 시비 및 토양관리에 유념해야 한다. 논은 곡간 및 선상지에 48%, 하성평탄지와 하해홍성평탄지에 43%, 기타 홍적대지, 대지, 산록경사지 순으로 분포하였다. 이처럼 토지이용별로 분포하는 지형이 각각 다른 특징을 갖기 때문에 토지이용별로 물리성 기준을 설정하고 관리하는 것이 필요하다.

토지이용에 따른 작물별 토양물리적 특성 논을 제외한 토양에서 작물에 따른 물리적 특성을 분석한 결과이다(Table 3, 4, 5). 시설재배지의 경우 물리성 평균은 표토심이 16.2 cm, 산중식경도가 표토에서 9.0 mm, 심토에서 19.8 mm, 용적밀도가 표토에서 1.09 Mg m⁻³, 심토에서 1.32 Mg m⁻³, 유기물이 표토, 심토 각각 29.0 g kg⁻¹, 29.5

Table 2. The topographical distribution according to land use.

| Land Use | Hill & mountains | Mountain foot slopes | Local valley & alluvial fans | Alluvial Plains | Fluvio-marine Deposit | Terrace | Diluvial Terrace | Other | Total |
|--------------------|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|---------|------------------|-------|-------|
| Plastic film house | - | - | - | 102 | - | - | 6 | - | 108 |
| Upland | 30 | 19 | 78 | 29 | - | 2 | 5 | - | 163 |
| Orchard | 55 | 38 | 102 | 31 | 1 | 2 | 15 | 15 | 259 |
| Paddy | - | 2 | 110 | 65 | 33 | 4 | 16 | - | 230 |

Table 3. The physical properties of plastic film house soils according to crop.

| Crop | N [†] | Depth of topsoil cm | Bulk density | | Organic matter | | Hardness | |
|------------------|----------------|------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|----------------|------|
| | | | Top | Sub | Top | Sub | Top | Sub |
| | | | ----- Mg m ⁻³ ----- | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- mm ----- | |
| Red pepper | 9 | 16.7 | 1.17 | 1.40 | 33.7 | 31.9 | 10.1 | 19.3 |
| Strawberry | 12 | 15.7 | 1.14 | 1.30 | 31.6 | 33.9 | 12.1 | 19.0 |
| Melon | 6 | 18.5 | 0.87 | 1.11 | 57.2 | 55.0 | 1.1 | 19.6 |
| Cherry tomato | 3 | 15.3 | 1.00 | 1.27 | 9.7 | 9.6 | 7.2 | 17.6 |
| Watermelon | 17 | 17.0 | 1.12 | 1.30 | 32.3 | 33.9 | 8.1 | 19.1 |
| Leafy vegetables | 13 | 14.0 | 1.17 | 1.45 | 14.1 | 16.5 | 12.6 | 21.1 |
| Cucumber | 14 | 17.8 | 0.98 | 1.25 | 37.8 | 36.8 | 8.6 | 20.8 |
| Muskmelon | 12 | 14.1 | 1.17 | 1.44 | 24.3 | 23.3 | 11.2 | 22.3 |
| Tomato | 16 | 16.8 | 1.03 | 1.24 | 26.3 | 28.0 | 7.5 | 19.3 |
| Squash | 6 | 15.8 | 1.10 | 1.41 | 16.7 | 17.4 | 6.2 | 17.2 |
| Total | 108 | 16.2 | 1.09 | 1.32 | 29.0 | 29.5 | 9.0 | 19.8 |

[†]N, number of sample site; Top, Topsoil; Sub, Subsoil.

Table 4. The physical properties of upland soils according to the types of crop.

| Types of crop | N | Depth of topsoil cm | Bulk density | | Organic matter | | Hardness | |
|-------------------------|-----|------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|----------------|------|
| | | | Top | Sub | Top | Sub | Top | Sub |
| | | | ----- Mg m ⁻³ ----- | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- mm ----- | |
| Fruit vegetables | 41 | 13.2 | 1.35 | 1.52 | 19.7 | 11.1 | 11.3 | 18.7 |
| Leafy vegetables | 20 | 12.7 | 1.28 | 1.39 | 21.8 | 14.9 | 10.4 | 16.4 |
| Short-rooted vegetables | 34 | 13.7 | 1.33 | 1.56 | 18.9 | 13.9 | 12.1 | 20.0 |
| Deep rooted vegetable | 30 | 13.6 | 1.35 | 1.56 | 22.9 | 13.4 | 10.8 | 19.3 |
| Others | 38 | 15.1 | 1.25 | 1.5 | 23.4 | 18.6 | 10.5 | 19.9 |
| Total | 163 | 13.3 | 1.33 | 1.52 | 20.6 | 13.0 | 11.3 | 18.8 |

g kg⁻¹ 이었다. 작물별로는 멜론의 표토심이 18.5 cm 로 가장 깊었고, 용적밀도가 표토에서 0.87 Mg m⁻³, 심토에서 1.11 Mg m⁻³ 로 가장 작았다. 그 다음 순으로 오이가 표토심이 17.8 cm, 용적밀도가 표토에서 0.98 Mg m⁻³, 심토에서 1.25 Mg m⁻³ 이었다. 엽채류의 표토심이 14.0 cm 로 가장 작았으며, 용적밀도는 표토에서 1.17 Mg m⁻³, 심토에서 1.45 Mg m⁻³ 로 높은 값을 보였다. 결과로부터 표토심이 깊은 지점이 용적밀도가 작은 것을 알 수 있었는데, 이는 경운의 과정에서 형성된 것으로 판단된다. 뿌리가 얇게 뻗는 작물에 대해서 경운도 얇게 하여 이에 따라 표토심이 낮고 용적밀도가 높아진 것으로 보여진다.

밭토양의 경우 물리성 평균은 표토심 13.3 cm, 산중식경도는 표토에서 11.3 mm, 심토에서 18.8 mm, 용적밀도는 표토에서 1.33 Mg m⁻³, 심토에서 1.52 Mg m⁻³, 유기물 함량이 표토에서 20.6 g kg⁻¹, 심토에서 13.0 g kg⁻¹ 이었다. 작물별

로는 과채류, 엽채류, 단근채 및 장근채로 나누어 분석하였다. 엽채류는 표토심 12.7 cm, 표토 경도 10.4 mm, 심토 경도 16.4 mm, 용적밀도 표토, 심토 각각 1.28 Mg m⁻³, 1.39 Mg m⁻³ 로 가장 작은 값을 보였으며, 장근채, 단근채는 표토심 13.6~13.7 cm, 표토 경도 10.8~12.1 mm, 심토 경도 19.3~20.0 mm, 용적밀도는 표토에서 1.33~1.35 Mg m⁻³, 심토에서 1.56 Mg m⁻³ 으로 큰 값을 보였고 장근채와 단근채 간에는 비슷한 값을 보였다. 우리나라는 밭작물 종류에 따른 적정 용적밀도 자료가 아직 미흡한 실정이다. 일본에서는 토양별로 유효근권의 조건으로 작물 종류에 따른 적정 용적밀도를 제시하고 있으며, 1.35~1.40 Mg m⁻³ 이하로 보고 있다 (日本土壤協會, 1986).

과수원 토양의 경우 물리적 특성 평균은 표토심이 15.4 cm, 산중식경도 표토 16.1 mm, 심토 19.9 mm, 용적밀도 표토 1.25 Mg m⁻³, 심토 1.41 Mg m⁻³, 유기물 함량이 표토

Table 5. The physical properties of orchard soils according to crop.

| Crop | N | Depth of topsoil cm | Bulk density | | Organic matter | | Hardness | |
|-----------|-----|------------------------|--------------------|------|--------------------|------|----------|------|
| | | | Top | Sub | Top | Sub | Top | Sub |
| | | | Mg m ⁻³ | | g kg ⁻¹ | | mm | |
| Pear | 71 | 14.4 | 1.23 | 1.40 | 30.9 | 16.6 | 16.4 | 19.7 |
| Apple | 66 | 14.6 | 1.28 | 1.41 | 27.3 | 15.4 | 16.3 | 19.8 |
| Grape | 54 | 17.0 | 1.31 | 1.45 | 25.7 | 13.5 | 16.7 | 20.0 |
| Peach | 39 | 16.3 | 1.26 | 1.43 | 27.9 | 15.1 | 16.1 | 20.1 |
| Persimmon | 14 | 17.8 | 1.16 | 1.38 | 31.9 | 22.2 | 13.7 | 19.3 |
| Plum | 8 | 12.1 | 1.20 | 1.40 | 23.6 | 11.0 | 16.2 | 19.3 |
| Kiwifruit | 4 | 13.9 | 1.06 | 1.30 | 37.0 | 32.0 | 11.4 | 19.5 |
| other | 3 | 11.9 | 0.99 | 1.31 | 44.7 | 30.7 | 14.2 | 20.2 |
| Total | 259 | 15.4 | 1.25 | 1.41 | 28.5 | 15.9 | 16.1 | 19.8 |

Table 6. The physical properties of paddy soils according to topography.

| Topography | N | Depth of topsoil cm | BD [†] Mg m ⁻³ | 3 Phases | | | OM g kg ⁻¹ | Hardness mm |
|------------------------------|-----|------------------------|---------------------------------------|----------|------|------|--------------------------|----------------|
| | | | | SP | LP | GP | | |
| | | | | % | | | | |
| Mountain foot slopes | Top | 2 | 12.5 | 47.1 | 45.5 | 7.4 | 27.5 | 11.8 |
| | Sub | | 1.43 | 54.1 | 43.3 | 2.50 | 26.0 | 18.7 |
| Local valley & alluvial fans | Top | 110 | 17.9 | 45.5 | 40.1 | 14.5 | 23.3 | 14.8 |
| | Sub | | 1.46 | 55.3 | 35.0 | 9.7 | 17.8 | 20.2 |
| Alluvial Plains | Top | 65 | 17.6 | 46.8 | 38.3 | 14.9 | 24.4 | 15.5 |
| | Sub | | 1.49 | 56.2 | 33.4 | 10.3 | 18.2 | 20.9 |
| Fluviomarine Deposit | Top | 33 | 17.5 | 44.2 | 42.0 | 13.7 | 22.3 | 15.6 |
| | Sub | | 1.41 | 53.3 | 39.5 | 7.3 | 14.0 | 19.1 |
| Terrace | Top | 4 | 18.1 | 53.6 | 44.1 | 2.4 | 21.9 | 11.8 |
| | Sub | | 1.61 | 60.6 | 36.8 | 2.6 | 17.4 | 20.9 |
| Diluvial Terrace | Top | 16 | 15.5 | 46.8 | 39. | 13.8 | 23.5 | 17.8 |
| | Sub | | 1.49 | 56.2 | 37. | 6.4 | 15.7 | 21.7 |
| Total | Top | 230 | 17.5 | 45.9 | 39.9 | 14.2 | 23.5 | 15.3 |
| | Sub | | 1.47 | 55.4 | 35.5 | 9.1 | 17.5 | 20.3 |

[†]BD, Bulk density; SP, Solid phase ratio; LP, Liquid phase ratio; GP, Gas phase ratio; OM, Organic matter.

28.5 g kg⁻¹, 심토 15.9 g kg⁻¹ 이었다. 조사대상지의 가장 많은 과수는 배였고, 그 다음으로 사과 포도, 복숭아 순이었다. 배는 표토심 14.4 cm, 표토 경도 16.4 mm, 심토 경도 19.7 mm, 표토 용적밀도 1.23 Mg m⁻³, 심토 용적밀도 1.40 Mg m⁻³ 으로 평균수준 값을 보였으며, 포도는 표토심 17.0 cm, 표토 경도 16.7 mm, 심토 경도 20.0 mm, 표토 용적밀도 1.31 Mg m⁻³, 심토 용적밀도 1.45 Mg m⁻³ 로 비교적 큰 값을 보였다.

토지이용별로 밭에서 용적밀도가 표토에서 1.33 Mg m⁻³, 심토에서 1.52 Mg m⁻³ 로 가장 큰 값을 보였으며, 시설재배지에서 표토 1.09 Mg m⁻³, 심토 1.32 Mg m⁻³ 로 가장 작은 값을 보였는데, 이는 시설재배지의 토양이 유기물 함량이

높기 때문인 것으로 생각된다. 위의 결과에서 유기물 함량이 높을 때 용적밀도가 작은 값을 보였다. 산중식경도는 심토에서 18.8~19.9 mm 로 비슷하였으나 표토에서는 시설재배지가 9.0 mm 으로 가장 작은 값을 보였고, 과수원이 16.1 mm 로 가장 큰 값을 보였다. 경운의 영향이 있는 표토에서만 그 차이를 보였는데, 시설재배지에서 한 해에 여러 번 작물재배가 이루어지기 때문에 잦은 경운에 의한 영향인 것으로 생각된다.

지형에 따른 논토양의 물리적 특성 논 토양의 물리적 특성 평균치는 표토심이 17.5 cm, 용적밀도가 표토 1.22 Mg m⁻³, 심토 1.47 Mg m⁻³, 산중식 경도가 표토 15.3 mm, 심토

20.3 mm, 삼상은 표토에서 고상 45.9%, 액상 39.9%, 기상 14.2%, 심토에서 고상 55.4%, 액상 35.5%, 기상 9.1%이었다. 유기물 함량은 표토에서 23.5 g kg⁻¹, 심토에서 17.5 g kg⁻¹ 이었다. 지형에 따라서는 대지에서 표토심이 18.1 cm, 용적밀도는 표토에서 1.42 Mg m⁻³, 심토에서 1.61 Mg m⁻³ 로 가장 큰 값을 보였고, 하해혼성평탄지에서 용적밀도가 표토 1.17 Mg m⁻³, 심토 1.41 Mg m⁻³ 로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 2007년 실시되었던 논토양 물리성 조사결과에서 대지에서의 용적밀도가 표토에서 1.30 g kg⁻¹, 심토에서 1.61 g kg⁻¹ 로 가장 큰 값을 보인 것과 같은 경향 이었다 (NIAST, 2007).

토지이용에 따른 토양물리성 분포 토지이용별로 물리적 특성을 일정구간으로 나누어 분포비율을 살펴보면 Fig. 1과 같다. 시설재배지, 과수원, 논토양의 표토심은 10~

15 cm, 15~20 cm, 20~25 cm 에 고루 분포하였고, 밭토양에서는 10~15 cm 에 집중 분포하였다. 표토심은 경운 등의 관리에 의해서 달라지며 작물의 생육 및 양분 이용과 깊은 관계가 있다. 1960년대는 다수확답을 작토심이 13 cm, 1980년대는 18 cm 이상으로 보았다 (Shin and Oh, 1960; Jo et al., 1986). 이는 심경 및 심토파쇄에 의해 물리성이 개량되어 유기물, 인산 및 가리 함량도 증가 (Kang et al., 1999)되는 것과 연관된다. 표토 용적밀도는 1.0~1.25 Mg m⁻³ 에 가장 많이 분포하며, 시설재배지는 표토 용적밀도가 1.25 Mg m⁻³ 이하에 약 90% 분포하여 푸슬푸슬한 상태를 유지하고 있었다. 심토 용적밀도는 밭토양과 논토양에서는 1.50 Mg m⁻³ 이상이 50% 내외로 가장 높은 분포를 보였으며, 시설재배지 토양은 1.0~1.50 Mg m⁻³ 범위에서 고른 분포를 나타냈다. 표토 산중식경도는 시설재배지와 밭토양에서 15 mm 이하에 약 85% 내외로 분포하였고, 과수원토양과

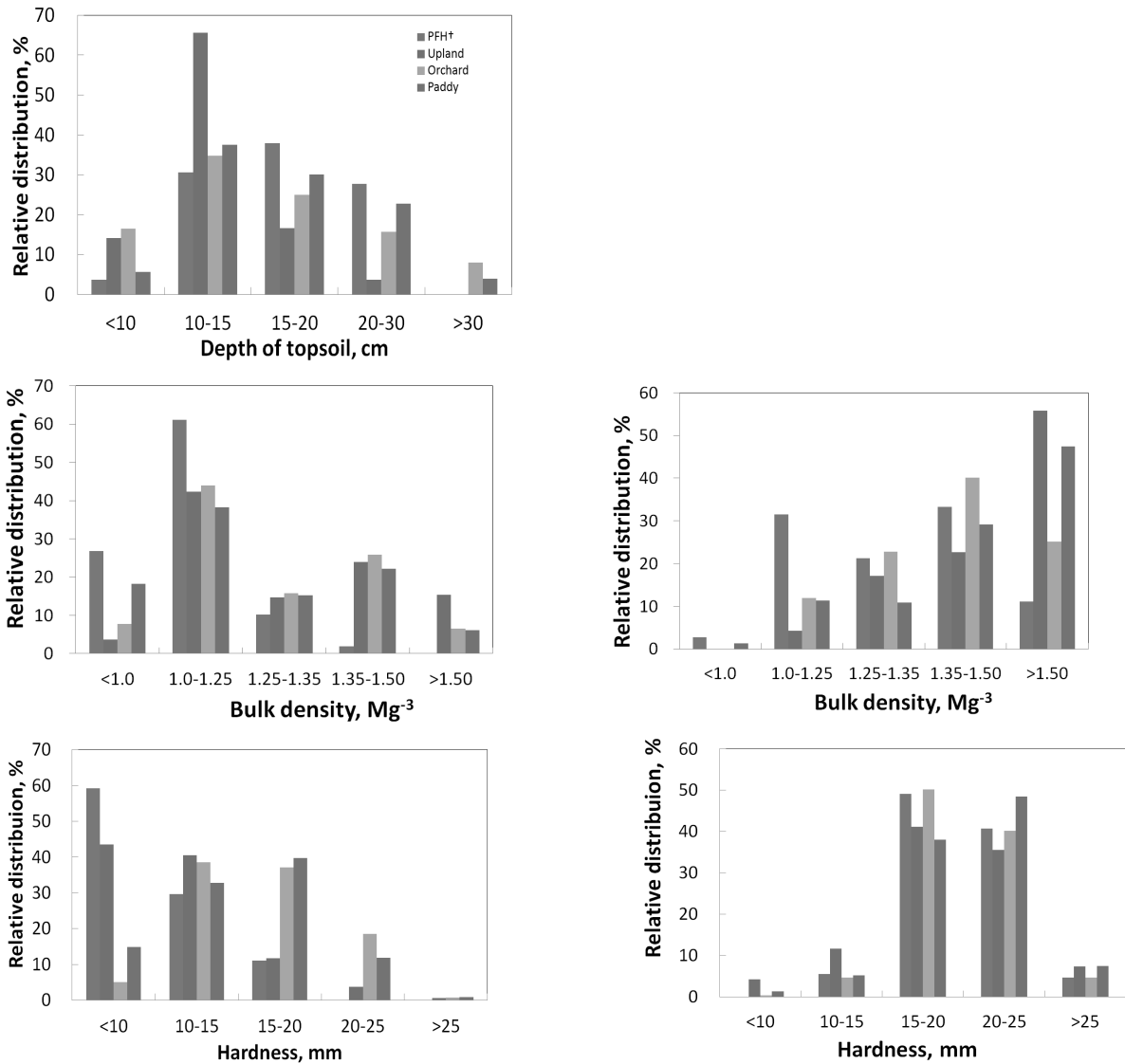


Fig. 1. Distribution of physical properties range with the types of land use. left (topsoil), right(subsoil).
†PFH, Plastic film house.

논토양은 10~20 mm 범위가 약 74% 내외였다. 발작물이 재배되는 시설재배지와 밭토양에서 과수원토양에 비해 표토 경도가 작은 것으로 나타났다. 심토 산중식경도는 15~25 mm 범위가 시설재배지, 과수원토양, 논토양이 90% 내외, 밭토양은 77%의 분포를 나타냈다. 경도는 작물생육에 영향을 끼치는 인자로, Jo et al. (1977)은 완두의 뿌리신장 한계범위는 산중식경도 24 mm 이며, 이는 최대생육속도의 1/4 이하라고 보았다.

토지이용에 따른 토성분포 및 토성 (속)별 용적밀도

조사지점에 대해 토지이용에 따른 토성의 분포를 토양삼각도표로 나타낸 결과이다 (Fig. 2). 밭토양, 과수원 토양, 논토양 모두 모래 함량범위가 넓으며 일정한 방향성을 갖는

분포였고, 주로 논토양은 미사 함량범위가 넓으며, 과수원 토양은 모래가 많은 토양이었다.

토성 (속)별로 분류하였을 때 토지이용에 따라 식양질, 사양질, 사질에서 80~90%의 분포를 보였으며, 용적밀도 평균은 다음과 같다 (Table 7). 밭 토양은 평균 표토 용적밀도가 식질 1.17 Mg m⁻³, 식양질 1.30 Mg m⁻³, 미사식양질 1.51 Mg m⁻³, 미사사양질 1.24 Mg m⁻³, 사양질 1.32 Mg m⁻³, 사질 1.35 Mg m⁻³ 이었고, 평균 심토 용적밀도는 식질 1.53 Mg m⁻³, 식양질 1.52 Mg m⁻³, 미사식양질 1.66 Mg m⁻³, 미사사양질 1.29 Mg m⁻³, 사양질 1.52 Mg m⁻³, 사질 1.54 Mg m⁻³ 이었다.

과수원 토양은 평균 표토 용적밀도가 식질 1.29 Mg m⁻³, 식양질 1.24 Mg m⁻³, 미사식양질 1.31 Mg m⁻³, 미사사양질

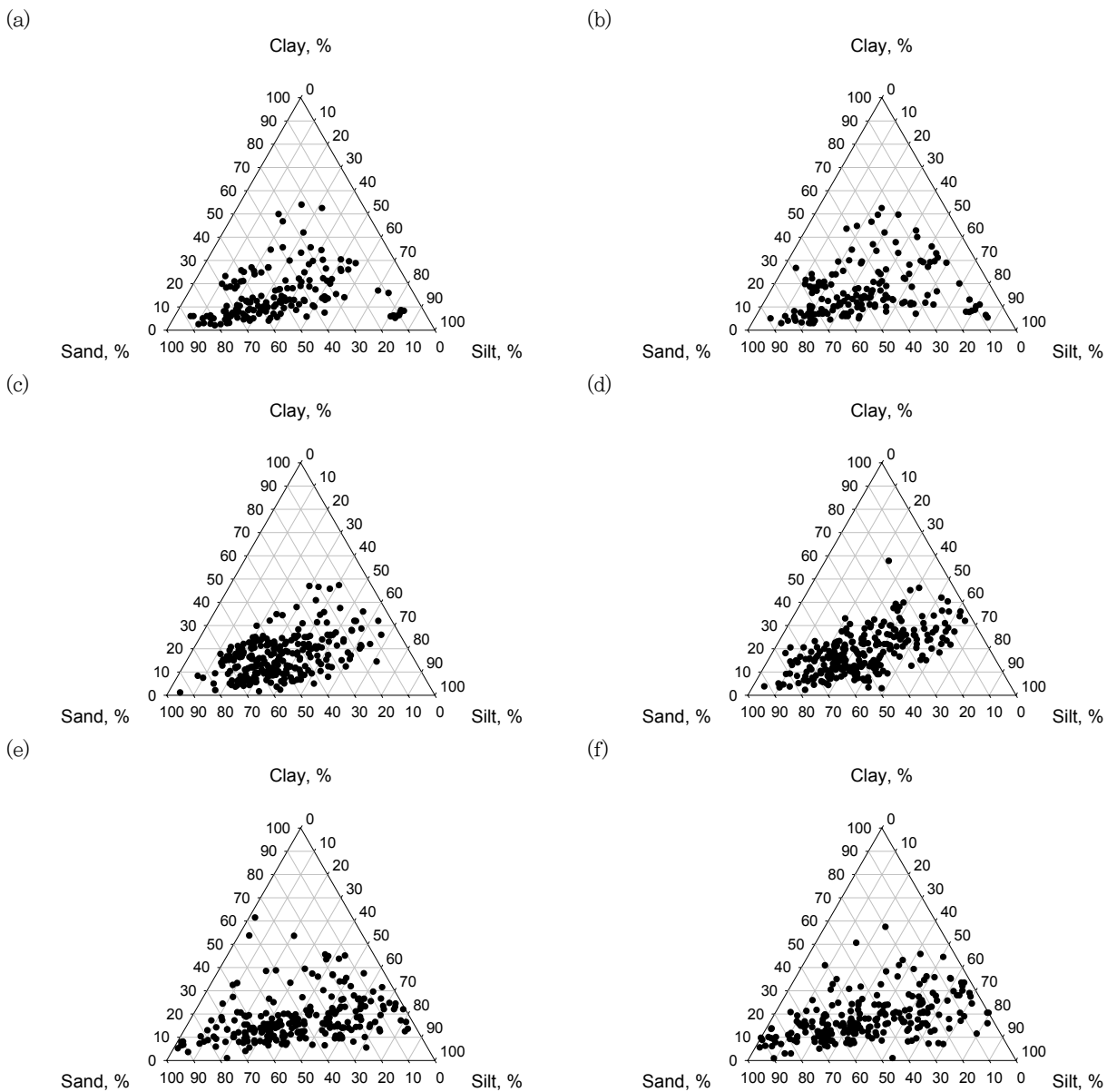


Fig. 2. Particle distribution with the types of land use. (a) upland soils of topsoil, (b) upland soils of subsoil, (c) orchard soils of topsoil, (d) orchard soils of subsoil, (e) paddy soils of topsoil, (f) paddy soils of subsoil.

Table 7. Bulk density with the soil textural family according to the types of land use.

| Depth | Textural family | Upland soils | | Orchard soils | | Paddy soils | |
|-------|-----------------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | | N | BD | N | BD | N | BD |
| | | Mg m ⁻³ | | Mg m ⁻³ | | Mg m ⁻³ | |
| Top | Clayey | 7 | 1.17 | 9 | 1.29 | 13 | 1.02 |
| | Fine Loamy | 41 | 1.30 | 86 | 1.24 | 58 | 1.16 |
| | Fine Silty | 1 | 1.51 | 6 | 1.31 | 15 | 1.18 |
| | Coarse Silty | 11 | 1.24 | 1 | 0.97 | 7 | 1.31 |
| | Coarse Loamy | 51 | 1.32 | 82 | 1.24 | 85 | 1.23 |
| | Sandy | 52 | 1.35 | 75 | 1.27 | 52 | 1.31 |
| Sub | Clayey | 12 | 1.53 | 13 | 1.38 | 14 | 1.34 |
| | Fine Loamy | 44 | 1.52 | 102 | 1.41 | 85 | 1.47 |
| | Fine Silty | 4 | 1.66 | 9 | 1.40 | 0 | - |
| | Coarse Silty | 9 | 1.29 | - | - | 3 | 1.51 |
| | Coarse Loamy | 50 | 1.52 | 57 | 1.41 | 57 | 1.42 |
| | Sandy | 44 | 1.54 | 78 | 1.43 | 71 | 1.53 |

0.97 Mg m⁻³, 사양질 1.24 Mg m⁻³, 사질 1.27 Mg m⁻³ 였고, 평균 심토 용적밀도는 식질 1.38 Mg m⁻³, 식양질 1.41 Mg m⁻³, 미사식양질 1.40 Mg m⁻³, 사양질 1.41 Mg m⁻³, 사질 1.43 Mg m⁻³ 이었다.

논 토양은 평균 표토 용적밀도가 식질 1.02 Mg m⁻³, 식양질 1.16 Mg m⁻³, 미사식양질 1.18 Mg m⁻³, 미사사양질 1.31 Mg m⁻³, 사양질 1.23 Mg m⁻³, 사질 1.31 Mg m⁻³ 였고, 평균 심토 용적밀도는 식질 1.34 Mg m⁻³, 식양질 1.47 Mg m⁻³, 미사사양질 1.51 Mg m⁻³, 사양질 1.42 Mg m⁻³, 사질 1.53 Mg m⁻³ 이었다. 대체로 식질에서 용적밀도가 작은 값을 보였고, 미사식양질과 사질에서 큰 값을 나타냈다. 용적밀도는 작물 생육에 영향을 미칠 수 있는데, 이때 토성을 고려하여 용적밀도의 기준을 생각해야 하겠다. Jung and Lim (1989)은 토양환경에서의 작물생육연구에서 토성에 따라 대두의 뿌리 신장에 영향을 주는 용적밀도가 다름을 밝혔다.

토양물리성은 건전한 작물 뿌리생육과 양분이용 측면에서 중요하다. 앞에서 언급한 우리나라 전국 농경지에 대해서 토지이용별로 물리적 특성은 토양특성과 작물종류에 따라 다르게 나타났다. 친환경적 농업을 위해서는 이러한 특성을 이해하고 적정 기준에 따라 관리하여 주는 것이 필요 하겠다.

요 약

시설재배지는 주로 하성평탄지 등 평평한 지형에 분포하며, 밭과 과수원은 곡간 및 선상지, 구릉지 및 산악지, 산록 경사지 등 경사지에 분포한다. 논은 곡간 및 선상지, 하성평탄지, 하해혼성평탄지 등 비교적 완만한 경사에 위치한다. 이처럼 토지이용별로 분포하는 지형이 각기 다르기 때문에

토지이용별로 물리성 기준을 설정하고 관리하는 것이 필요하다. 시설재배지는 배수 및 양수분의 수직이동에 유의하여야 하며, 경사지는 침식과 양분유출에 대비하여 관리하여야 한다.

토지이용별로 토양 물리성 평균은 다음과 같다. 시설재배지는 표토심이 16.2 cm, 표토에 대한 물리성은 항목별로 경도 9.0 mm, 용적밀도 1.09 Mg m⁻³, 유기물함량 29.0 g kg⁻¹, 심토에 대한 물리성은 항목별로 경도 19.8 mm, 용적밀도 1.32 Mg m⁻³, 유기물함량 29.5 g kg⁻¹ 이었다. 뿌리가 얇게 뻗은 작물에 대해서 표토심이 낮고 용적밀도가 높은 값을 보였다. 밭은 표토심이 13.3 cm, 표토에 대한 물리성은 항목별로 경도 11.3 mm, 용적밀도 1.33 Mg m⁻³, 유기물함량 20.6 g kg⁻¹ (표토), 심토에 대한 물리성은 항목별로 경도 18.8 mm, 용적밀도 1.52 Mg m⁻³, 유기물함량 13.0 g kg⁻¹ 이었다. 작물별로 물리성 평균치는 엽채류 < 과채류 < 장근채 ≒ 단근채 순으로 값을 보였다. 과수원은 표토심이 15.4 cm, 표토에 대한 물리성은 경도 16.1 mm, 용적밀도 1.25 Mg m⁻³, 유기물함량은 표토 28.5 g kg⁻¹, 심토에 대한 물리성은 경도 19.8 mm, 용적밀도 1.41 Mg m⁻³, 유기물함량 15.9 g kg⁻¹ 이었다. 조사지점이 가장 많았던 과수 배는 표토심 14.4 cm, 경도 16.4 mm (표토), 19.7 mm (심토), 용적밀도 1.23 Mg m⁻³ (표토), 1.40 Mg m⁻³ (심토) 으로 평균에 근접한 값을 보였으며, 포도는 표토심 17.0 cm 경도 16.7 mm (표토), 20.0 mm (심토), 용적밀도 1.31 Mg m⁻³ (표토), 1.45 Mg m⁻³ (심토) 로 비교적 큰 값을 보였다. 논은 표토심이 17.5 cm, 표토에 대한 물리성은 항목별로 경도가 15.3 mm, 용적밀도가 1.22 Mg m⁻³, 유기물 함량은 23.5 g kg⁻¹, 심토에 대한 물리성은 항목별로 경도 20.3 mm, 용적밀도 1.47 Mg m⁻³, 유기물 함량 17.5 g kg⁻¹ 이었다. 토지이용별

로 용적밀도 평균치는 시설재배지 < 논 < 과수원 < 밭 순이었으며, 용적밀도 값의 분포는 표토는 1.0~1.25 Mg m⁻³에서 가장 많았으며, 심토는 밭토양과 논토양은 1.50 Mg m⁻³ 이상에서 50% 내외, 과수원토양은 1.35~1.50 Mg m⁻³에서 40%로 가장 많았고, 시설재배지는 1.0~1.50 Mg m⁻³에 고루 분포하였다. 토성(속)별로는 대체로 식질에서 작은 값을 보였고, 미사식양질과 사질에 큰 값을 보였다. 토지이용과 토성에 따라 물리성 차이가 분명하였으며, 따라서 이러한 특성을 고려하여 토양 물리성 관리 기준을 설정하여 건전한 작물생육 환경을 유지하고 조성하는 것이 필요하겠다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 : PJ006906)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Dexter, A.R. and E.A. Czyz. 2000. Soil physical quality and the effects of management practices. p. 153-165. In Wilson, M.J. and Maliszewska-kordybach, B. (Eds.). Soil quality, sustainable agriculture an environmental security in Central and Eastern Europe. NATO Science Series 2, Environmental Security. vol. 69. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.
- Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality Part I . Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 120:201-214.
- Jo, J.S., B.K. Hur, S.K. Rim, Y.K. Cho, K.T. Um, and M.S. Kim. 1986. Soil physical properties of the nationwide high-yielding pad여 fields. Research Report, RDA. (P.M&U). 28(2):1-5
- Jo, I.S., S.J. Cho, and J.N. Im. 1977. A study on penetration of pea seedling taproots as influenced by strength of soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 10(1):7-12.
- Jung, P.K. and S.J. Oh. 1995. Soil and water conservation of sloped farmland in Korea. In *Proceedings of Soil Conservation and Management for Sustainable Slope Land Farming*. Ping-tung, Taiwan:15-2-15-15.
- Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 1998. Mornitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:246-252.
- Jung, P.K., K.C. Eom, S.K. Ha, Y.S. Zhang, and S.O. Hur. 2009. Assessments of the nutrient losses in the sloped farm land. *Korean J. Soil Sci. Fert. Special Issue* 47-50.
- Jung, Y.S. and H.S. Lim. 1989. Influence of soil texture and bulk density on root growth characteristics and nutrient influx rate of soybean plant. *J. Soil Sci. Fert.* 22(3):221-227.
- Kang, S.W., C.H. Yoo, and S.S. Han. 1999. Effects of improvement of soil physical property & diagnostic fertilization on yield and N-use efficiency in puddled soil drill seeding of rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(3):254-260.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2007. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- OECD. 1999. Environmental indicators for agriculture: Vol. 1. Concepts and framework. Paris, France.
- Peters. J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- Schipper, L.A. and G.P. Sparling. 2000. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:300-311
- Shin, Y.H. and W.K. Oh. 1960. Studies on certain characteristics of high and low productive paddy soils. *Agricultural Experiment Station Research Report* 3. p. 1-16.
- Topp, G.C., W.D. Reynolds, F.J. Cook, J.M. Kirby, and M.R. Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science, vol. 25. p. 21-58. Elsevier, New York, NY, USA.
- Wilson, M.J. and B. Maliszewska-kordybach. 2000. Soil quality, sustainable agriculture an environmental security in Central and Eastern Europe. NATO Science Series 2, Environmental Security. vol. 69. p. 375 Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.
- Wallace, A. and R.E. Terry. 1998. Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. p. 1-41. In Wallace, A., Terry, R.E. (Eds.) *Handbook of Soil Conditioners*. Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Yoon, J.H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:192-198.
- 日本土壤協会. 1986. 農業生産環境情報システム. 農作物生育環境指標 総集. 第1集 土壤環境. 日本土壤協会.