Difference in Biochemical Properties of Soils with Different Periods of Agricultural Practice after Conversion from Paddies to Uplands

Hyen Chung Chun¹, Sanghun Lee¹, Dong Hyeok Gong¹, Ki Youl Jung¹, Ju Young Cho², Young-Nam Kim^{3*}, and Yong Bok Lee^{4*}

¹Researcher, Department of Southern Area Crop Science, NICS, RDA, Milyang 50424, Korea

²Student, Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Research Professor, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Corresponding author: Yong Bok Lee, yblee@gnu.ac.kr

*Co-corresponding author: Young-Nam Kim, youngnam.a.kim@gmail.com

ABSTRACT

Received: September 30, 2021

Revised: November 16, 2021

Accepted: November 22, 2021

ORCID

Young-Nam Kim

<https://orcid.org/0000-0002-9745-6551>

Yong Bok Lee

<https://orcid.org/0000-0002-7651-4556>

The intrinsic characteristics of soil can be altered by purpose of land use and its history, which would determine the quality and health of the soil. In South Korea, along with the trend of decreasing agricultural land area, land use conversion from paddies to uplands is being promoted to alleviate the oversupply of rice and to improve the self-sufficiency rate of field crops. So far, in order to increase the productivity of crops after land use conversion, various types of soil management have been applied, focusing mostly on chemical properties related to soil fertility rather than biological properties related to soil health. This study was conducted to compare the difference in soil biochemistry of uplands with different periods of land use conversion from paddies, and to investigate the interrelationship between these soil characteristics. In general, there were significant differences in chemical parameters of soils according to the period of soybean cultivation (2, 4, and 10 years) after land use conversion of paddy fields. In Andong region, soil pH, organic matter (OM), total nitrogen (T-N), available phosphate (Av. P), and exchangeable potassium (Ex. K) increased with increase in the period of the land use conversion. Similarly, pH, Av. P, Ex. K, Ex. Ca, Ex. Mg and Org. P were the highest in the 10-year soybean growing uplands. Like the soil chemistry, soil microbial enzyme activities including dehydrogenase (DHA), β -glucosidase (BG), alkaline phosphatase (ALP), and arylsulfatase (AS) differed by the period of agricultural practices since the land use conversion but varying with study areas. Principle component analysis (PCA) showed clear separations of the upland soils with different periods of farming since land use conversion that is highly influenced by soil OM and pH as well as BG and ALP in both areas. With comprehensive interpretation of all results in this study, we predicted that, in both areas, applications of inorganic and organic fertilizers have been continuously performed, thereby improving the soil productivity of uplands converted from paddies following the land use conversion. As such, improved quality of the soils by the land managements could result in a positive effect on the soil health, by enhancing the overall microbial abundance as well as stimulating their functions such as nutrient cycling.

Keywords: Crop productivity, Land use conversion, Soil fertility, Soil health, Soil management

PCA of the biochemical properties of soils with different periods of agricultural practice after conversion from paddies to uplands.

Introduction

토양 고유의 특성은 토지용도의 성격과 이용 연한에 따라 변화되며, 이로 인해 토양의 질과 건강성이 결정된다. 지난 반세기 동안의 급격한 인구 증가와 이로 인한 높은 식량 생산 요구도는 전 세계의 광범위한 자연 녹지를 농경지로 빠르게 변경시켜 왔다. Winkler et al. (2021)의 연구 결과에 따르면, 전 세계의 산림지가 80만 km^2 가 감소한 반면 작물 재배지 및 목초지는 각각 100만, 90만 km^2 가 증가하였다. 이러한 토지용도 변경은 넓은 지역의 생지화학적 토양 특성을 직·간접적으로 변화시키며 (e.g. Nüsslein and Tiedje, 1999; Zhang et al., 2004; Viollete et al., 2009; Liu et al., 2013), 이로 인해 각 지역의 토양 비옥도 및 질이 결정될 뿐만 아니라 주변 생태계 형성에 중요한 영향을 미치고 있다.

전 세계의 농경지 면적 증가 추세와는 반대로, 우리나라의 경우 1968년 232만 ha를 정점으로 농경지 면적이 매년 0.7%씩 감소하고 있으며 (Chae, 2012), 2020년 기준 국내 농경지 총 면적은 1,565천 ha로 집계되고 있다 (Statistics Korea, 2021). Chae (2012)는 국내 농경지 면적 감소의 이유를 농지전용과 유휴지 면적 증가로 보고하였다. 이러한 농경지 면적 감소와 더불어, 현재 농림축산식품부에서는 밭 작물 자급률 향상과 쌀 공급 과잉 해소를 위해 논을 밭 작물 재배를 위한 토지용도 전환을 추진하고 있다. 하지만, 국내 논은 대부분은 밭으로 전환되기 이전 장기간 담수 처리로 인해 토양 통기성 및 배수성 등 물리성이 상당히 불량할 뿐만 아니라 (Yoon et al., 2009) 토양 양분상태가 밭 작물을 생산하기에 대부분 적절하지 않기 때문에, 밭 전환 후 재배할 작물의 생육 특성 등을 고려하여 복토, 유기물 처리, 무기질 비료 시비 등 적절한 토양 관리가 꾸준히 요구된다.

하지만 지금까지 현장 조사를 통한 논밭 전환 후 밭 작물 생산성을 높이기 위해 주로 토양 비옥도와 관련된 화학적 특성 향상을 위한 연구에만 중점을 두었을 뿐, 토양 건강과 관련된 생물학적 특성 연구는 아주 미흡하다. 또한, 논밭 전환 이후 토양관리 및 이용 연한에 따른 밭 토양 특성 변화에 대한 연구가 부족하다. 본 연구에서는 논밭 전환 후 콩 밭으로 이용한 연한이 다른 농경지를 선정하여, 연차별 농경지 토양의 화학적 특성 뿐만 아니라 생물학적 특성의 차이를 비교·분석하고 이들 토양 특성간 상호관계를 알아보고자 수행하였다.

Materials and Methods

조사 대상지 선정 본 연구를 수행하기 위해 논에서 밭으로 전환한 농경지를 경상북도 안동지역 (임하면 2, 남선면 5, 길안면 1, 풍산읍 1)과 전라북도 김제 지역 (죽산면 9)에서 총 18필지를 선정하였다. 두 지역 조사 대상지는 밭 전환 후 콩 재배연수가 2, 4, 10년이 된 농경지를 포함하여 구성을 하였다. Table 1은 본 연구조사 대상지의 지형, 경사도, 토성 및 배수등급 등을 보여준다.

Table 1. Information on the characteristics of study sites.

Region	#	Period from land conversion	Location	Topographic feature	Soil slope (%)	Soil texture	Drainage
Andong	A1	2 years	36°31'45.8"N 128°48'38.8"E	Local valley	2 - 7	Silt loam	Moderately well
	A2		36°31'41.2"N 128°48'36.9"E				
	A3	4 years	36°31'25.4"N 128°46'19.6"E	Local valley	2 - 7	Silt loam	Moderately well
	A4		36°31'31.4"N 128°46'21.5"E			Loam	
	A5		36°31'22.2"N 128°46'00.8"E			Silt loam	
	A6		36°31'17.5"N 128°45'58.4"E			Silt loam	
	A7	10 years	36°31'12.7"N 128°45'40.8"E	Local valley	2 - 7	Loam	Somewhat poorly
	A8		36°28'22.3"N 128°53'04.0"E	Alluvial plain	0 - 2	Loam	Somewhat poorly
	A9		36°35'16.9"N 128°35'17.2"E	Alluvial plain	0 - 2	Sandy loam	Very poorly
Gimje	G1	2 years	35°46'06.4"N 126°49'02.3"E				Poorly
	G2		35°46'07.6"N 126°49'03.2"E				Poorly
	G3		35°46'08.1"N 126°49'06.5"E				Somewhat poorly
	G4	4 years	35°46'02.0"N 126°49'05.0"E	Marine plain	0 - 2	Silt loam	Somewhat poorly
	G5		35°46'00.9"N 126°49'04.6"E				
	G6		35°45'60.0"N 126°49'04.4"E				
	G7	10 years	35°45'14.6"N 126°48'43.3"E				Somewhat poorly
	G8		35°45'16.0"N 126°48'43.5"E				
	G9		35°45'16.6"N 126°48'43.8"E				

토양 채취 본 연구 대상 농경지의 토양 채취는 콩 수확기 이후에 수행되었으며, 각 농경지의 표토 (0 - 15 cm)를 채취하였다. 채취한 토양으로부터 뿌리 등 잔유물을 제거하고 2 mm체를 이용하여 체거름한 후, 생토 중 일부는 미생물 효소활성 분석을 위해 4°C 냉장실에 보관하였고 나머지 토양은 풍건하여 토양 화학성 분석 전까지 플라스틱 용기에 보관하였다.

토양 화학성 분석 토양시료 분석은 농업과학기술원 토양화학분석법 (NIAST, 2000)에 준용하여 수행하였다. 토양 pH와 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는 토양을 증류수와 1:5 비율로 진탕하여, 각각 pH meter (Orion Star 2-Star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)로 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 전질소 함량 (T-N)은 Kjeldahl법에 따라 정량하였다. 유효인산 (Av. P)은 Lancaster법으로 추출하여 720 nm에서 UV/Vis 분광광도계 (Varian CARY 50 CONC, USA)이용하여 측정하였다. 유효황 (Av. S)은 0.1M

LiCl 침출법, 그리고 교환성 양이온 (Ex. K, Ca, Mg, Na)은 1N NH₄OAc (pH 7.0) 침출법에 따라 ICP-OES (OPTIMA 5300DV, PerkinElmer, USA)을 이용하여 측정하였다. 유기태 인산 (Org. P)은 Ignition법 (Saunders and Williams, 1995)에 따라 분석하였다.

토양 미생물 효소활성 분석 탈수소효소 활성 (dehydrogenase enzyme activity)은 Casida et al. (1964)의 방법에 따라 측정하였다. 생토 2 g에 2 mL의 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC)용액을 첨가한 후, 25°C의 암조건에서 24시간 동안 배양하였다. 메탄올 10 mL로 첨가하여 추출한 후, 상층액을 475 nm 흡광도에서 UV/Vis 분광광도계 (Varian CARY 50 CONC, USA)를 이용하여 측정하였다. 베타 클루코시다아제 (β -glucosidase) 효소 활성을 측정하기 Hayano and Katami (1977) 방법을 이용하였다. 생토 1 g을 0.25 mL toluene에 첨가하고 15분 동안 흔든 다음, 4 mL modified universal buffer (MUB, pH 6.0)과 1 mL *p*-nitrophenyl- β -D-gulcoside 용액을 첨가한 뒤 37°C에서 1시간 동안 배양하였다. 이어서, 1 mL 0.5 CaCl₂와 4 mL 0.1M THAM (pH 12)을 첨가하고, Whatman NO. 2로 필터링하였다. 혼합액을 400 nm에서 UV/Vis 분광광도계 (Varian CARY 50 CONC, USA)를 이용하여 측정하였다. 알칼리 포스파타아제 (alkaline phosphatase) 효소활성 측정은 Tabatabai and Bremner (1969) 방법에 따라 0.25 mL toluene, 4 mL *p*-nitrophenyl phosphate 및 4 mL MUB (pH 11.0)를 생토 1 g에 첨가하고 37°C에서 1시간 동안 배양하였다. 배양 후, 1 mL 0.5M CaCl₂와 4 mL 0.5M NaOH를 첨가하고 Whatman NO. 2로 필터링하였다. 생성된 *p*NP는 570 nm에서 UV/Vis 분광광도계 (Varian CARY 50 CONC, USA)를 이용하여 측정하였다. 아릴설파타아제 (arylsulfatase) 효소활성 측정은 Alef and Nannipieri (1998)의 방법에 따라 0.25 mL toluene, 4 mL acetate buffer (pH 5.8) 및 1 mL potassium *p*-nitrophenyl sulfate substrate를 생토 1 g에 첨가하고 37°C에서 1시간 동안 배양하였다. 배양 후, 1 mL 0.5M CaCl₂과 4 mL 0.5M NaOH를 첨가하고 Whatman NO. 2로 필터링하여, 420 nm에서 UV/Vis 분광광도계 (Varian CARY 50 CONC, USA)를 이용하여 측정하였다. 모든 미생물 효소 활성 분석은 시료당 3개의 technical replicate를 구성하여 수행하였다.

통계 분석 본 연구의 분석자료는 R 프로그램 (Minitab Inc., USA)을 이용하여 통계 분석하였다. 안동과 김제 지역의 밭 전환 조사대상지 사이 토양의 화학적, 생물학적 특성의 유의적 차이를 평가하기 위해서 일원분산분석 (one-way ANOVA) 및 사후분석 (Fisher's LSD)을 실시하였다. 토양 화학적, 생물학적 매개변수 간 상관관계를 평가하기 위해 피어슨 상관 계수 (Pearson correlation coefficient) 테스트를 수행하였으며, 주성분 분석 (principal component analysis, PCA)을 통해 논의 밭 전환 후 재배연한에 따른 토양 특성 차이를 종합적으로 해석하였다.

Results and Discussion

논밭 전환 후 콩 경작연한에 따른 토양 화학성 차이 논과 밭 작물을 생산하기 위한 적절한 토양환경 조건은 다르다. 특히, 논밭 전환 후 작물 생산성을 보장하기 위해서는 경작할 작물의 생육 요구조건을 적절히 제공에 해야 하며, 이를 위해 효과적인 토양관리가 장기간 요구된다. 본 연구의 조사 대상지인 안동과 김제 두 지역의 논밭 전환지 토양 화학적 특성은 Table 2와 Table 3에서 보여주는 것과 같다. 전반적으로 두 지역 모두 농경지간 토양변수 값에 차이가 있었으며, 특히 논밭 전환 후 콩 경작 연한 (2, 4 및 10년)에 따라 토양 화학성에 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 안동 지역의 경우, 밭 전환 후 콩 경작기간이 증가할수록 토양 pH, 유기물, 전질소, 유효인산 및 교환성

칼륨의 농도가 높았다 (Table 2). 또한, 토양 EC, Ex. Ca, Ex. Mg 및 Org. P 농도가 밭 전환 10년차의 토양에서 값이 가장 높았다. 이와 유사하게, 김제 지역 밭 토양의 pH, Av. P, Ex. K, Ex. Ca, Ex. Mg 및 Org. P가 10년차 경작지에서 가장 높았다 (Table 3). Fan et al. (2008)과 Zhou et al. (2014)의 보고에 따르면, 논밭 윤환 농경지 토양의 P, K, Si, Mo 등의 유효도는 담수 상태일때 증가되지만, 반대로 호기 조건인 밭 경작 토양에서는 감소한다. 하지만 본 연구에서는 논밭 전환 연차가 오래된 밭 토양에서 인과 칼륨의 유효도가 가장 높았으며, 게다가 토양 pH와 유기태인의 농도도 가장 높았다. 이러한 상이한 결과를 고려해볼 때, 두 지역 연구대상 농경지 모두 논밭 전환 후 유기질 (e.g. 유박, 가축퇴비 등) 및 무기질 비료 (e.g. 석회, 요소 등) 시비 등 인위적인 활동에 의해 토양 비옥도 및 생산성이 지속적으로 관리되어져 온 것으로 사료된다.

논밭 전환으로 인한 환경 변화에 대해 가장 감수성이 큰 토양 인자는 유기물이다. 그 이유는 우선 담수 상태의 논토양이 호기적 환경조건에 노출되면서, 호기성 미생물 활성이 증가되어 토양 중 유기물의 무기화가 촉진되기 때문이다 (Nishimura et al., 2008; Zhou et al., 2014). 또한, 밭 경작으로 인해 증가된 경운과 침식 그리고 산성화는 밭으로의 전환 후 토양 유기물 및 양분 유실을 더 가속화하며, 이로 인해 토양 비옥도가 급격히 저감된다 (Msofe et al., 2019). 따라서 밭 전환 농경지에서의 토양 질 개선과 지속적인 작물 생산성 유지를 위해서는 적절한 토양 관리가 꾸준히 필요하다. 본 연구에서 김제 지역의 밭 토양 중 유기물 함량은 논밭 전환 연차별로 통계적인 차이가 없었지만 ($p < 0.05$), 재배 연차가 증가할수록 유기물 함량이 점점 감소하였다 (Table 2). 반면 안동 지역에서는 반대로 유기물 함량이 증가하였는데 이것은 두 지역의 토양 관리 방법 (i.e. 퇴비처리 및 경운 등)의 차이에서 기인된 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical properties of soils converted from paddies to soybean-growing uplands in Andong area. Same letters in each column indicate no significant difference in soil parameter among different periods since the land conversion (LSD, $p < 0.05$).

Period after land conversion	pH _{1:5w}	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	T-N (%)	Av. P (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	Ex. Ca (cmol kg ⁻¹)	Ex. Mg (cmol kg ⁻¹)	Ex. Na (cmol kg ⁻¹)	Av. S (mg kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (%)	Org. P (mg kg ⁻¹)
2 years	6.32 b	0.31 ab	1.72 c	0.09 b	105.22 b	0.44 b	7.66 a	1.77 ab	0.13 a	19.42 ab	0.54 a	0.52 ab
4 years	6.46 b	0.28 b	2.57 b	0.10 ab	172.95 ab	0.30 b	6.24 b	1.43 b	0.13 a	21.02 a	0.33 b	0.39 b
10 years	7.15 a	0.34 a	3.23 a	0.12 a	230.97 a	0.78 a	7.41 a	1.94 a	0.09 b	17.20 b	0.53 a	0.75 a

Table 3. Chemical properties of soils converted from paddies to soybean-growing uplands in Gimje area. Same small letters in each column indicate no significant difference in soil parameter among nine uplands (LSD, $p < 0.05$). Same capital letters in each column indicate no significant difference in soil parameter among three different periods since the land conversion (LSD, $p < 0.05$).

Period after land conversion	pH _{1:5w}	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	T-N (%)	Av. P (mg kg ⁻¹)	Ex. K (cmol kg ⁻¹)	Ex. Ca (cmol kg ⁻¹)	Ex. Mg (cmol kg ⁻¹)	Ex. Na (cmol kg ⁻¹)	Av. S (mg kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (%)	Org. P (mg kg ⁻¹)
2 years	6.62 b	0.51 b	1.32 a	0.11 b	81.15 c	0.21 c	7.38 b	1.91 b	0.20 a	25.26 b	0.44 a	0.92 a
4 years	5.47 c	1.34 a	1.28 a	0.15 a	181.66 b	0.24 b	6.62 c	1.91 b	0.19 a	34.66 a	0.43 a	0.93 a
10 years	7.34 a	0.55 b	1.10 a	0.12 b	207.90 a	0.27 a	9.27 a	3.18 a	0.15 b	21.61 c	0.35 a	1.34 a

논밭 전환 후 콩 경작연한에 따른 토양 미생물 활성 차이 미생물은 토양 중 다양한 생화학적 반응을 촉진시키며, 이로 인해 유기물 분해, 식물 영양분 무기화, 입단화 등 토양의 기능에 영향을 준다 (Adetunji et al., 2017).

따라서 dehydrogenase, β -glucosidase, alkaline phosphatase, arylsulfatase 등과 같은 미생물 효소의 활성은 농업 토양의 양분순환 및 생산성 평가에 아주 중요한 지표가 된다. 본 연구의 논밭 전환지 토양 미생물 효소 분석결과에 따르면, 토양 화학성과 같이 다양한 미생물 효소 활성이 각 필지마다 차이를 보였으며, 밭 전환 후 콩 재배지로 이용한 연한에 따라 이들 활성도가 상이하게 나타났다. 안동 지역에서는 평균적으로 밭 전환 10년차 토양에서 DHA, BG 및 ALP 활성도가 다른 연차의 토양에서 보다 유의성 있게 상당히 높았지만, AS 활성도는 경작연한에 따른 통계적 차이가 없었다 (Fig. 1, $p < 0.05$). 반면 김제 지역의 경우, DHA와 AS 활성도는 2년차 밭 전환 토양에서 가장 높았고, ALP와 BG 활성도는 10년차 밭 전환 토양에서 가장 높았다 (Fig. 2).

공통적으로 두 지역에서 BG와 ALP 활성도는 밭 전환 연한이 가장 오래된 토양에서 가장 높았는데, 이는 논밭 전환 후 무기물 또는 유기물 첨가 등의 장기간 토양 관리에 따른 영향으로 보인다 (Xiao-Chang and Qin, 2006; Piotrowska-Dlugosz and Wilczewski, 2014). 장기간 밭 경작에 의한 β -glucosidase 증가의 경우, 지속적인 유기질 퇴비 (i.e. 유박) 시비 뿐만 아니라 수확 후 C/N율이 낮은 콩 작물 잔여물이 환원됨으로 인해 토양 중 탄소분해 및 순환과 관련성이 높은 BG의 활성도가 촉진된 것으로 사료된다 (Adetunji et al., 2017). 그리고 밭 전환 10년차 토양에서 ALP 활성도가 높은 원인은 β -glucosidase와 같이 지속적인 유기물 첨가에 의한 영향 뿐만 아니라 석회시용에 의한 pH 증가의 영향 때문인 것으로 보인다 (Dick et al., 2000). 게다가, 콩과 작물은 다른 작물보다 인 요구도가 높기 때문에 토양 중 phosphatase 효소를 더 활성화하는데 (Makoi and Ndakidemi, 2008; Maseko and Dakora, 2013), 이와 같은 이유로 본 연구에서도 ALP 활성이 논밭 전환 후 경작연한이 가장 오래된 10년차 밭에서 가장 높은 것으로 사료된다.

Fig. 1. Microbial enzyme activities, such as dehydrogenase, β -glucosidase, acid phosphatase, alkaline phosphatase, and arylsulfatase, of soils in Andong area with different cultivation periods after conversion of paddy to soybean field. Same letters indicate no difference in each parameter among different periods of the land conversion (LSD, $p < 0.05$).

Fig. 2. Microbial enzyme activities, such as dehydrogenase, β -glucosidase, acid phosphatase, alkaline phosphatase, and arylsulfatase, of soils in Gimje area with different cultivation periods after conversion of paddy to soybean field. Same letters indicate no difference in each parameter among different periods of the land conversion (LSD, $p < 0.05$).

토양 화학성과 미생물 효소 활성간 상관관계 Pearson 상관 계수 분석결과 (Table 4), 다양한 토양 화학성 변수와 생물학적 변수간 상당한 상관관계가 존재하였다. 토양 미생물 활동의 대표적인 지표인 dehydrogenase는 OM ($r = 0.3$), pH ($r = 0.34$), T-N ($r = 0.27$), K ($r = 0.40$), Ca ($r = 0.26$) 등과 양의 상관관계를 보였다. 이중 DHA와 OM 사이의 높은 상관관계는 DHA가 토양 중 유기물의 생물학적 산화작용에 아주 중요한 역할을 하는 것으로부터 기인된 것으로 (Zhang et al., 2010), 이와 유사한 선행연구 결과가 많이 보고되고 있다 (e.g. Moeskops et al., 2010; Yuan and Yue, 2012). DHA의 토양 pH와의 높은 양의 상관관계 또한 Błńska (2010)에 의해 보고된 바 있다. 그리고 전질소 및 교환성 칼륨과 칼슘의 높은 상관계수 값은 OM과 pH의 영향에서 파생된 결과로 사료된다.

토양 탄소순환 (C cycling)과 밀접한 연관성을 있는 β -glucosidase 활성 (Adetunji et al., 2017)은 OM ($r = 0.35$, $p < 0.01$)과 Org. P ($r = 0.42$, $p < 0.001$)과의 양의 상관관계를 보였다. 또한, 인과 황의 순환 (P and S cycling)에 영향을 주는 alkaline phosphatase과 arylsulfatase 활성의 경우 (Adetunji et al., 2017), 각각 유효인산 ($r = 0.42$, $p < 0.001$)과 유효황 ($r = 0.46$, $p < 0.001$)과의 높은 양의 상관계수를 보였다. 특히 ALP 활성은 토양 pH에 따라 아주 민감하게 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 (Acosta-Martinez and Tabatabai, 2000), 이에 따라 본 연구 결과에서도 APL과 pH 사이에서 가장 높은 상관계수 ($r = 0.77$, $p < 0.001$)가 확인되었다.

Table 4. Correlation coefficient between biological and chemical parameters of soils converted from paddies to soybean-growing uplands throughout the whole areas of this study.

Parameter	Dehydrogenase (DHA)	β -glucosidase (BG)	Alkaline phosphatase (ALP)	Arylsulfatase (AS)
pH	0.34**	0.08	0.77***	-0.12
EC	-0.23*	-0.04	-0.17	0.20
OM	0.30*	0.35**	0.10	-0.45***
T-N	0.27*	0.14	0.02	0.48***
Av. P	-0.24*	-0.12	0.42***	-0.63***
Ex. K	0.40***	0.47***	0.10	-0.30**
Ex. Ca	0.26*	0.10	0.67***	0.24*
Ex. Mg	0.04	0.21	0.46***	0.23*
Ex. Na	-0.07	-0.18	-0.29*	0.72***
Av. S	-0.12	-0.15	-0.29*	0.46***
Fe ₂ O ₃	0.22	0.32**	0.07	0.07
Org. P	0.24*	0.42***	0.32**	-0.61***

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

논밭 전환 연한 차이에 따른 토양 생화학성 변화 주성분 분석 Fig. 3은 안동지역 논밭 전환지 토양 생화학 특성 데이터를 주성분 분석한 결과를 보여준다. PC1 축 (42.5% variance)을 따라 10년차 밭 전환 토양이 2, 3년차 토양으로부터 확연히 분리됨을 확인되었다. 이러한 밭 전환 연한에 따른 차이는 연차가 오래된 토양의 높은 유기물 함량과 pH 뿐만 아니라 이에 의해 증가된 DHA, BG 및 ALP 활성의 영향에 의한 것으로 판단된다. PC2 축 (26.65% variance)을 따라서는 유효황과 AS 활성의 영향이 크게 나타났지만, 전반적으로 논밭 전환 연한에 따른 차이는 보이지 않았다.

Fig. 3. Principal components analysis of the biochemical properties of soils with different periods of agricultural practice after conversion from paddies to uplands in Andong area. A) Component scores for first two principal components of land use periods. B) Loading plot of chemical and biological parameters.

반면 김제지역 논밭 전환지 토양 생화학적 특성에 대한 주성분 분석결과 (Fig. 4)에 따르면, 안동지역에서 보다 논밭 전환 연한에 따른 분리가 아주 명백하였다. PC1 축 (41.7% variance)을 따라 4년차, 2년차, 10년차 순으로 위치하였는데, 이는 교환성 칼슘, 토양 pH, 유기물 함량, 유효황 그리고 ALP 활성의 영향으로 보였다. PC2 축 (30.8% variance)을 기준으로 논밭 전환 2년차 토양이 다른 연차의 토양과 차이를 보였다. 특히 논밭 전환 2년차 토양은 높은 DHA 및 AS 활성에 의해, 10년차 토양은 높은 유효인산, 교환성 칼륨 농도와 BG 활성에 의해 논밭 전환 연한에 따라 토양 생화학적 차이를 보여주었다.

Fig. 4. Principal components analysis of the biochemical properties of soils with different periods of agricultural practice after conversion from paddies to uplands in Gimje area. A) Component scores for first two principal components of land use periods. B) Loading plot of chemical and biological parameters.

Conclusions

본 연구의 결과는 안동과 김제 지역의 논밭 전환 후 콩 재배지 토양 생화학적 특성이 결정됨에 있어서 토양관리 방법 및 기간이 주요한 요인임을 보여주었다. 본 연구의 모든 결과를 종합적으로 분석해 볼 때, 두 지역 모두 논밭 전환 후 콩 경작지로의 활용을 극대화하기 위해 지속적으로 유기물 첨가 및 무기질 비료 시용 등을 수행한 것으로 사료되며, 이러한 토양관리의 기간이 증가할수록 밭 토양의 유기물 함량 및 양분 유효도가 점점 향상되었다. 그리고 이렇게 향상된 논밭 전환지 토양의 질은 전반적인 미생물상의 풍부함 뿐만 아니라 양분순환에 미치는 기능에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 최근 국내의 많은 지역의 논이 다양한 고부가가치 작물을 생산하기 위해 밭으로 꾸준히 토지용도가 변경되고 있다. 이에 따라 논밭 전환 경작지 연구 대상 지역 및 작물의 다양성을 넓혀, 다양한 논밭 전환 농경지의 토양 생화학적 특성에 대한 이해도를 높이고, 이를 기반으로 적절한 토양관리 방안을 마련하는 것이 필요하다고 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 농촌진흥청 연구사업 (과제번호: PJ014871012021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Acosta-Martinez, V. and M. Tabatabai. 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biol. Fertil. Soils* 31:85-91.
- Adetunji, A.T., F.B. Lewu, R. Mulidzi, and B. Ncube. 2017. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: A review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 17(3):794-807.
- Alef, K. and P. Nannipieri. 1998. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. p. 362-363. Academic Press, London, UK.
- Błońska, E. 2010. Enzyme activity in forest peat soils. *Folia For. Pol., Ser. A* 52:20-25.
- Casida Jr., L., D. Klein, and T. Santoro. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98:371-376.
- Chae, G.S. 2012. Recent trends in agricultural land change and countermeasures. p. 1-17. Korea Rural Economic Research Institute, Naju, Korea.
- Dick, W., L. Cheng, and P. Wang. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol. Biochem.* 32:1915-1919.
- Fan, M.S., R.F. Jiang, F.S. Zhang, S.H. Lü, and X.J. Liu. 2008. Nutrient management strategy of paddy rice-upland crop rotation system. *Chin. J. Appl. Ecol.* 9(2):424-432.
- Hayano, K. and A. Katami. 1977. Extraction of β -glucosidase activity from a pea field soil. *Soil Biol. Biochem.* 9:349-351.
- Liu, Y., X. Chen, M. Liu, J. Qin, H. Li, and F. Hu. 2013. Changes in soil microbial properties and nematode assemblage over time during rice cultivation. *Biodiversity Sci.* 21:334-342.
- Makoi, J.H.J.R. and P.A. Ndakidemi. 2008. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. *Afr. J. Biotechnol.* 7(3):181-191.
- Maseko, S. and F. Dakora. 2013. Rhizosphere acid and alkaline phosphatase activity as a marker of P nutrition in nodulated *Cyclopia* and *Aspalathus* species in the Cape fynbos of South Africa. *S. Afr. J. Bot.* 89:289-295.
- Moeskops, B., D. Buchan, S. Sleutel, L. Herawaty, E. Husen, R. Saraswati, D. Setyorini, and S. De Neve. 2010. Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia. *Appl. Soil Ecol.* 45(2):112-120.
- Msofe, N.K., L. Sheng, Z. Li, L. J., and L. Wang. 2019. Influence of agricultural land use change on the selected physico-chemical soil properties in Kilombero valley floodplain, Southeastern Tanzania. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour.* 21(5):556074.
- NIAST. 2000. *Methods of analysis of soil and plant*. RDA, Suwon, Korea.
- Nishimura, S., S. Yonemura, T. Sawamoto, Y. Shirato, H. Akiyama, S. Sudo, and K. Yagi. 2008. Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil carbon budget of a cropland in Japan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 125(1-4):9-20.
- Nüsslein, K. and J.M. Tiedje. 1999. Soil bacteria community shift correlated with change from forest to pasture vegetation in a tropical soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:3622-3626.
- Piotrowska-Dlugosz, A. and E. Wilczewski. 2014. Soil phosphatase activity and phosphorus content as influenced by catch crops cultivated as green manure. *Pol. J. Environ. Stud.* 23:157-165.
- Saunders, W.M.H. and E.G. Williams. 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6:247-267.
- Statistics Korea. 2021. *Agricultural area survey in 2020*. Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1(4):301-307.
- Viollete, G., P. Karina, and H. Esperanza. 2009. Effects of the different land use on soil chemical properties, decom-

- position rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedologia* 53(1):75-86.
- Winkler, K., R. Fuchs, M. Rounsevell, and M. Herold. 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nat. Commun.* 12:2501.
- Xiao-Chang, W. and L. Qin. 2006. Beta-glucosidase activity in paddy soils of the Taihu lake region, China. *Pedosphere* 16:118-124.
- Yoon, E.S, K.Y. Jung, K.D. Park, J.Y. Ko, J.S. Lee, and S.T. Park. 2009. Changes in the soil physical properties of vineyard converted from paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3):145-151.
- Yuan, B.C. and D.X. Yue. 2012. Soil microbial and enzymatic activities across a chronosequence of Chinese pine plantation development on the loess plateau of China. *Pedosphere* 22(1):1-12.
- Zhang, M., Z. He, and M.J. Wilson. 2004. Effects of land use on the chemical and physical properties of red soils. In M.J. Wilson et al. (ed.) *The red soils of China*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Zhang, N., X. He, Y. Gao, Y. Li, H. Wang, D. Ma, R. Zhang, and S. Yang. 2010. Pedogenic carbonate and soil dehydrogenase activity in response to soil organic matter in *Artemisia ordosica* community. *Pedosphere* 20:229-235.
- Zhou, W., T.F. Lv, Y. Chen, A.P. Westby, and W.J. Ren. 2014. Soil physicochemical and biological properties of paddy-upland rotation: A review. *Sci. World J.* 2014:856352.