

유기농 실천 논토양의 이화학적 특성

홍승길[†], 박광래, 김진호*, 안민실, 이초롱, 김민기, 김석철

국립농업과학원 농업환경부 유기농업과
전라북도농업기술원 기후변화대응과*

Properties of Organically Practiced Paddy Soils

Seung-Gil Hong[†], Kwang-Lai Park, Jinho Kim*, Minsil Ahn, Chorong Lee,
Min-Gi Kim, Seok-Cheol Kim

Organic Agricultural Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
Climate Change Division, Jeollabukdo*

(Received: Nov. 21, 2016 / Revised: Dec. 2, 2016 / Accepted: Dec. 6, 2016)

ABSTRACT: To produce the primary data for best management of soil nutrient in organically practiced soils, 75 leading organic farms whose paddy fields were certified as organic were selected. Soil samples were collected from the paddy fields before plowing, and then analyzed for the determination of physico-chemical properties. Soil pH, organic matter and available phosphate were analyzed and averaged 6.2, 25.6 mg kg⁻¹ and 88.4 mg kg⁻¹, respectively. Contrary to the national-scale-surveyed paddy soils including organic and conventional farming, pH was higher, available phosphate was lower in the organically practiced soils, but organic matter was similar. With the increasing cultivation period in organic, soil pH and porosity were also increased, EC, available phosphate, bulk density and soil hardness were lower than those from the national survey. Organic matter, however, was not significantly changed. The bulk density was negatively correlated with the organic matter content for both surface topsoil ($R^2 = -0.5424$) and subsoil ($R^2 = -0.6429$) ($p < 0.05$). Soil quality is improved in most of soil chemical and physical composition factors excluding organic matter and available phosphate. However, it is necessary to establish the counter measure plan for organic matter management and to develop phosphate-containing materials which can be used as organic agricultural material in the future.

Keywords: Organic farming, Paddy soils, Organic matter, Physico-chemical properties

초 록: 최적의 유기농경지 토양 관리 기준 및 양분 관리 방안을 제시하기 위한 기초자료를 만들기 위해 유기농 인증을 받은 국내 75개 선도 농가를 선정하고, 논 토양에서 이앙 전에 토양 시료를 채취하여 이화학적 특성을 분석하였다. 유기농 토양은 평균적으로 pH 6.2, 유기물 25.6 mg kg⁻¹, 유효 인산 88.4 mg kg⁻¹이나 편차가 크게 나타났으며, 유기농과 관행농을 포함한 전국 규모 토양조사 결과에 비해 pH는 높게 나타났고, 유효 인산은 낮게 나타났으며 유기물은 비슷한 수준을 보였다. 한편 재배년수에 따라 토양 pH와 공극률은 높아지고 있었으며, EC와 유효인산, 용적밀도, 토양 경도는 낮아지고 있었으며, 유기물은 차이를 보이지 않았다. 용적밀도는

[†] Corresponding Author (e-mail: dewyhong@korea.kr)

표토($R^2=-0.5424$)와 심토($R^2=-0.6429$) 모두 유기물과 부의 상관관계를 나타냈다($p<0.05$). 조사 결과 유기물과 유효 인산을 제외한 대부분의 토양 이화학적 인자들에서 토양의 질이 향상되고 있어, 향후 유기물 관리 대책 수립과 유기농업자재로 사용가능한 인산 자재의 발굴이나 개발이 필요한 것으로 사료되었다.

주제어: 유기농업, 농토양, 유기물, 이화학적 특성

1. 서론

농업 생산량 증가를 목적으로 경작하던 기존 농업 활동은 화학적인 농업 자재와 에너지를 많이 투입하는 집약적 방법을 사용하여 최근 양분 유출로 인한 수계 오염, 토양 침식과 같은 환경 문제를 초래하였다. 이에 반해 수 천 년간 경작해오던 방식으로 양분을 순환하며 화학비료와 농약을 사용하지 않는 유기농업은 토양 유기물 함량을 증대시키고 토양의 질을 향상시키는 것으로 평가되고 있다.

유기농 선진국으로 일컬어지는 독일과 스위스와 같은 유럽국가에서는 유기 농업을 수행하기 위해서 녹비작물, 두과작물 및 심근성 작물 재배를 통해 지력 증진을 한 후에 윤작의 형태로 다른 작물을 재배하는 것과 달리, 국내에서는 토양의 지력 증진을 위하여 유기물 시용에 의존하여 과량의 유기물이 시용되고 있다¹⁾.

토양 구조는 통기성, 수분 및 양분 접근성, 배수, 내식성, 뿌리 발달 등을 결정하기 때문에 토양내에서 일어나는 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 중요한 영향을 끼친다. 유기농업은 유기물 증가²⁻³⁾, 토양 미소동물 개체수 및 종다양성 증대, 미생물 활성 촉진³⁻⁵⁾, 토양 비옥도 증대 등과 같은 토양 특성과 연계되기 때문에 관행 농업에 비해 토양 구조와 기능 향상에 기여⁶⁾하는 것으로 알려져 있으며, 특히 스위스 유기농업연구소(FiBL)³⁾에서는 21년간의 장기 연용 시험을 통해 유기농과 관행농의 환경 영향

을 비교하여 유기농에서 유기물 함량과 미생물 활성 증가로 기후변화와 관련하여 토양 탄소 저장 효과도 있다고 보고하였다.

하지만 유기농 토양에 관해 국내에서 실제 연구된 결과는 아직 많지 않은 실정이다. 유기질퇴비 투입으로 인한 물리성 개선효과⁷⁾, 유기물과 총질소⁸⁾, 토양 pH, 유기탄소 및 유효인산 함량⁹⁾, 종다양성 및 지렁이 개체수 증가 등 유기농업의 긍정적인 효과가 많이 보고되고 있다. 반면 일부 연구에서는 유기농경지에서의 과도한 양분 함량⁷⁾을 지적하기도 하는데, 특히 논 토양에서 인산 과량 축적을 보고하기도 하여¹⁰⁾ 유기농 실천 농가 토양에 대한 체계적인 연구가 필요성이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 최적의 유기농경지 토양 관리 기준 및 양분 최적관리 방안을 제시하기 위한 기초자료를 만들기 위해 유기농을 실천하고 있는 국내 논 토양에 대한 토양 이화학적 특성 조사를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취 및 농가조사

유기농 인증을 받은 벼 재배 농가를 대상으로 지역별 유기재배 논 경지면적 비율, 시군별 면적비율로 구분하고 토성과 기후시대별로 분류하여 75 농가를 선정하였다[Table 1].

Table 1. Distribution of organically practiced paddy rice farms sampled in this study

Province	KW	GG	CB	CN	JB	JN	KB	KN	Total
Area for organic paddy rice (ha)	579	1,029	768	1,000	752	1,723	1,050	1,073	8,288
Distribution Ratio (%)	7.26	12.9	9.63	12.54	9.43	21.61	13.17	13.46	100
Number of farms surveyed	5	10	7	10	7	16	10	10	75

* KW: Kangwon, GG: Gyeonggi, CB: Chungbuk, CN, Chungnam, JB, Jeonbuk, JN: Jeonnam, KB: Kyungbuk, KN: Kyungnam

2014년 3~5월에 걸쳐 선정된 농가를 방문하여 재배전 토양을 채취하고, 유기농 토양 양분관리를 위해 사용된 유기농자재와 사용량 등 재배 이력을 조사하였다

2.2 토양 분석

시료 채취시 산중식 경도계(DAIKKI, Japan)를 이용하여 논 토양의 경도를 측정하였고 작토심을 기준으로 표토와 심토를 구분하여 각각 100 cm³ 코어를 이용하여 용적밀도와 공극률 및 토양 3상을 측정하였다. 화학성시료는 농촌진흥청 표준분석법¹¹⁾에 따라 유기물층을 제거한 후 토양을 채취하고 그늘에서 풍건하여 2 mm 체를 통과시킨 후 pH, EC, 유효인산, 유기물, 총 질소, 치환성 양이온 및 유효 규산 함량 등을 분석하였다.

토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로

하여 pH meter(iSTEK, CP-500L, Korea)와 EC meter를 이용하였고, 유기물과 총질소는 원소분석기(Elementar, Vario Max CN, Germany)를, 유효인산은 Lancaster법으로 유효규산은 몰리브덴 청법으로 UV-VIS spectrophotometer(SHIMADZU, UV-2600, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한 토양 내 치환성양이온은 1N Ammonium Acetate(pH 7.0)로 침출하여 유도결합플라즈마분광계(GBC, Integra XL Dual, Australia)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

유기농가에서 유기농 농토양에 사용하고 있는 유기물 자원과 토양에 환원하기 위하여 재배하는 녹비작물의 현황은 [Fig. 1]에 나타나 있다. 중복 사용을 포함하여 나타난 이 결과에서 보면 벼 수확후 밭

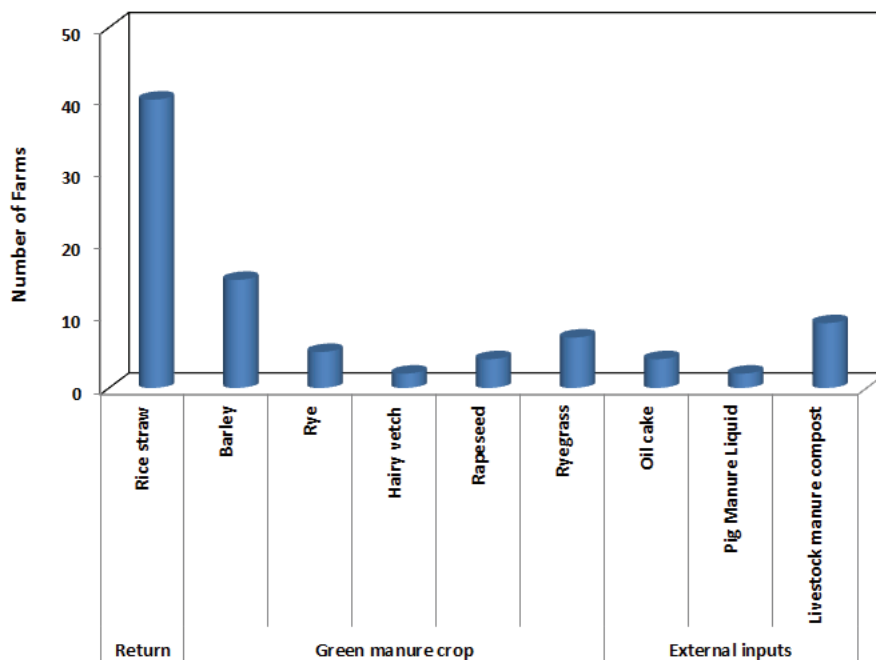


Fig. 1. Types of organic input materials to the paddy soils organically practiced in this study.

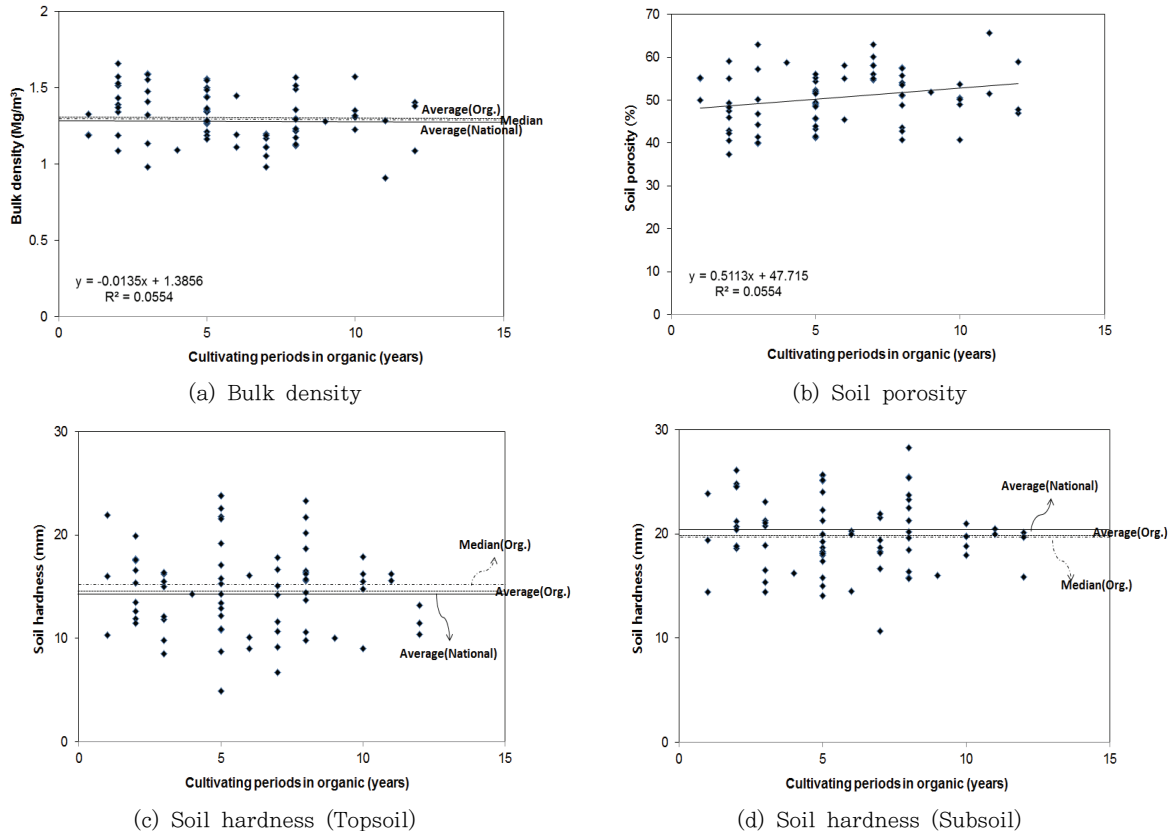


Fig. 2. Physical properties of paddy soils organically practiced with regarding to the cultivating periods: (a) bulk density, (b) porosity, (c) soil hardness of topsoils and (d) subsoils.

짚을 논토양에 환원하는 농가가 40농가로 전체의 53%, 녹비작물을 재배하는 농가가 33농가로 44%인데 보리, 라이그라스, 호밀 순으로 나타났다. 또한 외부로부터 양분을 투입하는 농가는 15농가(20%)로 사용하는 양분은 유기농업자재로 인증받은 축분퇴비나 유박, 돈분액비를 사용하고 있었다. 투입량은 녹비작물의 경우 전량을 토양과 함께 경운을 하며, 유박의 경우 시판제품으로 평균 730 kg ha^{-1} 으로 상당히 많은 양을 투입하고 있었으나, 편차가 심하여 중간값으로는 약 298 kg ha^{-1} 을 사용하고 있었다. 우분퇴비의 경우 3 ton ha^{-1} 를, 돈분 액비는 추비로 2 ton ha^{-1} 를 사용하는 것으로 나타났다. 또한 설문문을 통한 결과를 보면 거의 대부분인 74농가가 잡초 관리를 위해 왕우렁이를 사용하고 있었다.

관행농업에서 유기농업으로 전환하게 되면 화학비료를 사용하는 대신 유기물이 많은 유기질 비료를 사용하게 된다. 용적밀도는 토양의 물리적 상태를 판단할 수 있는 중요한 지표로 용적밀도가 높은

토양은 일정 부피에 함유하는 토양이 많아 무겁고 단단하며 구조가 발달되지 않아 공극율이 낮게 된다¹²⁾. [Fig. 2]에서 조사한 유기농 논토양의 용적밀도(a)와 공극율(b)이 나타나 있다. 유기농으로 전환한 후 재배 연수가 증가할수록 편차는 크지만 용적밀도는 감소하고 토양 공극율이 높게 나타나고 있다. 이는 용적밀도와 공극률의 관계가 가역적인 관계로 용적밀도가 낮으면 공극률은 상대적으로 높아지는 함수관계로 해석될 수 있다⁷⁾.

토양 경도는 토양구조의 발달, 유기물 함량, 수분 함량 등과 밀접한 관련이 있는 지표¹³⁾로 토양이 경화되면 뿌리 신장이 저해되거나 수분 이동이 어려워 배수 불량으로 이어지게 되고 결국 작물 생육이 불량해진다. [Fig. 3]에서 보면 유기농 논토양의 표토와 심토에서 모두 재배 연수가 증가함에 따라 경도가 낮게 나타나고 있다. 일반적으로 경반층 개량에 벧짚 사용이 추천되고 있는데⁷⁾, 본 연구의 유기농 논토양에서 벧짚이나 피복작물 등의 환원을 통

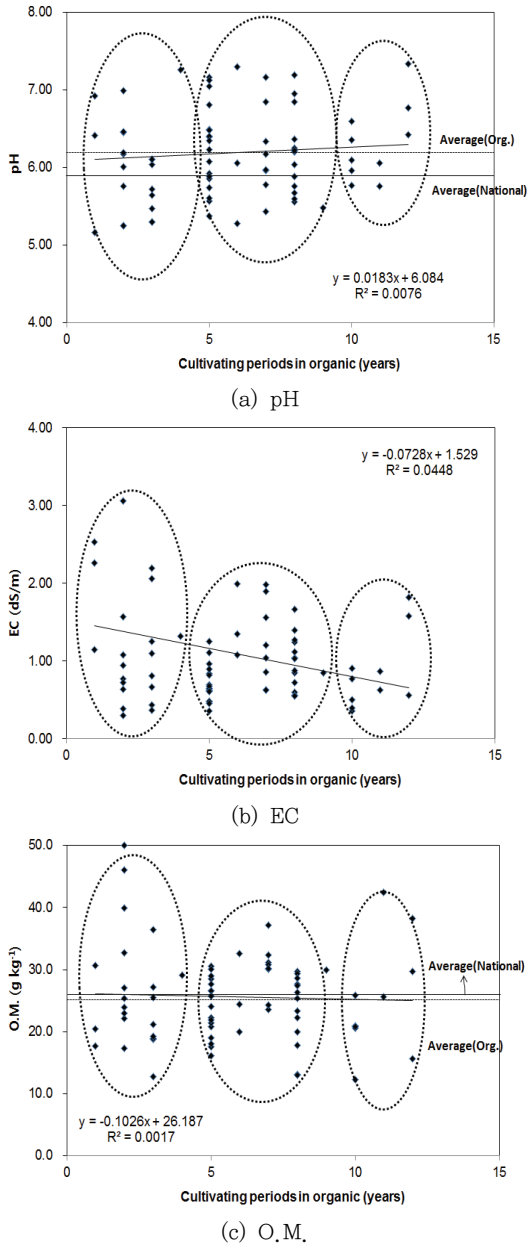


Fig. 3. Distribution of (a) soil pH, (b) EC and (c) Organic matter (O.M.) of paddy soils organically practiced with regarding to the cultivating periods.

하여 토양 구조가 개선되어 지고 있는 것으로 판단 되어진다.

[Fig. 3]에는 유기농 경작년수에 따른 토양 pH, EC, OM의 변화를 나타내고 있다. 세 가지 요인 모두 유기농 경작년수에 따라 5년 미만, 5~10년, 10

년 이상으로 그룹화될 수 있었다. 평균적으로 토양 pH는 6.2로 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원이 관행농과 유기농의 구분없이 제주도를 제외한 전국 2,070개 논 토양의 화학성을 조사한 결과¹⁴⁾에서 나타난 전국 평균 pH 값인 5.9보다 약간 높게 나타났다. 화학비료를 사용하는 관행농의 문제점이 토양 산성화를 초래한다는 것인데, 유기질 비료를 사용하는 유기농에서는 경작 년수가 높아질수록 토양 pH가 조금씩 높게 나타나고 있었다.

토양수에 녹아 이온 상태로 존재하는 염류의 전기전도도(Electrical conductivity; EC)를 측정하여 염류의 농도를 간접적으로 측정하게 되는데¹¹⁾, 벼의 경우 EC값이 3.0을 넘어서게 되면 수확량에서 감소가 일어나기 시작하며 7.2가 되면 수량이 50%로 떨어지게 된다¹⁵⁾. 본 연구에서 조사한 유기농 논토양에서도 대부분 3.0보다 낮게 나타났으며 유기농 경작년수가 증가할수록 낮아지는 경향을 나타내고 있었는데, 이는 유기농 경작년수에 따라 pH가 높아지고 EC가 낮아진다는 Clark의 결과¹⁶⁾와 유사한 경향을 보였다.

조사한 유기농 논토양 유기물 함량은 평균 25.6 g kg⁻¹로 관행농 논토양 관리의 적정범위(25~35 g kg⁻¹)에 들어 있었으며 전국 평균값인 26.0 g kg⁻¹에 비해 약간 낮았지만, 경작년수에 관계없이 유사한 값을 나타내고 있었는데, 관행농과도 차이가 보이지 않았다는 결과¹⁷⁾와도 유사하였다.

[Fig. 4]에는 유기농 경작년수에 따른 토양 유효인산의 변화를 나타내고 있다. 토양 유효인산은 평균 88.4 mg kg⁻¹로 관행농 관리기준의 적정범위에는 들어가나 중앙값이 적정 범위보다 낮아 대부분의 토양에서 유효인산이 부족한 것으로 나타나 적정 범위를 초과한 것으로 나타나는 전국 논토양 평균값(131 mg kg⁻¹)에 비해 낮게 나타나고 있었다. 이는 유기농업에서 사용하는 유기농업자재가 대부분 질소 성분에 의존하고 있고, 인산을 공급할 수 있는 자재인 돈분퇴비나 계분퇴비는 유기농 인증을 받은 제품이 제한되기 때문인 것으로 추정되고 있다. 따라서 향후 유기농업에서 사용가능한 인산 공급원에 대한 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

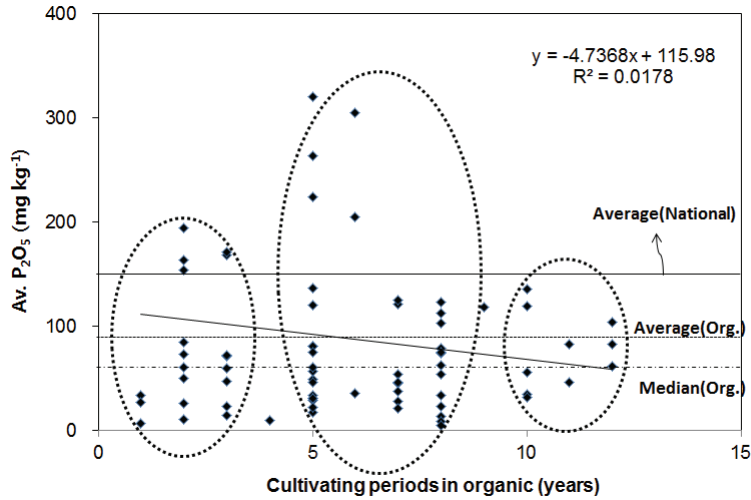


Fig. 4. Distribution of soil available phosphate of paddy soils organically practiced with regarding to the cultivating periods.

[Fig. 5]에는 유기농 논토양에서 용적밀도와 유기물 함량간의 상관관계를 보여주고 있다. 표토 ($R^2 = -0.5424$)와 심토($R^2 = -0.6429$) 모두 유기물 함량과 부의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 유기물 함량이 많아지면 일정 부피에서의 토양 무게가 감소하게 되어 용적밀도가 낮아지게 되는데¹²⁾, 논은 일정기간 담수상태로 되어 있어 산소가 부족하기 때문에 미생물의 활동이 약하여 밭보다 유기물 분해율이 낮기 때문에¹⁸⁾ 분해되지 않은 유기물이 토양에 부식 형태로 남게 되어 용적밀도를 낮추는데 기

여하는 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서는 유기농경지 논토양에서 표토의 용적밀도가 전국 논토양 평균값¹⁹⁾인 1.26 보다 높게 나타났다. 이는 유기물 이외에도 심토에서의 점토함량이 18% 미만으로 낮으면 상대적으로 미사, 모래의 함량이 많아지게 되어 높은 용적밀도에 기여하는데, 조사된 유기농 논토양에서 모래 함량이 상대적으로 높게 분포한 것도 용적밀도가 높게 나타난 것에 기여한 것으로 판단된다.

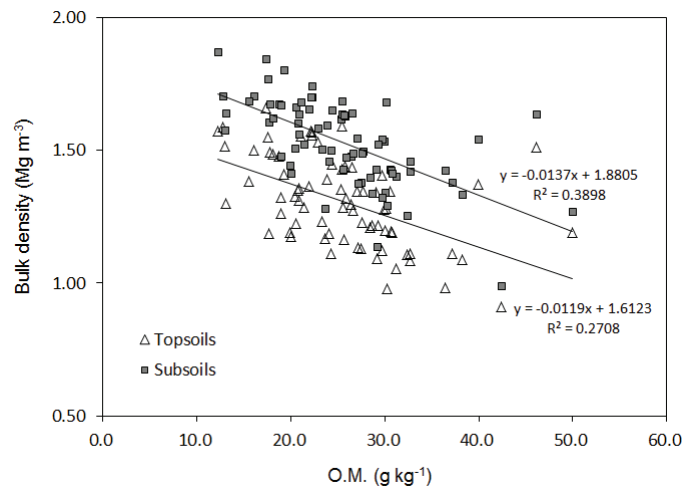


Fig. 5. Correlation between the organic matter (OM) and the bulk density of organically practiced paddy soils.

4. 결론

벼 재배 유기농 인증을 받은 전국 75개 선도 농가를 선정하여 이앙 전에 토양 시료를 채취하여 이화학적 특성을 분석하였다. 유기물 함량은 평균 25.6 g kg⁻¹의 범위로 관행농 농토양 관리의 적정범위에 들어 있었으며, 경작년수에 관계없이 유사한 값을 나타내고 있었으며 유효인산 함량은 전국 토양 조사 평균값보다 낮게 나타나 인산 공급 유기농업자재의 발굴이나 개발이 필요한 것으로 사료되었다. 용적밀도는 표토(R²=−0.5424)와 심토(R²=−0.6429) 모두 유기물 함량과 부의 상관관계를 나타냈다(p<0.05). 조사된 대부분의 유기농경지 농토양에서 적정 범위 수준으로 관리되고 있었으나, 농법 차이, 녹비작물, 유기농자재사용 등의 개별적 차이로 인하여 넓은 분포 범위의 값을 나타내는 것으로 판단되었다. 향후 장기적인 조사를 통한 유기농 토양의 최적 관리 기준 및 양분 관리 방안 설정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 토양중 잔존하는 유기물이 저장되는지 분해에 의해 온실가스 배출에도 기여하는지에 대한 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

사 사

This study was carried with the support of "Research Program for Agricultural science & Technology Development(Project No. PJ01010901)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. Lee, Y.H., Lee, S.G., Kim, S.H., Shin, J.H., Choi, D.H., Lee, Y.J. and Kim, H.M., "Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea", Korean Journal of Organic Agriculture, 14(1), pp. 55~67. (2006).
2. Poudel, D.D., Horwarth, W.R., Lanini, W.T., Temple, S.R. and van Bruggen, A.H.C., "Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional in northern California". Agric. Ecosys. Environ., 90, pp. 125~137. (2002).
3. Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., and Mader, P., "Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming", Agriculture, Ecosystems and Environment, 118, pp. 273~284. (2007).
4. Mazzoncini, M., Canali, S., Giovannetti, M., Castagnoli, M., Tittarelli, F., Antichi, D., Nannelli, R., Cristani, C. and Barberi, P., "Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation", Applied Soil Ecology, 44(2), pp. 124~132. (2010).
5. Sacco, D., Moretti, B., Monaco, S. and Grignani, C., "Six-year transition from conventional to organic farming: effects on crop production and soil quality", European Journal of Agronomy, 69, pp. 10~20. (2015).
6. Glover, J.D., Reganol, J.P. and Andrews, P.K., "Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State", Agric. Ecosys. Environ. 80, pp. 29~45. (2000).
7. Cho, H.J., Hwang, S.W., Han, K.H., Cho, H.R., Shin, J.H. and Kim, L.Y., "Physicochemical properties of upland soils under organic farming", Soil Sci. Fert. 42, pp. 98~102. (2009).
8. Chung, J.B., and Lee, Y.J., "Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm", Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 41(1), pp. 26~33. (2008).
9. Choi, H.S., Li, X., Kim, W.S., Lee, Y. and Jee, H.J., "Comparison of soil physicochemical and microbial characteristics in soil of 'iitaka' pear orchards between organic and conventional cultivations", Kor. J. of Organic Agri., 19, pp. 229~243. (2011).

10. Kim, P.J., Lee, S.M., Yoon, H.B., Park, Y.H., Lee, J.Y. and Kim, S.C., "Characteristics of phosphorus accumulation in organic farming fields", *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 33(4), pp. 234~241. (2000).
11. NAAS, "Soil chemical analysis methods", National Institute of Agricultural Sciences. (2010)
12. Kim, Y.Y., Ko, K.D., Kim, K.I. and Shin, K.C. "Soil Management in Vegetable Cultivation", The Book Garden Publishing. (2015).
13. Herencia, J.F., Garcia-Galavis, P.A., and Maqueda, C., "Long-Term Effect of Organic and Mineral Fertilization on Soil Physical Properties Under Greenhouse and Outdoor Management Practices", *Pedosphere*, 21(4), pp. 443~453. (2011).
14. Kang, S.S., Roh, A.S., Choi, S.C., Kim, Y.S., Kim, H.J., Choi, M.T., Ahn, B.K., Kim, H.W., Kim, H.K., Park, J.H., Lee, Y.H., Yang, S.H., Ryu, J.S., Jang, Y.S., Kim, M.S., Son, Y.K., Lee, C.H., Ha, S.G., Lee, D.B., and Kim, Y.H., "Status and Changes in Chemical Properties of Paddy Soil in Korea", *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 45(6), pp. 968~972. (2012).
15. Ayers, R.S., and Westcot, D.W., "Water quality for agriculture", *FAO Irrigation and Drainage Paper*. (1985).
16. Clark, M.S., Horwath, W.R., Shannan, C., and Scow, K.M., "Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices", *Agron. J.*, 90, pp. 662~671. (1998).
17. kemura, Y., Shukla, M.K., Tahboub, M. and Leinauer, B., "Some Physical and Chemical Properties of Soil in Organic and Conventional Farms for a Semi-Arid Ecosystem of New Mexico", *Journal of Sustainable Agriculture*, 31, pp. 149~170. (2008).
18. RDA, "Soil Management Technology", *Guidebook for Agricultural Technology-78*, 2nd Edition, Rural Development Administration, pp.145. (2015).
19. RDA, "Monitoring Project on Agri-Environmental Quality in Korea", *Final Report. In Progress*, Rural Development Administration. (2016).