Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.57, No.1, pp.48-54, 2024

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Short communication

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2024.57.1.048
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Temporal variation in soil physical properties of paddy fields in Jeonnam province

Kyungjin Kwak[1]*, Hyeonji Kim[1], Sungwoo Kim[1], Soyoun Lee[1], Gilho Shin[2], Jinwoo Lee[2], Seungoh Hur[3]

[1]Research Scientist, Environment-Friendly Agriculture Research Center, Jeollanam-do Agricultural Research and Extension Services, Naju 58228, Korea
[2]Senior Researcher, Environment-Friendly Agriculture Research Center, Jeollanam-do Agricultural Research and Extension Services, Naju 58228, Korea
[3]Senior Researcher, Soil & Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

***Corresponding author:** Kwak K (Email: kjin20@korea.kr)

Received: November 3, 2023
Revised: December 2, 2023
Accepted: December 4, 2023

Edited by
Seok-In Yun,
Wonkwang University, Korea

ORCID
Kwak K
https://orcid.org/0009-0009-0499-1407
Kim H
https://orcid.org/0000-0002-4109-9903
Kim S
https://orcid.org/0009-0001-5634-9901
Lee S
https://orcid.org/0009-0007-5999-2584
Shin G
https://orcid.org/0009-0004-5697-133X
Lee J
https://orcid.org/0000-0001-5902-8241
Hur S
https://orcid.org/0000-0001-5388-9657

A B S T R A C T

Rice cultivation is so important that the rice paddy area of Jeollanam-do accounts for 21% of the rice paddy area nationwide. Therefore, scientific investigation and evaluation of the soil environment of agricultural land are needed for the stable production of agricultural products and conservation of agricultural environmental resources. This study was conducted to investigate the physical characteristics of rice paddy soil at 40 points in Jeollanam-do region in one cycle of 4 years (2015 - 2023) and to use it as basic data for sustainable agricultural soil maintenance. The soil physical property investigation includes plowing depth, bulk density, porosity, hardness, and organic matter content. The topography of 87.5% of the paddy soil in Jeollanam-do is valley/alluvial fan and river alluvium. The plowing depth tends to be highest in mountain foot. The bulk density of the sub-surface soil was highest in the river alluvium, and the hardness was also highest in the river alluvium. The organic matter content of topsoil and sub-surface soil showed the highest value in the fluvio-marine deposit and the lowest value in the river alluvium. The physical properties of the paddy soil by survey period tends to gradually improve after 2019. The bulk density of the topsoil continued to decrease, and the porosity tended to continuously increase. Organic matter in the topsoil decreased after 2015 and then slightly increased again, while organic matter in the sub-surface soil continued to increase. In addition, rice straw reduction and feed crop cultivation sites in paddy soils have increased since 2015. Therefore, it indicates that continuous organic matter supply is very important not only for soil physicality improvement but also for organic carbon storage.

Keywords: Jeollanam-do province, Paddy soil, Physical property, Soil

Soil physical properties of paddy soils by topography.

Topography	Soil layer	PD[1] (cm)	BD[2] (Mg m^{-3})	Porosity (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Hardness (mm)	OM[3] (g kg^{-1})
Mountain foot	TS[4]	17.3	1.24 (0.08)	53.3 (3.0)	37.2 (25.0)	41.5 (11.0)	21.3 (14.0)		28.9 (5.3)
	SS[5]	(1.3)	1.47 (0.05)	44.8 (1.7)	18.7 (4.1)	50.2 (5.7)	31.1 (8.0)	20.4 (0.7)	17.6 (7.8)
Valley/ Alluvial fan	TS	17.2	1.17 (0.02)	55.7 (0.8)	36.4 (2.6)	43.1 (3.2)	20.5 (3.7)		29.3 (1.9)
	SS	(2.1)	1.45 (0.10)	45.2 (3.7)	38.8 (3.2)	40.5 (5.9)	20.7 (3.6)	19.5 (3.5)	19.4 (4.8)
River alluvium	TS	16.6	1.16 (0.00)	56.3 (0.1)	40.3 (2.1)	41.9 (3.2)	17.8 (1.2)		28.9 (3.2)
	SS	(1.8)	1.50 (0.05)	43.5 (2.0)	39.7 (0.4)	41.6 (3.7)	18.8 (3.5)	21.0 (2.5)	17.5 (2.0)
Fluvio-marine deposit	TS	17.2	1.11 (0.11)	58.3 (3.9)	21.2 (4.6)	54.6 (5.6)	24.2 (1.2)		33.3 (3.0)
	SS	(2.1)	1.47 (0.13)	44.4 (4.8)	17.5 (9.8)	56.6 (2.7)	25.9 (7.6)	20.2 (1.5)	23.2 (11.6)
Diluvial deposit	TS	16.9	1.15 (0.07)	56.7 (2.6)	32.5 (3.0)	44.5 (5.1)	23.0 (2.1)		28.8 (4.0)
	SS	(3.0)	1.40 (0.14)	47.1 (5.2)	37.0 (3.0)	41.0 (4.4)	22.0 (7.3)	20.3 (2.9)	20.2 (10.6)

[1]PD, plowing depth; [2]BD, bulk density; [3]OM, organic matter; [4]TS, topsoil; [5]SS, sub-surface soil.
Data are overall means (standard deviation) of survey points by topography in 2015, 2019, and 2023.

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

농업환경자원 보전 및 농산물의 안정적 생산을 위해 농업환경에 대한 과학적 조사와 평가는 매우 중요하다. 특히 토양물리성은 화학성과 같이 토양의 질을 평가하는 요소 중 하나로 토양내 수분 보유력, 양분 완충력, 배수 등과 관련되어 있으며, 작물의 뿌리 생장과 토양 미생물에도 영향을 미칠 뿐 아니라 토양 탄소 저장능에도 중요한 요소이다 (Schoenholtz et al., 2000; Oliver et al., 2013; De Paul Obade and Lal, 2016; Amorim et al., 2020; Park and Choi, 2022; Joshi and Garkoti, 2023).

전라남도의 농경지는 277,095 ha 로 전국 농경지의 18%를 차지하고 있으며, 논 면적은 165,770 ha로 전국 논면적의 21%를 차지하고 있을 정도로 전남에서 벼 재배는 매우 중요하다. 그동안 전국단위의 토양분류 및 특성조사는 있었지만 전남지역의 논 토양의 분포 및 지형, 물리적 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다 (Cho et al., 2012; Kim et al., 2021).

따라서 본 연구는 전남지역 논 토양의 지형적 특성과 물리적 특성을 조사하여 지속가능한 농경지 토양을 효율적으로 유지하고 관리하기 위한 기초자료로 활용하고자, 논 토양 40지점을 2015년에서 2023년 동안 4년 1주기로 조사하여 변화양상 및 특성을 분석하였다.

Materials and Methods

대상토양 전남지역 논토양의 물리적 특성 조사하기 위해 지형과 토양통 등을 고려하여 40지점을 선정하였다. 지역별로 강진 2, 고흥 3, 곡성 2, 광양 1, 구례 2, 나주 3, 담양 2, 무안 3, 보성 2, 순천 2, 여수 1, 영광 3, 영암 2, 장성 3, 장흥 2, 함평 1, 해남 3, 화순 3점 등이었다. 2015년과 비교하여 2019년에 조사지점 변경은 모두 9지점으로 해성평탄지에서 하성평탄지로 변경된 지점 1곳을 제외하고 8지점은 모두 근처 같은 지형으로 변경되었으며, 2023년에도 2019년과 비교하여 변경지점은 1곳으로 같은 지형으로 변경되었다. 그러므로 2015년, 2019년, 2023년 조사지점의 지형적인 연속성이 있다고 판단하였다. 토양지도를 활용한 조사지점의 분류 특성은 2023년 지점으로 조사하였다.

조사시기 및 시료채취 논 토양 물리성은 벼 수확 후 10월 말에서 12월, 또는 다음해 물대기와 써레질 전 2 - 3월에 기계적 다짐이 되어 있는 곳과 마르지 않은 토양은 피하여 시료를 채취하였다. 위치는 작물과 작물사이의 토양을 기준으로 하여 지표면에서 1 - 2 cm의 토양을 걷어내고 시료를 채취 조사하였다.

조사항목 및 방법 물리적 특성을 조사하기 위해 조사항목으로는 작토층 (plowing depth, PD), 경도 (hardness), 전용적밀도 (bulk density, BD), 삼상[고상 (solid phase), 액상 (liquid phase), 기상 (gaseous phase)], 유기물함량 (organic matter, OM), 토성 (soil texture) 등이다. 지표면에서 작토 깊이까지를 표토 (topsoil, TS), 그 이하를 심토 (sub-surface soil, SS)로 구분하였으며, 작토 깊이는 손잡이 15 cm, 길이 60 cm, 굵기 1.2 cm, 원추 길이 2 cm의 탐침봉을 이용하여 지면에 한 손으로 지그시 눌렀을 때 침이 들어가다가 힘이 더 필요한 지점이 있는데 이 깊이까지를 나타낸다. 경도는 경도계 (DIK-5553, Daiki, Japan)를 이용해 10반복하여 측정했으며, 전용적밀도와 삼상은 100 cm^3 코어를 3반복으로 시료를 채취하였다. 전용적밀도는 토양고상의 질량 (Mg)이 일정 토양부피 (m^3)에서 차지하는 비율로, 105 °C 건조기에서 18시간 이상 건조하여 토양수분을 제거하여 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 균질

화된 토양을 강산성 조건에서 산화제인 $K_2Cr_2O_7$과 200 °C 온도로 산화시킨 후 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$로 산화환원의 적정법으로 토양 유기탄소 함량을 분석하여 공통계수인 1.724를 곱하여 유기물 함량을 계산하였다. 토성은 비중계 (ASTM-152H, DK, Korea)를 일정한 시간별로 토양 혼탄액에 삽입하여 비중이나 용적 당 무게 (g) 감소를 측정하여 점토의 함량을 구하였으며, 모래함량 (2.0 - 0.05 mm)은 체 (53 μm)를 이용하여 측정하였다. 분석방법은 농촌진흥청 국립농업과학원에서 발간한 농경지 토양물리성 조사방법 및 분석법 (NAS, 2022)에 준하여 실시하였다. 조사지점의 주소와 GPS 정보를 활용하여 흙토람 (https://soil.rda.go.kr)의 토양지도에서 토양통, 토성(속), 지형, 경사, 급지 등의 정보를 수집하였다.

Results and Discussion

조사지점 토양 조사・분류 특성 전남의 논 토양의 물리적 특성 모니터링 대상토양은 모두 40개의 토양으로 22종의 토양통이었으며, 주로 석천이 12.5%로 가장 많았으며, 지산, 평택, 함평은 7.5%, 가곡, 가천, 고천, 덕평, 만경, 사촌, 옥천, 호남이 5%, 강진, 도독, 매곡, 복천, 수북, 신흥, 용지, 임곡, 초계, 포리는 2.5%의 분포비율을 나타내고 있었다.

심토의 토성(속) (family particle-size class)은 고운 양질 (식양질, fine loamy) 32.5%, 굵은 양질 (사양질, coarse loamy) 30.0%, 식질 (clayey) 17.5%, 고운 식질 (실트식양질, fine silty) 17.5%, 굵은 실트질 (실트사양질, coarse silty) 2.5% 로 나타났다. 이는 식양질, 사양질, 식질, 실트식양질, 사질, 실트사양질 순서로 많이 분포한다는 우리나라 토양통 분류 특성 (Sonn, 2005)과도 비슷하게 고운 양질과 굵은 양질이 62.5%로 주로 분포하는 특성을 보였다.

조사지점의 지형은 곡간지/선상지 (valley/alluvial fan) 45.0%, 하성평탄지 (river alluvium) 42.5%, 해성평탄지 (fluvio-marine deposit) 5.0%, 홍적대지 (diluvial deposit) 5.0%, 산록경사지 (mountain foot) 2.5% 로 곡간지/선상지와 하성평탄지가 주로 분포하는 특성을 보였다. 이것은 토양통 분류 특성 (Sonn, 2005)과는 다른 순서를 보이고 있으나 곡간지/선상지의 분포가 가장 많은 것은 동일한 경향이었다.

조사지점의 경사는 A (0 - 2%)등급이 21개 지점으로 52.5%이었으며 B (2 - 7%)등급은 19개 지점으로 47.5%로 전남 논토양 조사지점의 경사는 B등급 이하로 분포하고 있었다. 지점의 논적성등급은 1급지 27.5%, 2급지 37.5%, 3급지 32.5%, 4급지 2.5% 로 2급지 토양이 가장 많았다.

지형별 토양 물리 특성 전남 논 토양의 지형별 특성을 2015년, 2019년, 2023년 각각 40지점을 지형별로 분류하여 전체 평균값으로 분석하였다. 전남의 주요한 지형의 물리적 특성에서 작토층은 산록경사지가 17.3 cm로 가장 높았으며 하성평탄지의 작토층이 16.6 cm로 가장 낮았다. 표토의 전용적밀도는 산록경사지에서 1.24 Mg m^{-3}로 가장 높았으며, 해성평탄지에서 1.11 Mg m^{-3}로 가장 낮았다. 심토의 전용적밀도는 하성평탄지에서 1.50 Mg m^{-3}로 가장 높고 홍적대지에서 1.40 Mg m^{-3}로 가장 낮았다. 지형별 심토의 전용적밀도는 논 토양 심토의 사양질 토양이 1.5 Mg m^{-3}, 식양질 토양은 1.4 Mg m^{-3}보다 작아야 하는 '농업자원과 농업환경의 실태조사 및 평가기준' 고시에서 제시한 적정기준을 넘기고 있는 것으로 나타났다.

일반적으로 해안사구에 많이 분포하는 하성평탄지에서 표토와 심토 모두 모래함량은 높고 점토함량은 낮은 값을 보였다. 심토의 경도는 하성평탄지에서 21.0 mm로 높았으며 곡간지/선상지에서 19.5 mm으로 가장 낮았다. 유기물 함량은 해성평탄지에서 표토 33.3 g kg^{-1}, 심토 23.2 g kg^{-1}로 모두 가장 큰 값을 보였으며, 홍적대지의 표토 28.8 g kg^{-1}와

하성평탄지의 심토에서 17.5 g kg^{-1}로 각각 가장 낮은 값을 나타냈다 (Table 1). 전남의 논 토양의 지형을 분류한 결과 곡간지/선상지와 하성평탄지가 가장 많이 분포하였으며 지형에 따른 토양의 물리적 특성은 양분관리와 물리적 개선에 활용 가능할 것이다.

Table 1. Soil physical properties of paddy soils by topography.

Topography	Soil layer	PD[1] (cm)	BD[2] (Mg m^{-3})	Porosity (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Hardness (mm)	OM[3] (g kg^{-1})
Mountain foot	TS[4]	17.3 (1.3)	1.24 (0.08)	53.3 (3.0)	37.2 (25.0)	41.5 (11.0)	21.3 (14.0)		28.9 (5.3)
	SS[5]		1.47 (0.05)	44.8 (1.7)	18.7 (4.1)	50.2 (5.7)	31.1 (8.0)	20.4 (0.7)	17.6 (7.8)
Valley/ Alluvial fan	TS	17.2 (2.1)	1.17 (0.02)	55.7 (0.8)	36.4 (2.6)	43.1 (3.2)	20.5 (3.7)		29.3 (1.9)
	SS		1.45 (0.10)	45.2 (3.7)	38.8 (3.2)	40.5 (5.9)	20.7 (3.6)	19.5 (3.5)	19.4 (4.8)
River alluvium	TS	16.6 (1.8)	1.16 (0.00)	56.3 (0.1)	40.3 (2.1)	41.9 (3.2)	17.8 (1.2)		28.9 (3.2)
	SS		1.50 (0.05)	43.5 (2.0)	39.7 (0.4)	41.6 (3.7)	18.8 (3.5)	21.0 (2.5)	17.5 (2.0)
Fluvio-marine deposit	TS	17.2 (2.1)	1.11 (0.11)	58.3 (3.9)	21.2 (4.6)	54.6 (5.6)	24.2 (1.2)		33.3 (3.0)
	SS		1.47 (0.13)	44.4 (4.8)	17.5 (9.8)	56.6 (2.7)	25.9 (7.6)	20.2 (1.5)	23.2 (11.6)
Diluvial deposit	TS	16.9 (3.0)	1.15 (0.07)	56.7 (2.6)	32.5 (3.0)	44.5 (5.1)	23.0 (2.1)		28.8 (4.0)
	SS		1.40 (0.14)	47.1 (5.2)	37.0 (3.0)	41.0 (4.4)	22.0 (7.3)	20.3 (2.9)	20.2 (10.6)

[1]PD, plowing depth; [2]BD, bulk density; [3]OM, organic matter; [4]TS, topsoil; [5]SS, sub-surface soil.
Data are overall means (standard deviation) of survey points by topography in 2015, 2019, and 2023.

연도별 토양물리 특성 논의 작토층 평균은 2015년에 16.3 cm, 2019년에 15.3 cm, 2023년 19.2 cm로 2015년에 감소하였다가 점차 증가하는 경향을 나타내고 있으나 작토층 기준이 20 cm에는 미달하고 있어 이에 대한 개선방안을 마련하는 것이 필요하다. 심토의 경도는 2015년 23.3 mm, 2019년 17.9 mm으로 감소했다가 2023년 19.4 mm로 약간 증가하는 경향을 보였다 (Table 2). Min et al. (1983)은 논 토양에서 경도가 증가하고 공극률이 감소하면 벼 뿌리 생육이 좋지 않고 수확량이 감소한다고 보고하였다. 표토의 전용적밀도는 2015년에 1.17 Mg m^{-3}, 2019년에 1.17 Mg m^{-3}, 2023년에 1.15 Mg m^{-3}를 나타나 지속적으로 감소하고 있으며 (Fig. 1A), 공극률은 지속적으로 증가하는 경향을 보였다 (Table 2). 심토의 전용적밀도는 사양질 토양이 1.5 Mg m^{-3}, 식양질 토양은 1.4 Mg m^{-3}보다 작아야 적정기준이지만 모두 이 기준을 넘기고 있으므로 이에 대한 개선이 필요해 보인다. 표토 유기물 함량은 2015년 32.0 g kg^{-1}, 2019년 27.1 g kg^{-1}, 2023년 28.9 g kg^{-1}로 감소하였다가 다시 증가하였으나 심토의 유기물 함량은 2015년 15.2 g kg^{-1},

Table 2. Soil physical properties of paddy soils by years.

Year	Soil layer	PD[1] (cm)	Porosity (%)	Hardness (mm)
2015	TS[2]	16.3 (1.6)	55.9 (5.2)	
	SS[3]		41.5 (4.7)	23.3 (2.5)
2019	TS	15.3 (1.2)	55.9 (4.8)	
	SS		44.7 (5.2)	17.9 (3.8)
2023	TS	19.2 (1.7)	56.4 (5.6)	
	SS		47.3 (6.4)	19.4 (3.6)

[1]PD, plowing depth; [2]TS, topsoil; [3]SS, sub-surface soil.
Data are means (standard deviation).

2019년 18.2 g kg^{-1}, 2023년 23.1 g kg^{-1}로 지속적으로 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 1B). 이러한 원인 중의 하나로 지속적으로 볏짚환원과 사료작물인 이탈리안라이그라스 재배 지점이 증가한 것이 가장 큰 요인으로 보인다 (Fig. 2). 이는 유기물과 전용적밀도가 부의 상관관계가 있다고 보고된 결과 (Ahn et al., 2010)와 장기연용 논 토양에서 볏짚퇴비 시용구의 심토 유기탄소 함량이 2배 정도 높아졌다는 결과와 같은 경향을 보였다 (Kim et al., 2012).

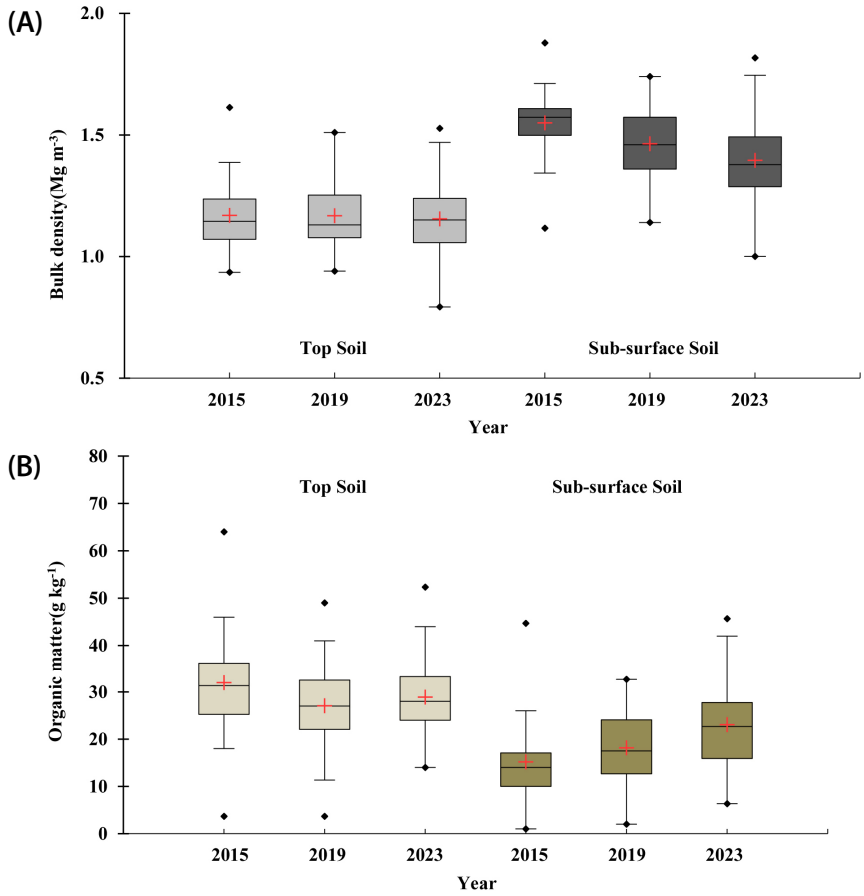

Fig. 1. Changes in bulk density (A) and organic matter contents (B) of paddy soils in 2015, 2019 and 2023. In the box plots, horizontal lines denote median values; boxes extend from the 25th to the 75th percentile of each group's distribution of values; red crosses denote mean values; vertical lines stop denote upper and lower values; dots denote observations outside the range of adjacent values.

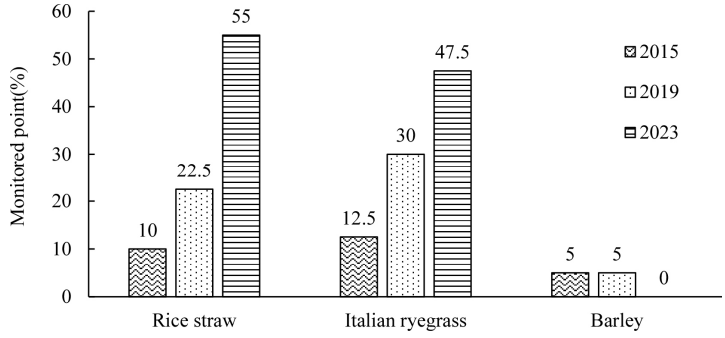

Fig. 2. Organic matter input tendency in paddy soils in 2015, 2019 and 2023.

Conclusions

전남의 논 토양 물리적 특성과 변화특성을 알아보기 위하여 2015년부터 2023년까지 4년 주기로 논 토양을 분석하였다. 전남의 논 토양에서 토양통은 석천, 심토의 토성(속)은 고운 양질, 지형은 곡간지/선상지가 각각 높은 비율로 나타났다. 2015년 이후 논 토양의 작토심, 유기물 함량이 증가하고 심토 전용적밀도가 감소하는 경향으로 나타나 점차 논 토양의 물리성이 점차 개선되고 있는 것을 확인하였다. 이의 주요한 요인으로 지속적인 볏짚환원 및 사료작물 재배 등으로 유기물이 토양내 공급된 것이 가장 큰 요인으로 여겨진다. 따라서 논 토양에 유기물을 장기적으로 공급하는 것은 토양 물리성 개선뿐 아니라 유기 탄소 저장면에서도 중요하게 더 연구되어야 할 것이다.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author Contribution

Kwak K: Conceptualization, Formal analysis, Data curation, Writing-original draft, **Kim H:** Validation, Writing-review & editing, **Kim S:** Validation, Resources, Data curation, **Lee S:** Validation, Resources, Data curation, **Shin G:** Validation, Resources, Data curation, **Lee J:** Supervision, **Hur S:** Resources, Project administration.

Data Availability

Data will be provided on reasonable request.

Acknowledgement

This study was conducted by support of RDA research and development project (Project number: PJ015567).

References

Ahn BK, Lee JH, Kim KC, Choi DC, Lee JH, Han SS. 2010. Investigation of relationships between soil physico-chemical properties and topography in Jeonbuk upland fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:268-274.

Amorim HCS, Ashworth AJ, Moore Jr. PA, Wienhold BJ, Savin MC, Owens PR, Jagadamma S, Carvalho TS, Xu S. 2020. Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. Agric., Ecosyst. Environ. 301:107060. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060

Cho HR, Zhang YS, Han KH, Cho HJ, Ryu JH, Jung KY, Cho KR, Ro AS, Lim SJ, Choi SC, et al. 2012. Soil physical properties of arable land by land use across the country. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:344-352. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.3.344

De Paul Obade V, Lal R. 2016. A standardized soil quality index for diverse field conditions. Sci. Total Environ. 541: 424-434. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.096

Joshi RK, Garkoti SC. 2023. Influence of vegetation types on soil physical and chemical properties, microbial biomass and stoichiometry in the central Himalaya. CATENA 222:106835. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106835

Kim HJ, Kim SK, Kim SW, Kwak KJ, Kwon OD. 2021. Changes in chemical properties of orchard soils in Jeonnam province between 2002 and 2018. Korean J. Soil Sci. Fert. 54:1-9. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.1.001

Kim MS, Kim YH, Kang SS, Yun HB, Hyun BK. 2012. Long-term application effects of fertilizers and amendments on changes of soil organic carbon in paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:1108-1113. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.6.1108

Min KB, Kim JJ, Cho SJ, Im JN. 1983. The effects of subsoiling at different depths and spacings on physical properties of soil and rice yields. Korean J. Soil Sci. Fert. 16:228-234.

NAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2022. Survey and analysis methods for soil physical properties of agricultural land. RDA, Jeonju, Korea.

Oliver DP, Bramley RGV, Riches D, Porter I, Edwards J. 2013. Review: Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture. Aust. J. Grape Wine Res. 19:129-139. https://doi.org/10.1111/ajgw.12016

Park HJ, Choi WJ. 2022. Prediction of soil organic carbon contents of rice paddies in south-western coastal area of Korea using random forest models. Korean J. Soil Sci. Fert. 55:58-70. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2022.55.1.058

Schoenholtz SH, Van Miegroet H, Burger JA. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. For. Ecol. Manage. 138:335-356. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0

Sonn YK. 2005. The classification and interpretation of Korean soils using multivariate analysis. Ph.D. Thesis, Korea University, Seoul, Korea.