

신규 유기농 옥수수 재배 시 가축분 퇴비, 경운방법 및 작부체계가 토양 환경에 미치는 영향

안난희[†], 이상민^b, 조정래^a, 남홍식^a, 정정아^c, 공민재^c

Effects of Animal Manure Compost, Tillage Method and Crop System on Soil Properties in Newly Organic Corn Cultivation Field

Nan-Hee An[†], Sang-min Lee^b, Jung-Rai Cho^a, Hong-Sik, Nam^a, Jung-A Jung^c, Min-jae Kong^c

(Received: Oct. 16, 2018 / Revised: Dec. 11, 2018 / Accepted: Dec. 17, 2018)

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the effects of organic farmland soil and nutrient management on soil properties depending on organic (animal manure compost and green manure [hairy vetch]) and chemical fertilization, tillage and no-tillage, and crop rotation (corn-wheat, corn-hairy vetch). It was found that the application of organic matter such as animal manure compost and hairy vetch, increased the soil organic matter content, the soil microbial density and microbial biomass C content as compared with the chemical fertilizer treatment. It was also confirmed that the functional diversity of soil microbial community was increased. As a result of the comparison with the crop rotation and single cropping, the soil chemistry showed no significant difference between the treatments, but the corn-wheat and corn-hairy vetch rotation treatments tended to have higher microbial biomass C content and shannon's diversity index than the single cropping. Soil chemical properties of tillage and no-tillage treatments showed no significant difference between treatments. There was no statistically significant difference in substrate utilization of soil microbial community between tillage and no-tillage treatment. Correlation analysis between soil chemical properties and soil microbial activity revealed that soil organic matter content and exchangeable potassium content were positively correlated, with statistical significance, with substrate utilization, and substrate richness. To conclude, organic fertilization had positive effects on the short-term improvement of soil chemical properties and diversity of microbial communities.

Keywords: organic matter, crop rotation, tillage, no-tillage, soil microbial community

초 록: 본 연구는 유기 농경지의 토양 및 양분관리 방법으로 가축분과 풋거름(헤어리베치)공급, 윤작 시스템. 그리고 경운 및 무경운 처리가 토양환경에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 신규 옥수수 재배 토양의 양분공급원으로 가축분 퇴비, 헤어리베치와 같은 유기물 공급이 화학비료 처리에 비해 토양 유기물 함량을 높이며 토양의 미생물 밀도와 미생물체량 C함량을 증가시키는 것을 알 수 있었다. 또한 토양 미생물 군집의 기능적 다양성이 증가하는 것을 확인하였다. 윤작재배 효과로 토양 화학성은 처리간의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았지만 옥수수-밀, 옥수수-헤어리베치 윤작 처리구가 옥수수 단작 처리구보다 토양의 미생물체량 C 함량과 종 다양성 지수가 높은 경향을

^a 국립농업과학원 유기농업과 연구사(Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

^b 국립농업과학원 유기농업과 연구관 (Senior researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

^c 국립농업과학원 유기농업과 연구원 (Assistant researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

† Corresponding author(e-mail: nanhee79@korea.kr)

보였다. 경운 여부에 따른 토양 화학성은 처리간의 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 토양 미생물 군집의 기질 이용에서 무경운이 경운처리 보다 다소 높게 나타났지만 통계적인 유의차는 없었다. 처리에 따른 토양의 화학성과 미생물상간의 요인간 상관관계 분석 결과, 토양 유기물 함량과 치환성 칼륨 함량은 기질 이용도, 기질 풍부도와 양의 상관관계를 보였다. 이러한 결과로부터 가축분 퇴비, 헤어리베치와 같은 유기물 시용으로 옥수수 재배 토양의 화학성 및 미생물상에 긍정적인 효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

주제어: 유기자원, 윤작, 경운, 무경운, 토양미생물군집

1. 서론

국내의 농업은 1980년대까지 증산 위주 농업정책에서 1990년대부터 환경보전과 안전농산물 생산을 위한 친환경농업으로 농업정책 및 기술이 변화하게 되었다. 그로 인하여 유기농산물에 대한 수요는 지속적으로 증가하였으며, 친환경농산물 생산량 및 생산면적이 매년 증가를 보이고 있다¹⁾. CODEX 및 IFOAM과 같은 국제유기농업 기준에서 제시하는 토양관리 방법은 두과작물, 심근성 작물재배에 의한 윤작의 실천을 필수사항으로 하며, 양분의 재순환을 극대화하고 외부부터의 양분 유입을 최소화하면서 체계적으로 관리하도록 정하고 있다²⁾. 그러나 우리나라는 다양한 작부체계 실천을 통한 양분의 순환을 극대화하여 작물을 생산하기보다는 유기자재 사용 위주로 토양관리가 되고 있다³⁾.

유기물의 주된 공급원인 가축분 퇴비는 토양 유기물 함량을 증진시키며 작물에 필요한 양분 및 미량원소를 지속적으로 공급하는 역할을 한다⁴⁾. 또한 퇴비처리는 양분순환과 관련하여 미생물의 활성과 다양성에 영향을 미치며 퇴비처리에 따른 질소순환에 관련된 미생물의 변화, 유용미생물 증가에 따른 토양 병해에 대한 저항성 및 효소 활성을 증가시키는 것으로 알려져 있다⁵⁻⁸⁾. 유기물 공급의 다른 한 방법으로 풋거름작물은 토양 물리성 개선과 유기물 공급뿐만 아니라 후작물에 대한 질소공급원으로 활용 가능하여 토양의 건전성을 높이는 효과가 있는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 풋거름을 시용한 논토양에서 내생균근균의 함량과 구성 비율이 관행보다 유의적으로 높고 밭 토양에서도 풋거름 작물 연용구에서 미생물의 생화학적 다양성이 높은 것으로 보고된 바 있다^{10,11)}. 윤작을 통한 작부체계 도입은 토양비

옥도의 유지보전은 물론 양분의 효율적인 관리, 토양환경의 개선, 토양미생물의 활성 증대에 크게 기여한다고 알려져 있다¹²⁾. 대체로 우리나라는 겨울철 휴한기에 풋거름작물을 재배하여 녹비로 활용하는 윤작체계를 도입하고 있다¹³⁾. 무경운 재배는 시간과 노력 등 경제적 비용절감 뿐만 아니라 토양침식을 방지하고 토양 중 유기물함량의 증진과 토양생태계의 건전화에 기여하는 기술로 유기농업 생산 시스템에 잘 부합되며¹⁴⁾, 콩-옥수수 재배에서의 온실가스 감축 효과¹⁵⁾, 콩 재배 시 동계 피복작물의 잡초관리 효과^{16,17)}, 토양 중 미생물 생체량과 효소활성 증가¹⁸⁾ 등 다양한 연구가 진행되었다.

유기농업은 단순히 유기농산물을 생산하는 농업 체계가 아니라 환경보호, 생물다양성 등 생태계 보존, 농업의 경제 사회적 가치함양 등 다양한 관점에서 이해가 요구되며 유기농업의 환경에 미치는 영향에 대해서는 아직 많은 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 유기농 재배를 위한 토양 및 양분관리 방법이 토양환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험구 조성 및 처리 내용

본 시험은 전라북도 완주군 이서면 국립농업과학원 유기농업과 시험포장으로 유기농 장기연용 시험을 위해 2015년 가을부터 신규 조성되었으며 시험 전 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 토양 산도는 5.6, 전기전도도는 0.35 dS/m 그리고 유기물 함량은 9.9 g/kg, 유효인산은 48 mg/kg, 치환성 양이온

Table 1. Chemical Properties of Soil (0~15cm) used in the Experiment

	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exch. cation		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	1:5	dS/m	g/kg	mg/kg	cmolc/kg		
	5.6	0.35	9.9	48	0.47	4.71	1.77
Standard	6.5~7.0	< 2	20~30	150~250	0.45~0.55	5.0~6.0	1.5~2.0

함량은 칼륨이 0.47, 칼슘이 4.71, 그리고 마그네슘이 1.77 cmolc/kg 이었다. 신규개간지로 토양 화학성은 옥수수 재배를 위한 적정범위와 비교하여 상당히 낮은 수치를 나타내었다.

시험포장은 7×14 m(가로×세로)으로 시험구는 양분공급원 (가축분퇴비, 풋거름), 경운방법 (경운, 무경운), 윤작1 (옥수수-밀-콩-밀), 윤작2 (옥수수-헤어리베치-배추-밀), 화학비료, 대조구 (무비) 등 총 7처리로 난괴법 3반복으로 배치하였다. 공시 품종은 옥수수 (*Zea mays L.*)는 찰옥 4호, 밀(*Triticum aestivum L.*)은 금강밀을 재배하였으며 주요 처리내용 및 시용량은 Fig. 1과 같다. 옥수수는 2016년 6월 1일에 재식거리 70×30 cm로 정식 하였으며 8월 14일 수확하였다. 경운과 무경운 처리를 위해 2015년, 2016년 가을에 헤어리베치를 9 kg/10a 수준으로 산파하였으며 이듬해 옥수수 정식 2주전에 생육한 헤어리베치를 수확하여 경운구는 전량 시험구에 고르게 펼친 후 경운처리 하고 무경운 처리는 예취 후 전량 토양에 피복하

였다. 옥수수와 밀의 시비량은 농촌진흥청 작물별 시비처방기준의 표준시비량⁹⁾에 준하여 가축분 퇴비는 각각의 표준시비량 질소 기준으로 환산하여 전량 밀거름으로 시비하였으며 화학비료는 옥수수 표준시비량 기준으로 질소는 밀거름 50%, 웃거름 50%, 인산과 칼리는 전량 밀거름으로 처리하였다. 윤작1 처리는 옥수수 재배가 끝나고 2016년 10월 25일에 20kg/10a 수준으로 밀을, 윤작2 처리는 옥수수 수확이 끝나고 2016년 10월 15일에 헤어리베치를 9 kg/10a 수준으로 산파하였다. 토양 시료는 2016년 4월, 2017년 4월에 표토 15cm 깊이로 토양을 채취하였다.

2.2. 토양 분석

토양 화학성 분석을 위해 채취한 토양은 그늘에서 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 사용하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청에서 발간한 토양 및 식물체 분석법²⁰⁾을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법(Orion star A211, Thermo,

Month Treatments	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	T1					Animal manure compost/Tillage(5.10) N 17.4kg/10a						
T2					Chemical fertilizer/Tillage(5.10) NPK=17.4-3.0-6.9k/10a							
T3					Hairy vetch/Tillage(5.10) N 16.8kg/10a						Hairy vetch seeding (10.15)	
T4					Hairy vetch/No-Tillage(5.10) N 16.8kg/10a	Corn planting (6.1)		Corn harvest (8.14)				
T5					Animal manure compost/Tillage(5.10) N 17.4kg/10a				Animal manure compost/Tillage (10.10) N 9.3kg/10a		Wheat seedling (10.25)	
T6					Animal manure compost/Tillage(5.10) N 17.4kg/10a					Hairy vetch (10.15)		
T7					No fertilizer/Tillage(5.10)							

Fig. 1. Treatment contents and application rate of organic resources and chemical fertilizer used for the organic corn cultivation in this study.

USA)으로 측정하였다. 원소분석기 (Vario MAX CN, Elementar, Germany)를 이용해 토양 중 탄소를 분석하였으며 유기물함량은 탄소함량에 계수 1.724를 곱하여 산출하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 720 nm에서 측정하였다. 치환성 양이온은 단일침출액 (1 N CH₃COONH₄, pH 7.0)으로 추출 후 유도결합플라즈마분광계(Integra XL, GBC, Australia)로 분석하였다.

2.3. 토양미생물 밀도 조사 및 미생물체량 분석

미생물 분석을 위해 채취한 토양은 2 mm 체로 거른 후 4°C 냉장고에 보관하면서 2주일 이내에 분석하였다. 토양 30 g을 270 mL의 멸균수에 넣고 왕복진탕기에서 10분간 진탕하여 희석 평판법으로 토양 내의 미생물의 밀도를 조사하였다. 일반 세균은 yeast glucose agar, 방선균은 starch casein agar, 사상균은 rose bengal agar에 30 mg/L의 streptomycin을 첨가하여 조제한 배지를 사용하여 밀도를 조사하였다. 배양 조건은 세균과 방선균은 28°C에서 4~7일, 사상균은 25°C에서 5일간이며 각 시료당 미생물 개체수는 3개의 petridish에 나타난 colony를 각각 계수하여 평균값(colony forming unit: cfu/g 건토)으로 조사하였다²¹⁾. 토양 미생물체량 (Microbial biomass C)은 혼중 추출법을 이용하여 분석하였다²²⁾. 비혼중시료는 습윤토양 15 g에 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였고, 혼중시료는 습윤 토양 15 g을 클로로포름 하에서 24시간 혼중시킨 후 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였다. 미생물체량은 총유기탄소분석기 (TOC-LCPH, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 미생물체량은 혼중된 분석값에서 비혼중된 분석값을 감하는 것으로 계산하였다.

2.4. BIOLOG를 이용한 토양 미생물 군집의 기능적 다양성 분석

토양 미생물 군집의 유일 탄소원 이용능 차이는 31개의 각기 다른 탄소화합물을 가진 BIOLOG Ecoplate™ (Biolog Inc., Hayward, CA)를 이용하여 측정하였다. 냉장 보관된 토양을 1주일 내에 꺼내어 토양시료와 멸균수를 1:10 (W/V)의 비율로 희석한 후 200 rpm으로 10분간 교반하였다. 교반된 시료는 10⁻³배로 희

석한 후 EcoPlate의 well에 150 µl씩 접종한 후 25°C 항온기에 96시간 배양한 후 590 nm에서 흡광도를 측정하였다. 토양미생물 군집의 기질 이용도를 각 well의 평균 색 발달 정도(average well color development, AWCD)로 비교 분석하였으며 다음의 식으로 계산하였다²³⁾.

$$AWCD = \sum(C - R)/n \quad (1)$$

C : 각 well의 OD590nm 값

R : Control well의 OD590nm 값

n : 기질의 수 (31)

생태학에서 종 다양성을 나타내는 지수인 Shannon index(H) 값을 다음과 같은 식으로 계산하였다²⁴⁾.

$$H = -\sum Pi(\ln Pi) \quad (2)$$

Pi : 전체 OD590nm 값에 대한 각각의 기질 OD590nm 값

2.5. 통계처리

자료는 XLSTAT 프로그램 (XLSTAT 2015, Addinsoft, France)을 이용하여 분석하였으며 평균간 유의차 검정은 Duncan's multiple range test로 95% 수준에서 분석하였다. 처리에 따른 토양미생물 군집의 주성분 분석과 조사 항목들의 요인간 상관관계 분석은 XLSTAT 통계 프로그램(XLSTAT, 2015)을 이용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 양분 공급원에 따른 토양 환경 변화

양분 공급에 따른 처리구의 토양 화학성 변화는 Table 2와 같다. 토양 산도는 시험전과 비교하여 T1 처리구는 높아졌으며, 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다. 전기전도도는 모든 처리구에서 시험전에 비해 낮아졌으며, T7 처리구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. 토양 유기물은 시험전에 비해 T1, T2 처리구가 증가했으며,

특히 T1 처리구가 11.6 g/kg으로 다른 처리구에 비해 높게 나타났다. 유효인산 함량은 시험전에 비해 T1 처리구는 높아졌으며, 다른 처리보다 유의적으로 높게 나타났다. 치환성 양이온 함량은 가축분 퇴비를 처리한 T1 처리구가 T2, T3, T7 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다.

양분 공급에 따른 토양 미생물 밀도와 미생물체량 C 함량 변화는 Fig. 2와 같다. 시험전 처리구의 세균 개체수는 $1.4\sim 1.8\times 10^7$ CFU/g으로 처리간의 차이는 없었으며, 시험전에 비해 시험후 세균 개체수는 모든 처리구에서 증가였다. 또한 가축분퇴비, 헤

어리베치와 같은 유기물 공급이 화학비료 공급보다 세균 개체수가 높았으나 통계적인 유의차는 없었다. 방선균의 경우 시험전 개체수가 $1.6\sim 2.1\times 10^5$ CFU/g으로 처리간의 차이는 없었으며, 시험전에 비해 시험후 토양 방선균의 개체수는 모든 처리구에 증가하였다. 시험후 방선균 개체수는 가축분퇴비, 헤어리베치 처리구에서 화학비료, 무비구보다 높았으나 통계적인 유의차는 없었다. 사상균 개체수는 $1.6\sim 2.4\times 10^5$ CFU/g으로 처리간의 차이는 없었으며, 시험전에 비해 시험후 사상균의 개체수는 모든 처리구에서 증가하였다. 시험후 사상균의 개체수는 가축분

Table 2. Change of the Chemical Properties in Soil (0~15cm) with Fertilization Methods

Treatment [†]	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exch. cation		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	(1:5)	dS/m	g/kg	mg/kg		cmolc/kg	
T1	6.2a [‡]	0.31a	11.6a	56.5a	0.62a	5.12a	1.88a
T2	5.6b	0.31a	10.2ab	26.0b	0.53b	4.38b	1.57c
T3	5.6b	0.30a	9.0b	25.4b	0.40c	4.46b	1.72b
T7	5.7b	0.16b	9.2b	28.1b	0.42c	4.56b	1.66bc

[†]T1: Animal manure compost; T2: Hairy Vetch; T3: Chemical fertilizer; T7: No fertilizer

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, P < 0.05).

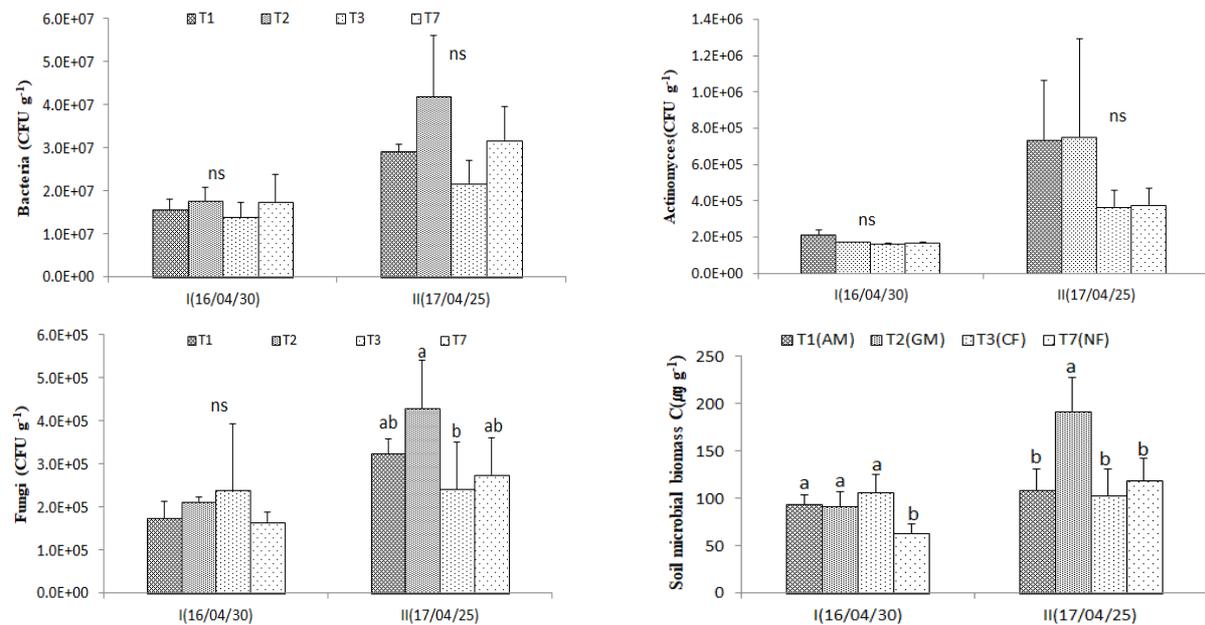


Fig. 2. Changes of microbial populations and soil microbial biomass C in upland soil with application of fertilization methods; T1(Animal manure compost), T2(Hairy vetch), T3(Chemical fertilizer), T7(No fertilizer); Small letters above the bars followed by different letters reflect significant differences between treatments (P < 0.05); n.s., not significant.

퇴비, 헤어리베치 처리구가 화학비료, 무비구보다 높았으며 헤어리베치 처리가 화학비료 처리에 비해 유의적으로 높았다. 시험전 토양 미생물체량 C 함량은 무비구가 낮았으며 시험후 헤어리베치 처리구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 높게 나타났다.

Biolog Microplate는 빠르고 간편하게 배양이 가능한 세균의 기능적 다양성을 조사하는 토양 미생물 분석법으로 활용되고 있으며²³⁾ 서로 다른 31개의 탄소원 가진 Ecoplate는 토양 미생물 군집의 생리적 다양성 차이 즉 토양 미생물 군집의 탄소기질 이용성 (carbon substrates utilization pattern) 차이를 보여 준다²⁵⁾. 토양 양분공급원에 따라 토양 미생물 군집의 기능적 다양성 차이는 Table 3과 같다. 각 처리구의 토양 미생물 군집의 기질 이용도는 각 well의 평균 발색 정도 (AWCD)를 비교한 결과, 모든 처리구에서 시험 전(I)에 비해 시험 후(II) AWCD값이 증가하였다. 또한 시험전·후 모두 동계 녹비작물이 토양에 피복된 T2 처리구가 높게 나타났으며, 시험후 처리구에서 가축분퇴비, 녹비작물이 투입된 토양의 탄소기질 이용도는 화학비료 처리 및 무비구에 비해 높은 경향을 보였다. 또한 31개 기질의 발색반응 정도인 O. D. 값이 0.5 이상일 때 각 토양에 분포하는 다양한 미생물에 의해 이용된 기질로 판단하고 그 수를 합하여 각 토양의 기질 풍부도 (S)를 나타냈다. 처리구의 기질 풍부도는 AWCD와 마찬가지로 모든 처리구에서 처리 전에 비해 처리 후가 증가하였으며 헤어리베치 처리구가 화학비료, 무비구에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 처리구의 종 다양성 지수 (H)는 시험전에 비해 시험후가 증가하였으며 T2가

다른 처리에 비해 유의적인 차이를 나타냈다.

본 시험결과에 따르면 신규 옥수수 재배 토양의 양분공급원으로 가축분 퇴비, 헤어리베치와 같은 유기물 공급이 화학비료 처리에 비해 토양 유기물 함량을 높이며 토양 미생물 밀도와 미생물체량 C함량을 증가시키는 것을 알 수 있었다. 또한 토양 미생물 군집의 기능적 다양성이 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 유기물 사용은 토양의 화학성과 물리성 개선 및 유용 미생물 증대 등 토양개량 효과가 있다고 보고되었으며²⁶⁾ 본 결과에서도 화학비료 처리 및 무비구에 비해 유기물 사용으로 옥수수 재배 토양의 화학성 및 미생물상에 긍정적인 효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

3.2. 윤작 재배에 따른 토양 환경 변화

윤작처리 후 1년이 경과한 2017년 4월 토양의 화학성을 조사하였다(Table 4). 그 결과 토양 산도는 시험전보다 다소 높았으며 처리간의 통계적인 유의 차이는 없었다. 전기전도도는 시험전보다 낮았으며, 윤작 재배 방식에 따라 T5와 T6는 처리간의 유의한 차이를 나타냈다. 토양 유기물과 유효인산 함량은 모든 처리구에서 시험전보다 증가하였으며, 처리간의 통계적인 유의한 차이는 없었다. 그리고 치환성 양이온 함량은 모든 처리구에서 시험전보다 높아졌으며 처리간의 통계적인 유의 차이는 없었다.

윤작재배가 토양 미생물에 미치는 영향을 분석하기 위해 시험전·후 토양미생물 밀도와 미생물체량 C 함량을 조사하였다(Fig. 3). 시험전 처리구의 세균 개체수는 $1.4 \sim 1.8 \times 10^7$ CFU/g으로 처리간의 차이는 없

Table 3. Effect of Fertilization Methods on Catabolic Diversity of the Soil Bacterial Community in Pre-Treatment (I) and Post-Treatment(the first year after treatment, II) as evaluated by Average Well Color Development (AWCD), Substrate Richness (S) and Shannon's Diversity Index (H) Calculated Based on the Results of the Biolog EcoPlate Incubated for 96 h

Treatment [†]	AWCD		S		H	
	I	II	I	II	I	II
T1	0.83b [‡]	1.22ab	18b	25ab	2.85b	3.03b
T2	1.06a	1.29a	23a	26a	3.09a	3.21a
T3	0.71b	1.06b	18b	21c	2.88b	2.99b
T7	0.87b	1.12ab	19b	22bc	2.87b	3.03b

[†]T1: Animal manure compost; T2: Hairy vetch; T3: Chemical fertilizer; T7: No fertilizer

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, P < 0.05).

으며, 시험 후 세균 개체수는 모든 처리구에서 증가하였다. 시험후 토양의 세균 개체수는 윤작이 단작보다 높았으나 처리간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 방선균 개체수는 시험전이 1.6~2.1×10⁶ CFU/g 으로 처리간의 차이는 없었다. 시험후 방선균 개체수는 4.4~8.5×10⁶ CFU/g 으로 모든 처리에서 증가하였으나 처리간의 유의한 차이는 없었다. 사상균의 개체수는 시험전이 1.6~2.1×10⁵ CFU/g 으로 처리간의 차이는 없었으며 시험후 사상균 개체수는 1.6~2.1×10⁵ CFU/g 으로 모든 처리에서 증가하였으나 통계적인 유의차는 없었다. 토양 미생물체량 C 함량은 시험전에 비해 시험후 모든 처리구에서 증가였으며

윤작과 단작 처리간의 차이(p<0.05)를 나타냈다.

토양 미생물 군집의 기질 이용성 차이는 Table 5와 같다. 기질 이용도는(AWCD)는 모든 처리구에서 시험 전(I)에 비해 시험 후(II)에 증가하였다. 시험후 토양의 기질 이용도는 윤작 재배가 단작 재배보다 높은 경향을 나타냈으며 옥수수-밀 윤작 재배가 옥수수 단작 재배에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 각 토양의 기질 풍부도 (S)는 시험전이 16~19 이며 시험후는 25~29로 모든 처리구에서 증가하였다. 시험후 기질 풍부도는 AWCD와 마찬가지로 옥수수-밀 재배가 옥수수 단작 재배에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 종 다양성 지수(H)는 시험

Table 4. Change of the Chemical Properties in Soil (0~15cm) with Cropping System

Treatment [†]	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exch. cation		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	(1:5)	dS/m	g/kg	mg/kg	cmolc/kg		
T5	6.2a [‡]	0.33a	12.2a	70.3a	0.65a	5.08a	1.87a
T6	5.9a	0.26b	11.7a	55.7a	0.59a	5.03a	1.86a
T1	6.2a	0.31ab	11.6a	56.5a	0.62a	5.12a	1.88a

[†]T5 : Corn-Wheat; T6 : Corn-Hairy vetch; T1: Corn

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, P < 0.05).

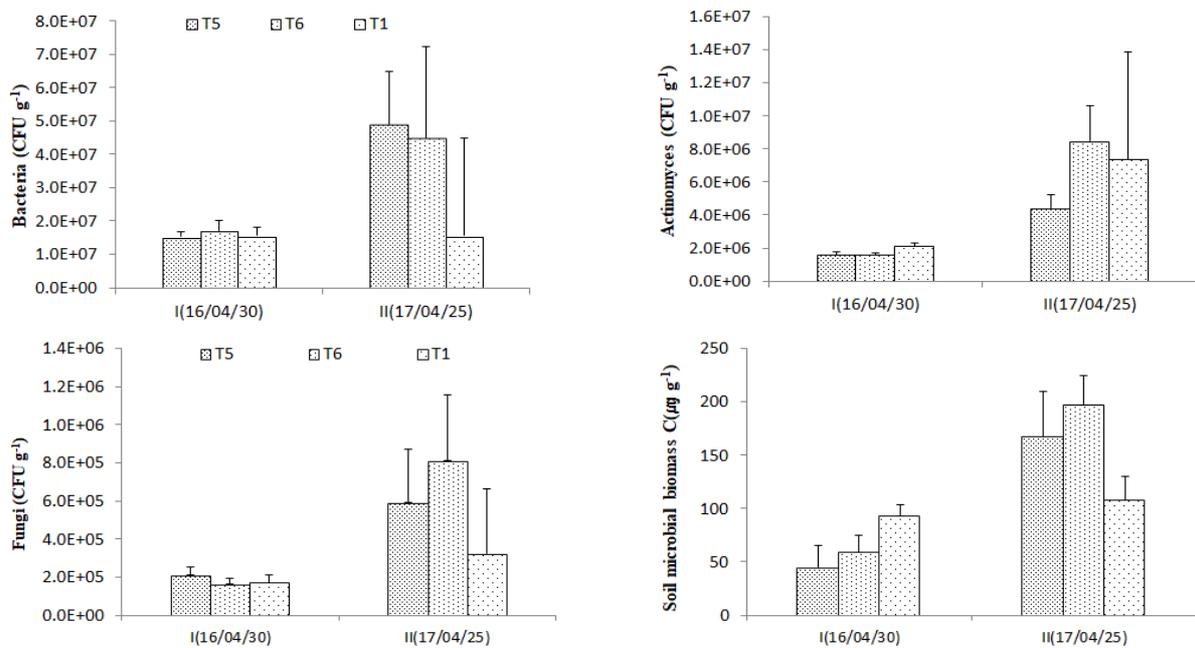


Fig. 3. Changes of microbial populations and soil microbial biomass C in upland soil with application of cropping systems; T5(Corn-Wheat), T6(Corn-Hairy vetch), and T1(Corn).

Table 5. Effect of Cropping Systems on Catabolic Diversity of the Soil Bacterial Community in Pre-Treatment (I) and Post-Treatment(the first year after treatment, II) as evaluated by Average Well Color Development (AWCD), Substrate Richness (S) and Shannon's Diversity Index (H) Calculated Based on the Results of the Biolog EcoPlate Incubated for 96 h

Treatment [†]	AWCD		S		H	
	I	II	I	II	I	II
T5	0.76b [‡]	1.50a	16a	29a	2.71a	3.31a
T6	0.86a	1.37ab	19a	27ab	2.89a	3.19a
T1	0.83ab	1.22b	18a	25b	2.85a	3.03b

[†]T5 : Corn-Wheat; T6 : Corn-Hairy vetch; T1: Corn

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, P < 0.05).

전이 2.71~2.89 이며 시험후는 3.03~3.31로 모든 처리구에서 증가하였다. 시험후 종 다양성은 윤작 재배구가 단작에 비해 유의적으로 높게 나타났다.

결과를 종합해보면 단기적인 윤작재배 효과로 토양 화학성은 처리간의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았지만 옥수수과 밀, 헤어리베치 윤작 처리구가 옥수수 단작 처리구보다 토양 미생물체량 C 함량과 종 다양성 지수가 높은 경향을 보였다. 윤작은 지력 유지 및 증진에 기여하며 윤작에 도입되는 작물은 토양의 미생물 활성과 토양 병원균의 밀도에도 영향을 미친다고 보고하였다²⁷⁾.

3.3. 경운과 무경운 처리에 따른 토양 환경 변화

경운 및 무경운 처리에 따른 토양 화학성을 비교하였다(Table 6). 그 결과 토양 산도는 처리전과 비교하여 차이가 없으며 경운 여부에 따른 처리간의 차이도 나타나지 않았다. 시험후 전기전도도는 시험전보다 낮았으며 처리간의 유의적인 차이도 없었다. 시험후 토양 유기물 함량은 시험전 보다 증가하였으며 처리간의 차이는 나타나지 않았다. 또한 시험 후 유효인산 함량은 시험전보다 낮아졌으며 처리간

차이도 나타나지 않았다. 시험후 치환성 양이온 함량은 처리간의 차이가 나타나지 않았다.

경운과 무경운이 토양 미생물에 미치는 영향을 비교하기 위해 시험전·후 토양 미생물 밀도와 미생물 체량 C 함량을 조사하였다(Fig. 4). 시험전 처리구의 세균 개체수는 $1.8\sim 1.9\times 10^7$ CFU/g으로 처리간의 차이는 없으며, 시험 후 세균 개체수는 모든 처리구에서 증가하였다. 시험후 세균 개체수는 무경운이 경운보다 높았으나 처리간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 방선균 개체수는 시험전이 $1.6\sim 1.7\times 10^6$ CFU/g 으로 처리간의 차이는 없었다. 시험후 방선균 개체수는 $6.6\sim 7.5\times 10^6$ CFU/g 으로 모든 처리에서 증가하였으나 처리간의 유의한 차이는 없었다. 사상균의 개체수는 시험전 $2.1\sim 2.3\times 10^5$ CFU/g 으로 처리간의 차이는 없었으며 시험후 사상균 개체수는 $4.3\sim 5.4\times 10^5$ CFU/g 으로 모든 처리에서 증가하였으나 통계적인 유의차는 없었다. 토양 미생물체량 C 함량은 시험전에 비해 시험후 모든 처리구에서 증가하였으나 처리간의 차이는 나타나지 않았다.

경운 여부에 따른 토양 미생물 군집의 기질 이용성 차이를 비교하였다(Table 7). 기질 이용도는(AWCD)는 시험 전(I)에 비해 시험 후(II) 증가하였으며, 시험

Table 6. Change of the Chemical Properties in Soil (0~15cm) with Tillage Systems

Treatment [†]	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exch. cation		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	(1:5)	dS/m	g/kg	mg/kg		cmolc/kg	
T3	5.6a	0.31a	10.2a	26.0a	0.53a	4.38b	1.57a
T4	5.5c	0.30a	10.8a	32.1a	0.54a	4.84a	1.59a

[†]T3 : Tillage; T4 : No-tillage

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, P < 0.05).

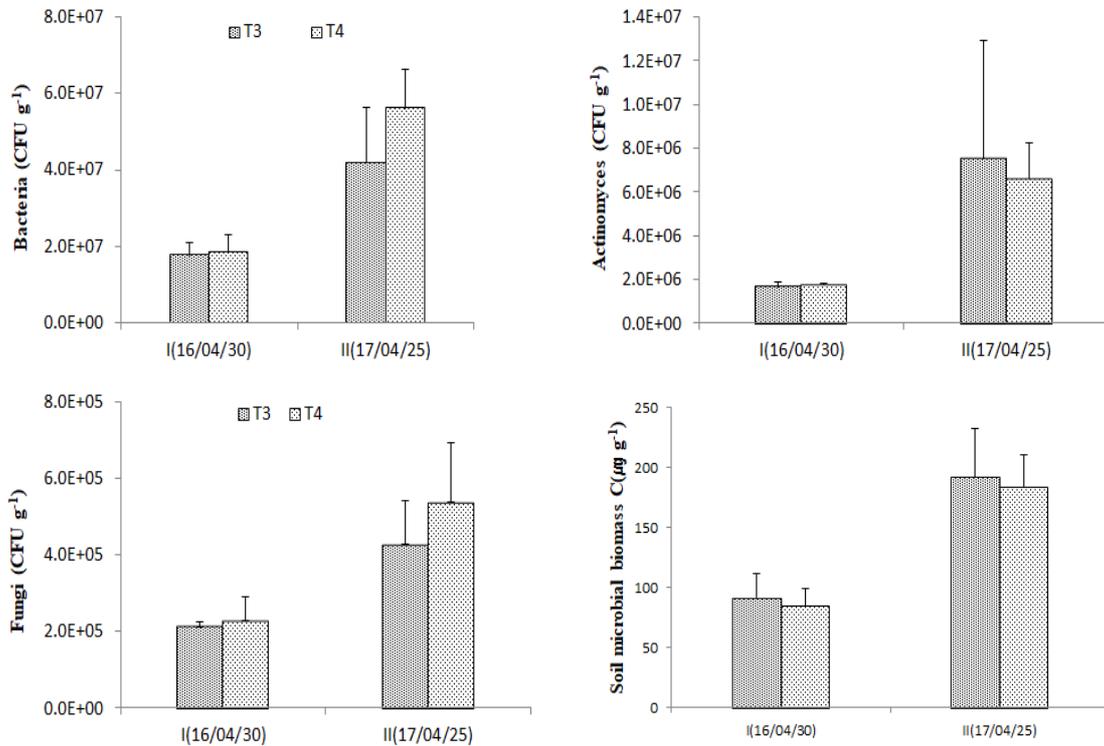


Fig. 4. Changes of microbial populations and soil microbial biomass C in upland soil with application of cropping systems; T3(Tillage) and T4(No-tillage).

Table 7. Effect of Tillage Systems on Catabolic Diversity of the Soil Bacterial Community in Pre-Treatment (I) and Post-Treatment(the first year after treatment, II) as evaluated by Average Well Color Development (AWCD), Substrate Richness (S) and Shannon’s Diversity index (H) Calculated based on the Results of the Biolog EcoPlate Incubated for 96 h

Treatment [†]	AWCD		S		H	
	I	II	I	II	I	II
T3	1.06a	1.29a	23a	26a	3.09a	3.21a
T4	1.20a	1.41a	26a	28a	3.81a	3.24a

[†]T3 : Tillage; T4 : No-tillage

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan’s test, P < 0.05).

후 토양의 기질 이용도는 무경운이 경운처리 보다 높은 경향을 나타냈으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 각 토양의 기질 풍부도(S)는 시험전 보다 시험후가 증가하였으나, 시험후 기질 풍부도는 AWCD와 마찬가지로 처리간의 차이는 나타나지 않았다. 종 다양성 지수(H)는 경운처리 시 시험 전에 비해 시험 후 증가하였으나 무경운 처리는 시험 후 감소하였다. 시험후 경운 여부에 따른 종 다양성 지수는 처리간의 차이는 없었다.

본 연구결과에 따르면 경운 여부에 따른 토양 화학성은 처리간의 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으며 토양 미생물 군집의 기질 이용에서 무경운이 경운처리 보다 다소 높게 나타났지만 통계적인 유의차는 없었다. 무경운 재배는 표층 토양의 유기물 양을 증가시키기 때문에 토양 중 미생물 생체량과 효소 활성이 경운 토양보다 높으며²⁸⁾ 경제적 비용뿐만 아니라 토양생태계의 건전화에 기여하는 기술로 평가되고 있다¹⁴⁾. 그러나 무경운 재배시 초기 2~3년간은

수량 감소가 있으나 4~14년 정도의 안전화기간 이후에는 관행과 비슷한 수량이 가능하다고 하였다²⁹⁾. 본 시험에서는 무경운 재배 1년 후 토양환경 변화를 비교하였으며 앞으로 장기적인 무경운 재배를 통하여 토양생태계 및 작물 생산성에 미치는 영향 연구가 필요한 것으로 생각된다.

3.4. 토양 미생물 주성분 분석

처리에 따른 토양 미생물 군집간의 차이를 설명하고자 Ecoplate에서 얻은 결과값을 가지고 주성분 분석(PCA; Principal component analysis)하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 주성분 분석 결과, 시험 전은 제1 주성분이 88.9%이며 제2주성분이 8.1%로 전체 97.0%의 자료를 설명할 수 있으며 제 2주성분에 의해 T3, T4 처리구가 같은 그룹에 속하며 T1, T2, T5, T6, T7 처리구가 같은 그룹에 속하는 것을 확인하였다. 시험 후에는 제1주성분과 제2주성분이 각각 총변이의 87.0%와 6.6%를 나타냈다. 처리전의 경우 제2주성분에 의해 헤어리베치가 재배된 처리구 (T3, T4)와 그렇지 않은 처리구로 확연히 분리되었다. 제2주성분에 높은 정의 상관관계를 보이는 탄소원은 β -Methyl-D-Glucoside, D-Cellobiose, Glycogen, α -Cyclodextrin, D-Malic Acid, L-Arginine, Glucose-1-Phosphate이었고, 그리고 2-Hydroxy

Benzoic Acid, Glycyl-L-glutamic Acid, Tween 40, D-glucosaminic Acid, D,L- α -Glycerol의 탄소원들이 제 2주성분에 높은 부의 상관관계를 보임에 따라 이들 탄소 기질들이 헤어리베치 피복구와 그렇지 않은 처리구들을 구분되게 하는 주요 탄소원이었다. 처리 1년차에는 제 2주성분에 의해 T4, T5 처리구가 같은 그룹에 속하며 T1, T2, T3, T6, T7 처리구가 같은 그룹에 속하는 것을 확인하였다.

3.5. 신규 유기농 옥수수 재배 토양환경에 영향을 미치는 요인 분석

유기농 옥수수 재배지 토양의 양분, 경운, 윤작 등 처리가 토양 미생물 활성 및 토양 화학성에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위하여 요인간 상관관계를 분석하였다(Table 8). 토양 유기물 함량 및 치환성 칼륨 함량은 기질 이용도, 기질 풍부도와 양의 상관관계를 나타내며, 토양 미생물 군집의 기질 다양성은 기질 이용도, 기질 풍부도, 토양 미생물 Biomass C, 토양 세균 밀도와 유의성 있는 양의 상관관계를 보였다. 그리고 토양의 미생물 Biomass C는 세균과 사상균 밀도와 양의 상관관계를 보였으며 통계적으로도 유의하였다. 이러한 경향은 토양의 미생물 Biomass C는 토양의 pH 및 세균 밀도와 강한 양의 상관관계

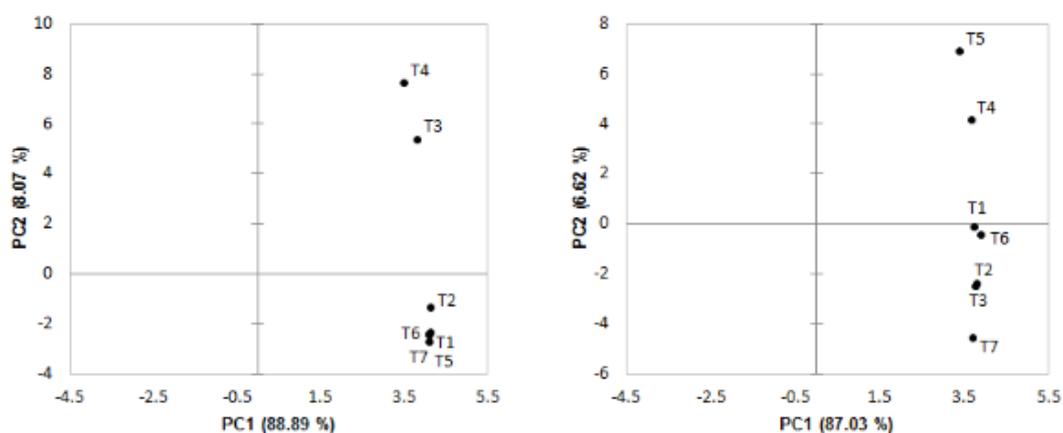


Fig. 5. Principal component analysis of substrate utilization pattern by Biolog Ecoplate in upland soil with application of fertilization methods, cropping systems and tillage systems; (a) pre-treatments, (b) post-treatments(the first year after treatment); T1(corn/animal manure compost-tillage), T2(corn/chemical fertilizer-tillage), T3(Hairy vetch-corn/green manure/tillage), T4(Hairy vetch-corn/green manure/no-tillage), T5(corn-wheat/animal manure compost/tillage), T6(corn-Hairy vetch/animal manure compost/tillage) and T7(Corn/no fertilizer/tillage).

Table 8. Correlation Matrix obtained by Regression Analysis of all the Data Application of Fertilization Methods, Cropping Systems and Tillage Systems

Variable	H	AWCD	S	MBC	pH	EC	OM	AP	E-K	E-Ca	E-Ma	B	A	F
H	1													
AWCD	0.952*	1												
S	0.927*	0.988*	1											
MBC	0.862*	0.781*	0.783*	1										
pH	0.118	0.331	0.336	-0.149	1									
EC	0.430	0.458	0.509	0.237	0.257	1								
OM	0.642	0.827*	0.851*	0.472	0.740	0.497	1							
AP	0.424	0.630	0.616	0.170	0.916*	0.352	0.906*	1						
E-K	0.643	0.810*	0.851*	0.465	0.738	0.552	0.984*	0.864*	1					
E-Ca	0.328	0.598	0.611	0.136	0.788*	0.273	0.889*	0.904*	0.827*	1				
E-Ma	-0.023	0.211	0.195	-0.190	0.898*	0.203	0.654	0.876*	0.588	0.792	1			
B	0.923*	0.911*	0.900*	0.862*	-0.043	0.247	0.576	0.293	0.556	0.359	-0.152	1		
A	0.313	0.399	0.505	0.603	0.106	0.277	0.530	0.221	0.559	0.343	0.098	0.393	1	
F	0.749	0.807*	0.785*	0.834*	0.221	0.198	0.717	0.558	0.635	0.549	0.321	0.751	0.575	1

H, shannon's diversity index; AWCD, average well color development; S, substrate richness; pH, potential of hydrogen ion; EC, electrical conductivity; OM, organic matter; AP, available phosphate; E-K, exchangeable potassium; E-ca, exchangeable calcium; E-Ma, exchangeable magnesium; B, bacteria, A, actinomycetes; F, fungi; * p<0.05.

가 있으며 바실러스균과 곰팡이균은 토양의 유기물 함량과 양의 상관관계가 보고되었다^{30,31)}.

본 연구 결과에 따르면 단기적으로 화학비료, 무처리에 비해 유기물 공급, 윤작, 그리고 무경운 실천을 통해 토양 화학성 개선과 미생물 군집 변화에 긍정적인 효과를 나타냈다. 앞으로 토양의 건전성 유지 및 관리를 위해 유기물 공급, 윤작, 그리고 무경운 연구가 장기적으로 수행되고 좀 더 면밀히 검토되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 유기 농경지의 토양 및 양분관리 방법으로 가축분과 풋거름(헤어리베치)공급, 윤작 시스템 그리고 경운 및 무경운에 따른 토양 환경에 미치는 영향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 가축분 퇴비, 헤어리베치와 같은 유기물 공급이 화학비료 처리에 비해 토양 유기물 함량을 높이며 토양의 미생물 밀도, 미생물체량 C함량, 미생물 군집의 기능적 다양성이 증가하는 것을

확인하였다.

2. 단기적인 윤작재배 결과, 토양 화학성은 처리간의 통계적인 유의차가 없었으며 토양의 미생물체량 C 함량과 종 다양성 지수는 윤작 처리구가 높은 경향을 확인하였다.
3. 경운 및 무경운 처리 1년 후, 토양 화학성과 미생물상은 처리간의 뚜렷한 차이를 확인할 수 없었으며 장기적인 무경운 재배를 통해 처리간의 변화를 분석할 수 있을 것으로 사료된다.
4. Ecoplate에서 얻은 결과값을 가지고 주성분 분석 결과, 처리 전에는 경운과 무경운 처리가 같은 그룹이며 처리 1년차에는 무경운, 윤작(옥수수-밀) 처리가 같은 그룹에 속하는 것을 확인하였다.
5. 처리별 토양 화학성과 미생물 군집 특성의 요인간 상관관계를 분석한 결과, 토양 유기물 함량 및 치환성 칼륨 함량은 기질 이용도, 기질 풍부도와 양의 상관관계를 나타냈다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호:PJ013522042018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Lotter, D. M., "Organic agriculture", *Journal of sustainable agriculture*, 21(4), pp. 58-128. (2003).
2. Sohn, S. M., "Core aspects of environmental friendly sustainable agriculture in major European countries and its approach in Korea", *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 7(2) p. 138-155
3. 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 J. of Org. Agric.*, 14(1), pp. 55-67. (2006)
4. Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Hatch, D. J., Cuttle, S. P., Rayns, F. W. and Gosling, P., "Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen?", *Soil Use and Management*, 18(1), pp. 248-255. (2002)
5. Ginting, D., A., Kessavalou, B. E. and Doran, J. W., "Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications", *Journal of Environmental Quality*, 32(1), pp. 23-32. (2003)
6. Kim, J. G., Lee, S. B. and Kim, S. J., "The effect of long-term application of different organic material sources on soil physical property and microflora of upland soil", *Korea J. Soil Sci. Fer.*, 34(5), pp. 365-372. (2001)
7. Weon H. Y., Kwon J. S., Suh J. S. and Choi, W. Y., "Soil microbial flora and chemical properties as influenced by the application of pig manure compost", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 32(1), pp. 76-83. (1999)
8. Kwak, H. K., Seong, K. S., Lee, N. J., Lee, S. B., Han, M. S. and Roh. K. A., "Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 36(5), pp. 304-310. (2003)
9. Thorup-Kristensen, K., "The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops", *Fertilizer Research*, 37(3), pp. 227-234. (1994)
10. An, N. H., Lee, S. M., Cho, J. R., Lee, B. M., Ok, J. H., Shin, J. H. and Kim, S. C., "Effects of long-term fertilization on microbial diversity in upland soils estimated by Biolog ecoplate and DGGE", *Korea J. Soil Sci. Fer.*, 47(6), pp. 451-456. (2014)
11. An, N., H., Ok, J. H., Cho, J. L., Shin, J. H., Nam, H. S. and Kim, S., C., "Effects of Organic Matter Application on Soil Microbial Community in a Newly Reclaimed Soil", *Korean J. of Org. Agric.*, 23(4), pp. 767-779. (2015)
12. Cater, M. R. and Stewart, B. A., *Structure and organic matter storage in agricultural soil*. CRC press, pp. 14. (1995).
13. Lee, S. M., Sung, J. K., Lee, Y. H., Ji, H. J., Lee, B. M., Choi, D. H. and Kim, Y. H., "Effect of Crop Rotation Introduced for Organic Farming Practice in the Upland Soil" Annual Research Report, National Institute of Agricultural Sciences and Technology, pp. 1-30. (2005)
14. Cho, J. L., An, N. H., Nam, H. S., Lee, S. M. and Ok, J. H., "Effect of cover crop on weed control in no-tilled organic soybean field", *Weed. Turf. Sci.*, 6(3), pp. 189-195. (2017)
15. Seo, J. H., Tony, J. V., Antia G. and Doug R. S., "Soil Greenhouse gas emissions from three decades Long-term experimental field of corn-soybean rotation and tillage treatment", *Korean J. Crop Sci.*, 57(1), pp. 89-97. (2012)
16. Kim S., In, I. B., Kang, J. G. Lee, S. B. and An, X. H., "Effects of weeding and growth characteristics by mulched plants as chinese milk-vetch and seedling

- density of soybean at soybean cultivation in paddy field”, *Kor. J. Weed Sci.*, 28(2), pp. 139-145. (2008)
17. Lee, J. H., Lee, B. M., Shim, S. I., Lee, Y. and Jee, H. J., “Effects of crimson clover, hairy vetch and rye residue mulch on weed occurrence, soybean growth and yield in soybean field”, *Kor. J. Weed Sci.*, 31(2), pp. 137-174. (2011)
 18. Oh, E. J., Park, I. S., Yoo, I., Kim, S. J., Woo, U. H. and Chun, K. Y., “Effect of Tillage System and Fertilization Method on Biological Activities in Soil under Soybean Cultivation”, *Korean J Environ Agric.*, 36(4), pp. 223-229. (2017)
 19. NIAST, The standard of fertilizer application crop species, Rural Development Administration, (2006)
 20. NIAST, Analysis methods of soil and plant, Rural Development Administration, (2010)
 21. Suh, J. S., Kwon, J. S. and Noh, H. J., “Effect of the long-term application of organic matters on microbial diversity in upland soils”, *Korea J. Soil Sci. Fer.*, 43(6), pp. 987-994. (2010)
 22. Vance, E. D., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S., “An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon”, *Soil Biol. Biochem.*, 19(6), pp. 703-707. (1987)
 23. Garland, J. L. and Mills. A. L., “Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community level sole carbon source utilization”, *Appl. Environ. Microbiol.*, 57(8), pp. 2351-2359. (1991)
 24. Lee, E. Y., and Hong, S. H., “Assessment of the changes in the microbial community in alkaline soils using biolog ecoplate and DGGE”, *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering journal*, 28(5), pp. 275-281. (2013)
 25. Bradley, R. I., Shipley, B. and Beaulieu. C., “Refining numerical approaches for analyzing soil microbial community catabolic profiles based on carbon source utilization patterns” *Soil Biol. Biochem.*, 38(3), pp. 629-632. (2006)
 26. Recel, M. R., “International seminar on the use of microbio and organic fertilizers in agriculture production”, RDA & FFTC. (1994)
 27. Celletti., M. J., Johnston, H. W. and Platt, H. W., “A note on the incidence of soil born fungi in six crops used in rotation with potatoes” *Phytoprotection*. 71(2), pp. 97-100. (1990)
 28. Mullen, M. D., Melhorn, C. G., Tyler, D. D. and Duck, B. N., “Biological and biochemical soil properties in no-till corn with different cover crops”, *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), pp. 219-224. (1998)
 29. Franchini, J. C., Debiasi, H., Junior, A. A., Tonon, B. C. and Bouc, J. R., “Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil”, *Field Crop Res.* 137, pp. 178-185.2012. (2012)
 30. Kim, Y. K., Kang, H. J., Yang, S. H., Oh, H. J. and Kim H. S., “Effects of Crop Rotations on Potato Yield, Soil Chemical and Microbiological Properties in Organic Farming System” *Korean J. of Org. Agric.*, 20(4), pp. 687-702. (2012)
 31. Lee, Y. H. and Ha, S. K., “Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils on Gyeongnam province.”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 44(2), pp. 242-247. (2011)