

## 농경지 토양의 토질요소와 평가 방법의 검토

정덕영\* · 이교석

### Review of Evaluation Methods and Soil Quality Factors for Agriculture Soils

Chung, Doug Young\* · Kyo Suk Lee

#### ABSTRACT

In agricultural ecosystem, soils which play important roles of storage and cycling of substances become a critical social problem due to rapid increase of contaminants with respect to our health. Soil as productivity should be interpreted as soil quality, that is important criteria in maintaining sustainable agriculture for production of safe food. Therefore, it needs to set the criteria of soil quality by considering environmental factors including relevant parameters which are involved in soil quality soil health because soils are widely distributed and have various characteristics such as physical, chemical, and biological properties. Therefore, it requires intensive investigation of evaluation methods and development of related parameters for environmentally sound agriculture and safe soil management.

**Keywords** : soil quality, soil environment, parameters, environmentally sound agriculture

#### 1. 서론

현재 우리나라의 농업의 현황 및 문제점을 살

펴보면 그 동안 증산위주의 고투입 농법에 의존  
해 온 화학비료, 농약 사용량은 1990년대 초를  
정점으로 감소추세이나 오랜 기간 동안 지속된

---

충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학 전공 (Dept. of Agricultural chemistry, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

\* 교신저자 : 정덕영 (E-mail : [dychung@cnu.ac.kr](mailto:dychung@cnu.ac.kr), Tel : 042-821-6739)

고투입, 고생산성의 집약농업은 토양의 생산력을 저하시켰을 뿐 아니라, 산업발달과 더불어 도시의 급격한 팽창과 휴, 폐업상태의 광산은 우리의 토양생태계를 급속히 파괴해 왔고, 토양은 물론 그 주변의 수질 및 대기 환경을 오염시키는 결과를 가져왔다(양재의, 이규승, 2001).

한편 정부는 국내 친환경농업의 기반을 구축함과 아울러 GR 등 친환경농업으로 전환하는 국제적 추세에 대처하기 위하여 1997년 12월에 제정한 환경농업육성법 제19조에 근거하여 농약, 화학비료 및 축산분뇨 등의 오염원을 경감하고, 농업환경기반을 보전하려고 노력하고 있다. 이제까지 토양에 대한 주된 관심은 생산성을 향상시키기 위한 작물의 생산에 적합한 토양비옥도 수준에 머물러 있었다. 토양비옥도는 토양 중 작물이 요구하는 양분의 공급 측면만을 의미하며 토양내 양분과 작물의 요구도에 따른 양분수지를 맞추기 위하여 부족한 성분을 유기질 또는 무기태 형태의 비료를 인위적으로 공급해 왔다. 그러나 최근에 들어서 토양이 생태계에서 물질 순환에 있어서 교환과 저장의 가장 중요한 중추로서 인식됨에 따라 토양의 생산성과 환경위해성이 합쳐진 토질(Soil Quality)이라는 개념이 사용되고 있다. 그러므로 현재 정부가 추진하고 있는 친환경농업을 지속적으로 유지하기 위해서는 토질개념에서 토양 관리가 매우 중요하다(박용하, 1997).

따라서 안전 먹거리 생산과 순환환경의 중심에 있는 토양을 보전하고 현대 농업의 목표인 농업 생산성을 유지·향상시키기 위해서는 토질 기준 설정과 기준 설정에 필요한 지표(Index) 요인을 농업적 측면에서 기존의 자료를 근거로 하여 조사하였다.

## II. 본 론

### 토질의 정의

토질은 토양의 생산성을 유지하며 환경의 질을 보전하고 서식하는 생물과 인간의 건강을 유지시키기 위한 생태계의 기능과 관련된 토양의 물리적, 화학적 생물학적 용량의 총체적 질을 의미한다고 대한 정의하고 있다(토양사전, 2000). 그리고 임수길 등(1994)이 토양 질 기준의 설정에 관한 연구에서 토질을 토양오염판단기준, 토양오염 우려기준, 토양오염대책기준으로 구분하였으며 이서래 등(1995)의 토양 중 농약잔류허용량 기준설정 연구에서 토양위해성으로 정의하였다.

환경부(2001)가 설정한 토양오염법 상에서 토질 기준과 관련한 항목을 조사하여 보면 주로 인체에 유해한 물질로 토양이나 지하수내에서 발견되는 오염물질을 중심으로 ① 유류 항목에 석유계 총탄화수소(TPH) 포함, ② 토양 질 기준을 적용하는 토지의 이용 용도를 지역으로 구분하여 분류하였으며 ③ 토양오염물질에 아연, 니켈, 불소화합물, 유기인화합물을 포함하였다. 그러나 이러한 토양질 기준 설정의 다음과 같은 근본적 문제점이 있다.

① 오염물질의 형태에 따라 인체 및 환경에 나타나는 위해성이 다르나 이를 기준에 반영하기 어렵다. ② 토양오염물질의 노출경로를 밝히는 것이 어렵고, 다양하나 이러한 다양한 요소를 기준에 반영하기 어렵다. ③ 사람과 대상생물에 따라 오염물질에 대한 반응이 다르다. ④ 이러한 이유 때문에 기준으로 제시되는 수치는 오염을 결정하는 절대적인 수치(a magic number)가 될 수 없다는 것이다.

**토질 악화 발생 요인**

토양의 질 악화는 농업 내부에서 발생하는 내부 요인과 농업 외부에서 오는 외부 요인으로 나누어 볼 수 있다. 내부적 요인의 원인은 잘못된 토양 관리에 의한 인위적 요인이 가장 크다. 토양의 질 중에서 농민들의 관심이 가장 많은 것이 토양의 산성화와 양분의 불균형이다. 토양을 산성화시키는 요인으로 비료의 부적절한 사용과 산성 폐수의 유입, 산성비의 영향을 들 수 있다.

Fig. 1은 토질이 저하되는 요인과 가정을 보여 주고 있다. 예를 들어 지표면 가까이에서는 침식 작용에 의해 물리화학적 변화가 일어나게 되며, 동시에 물리적 작용에 의해 토양의 질에 영향을 준다. 그리고 심층부 토양은 표층에서의 변화 정도에 따라 차이를 보이기는 하지만 동반되는 질적 변화를 가져오게 된다.

이러한 질적 변화는 표층에서는 수식 또는 풍식에 의한 침식, 유기물 손실, 토양구조 변화, 과도한 농약 시비 등에 의한 염류집적과 유해물질의 집적, 압밀화(Compaction) 그리고 심층 토양에서의 압밀, 염류집적, 영양요소와 유해물질 토양으로부터의 용탈이 지속적으로 발생한다.

**외부적 토질 악화 요인-유해물질 오염**

산업 활동, 농경, 주거 등 인간의 활동이 전혀 없는 상대 하에서 존재하는 원소의 자연농도를 배경치(Background level) 또는 자연함량이라 하며 우리나라 비오염 산림토양 중 모암특성별 퇴적층 내 0.1N-HCl 침출 중금속 자연함량을 조사한 결과 자연함량은 토양의 생성과정에서 유래된 모암 특성의 영향이 크며, Cd함량의 경우 퇴적암, 변성암, 화성암 유래 토양의 순이다(농업과학

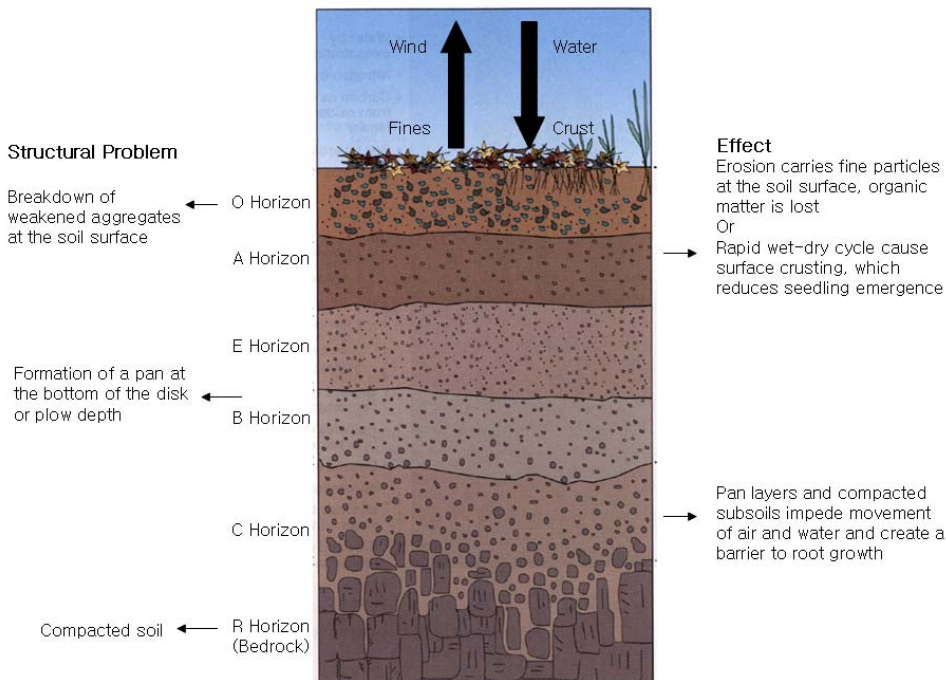


Fig. 1. Structural problems throughout the soil profile in soil quality deterioration

Table 1. Heavy metal concentrations in soil amendments, expressed in ppm on a dry weight basis

| Soil amendment                 | Cd  | Co | Cr  | Cu  | Ni | Pb  | Zn  |
|--------------------------------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|
| Triple superphosphate (0-46-0) | 9   | 5  | 92  | 3   | 36 | 3   | 108 |
| Urea (46-0-0)                  | 0.1 | 1  | 3   | 0.4 | 1  | 3   | 1   |
| Potassium chloride (0-0-60)    | 0.1 | 2  | 3   | 0.6 | 4  | 3   | 1   |
| Agricultural lime              | 0.1 | 1  | 3   | 0.2 | 5  | 3   | 2   |
| Cow manure                     | 1   | 6  | 56  | 62  | 29 | 16  | 71  |
| Sewage sludge                  | 5   | 5  | 350 | 660 | 35 | 980 | 800 |

기술원, 2003). 또한 국외 예서도 토양의 중금속 배경치는 모암특성에 영향을 받으며, 모암별 함량차이는 Cd, Cu 및 Zn은 퇴적암의 토양에서, Pb는 변성암의 토양에서 높은 것처럼 광물학적 및 지질학적 차이에서 연유된다고 하였다(Adriano, 1992; Roevaet et al., 1996).

2000년도 환경부가 조사한 전국 토양 망 조사 결과를 보면 우리나라 농업토양 내 중금속 자연 함유량은 Table 1과 같은데 일반적으로 논과 밭 토양은 비슷한 수준이지만, 1996년의 발표한 결과를 보면 카드뮴과 아연은 밭에서 약간 많고, 납은 논에서 약간 높은 것으로 보고되었다. 특히 채소와 과수 재배지에서 아연함량이 높게 나타나는데, 이는 사용하는 비료의 특성에 기인하는 것으로 알려졌다.

농업과학기술원 (2003)이 조사한 토양오염원별 논토양 내 중금속 함량은 조사한 결과 토양오염 우려기준이나 대책기준을 초과한 면적이 233.7 ha나 되는 등 문제가 있는 것으로 보고하였다. 그리고 토양 개량제나 비료로 사용되고 있는 농자재 내에 포함되어 있는 중금속 양을 조사한 결과 Cr은 Triple superphosphate, Cow manure, Sewage sludge에서 허용치를 초과하고 이외에도 Cu나 Ni의 경우 Cow manure Sewage sludge에서 허용치를 초과하는 것으로 보고하였다(Table

1). 따라서 실제 우리가 친환경 농업자재로 생각하는 유기물도 토질 악화의 외부 요인으로 작용함을 알 수 있다.

한편 토양 내에 존재하는 영양원소들이 어느 정도 이상을 초과하게 되면 Cu와 같이 작물생산에 장해요인으로 작용한다(Table 2). 특히 토양 오염원 중 용해성이 높은 유기물 및 무기염류는 토양 중에서 용탈이나 용해되어 토양 내 축적성이 적으나, 중금속류는 이동성이 적어 토양 내에 유입되면 토양입자 표면에 흡착되며 장기간 축적될 경우 식물의 생육피해와 먹이연쇄를 통하여 직·간접으로 사람과 가축에 피해를 주므로 토질 저하의 요인으로 작용한다.

미국 농무성이 정한 토양의 CEC를 기준한 중금속의 잔류 허용치는 Table 3과 같다. 따라서 토양내 잔류하는 중금속 함량이 권장 기준치 이하로 존재할 때는 토질에 영향을 미치지 않는 것으로 간주할 수 있다.

#### 유기화합물

농경지 토양에 잔류하는 유기화합물은 농약류와 비농약류로 나눌 수 있다(Table 4). 이러한 유기화합물은 토양입자 표면에 흡착 또는 유기물 등과 반응하여 토양에 잔류하게 되며 이러한 잔류된 유기화합물은 지하수로 이동되거나 식물체

Table 2. Heavy metals in plant and animal functions.

| Element       | Essential or beneficial to |         | Potential toxicity to |                             |
|---------------|----------------------------|---------|-----------------------|-----------------------------|
|               | Plants                     | Animals | Plants                | Animals                     |
| Arsenic (As)  | No                         | Yes     | Yes                   | Yes                         |
| Cadmium (Cd)  | No                         | No      | Yes                   | Yes                         |
| Chromium (Cr) | No                         | Yes     | Yes                   | DU                          |
| Cobalt (Co)   | Yes                        | Yes     | Yes                   | Yes                         |
| Copper (Cu)   | Yes                        | Yes     | Yes                   | Yes <sup>b</sup>            |
| Lead (Pb)     | No                         | No      | DU <sup>a</sup>       | Yes                         |
| Mercury (Hg)  | No                         | No      | DU                    | Yes                         |
| Molybden (Mo) | Yes                        | Yes     | Yes                   | Yes <sup>b</sup> (5-20 ppm) |
| Nickel (Ni)   | No                         | Yes     | Yes                   | Yes                         |
| Selenium (Se) | Yes                        | Yes     | DU                    | Yes (4 ppm)                 |
| Zinc (Zn)     | Yes                        | Yes     | Yes                   | DU                          |

<sup>a</sup>DU = Critical data oil limits unavailable.      <sup>b</sup>Toxic to ruminants (sheep, cattle)

Table 3. soils Recommended maximum concentrations of heavy metals based on their cation exchange capacities (CEC).

| CEC <sup>a</sup> | Cu    | Co  | Hg   | Cd  | Cr  | Zn  | Pb | Ni |
|------------------|-------|-----|------|-----|-----|-----|----|----|
|                  | (ppm) |     |      |     |     |     |    |    |
| CEC > 15         | 50    | 34  | 0.14 | 2.4 | 120 | 160 | 70 | 60 |
| CEC < 15         | 25    | >17 | 0.07 | 1.2 | 60  | 80  | 35 | 30 |

\*a) Measured as milliequivalents per 100grams.

Table 4. Concentrations of some organic contaminants in agricultural soils, expressed on a dry weight basis.

| Pesticides                      | Nonpesticide compounds                      |
|---------------------------------|---|
| Organochlorines <35 ppb,        | Total PCB <0.2 ppm                          |
| Total DDT <70 ppm               | Polynuclear aromatic hydrocarbons <0.05 ppm |
| Organo-P compounds <25 ppb      | Naphthalene <1.2 ppm                        |
| Neutral herbicides <50 ppb,     | Haloethers <0.14 ppm                        |
| Metolachlor <120 ppb            | Chlorinated benzens <0.06 ppm               |
| Phenoxy acid herbicides <60 ppb | Nitrosamines <0.06 ppm                      |
| Carbamate herbicides <0.15 ppm  | Phthalate esters <1 ppm                     |
|                                 | Phenols and cresols <0.19 ppm               |
|                                 | Phenol <1 ppm                               |
|                                 | Pentachlorophenol <0.4 ppm                  |
|                                 | Heterocyclic N and other compounds <0.2 ppm |

로 흡수되어 인체에 영향을 미치게 된다. 이와 같이 토양에 잔류하는 유기화합물도 토질을 저하시키는 요인으로 작용한다.

**토질 기준**

미국 국가토양자원관리 위원회는(NRCS, 1981, 1996, 1997) 토질을 "the soil's fitness to support crop growth without resulting in soil degradation or otherwise harming the environment"이라 정의하며 토양건강(Soil health)와 혼용으로 사용하기도 한다. 여기서 Soil health는 an indicator of environmental health and, like human health, provides an overall picture of the condition of many properties and processes"로 정의하고 있다.

토양의 질을 진단하는 기준은 토양 생태계에서 기능에 따라 최소한의 지표를 설정하는 분명한 척도로서 조사된 자료를 근거로 해야 한다 그것의 갖추어야 할 요건으로는 1)농업생태계의 현상을 잘 나타내야 하고, 2)토양의 물리, 화학 그리고 생물학적 특성을 파악할 수 있으며, 직접적으로 측정하기 어려운 토양의 특성과 기능을 추정하는데 필요한 기초 자료로 사용할 수 있어야 하며, 3)현장 조건에서 쉽게 판단할 수 있으며, 4)관리와 기후 등에 의한 장기적인 변화가 나타날 수 있어야 하며, 단기적인 변화에 너무 민감한 요소는 피해야 한다(Arshad 등, 1992, 1996; Doran and Parkin, 1994, 1996).

토양 중 가장 민감하게 변화되는 부분은 10년

**Table 5. Soil properties measured at benchmark sites.**

| Degree of Sensitivity                         | Factors   |
|---|---|
| Sensitive properties <sup>1</sup>             | Soil reaction (pH)  |
|   | Available P and K   |
|   | Organic carbon  |
|   | Total nitrogen  |
|   | Bulk density  |
|   | Dry-aggregate slze  |
|   | <sup>137</sup> CS distribution                                    |
| Moderately sensitive properties <sup>3</sup>  | Extractable Fe-Al <sup>2</sup>                                    |
|   | Exchangeable cations  |
|   | Carbonates  |
|   | Soil moisture retention   |
| Nonsensitive properties <sup>4</sup>          | Particle - size distribution <sup>5</sup>                         |
|   | Clay mineralogy   |
|   | Total surface area  |
|   | Total elements (Al, Ca Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Pb, Zn) |
| Properties measured in the field <sup>6</sup> | K <sub>sat</sub> and Near-K <sub>sat</sub>                        |
|   | Soil moisture   |
|   | Biopore and root counts   |
|   | Crop Yields   |

\*1)Measured every 5 years. 2)For Podzolic soils only. 3)Measured every 10 years. 4)Measured only at the beginning on the observation period to establish baseline data. 5)Heavy application of N and K fertilizer may alter some silicate clays and special studies may be needed. 6)Measured in the field annually. 7)only in areas with potential salinity problems.

Table 6. Physical indexes to evaluate the soil quality

| Category               | Function                         | Evaluation Unit                         |
|------------------------|----------------------------------|---|
| Soil texture           | Water content, solute transport  | % of sand, silt, and clay               |
| Bulk density           | Biological activity and leaching | Volume and mass                         |
| Soil Water             | Available water holding capacity | % water content                         |
| Soil Depth             | Soil productivity                | Water table                             |
| Hydraulic conductivity | Percolation                      | cm S <sup>-1</sup>                      |
| Erosivity              | Soil erosion                     | ton ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> |

이내에 변화과정을 거쳐 특성이 변화되는 토양의 요소로 토양 pH나 경지정리 등 자연적 힘에 의해 변형되는 용적밀도 등이 이에 속한다(Gregorich, 1994). 그리고 덜 민감하게 변화되는 부분은 풍화와 같이 수십 년간에 걸쳐서 변화되는 CEC 등이 속하며, 민감하지 않은 부분은 100년 이내에도 거의 변화가 없는 점토광물 또는 입자의 배열이 여기에 속한다(Table 5).

Rodale Institute (1991)는 지역, 유역 또는 포장 단위 기준에서 토양의 질 변화를 감시하는 주요 토양 특성을 정하는 실행 방안을 제시하였다. 이는 다음과 같은 요소로 구성되어 있다. 즉, 1) 농업생태계(주 토지 이용 또는 경작시), 2) 토양의 질 3요소(생산성, 환경 그리고 건강), 3) 중간 토양 지표(경운성, 비옥도, 유해물질), 4) 1차 토양 특성, 5) 2차 토양 특성 등이다.

Larson과 Pierce는 최소한의 필요 조사 자료로 일컬어질 수 있는 몇 가지 주요지수를 선택하여 조사함으로써 토양의 질을 측정할 수 있다고 하였다. 토양의 질 변화는 어느 기준점으로부터 개개 특성 기여 요소의 변화의 총화로 평가될 수 있다. 토양의 특성 기여 요소는 토성, 유기물, pH, 양분 상태, 용적 밀도, 전기 전도도, 근권 깊이 등의 토양의 특성을 포함한다. 다른 성질들은 토양의 질 평가에 사용하기 위하여 토양의 다른 특성과 성질을 서로 연관하여 토양특성 환산식의

관계를 통하여 최소의 자료로부터 얻어낼 수 있다고 제안하였다.

### III. 평가 항목과 방법

#### 토양의 물리적 질

우리나라에서는 토양의 특성으로부터 비옥도를 평가하기 위한 시도는 오래전부터 있었다. 한 예로 입경분포가 물리적 변수로 포함되어 있었으나 이들의 연구에서도 토성 이외의 물리적 질을 계량화 하지는 못했다. 그리고 작물의 생산성과 관련된 토양의 물리적 특성들의 영향은 어떤 한 요소로만 생산성이 결정되는 것은 아니며, 많은 요인이 서로 얽혀서 작용하고 있다. 그러므로 생산성을 환경 문제와 관련지어 토양의 물리적 조건을 단순하게 계량화하여 평가하는 것은 불가능에 가까운 일이라고 할 수 있다. 또한, 어떤 시점에서 다른 여러 가지 요소들이 동시에 계량화되지 않는 한, 그 측정된 요소는 토지 이용과 관련에 의하여 더 크게 변화할 수 있다(Table 6). USLE(Universal Soil Loss Equation)이나 WEQ(Wind Erosion Equation)와 같이 물이나 바람에 의한 침식에 대한 토양 관리법의 영향을 평가할 수 있는 것과 마찬가지로 토양 자원의 물리적 조건에 대한 관리 체계의 영향을 평가할 수 있는 방법이

Table 7. Soil chemical properties measured at benchmark sites.

| Degree of Sensitivity | Factors                               |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Sensitive             | Soil reaction (pH), Available P and K |
|                       | Organic carbon, Total nitrogen        |
|                       | Extractable Fe-Al, EC                 |
| Moderately sensitive  | CEC, Exchangeable cations             |
|                       | Carbonates,                           |

필요하다. 토지 이용과 관리 투입 조건에 대한 응수로 토양의 조건을 추적해 나가기 위한 지표의 설정에 많은 요인이 고려되어야 한다.

토양의 물리적 조건에 영향을 가장 크게 미치는 토양 특성은 토성, 물의 상태, 용적밀도, 입단, 공극률, 유기물 함량, 토양 강도와 견지성 등이다. 그러나 이들 요인들은 독립적이지 않고, 하나의 성질이 변화될 때 다른 성질도 따라서 변하게 된다. 예를 들어 입단의 변화는 공극률과 용적밀도의 변화를 가져오게 되며, 토양의 강도와 견지성에도 변화를 가져오게 된다. 토양의 물리적 성질의 차이가 작물의 생산성에 미치는 영향이 극단적인 경우를 제외하고는 화학적인 비옥도 또는 비료의 사용이 작물 생육에 미치는 영향만큼은 뚜렷하지 않다.

### 토양의 화학적 질

토양의 질 악화의 원인은 첫째로 잘못된 토양 관리에 의한 토양의 화학적 특성변화의 요인이 가장 크다고 할 수 있다. 토양의 질 중에서 농민들의 관심이 가장 많은 것이 토양의 산성화와 양분의 불균형이다. 토양을 산성화시키는 요인으로 비료의 부적절한 사용과 산성 폐수의 유입이나 산성비의 영향을 들 수 있다. 전자는 우리 농업 내부에서 발생하는 요인이며, 후자는 농업외부에서 오는 요인이다. 이러한 내외부적인 요인을 가

지고 있는 토양의 화학성은 Table 7과 같으며 요인에 따라 토양에 미치는 영향이 정도가 다르다.

### 토질평가방법

우리나라에서 토양의 물리적 질의 지표화에 대한 시도는 아직 없으며, 토양조사에서 사용되고 있는 토지 이용 등급이 이용되고 있다. 따라서 미농무부의 토양보전국은 작물관리체계에 따라서 토양의 질을 등급화 할 수 있는 방법을 개발하여 사용하고 있다.

Karlen 등(1994)은 토질 개선 평가 방법을 토양의 질을 높이기 위한 목표 설정부터 각각의 요인을 점수화하여 평가하기 위한 항목 총 5개로 나누어 설정하였다.

- ① 양질의 토양에 대한 목표 설정(Set goals for high-quality soil)
- ② 토질 요인을 결정하기 위한 양질 토양 기준 설정(Set criteria for high-quality soil in order to determine soil quality indices)
- ③ 토질의 정의와 목표에 따른 등급기준(Rank criteria according to goals and definition of soil quality)
- ④ 등급기준에 따른 각 변수 별 가중치 부여 (Give a weight to each parameter according to the rank of criteria)
- ⑤ 주어진 토양의 수치화된 값을 얻기 위하여 모



든 가중치 변수를 합할 것(Add up all weighted parameters to obtain a numerical value for a given soil)

경작지의 관리 체계가 토양의 물리적 조건과 생산성에 대한 영향을 정량화한 지표의 등급화 개념을 채택한 접근 방법은 세 가지 주요 변수가 토양의 질에서 보이는 경향에 대한 복합적인 효과를 예측할 수 있는 토양의 질 등급 모델을 개발하였다(Ellert, 1994). 주요 변수는 1) 토양의 유기물 함량을 높이거나 유지하기 위해 토양에 돌려주어야 할 유기물 양, 2) 관리체계와 연관된 토양 유실 예측 량의 영향, 그리고 3) 경운 체계의 물리적 영향 등이다. 토양 조건 등급 모델은 공식 1과 같다.

$$SQR = OM + YP + ER \quad \text{[공식 1]}$$

여기서 SQR은 토양의 질 등급, OM은 미분해 유기물을 포함하여 작물의 잔재물로서 토양에 돌아간 것과 외부에서 투입된 것을 모두 포함한 유기물에 의한 부요소, TP는 경운, 파종, 시비 등 모든 농작에 관련된 부분으로, 작물의 비 수확 잔재물의 파쇄 및 토양 혼입, 통기 등에 영향을 주는 모든 농작의 영향을 고려하는 부요소, ER은 USLE나 WEQ로 예측될 수 있는 토양 유실에 의하여 지표의 토양이 이동되고 집적됨에 따른 영향을 고려하기 위한 토양 유실 부요소이다(Sarrantonio, 1996).

SQR은 토양 유기물을 유지 또는 증진하고, 토양의 물리적 조건을 개선할 수 있는 생물학적 측면에서의 여러 과정을 강화시킬 수 있는 농경 방법의 평가에 사용하기 위한 것이다. 등급화는 작부 순환, 토양의 경운, 그리고 다른 투입 요소 등이 토양의 질에 긍정적일지 또는 부정적일지 변

화의 방향을 알 수 있다. 등급화의 이용은 토양 유실 예측에 USEL나 WEQ를 사용하는 것과 같이 관리체계가 토양 자원의 물리적 조건에 미치는 장기적인 영향을 예측하기 위한 것이다.

Larson과 Pierce (1991) 등은 다변수 지수 크리깅이라고 불리는 산출과정을 개발하였는데, 이는 지형도에 토양의 질을 도시하기 위하여 연속된 변수의 한 세트를 단일한 지수로 축합하는 것이다. 토양의 질 요소의 임계값은 하나의 판단 과정으로 독립적으로 결정된다. 예를 들어 작물의 적정 생산을 위한 pH의 임계값은 4와 7이 최소 및 최대 임계값이다. 마찬가지로 어떤 특정 작물에 대한 침투속도, 총 용적밀도 등에 대한 값들이 설정된다. 각각의 자료는 선택된 임계값에 따라 0 또는 1로 변환된다. 이 변환은 편되되거나 변이 폭이 큰 자료를 비요소 지질통계학적 방법에 의하여 가능케 한다.

MVIK법은 지수 크리깅법의 확장법으로, 여러 가지 토양 특성 요인을 하나의 새로운 지수로 축합하는 강력한 수단이며, 새로운 지수의 변이분포도를 작성할 수 있게 한다. 변이분포도는 크리깅에 의하여 토양시료가 채취 및 분석되지 않은 다른 지역의 지수를 추정하는데 이용된다. 그리고 지형도에 특정한 토양의 질의 범주에 해당하는 확률을 나타내는 지도를 만들게 한다(USDA, 1981, 1994, 1996).

MVIK법의 가장 뚜렷한 효용성은 토양의 질의 척도로 사용된 독립적 요소의 수가 몇 개이든지 하나의 지도로 축합되어 나타낼 수 있다는 점이다. 어떤 하나 또는 그 이상의 변수가 특정한 범주를 충족시키지 못하였을 때, 수용 가능한 토양의 질 수준이 낮은 것으로 등고선에 나타나게 된다. 게다가 양호한 토양의 질이 되기 위한 확률이 낮은 지점에 대하여 어떤 토양의 질 요소가

문제인지를 추가로 분석할 수 있다.

MVIK법은 다른 작부 체계와 농업생태계에서 요구되는 다른 토양의 성질에 대하여 임계값의 수준의 조정을 허용하는 유연성을 갖추고 있다. MVIK법을 사용할 때 특히 고려되어야 하는 것은 이 방법에서 다른 토양 특성에 대한 임계값의 선택에 있어서의 결정 과정이다. 어떤 하나의 변수에 대한 작은 임계값 변화에 따라 전체 토양의 질 분포도가 크게 변할 수 있기 때문이다. MVIK 접근법은 토양 시료 채취 장소와 시료 수에 따라서 포장, 농장 유역 또는 지역 단위에서 적용할 수 있다. 반복된 시료의 채취와 평가는 토양 물리성의 변화를 결정하기 위한 수단이다. 따라서 어느 지역에서 주어진 관리체계 하에서 토양의 질이 악화되는 가 혹은 개선되는 가 또는 변화가 없는가를 알 수 있다. 이 기법은 어떤 지역에서 특정한 문제의 원인을 알아내는 데에도 도움을 준다.

#### IV. 결 론

토양은 그 분포 범위도 다양하고, 토양의 질에 관여하는 여러 환경적 요건의 변화도 다양하기 때문에 토질을 평가하기 위한 일정한 평가체계를 설정하기는 쉽지 않다. 국내 농경지 토양의 경우 토양 자체의 질 저하 뿐만 아니라 외부로부터 유입되는 중금속과 같은 오염 그리고 대기나 사용 되는 농자재에 의한 산성화 등 토질 저하가 심각하다. 특히 일본과 유럽연합(EU)은 쌀을 포함해 채소류와 과일류 등까지 중금속 관리 기준을 설정하여 이러한 기준을 충족하기 위한 토질 기준안이 마련돼 있지만 현재 우리나라는 농산물 가운데 쌀에 대해서만 카드뮴 관리기준(기준규격

2ppm 이하)이 마련돼 있으나 이러한 오염물질의 농작물로 전달하는 토양에 대한 규정은 전무한 상태이다. 따라서 안전농업을 추진하기 위하여 근본적 해결책인 토양 관리 방법과 기준이 설정되어야 한다. 그러기 위해서는 토질 개념을 정립하고 토질에 관여하는 요인과 변수들을 개발하여 이에 따른 토양 관리 방법을 제시해야 한다.

토질을 정의 시 기준은 토양의 물리성, 화학성, 생물학적 특성의 구성 요소와 이에 따르는 변수들이 포함되어야 하며 또한 적용 방법에 따라 가변성을 지니고 있어야 한다. 그리고 토지 이용도별로 토양오염기준을 달리 설정할 경우 토지 이용을 변경할 수 있는 평가 기준이 설정되어야 한다.

#### V. 적 요

생태계에서 물질 순환에 있어서 교환과 저장의 가장 중요한 역할을 하는 토양은 급격한 농업생태계 내 유해 물질의 증가로 국민건강과 관련한 사회적 문제로 대두되었고 있다. 이러한 토양은 토양의 기본 특성인 생산성과 환경요인이 복합된 토질 (Soil Quality)이라는 개념으로 해석되고 있어 지속적으로 친환경농업을 유지하기 위한 토양 관리지표는 매우 중요하다. 토양은 분포 범위도 다양하고, 토질에 관여하는 여러 환경적 요건의 변화도 다양하므로 토질에 관여되는 각 변수들에 대한 환경 위해성을 고려한 토질 기준 설정이 필요하다. 그리고 친환경 농산물의 생산을 위한 토양 관리 방법과 기준은 여전히 미흡한 실정므로 토질 개념화의 변수들을 파악하고 이에 따른 토양 관리 방법에 대한 연구가 필요하다.

인 용 문 헌

1. Arshad, M.A., and G.M. Coen, 1992. Characterization of soil quality Physical and chemical criteria. Am. J. Altern. Agric. 7:25-31.
2. Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman, 1996. Physical tests for monitoring soil quality. p.123-142. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
3. Doran J W., A.J. Jones editors, 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Publ. No. 49. Soil Science Society of America., 677 South Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
4. Doran J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicsek, and B.A. Stewart editors, 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Publ. No.35. Soil Science Society of America, 677 South Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
5. Gregorich, E.G., M.R. Carter, D.A. Angers, C.M. Monreal, and B.H. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Can. J. Soil Sci. 74:367,385.
6. Ellert, E. K. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Can. J. Soil Sci. 74:367-385.
7. Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:4~10.
8. Larson, W.E., and F.J. Pierce, 1991. Conservation and enhancement of soil quality. p. 175,203. *In Ealuation for sustainable land management in the developing world*. Vol. 2. IBSRAM Proc. 12 (2). Bangkok, Thailand. Int. Board Soil Res. Manage., Bangkok,Thailand.
9. Rodale Institute. 1991. Soil Health Demostraton Protocols Rodale Institute.
10. Sarrantonio, M., J.W. Doran, M.A. Liebig, and J.J. Halvorson, 1996. On-farm assessment of soil quality and health. p.83~106. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
11. USDA, Soil Conservation Service. 1981. Land Resource Regions and Syst. 21:129,166. Major Land Resource Areas of the United States. USDA-SCS, Agric. Handb. 296. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
12. USDA-NRCS. 1996. Soil survey laboratory methods manual, Soil Survey Investigations Rep. 42, Ver. 3.0. National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
13. USDA, Economic Research Service. 1997. Agricultural resources and environmental indicators, 996-1997. Agric. Handb. 712. U.S. Gov.Print. Office, Washington.
14. 농업과학기술원. 2000. 밭토양환경보전관리기술 종합보고서. 농업과학기술원.
15. 농업과학기술원. 1992. 한국토양총설. 농업과학기술원.
16. 농업과학기술원. 2000. 농업환경변동 대책연구. 농경지 중금속함량 변동조사. p33~60.
17. 박용하. 1997. 토양 질 측정자료의 관리체계 구축 방안. 한국환경정책평가위원회.
18. 양재의, 이규승. 2001. 농업환경. 한국환경농학회. p149~176.
19. 이서래. 1995. 수질 및 토양 중 농약잔류 허용기준 설정. 한국환경과학협의회.
20. 임수길. 1994. 토양 질 기준의 설정에 관한 연구. 한국환경과학협의회.
21. 환경부. 2001. 토양환경보전법.