

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
안전농산물 생산을 위한 유기재배기술 개발		유기농업	'17~'21	농업기술원 환경농업연구과	장재은
벼 재배토양 유기자재 장기연용효과 평가		유기농업	'17~'21	농업기술원 환경농업연구과	장재은
색인용어	벼, 유기재배, 유박, 볏짚, 가축분퇴비, 연용, 토양 이화학적, 미생물				

ABSTRACT

Currently, the majority of organic fertilizers used in domestic eco-friendly farms are imported oil cakes, and when oil cakes are used for a certain period of time, soil physicochemical property and soil microorganisms status need to be determined for appropriate organic material use. This study was conducted to establish soil management guidelines for rice organic cultivation by investigating annual changes in soil environments such as soil physicochemical property and soil microorganisms when organic materials such as oil cakes, rice straw, and livestock compost were used for five years from 2017 to 2021. In addition, it was carried out to establish information on changes in the soil environment, such as soil physicochemical properties and soil microorganisms, during organic cultivation compared to the conventional cultivation. When only oil cake was used during organic rice cultivation for five years from 2017 to 2021, soil pH decreased by 10%, Av.P₂O₅ decreased by 42%, and calcium decreased by 18%, and Av.P₂O₅ was much lower than the appropriate range, so it was necessary to mix optimum livestock compost based on fertilizer recommendation by soil testing. Compared to the case where only oil cake was used during organic rice cultivation for five years from 2017 to 2021, the bulk density by mixed application of rice straw and livestock compost was lowered, porosity and aggregate were improved, and soil physical properties were improved during organic cultivation using rice straw and livestock compost. In the case of annual use of organic materials such as oil cake, rice straw, and livestock compost during organic cultivation for five years from 2017 to 2021, there was no difference among treatments on soil microorganisms in the first year, but in the fifth year, the density of soil microorganisms such as mold and actinomycetes was increased. As a result, when organic materials such as oil cake, rice straw, and livestock compost were used annually, the functional diversity of soil microbial clusters is increased compared to the conventional cultivation.

Key words:: Rice organic cultivation, Soil physicochemical property, Soil microorganism, Oil cake, Rice straw, and Livestock compost

1. 연구목표

유기농업을 실천하는 지역현장에서는 유기농산물의 안정적인 생산을 위한 토양비옥도 증진 및 양분관리 기술과 병해충관리 등에 대한 기술수요가 높다(An et al., 2014). 경작지에서의 유기물 사용은 작물에 양분공급뿐만 아니라 토양의 구조개선, 양분 및 수분 보유능 증진, 미생물의 활성 촉진 등의 효과를 나타내고(Cho et al., 2009; Hong et al., 2016; Peacock et al., 2001; Yeon et al., 2007) 토양 미생물체량을 증가시키며(Pascual et al., 2000) 다양한 종류의 효소 활성이 높아진다고 보고되어 있다(Crecchico et al., 2001). 가축분 퇴비와 녹비를 연용하면 화학비료 처리구에 비해 유기물 함량이 증가하고 세균과 사상균 개체수는 유기물을 연용할수록 유기물 처리구와 화학비료 처리구간의 유의적인 차이를 나타낸다는 보고도 있다(An et al., 2015; Park et al., 2016).

경기도는 헤어리베치와 같은 풋거름작물의 지역적응성이 낮기 때문에 친환경 벼 재배시 다른 대체비료 없이 수입 유박을 연용하고 있는 실정이다. 하지만 유박을 장기간 연용하였을 경우 토양 산도 저하 및 특정 성분의 결핍 등 토양 화학성에 미치는 영향과 토양 미생물상의 변화에 대한 우려는 있지만 이에 대한 과학적인 근거가 부족한 실정이다. 또한 안정적인 유기농산물 생산을 위해서는 토양의 건전성이 기반이 되어야 하며 이를 위해 적절한 유기물 공급이 필요하므로, 벼 재배토양 유기자재 장기연용시 토양 이화학성 및 토양미생물상 변동에 대한 토양환경 정보구축 및 유기재배토양 관리지침 설정이 필요하였다.

따라서 본 연구는 벼 유기재배지에서 양분공급을 위한 유기자재로 유박만 단용한 경우와 벚짚, 가축분퇴비 등을 혼용하였을 경우에 대해 연차간 토양환경 변화를 조사하여 유기자재 처리별 장기연용시 토양 이화학성 및 토양미생물상 등 토양환경 변화에 과학적 근거를 마련하고, 벼 유기재배지 토양 관리지침을 마련하기 위해서 실시하였다. 또한 관행재배 대비 유기재배시 토양환경 변화에 대한 정보도 구축하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2017년부터 2021년까지 5년간 화성시 기산동에 위치한 경기도농업기술원 논 시험포장에서 실시하였다. 유박, 벃짚, 가축분퇴비를 처리별로 연용하면서 토양 이화학성 및 토양 미생물상을 조사하였다. 유기재배 처리구는 유기자재를 처리별로 연용하여 유기재배시 시기별로 토양 화학성 및 생육 등을 조사하였다. 유박은 질소공급원으로 질소 토양검정시비량의 70% 해당량으로 동일하게 처리하였으며 유기재배용 혼합유박 시제품(문전옥답: 아주 까리유박 80%, 미강 20%)을 사용하였다. 벃짚과 가축분퇴비는 유기물 공급원으로 단용 및 혼용하면서 토양 화학성 및 물리성, 토양 미생물상을 조사하였다. 유기재배후 생산된 벃짚은 농가사용량 수준으로 600kg/10a 사용하였고 가축분퇴비는 유기재배용 시판제품(안성퇴비: 우분40, 톱밥25, 계분20, 커피박10, 돈분 5%)을 2톤/10a 동일하게 처리하였다. 사용한 유기자재의 성분은 표 1과 같다. 관행재배인 토양검정시비구는 요소, 용과린, 염화칼리를 토양검정시비량 기준으로 사용하였다. 벃 이양은 매년 5월 21일 전후로 하였고, 수확은 10월 11일 전후로 수확하여 수량 및 미질특성을 조사하였다. 이양후 30, 60, 90일에 시기별로 초장, 경수, 엽색도 등 생육조사를 실시하였으며, 벃 출수 이후에는 성숙기 생육 및 수량구성 요소와 수확후 수량 및 미질특성을 조사하였다. 전체 처리구는 벃 유기재배 방식에 따라 생육 및 병해충 관리를 하였으며 제초용 왕우렁이를 4kg/10a 사용하여 잡초관리를 실시하였다. 벃의 생육 및 수량조사는 농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 실시하였으며 측정 결과에 대한 통계 처리는 Duncan's multiple range test (DMRT) 방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다. 토양 미생물군집의 기능적 다양성 분석은 31개의 각기 다른 탄소화합물을 가진 BIOLOG Ecoplate™을 이용하여 측정하였으며, 토양 미생물군집의 주좌표 분석은 Metagenome sequencing을 이용하여 분석하였다.

표 1. 시험재료의 화학성

시험재료	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	수분 (%)
혼합유박	6.4	78.7	4.1	2.3	1.5	1.5	1.0	0.1	10.2
벃짚	7.0	80.3	0.4	0.2	0.5	0.6	0.2	0.1	7.0
가축분퇴비	8.5	37.5	1.4	1.5	2.4	2.3	0.9	0.7	48.3

3. 결과 및 고찰

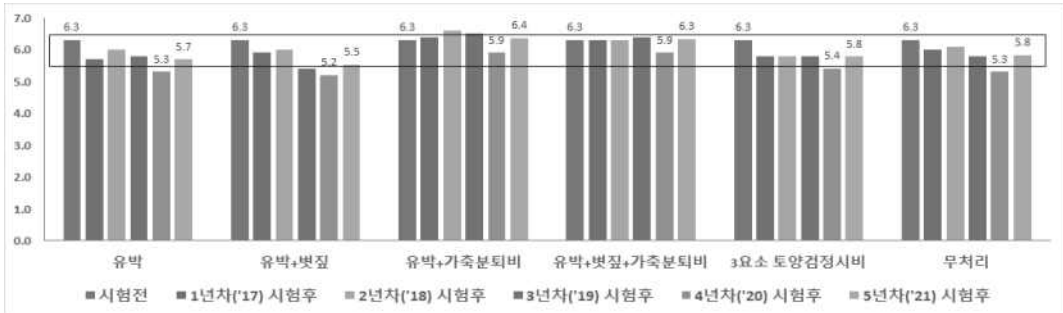
가. 유기자재 연용에 의한 토양 화학성 변화

유기자재를 2017년부터 2021년까지 5년간 연용하여 토양 화학성을 조사한 결과는 표 2, 그림 1과 같다. 토양 pH는 시험전 6.3에서 유박 단용구, 토양검정시비구에서는 5.7, 5.8로 낮아졌으나, 유박+가축분퇴비, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용구에서 6.4, 6.3으로 변화가 없었다. 유기자재 5년 연용시 유기물 함량은 유박만 단용하였을 경우에는 토양검정시비구 및 무처리구와 유사하게 토양 유기물 함량에 변화가 없어 유박 단용만으로는 토양구조 개선에 기여하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 시험전 유기물 함량 28g/kg 대비 유박+볏짚 혼용구에서는 3.6%, 유박+가축분퇴비 혼용구 42.9%, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용구 53.6%로 토양 유기물 함량이 증가하였다. 유효인산은 유박 단용 및 유박+볏짚, 토양검정시비구, 무처리구에서 적정범위보다 매우 낮았으며 유박+가축분퇴비 혼용구 477.8%, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용구 548.1%, 토양검정시비구에서는 66.7% 증가하였다. 따라서 유박 사용시에는 가축분퇴비의 혼용이 필요하며 과량으로 사용되지 않도록 토양검정을 통한 적정시비량으로 사용되어야 한다. 유박 단용시 치환성 칼륨 함량은 42.3%, 칼슘 함량은 18.0% 낮아지는 경향을 나타냈으며 유박+가축분퇴비 혼용시 치환성 칼륨, 칼슘 함량은 각각 53.8%, 1.1% 증가하고 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용시 71.2%, 3.4% 증가하였다. 치환성 마그네슘 함량은 유박+가축분퇴비 혼용시 25.0%, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용시 31.3% 증가하였다. 유효규산 함량은 유박 단용시 23.4%, 유박+볏짚 혼용구 12.7%, 유박+가축분퇴비 혼용구 8.9%, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용구 4.4%, 토양검정시비구에서 21.5% 낮아졌다. 따라서 벼 유기재배시 유박을 사용하는 경우에는 토양 화학성을 개선하기 위해 토양검정후 적정 시용량의 가축분퇴비의 혼용이 필요할 것으로 판단되었다.

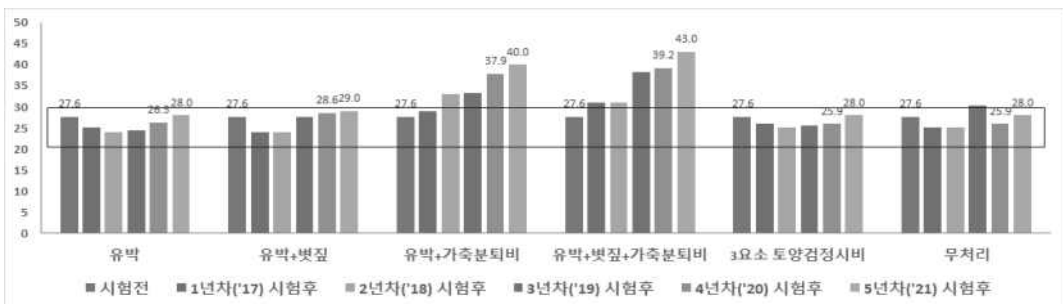
표 2. 토양의 화학성 변화

처 리 내 용	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	SiO ₂ (mg/kg)	Ex.cation(cmol/kg)			
					K	Ca	Mg	
시 험 전('17)	6.3	28	27	158	0.52	8.9	1.6	
시 험 후 (21)	유박	5.7	28	30	121	0.30	7.3	1.6
	유박+볏짚	5.5	29	27	138	0.40	7.1	1.5
	유박+가축분퇴비	6.4	40	156	144	0.80	9.0	2.0
	유박+볏짚+가축분퇴비	6.3	43	175	151	0.89	9.2	2.1
	토양검정시비	5.8	28	45	124	0.37	6.9	1.4
무처리	5.8	28	26	131	0.34	7.6	1.5	
적정범위	5.5~ 6.5	20~ 30	80~ 120	≥157	0.20~ 0.30	5.0~ 6.0	1.5~ 2.0	

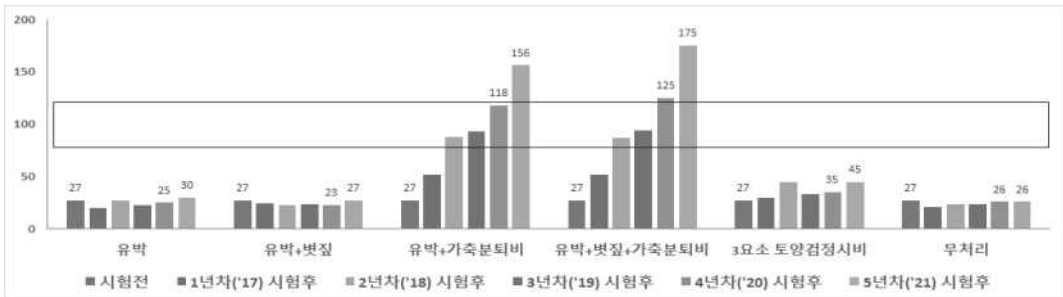
○ pH



○ OM(g/kg)



○ Av.P₂O₅(mg/kg)



○ K(cmol/kg)

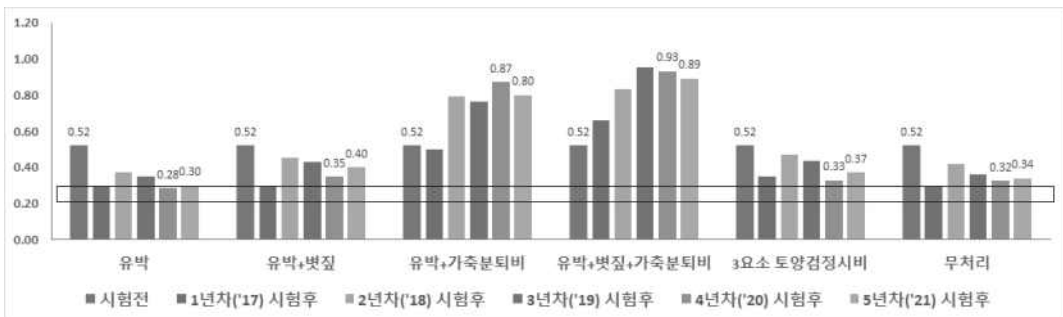
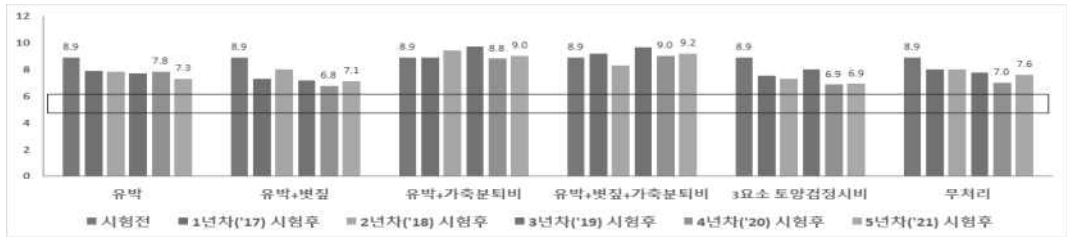
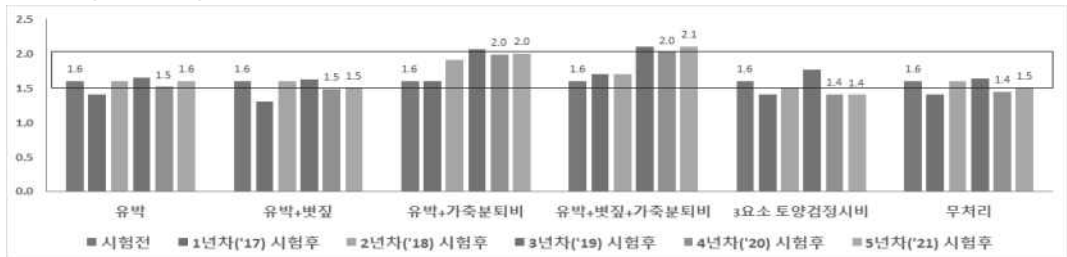


그림 1. 연차간 토양 화학성 변화

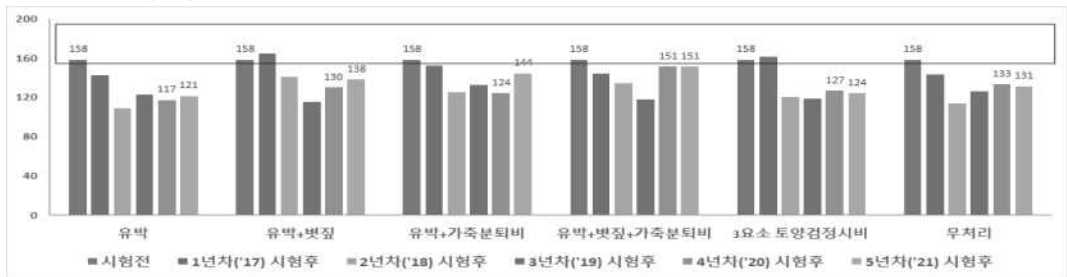
○ Ca(cmol/kg)



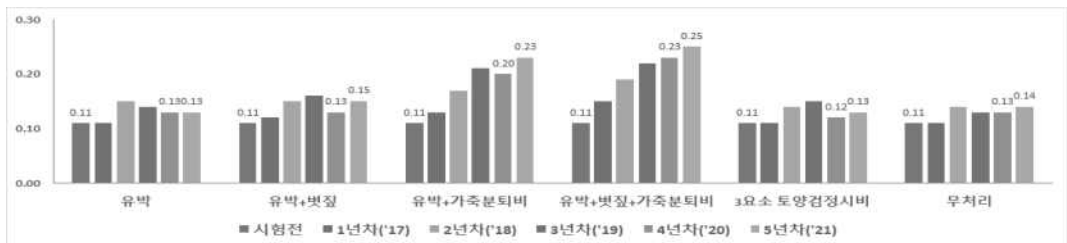
○ Mg(cmol/kg)



○ SiO₂(mg/kg)



○ T-N(%)



○ T-C(%)

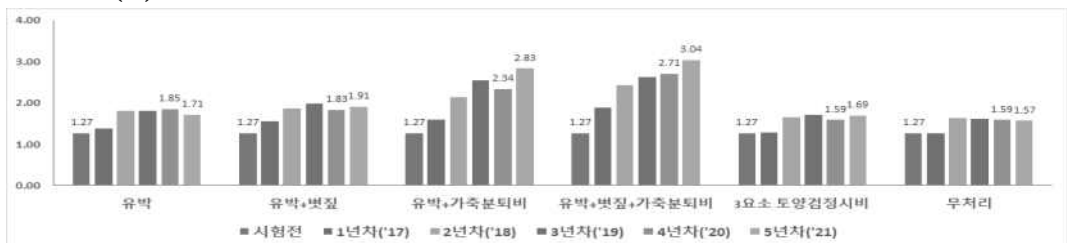


그림 2. 연차간 토양 화학성 변화(계속)

유기자재 연용후 토양 탄소격리량은 토양검정시비구(관행재배) 156kg/10a, 유박 단용구 182kg/10a 대비 유박+볏짚 혼용구 442kg/10a, 유박+가축분퇴비 혼용구 1,638kg/10a, 유박+볏짚+가축분퇴비 혼용구 1,911kg/10a로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 토양검정시비구(관행재배) 대비 토양 탄소격리량은 유박 사용시 17% 증가하였고, 볏짚 혼용시에는 183%, 가축분퇴비 혼용시에는 950%, 볏짚+가축분퇴비 혼용시에는 1,125% 증가하여 관행재배 대비 유기재배시 토양 탄소격리 효과가 현저히 큰 것으로 나타났다(표 3).

표 3. 토양 탄소격리량

처 리 내 용	T-C(%)		토양 탄소격리량 (kg/10a)
	시험전	5년차('21)	
유박	1.27	1.71	182(117)
유박+볏짚	1.27	1.91	442(283)
유박+가축분퇴비	1.27	2.83	1,638(1,050)
유박+볏짚+가축분퇴비	1.27	3.04	1,911(1,225)
토양검정시비	1.27	1.69	156(100)
무처리	1.27	1.57	-

$$\ast \text{ 토양 탄소격리량(kg/10a)} = \left\{ \sum_{i=0}^n T_{TC}(L_i - I_i) - NT_{TC}(L_i - I_i) \right\} \times SW$$

T: 처리구, NT: 대조구, TC: 토양 탄소 함량(g/kg)

L_i, I_i : 초기와 수확 후 토양 탄소 함량(g/kg)

SW: 토양 비중을 고려한 작토층 10 cm의 토양 무게(kg/10a) 130,000kg/10a

나. 유기자재 연용에 의한 토양 물리성 변화

벼 유기재배시 토양 물리성은 표 4와 같이 유박만 연용('17~'21)한 경우에 비해 볏짚 및 가축분퇴비 혼용으로 용적밀도가 낮아지고 공극률 및 입단율이 통계적으로 유의성 있게 증가하여 토양 물리성이 개선되는 것으로 나타났다. 다중회귀 분석에서 유기자재 연용에 의한 토양 물리성은 볏짚, 가축분퇴비 처리와 입단율의 상관관계가 가장 높게 나타났다(표 5). 따라서 유박을 이용한 벼 유기재배시 토양 물리성 개선을 위해서는 볏짚, 가축분퇴비의 혼용이 효과적인 것으로 생각되었다.

표 4. 시험후 토양의 물리성

처 리 내 용	용적밀도 (Mg/m ³)	토양삼상(%)			공극률 (%)	입단율 (%)
		고상	액상	기상		
유박	1.18 ^{ab}	44.7	46.3	9.0	55.3 ^{cd}	27.0 ^c
유박+볏짚	1.10 ^{bc}	41.5	48.3	10.2	58.5 ^{bc}	31.6 ^{bc}
유박+가축분퇴비	1.06 ^{cd}	40.0	47.5	12.6	60.0 ^{ab}	34.6 ^b
유박+볏짚+가축분퇴비	1.00 ^d	37.8	50.8	11.4	62.2 ^a	44.4 ^a
토양검정시비	1.16 ^{ab}	43.6	45.4	11.0	56.4 ^{cd}	30.1 ^{bc}
무처리	1.19 ^a	45.1	45.6	9.3	54.9 ^d	28.7 ^{bc}

표 5. 볏짚 및 가축분퇴비의 시용량과 토양 물리성과의 관계

물리성	관 계 식	결정계수(R ²)	비 고
입단율	$y = 25.7667 + 11.9444a + 5.0833b$	0.7956	y: 토양 물리성 a: 볏짚환원량(톤/10a) b: 가축분퇴비 투입량(톤/10a)
공극률	$y = 55.5667 + 4.4167a + 2.1250b$	0.5999	
용적밀도	$y = 1.1767 - 0.1139a - 0.0567b$	0.5937	

다. 유기자재 연용에 의한 토양 미생물상 변화

벼 유기재배시 시험후 토양 미생물상은 표 6과 같이 유박, 볏짚(600kg/10a) 및 가축분퇴비(2톤/10a) 등 유기자재를 연용('17~'21)한 경우 1년차에서는 토양 미생물상이 처리구별로 차이가 없었으나, 5년차에는 가축분퇴비를 혼용시 사상균 밀도가 증가하고 토양검정시비구(관행재배)에 비해 유박, 볏짚, 가축분퇴비 등 유기자재 처리시 방선균 밀도가 증가하였다.

표 6. 시험후 토양 미생물상

(단위: cfu/g)

처 리 내 용	호기성세균(×10 ⁶)		사상균(×10 ⁴)		방선균(×10 ³)	
	1년차	5년차	1년차	5년차	1년차	5년차
유박	6.6	5.8 ^a	1.1	4.2 ^c	2.3	10.0 ^a
유박+볏짚	4.7	6.2 ^a	1.1	4.5 ^c	4.3	9.7 ^a
유박+가축분퇴비	4.6	6.7 ^a	1.4	6.5 ^{ab}	1.3	10.5 ^a
유박+볏짚+가축분퇴비	6.2	7.1 ^a	0.8	8.2 ^a	1.0	7.4 ^{ab}
토양검정시비	5.9	6.0 ^a	1.1	4.9 ^{bc}	4.0	4.3 ^b
무처리	5.9	3.7 ^b	1.0	3.3 ^c	2.8	5.4 ^b

토양 미생물군집을 조사한 결과(표 7), 토양검정시비구, 무처리구 대비 유박, 벚짚, 가축분퇴비 등 유기자재를 처리한 유기재배시 토양 미생물군집의 기질 이용도(AWCD)가 증가하였으며, 벚짚, 가축분퇴비 혼용시 기질 이용도가 통계적으로 유의하게 높았고 벚짚 혼용구에서 가장 높게 나타났다. 토양검정시비구, 무처리구에 비해 유기자재를 처리한 유기재배시 다양도(H, shannon's diversity index)와 풍부도(S, substrate richness)가 높게 나타났으며 벚짚 혼용구에서 가장 높게 나타났다. 유기자재를 연용('17~'21)하여 벼 유기재배시 토양검정시비구(관행재배) 대비 유박, 벚짚, 가축분퇴비 등 유기자재를 처리한 유기재배시 토양 미생물군집의 탄소화합물의 기질의 이용도 및 다양도와 풍부도가 높게 나타나 토양 미생물군집의 기능적 다양성이 증가하는 것으로 나타났다.

표 7. 토양 미생물군집 다양도 비교(5년차)

처 리 내 용	AWCD	Shannon's diversity index(H)	Substrate richness(S)
유박	0.80 ^c	3.92 ^c	17.8 ^c
유박+벚짚	1.19 ^{ab}	4.19 ^{ab}	22.2 ^{ab}
유박+가축분퇴비	1.02 ^b	4.13 ^b	20.0 ^{bc}
유박+벚짚+가축분퇴비	1.31 ^a	4.28 ^a	24.7 ^a
토양검정시비	0.57 ^d	3.69 ^d	11.7 ^d
무처리	0.66 ^{cd}	3.71 ^d	12.3 ^d

※ 토양 미생물 군집의 기능적 다양성 분석: BIOLOG Ecoplate 이용

- AWCD(average well color development): 기질 이용도(평균발색량)= $\Sigma(C - R)/n$
C: 각 well의 OD_{590nm} 값, R: Control well의 OD_{590nm} 값, n: 기질의 수(31)
- H(shannon's diversity index): 다양도 지수= $-\Sigma Pi(\ln Pi)$
Pi: 전체 OD_{590nm} 값에 대한 각각의 기질 OD_{590nm} 값
- S(substrate richness): 풍부도 지수=OD_{590nm} 값이 0.5 이상인 기질의 개수

유기자재를 연용('17~'21)하여 벼 유기재배시 미생물군집의 유연관계를 분석하는 주좌표 분석(PCoA)은 그림 2와 같이 토양 세균 및 진균 미생물군집이 그룹 1(유박/유박+벚짚), 그룹 2(유박+가축분퇴비/유박+벚짚+가축분퇴비), 그룹 3(토양검정시비구/무처리) 등 3그룹으로 나뉘어 벼 관행재배 대비 유기재배시 유기자재 연용에 의해 토양 미생물군집의 유연관계에 뚜렷한 차이가 나타났다.

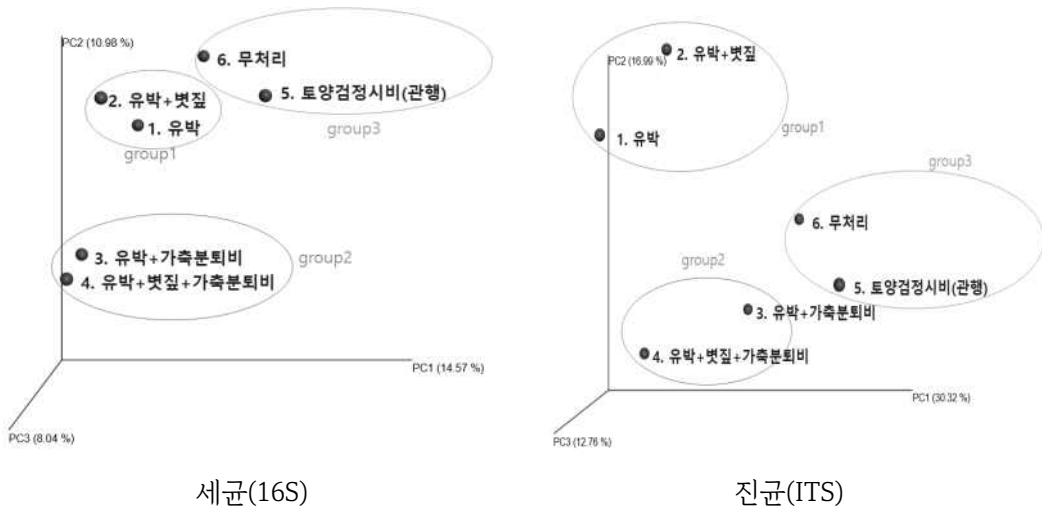


그림 3. 미생물 군집의 주좌표 분석

라. 유기자재 연용에 의한 작물 생육 및 수량

유기자재를 연용('17~'21)하여 벼 유기재배시 벼 생육 및 엽색도는 표 8과 같다. 이양후 30일의 처리별 벼 생육은 유박+벚짚+가축분퇴비 혼용시 토양검정시비구와 초장, 경수, 엽색도가 비슷하였으며, 초장, 경수, 엽색도는 유박+가축분퇴비= 유박+벚짚+가축분퇴비= 토양검정시비구> 유박> 유박+벚짚> 무처리 순으로 높았다. 이양후 90일 후기 생육은 초장은 유박+가축분퇴비= 유박+벚짚+가축분퇴비> 토양검정시비구> 유박= 유박+벚짚> 무처리 순으로 나타났다. 엽색도는 유박+가축분퇴비= 유박+벚짚+가축분퇴비= 토양검정시비구> 유박= 유박+벚짚> 무처리 순으로 나타났다. 벼 성숙기 생육은 표 9와 같이 가축분퇴비 혼용구에서 간장이 가장 길었으며, 수장은 유박+벚짚+가축분퇴비구와 토양검정시비구가 비슷하게 나타났고, 수수는 가축분퇴비 혼용구에서 가장 많았다. 등숙비율은 유박+벚짚+가축분퇴비구와 토양검정시비구에서 차이가 없었다.

표 8. 벼 생육 및 엽색도

시기	처 리 내 용	초 장 (cm)	경 수 (개/주)	엽색도 (SPAD)
이양후 30일	유박	35.7 ^{bc}	15.5 ^b	37.1 ^b
	유박+볏짚	33.9 ^{cd}	13.6 ^c	35.9 ^c
	유박+가축분퇴비	36.2 ^{ab}	18.8 ^a	39.8 ^a
	유박+볏짚+가축분퇴비	36.2 ^{ab}	19.1 ^a	40.2 ^a
	토양검정시비	37.9 ^a	19.6 ^a	40.3 ^a
	무처리	32.1 ^d	8.5 ^d	33.6 ^d
이양후 60일	유박	56.7 ^c	18.9 ^b	33.7 ^b
	유박+볏짚	57.4 ^c	16.7 ^b	33.6 ^b
	유박+가축분퇴비	65.1 ^a	27.7 ^a	38.0 ^a
	유박+볏짚+가축분퇴비	63.9 ^a	27.7 ^a	37.7 ^a
	토양검정시비	59.7 ^b	25.9 ^a	33.6 ^b
	무처리	54.0 ^d	12.0 ^c	31.9 ^c
이양후 90일	유박	93.2 ^c	17.1 ^b	34.0 ^{bc}
	유박+볏짚	92.1 ^c	17.0 ^b	34.5 ^b
	유박+가축분퇴비	102.7 ^a	23.6 ^a	36.0 ^a
	유박+볏짚+가축분퇴비	103.0 ^a	22.9 ^a	36.4 ^a
	토양검정시비	99.3 ^b	23.2 ^a	36.1 ^a
	무처리	87.6 ^d	12.3 ^c	32.8 ^c

표 9. 벼 성숙기 생육 및 수량구성요소

처 리 내 용	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개/주)	수당립수 (립)	등숙비율 (%)	정현비율 (%)
유박	67.1 ^{de}	18.5 ^b	14.6 ^b	105 ^{ns}	83.7 ^a	83.0 ^{ns}
유박+볏짚	68.4 ^{cd}	18.8 ^{ab}	14.1 ^b	108	83.4 ^{ab}	82.7
유박+가축분퇴비	75.4 ^{ab}	18.3 ^b	19.0 ^a	116	73.8 ^b	82.9
유박+볏짚+가축분퇴비	78.1 ^a	18.8 ^{ab}	18.3 ^a	113	79.7 ^{ab}	82.5
토양검정시비	71.8 ^{bc}	19.6 ^a	17.2 ^a	104	78.6 ^{ab}	82.2
무처리	63.7 ^e	18.4 ^b	10.9 ^c	113	82.7 ^{ab}	82.5

유기자재를 연용('17~'21)하여 벼 유기재배시 현미천립중, 쌀 품질 및 수량은 표 10과 같다. 현미천립중은 무처리를 제외한 유기자재 처리에서 차이가 없었으며, 단백질 함량은 모든 처리구에서 6% 미만으로 나타났다. 완전미 수량은 유박+가축분퇴비, 유박+볏짚+가축분퇴비 시용시 가장 높은 수량을 나타내었는데 유박+가축분퇴비= 유박+볏짚+가축분퇴비> 토양검정시비구> 유박+볏짚> 유박> 무처리 순으로 높았고 가축분퇴비 혼용시 토양검정시비구

에 비해 유의하게 수량이 증가하였다.

이상과 같이 벼 재배시 5년간('17~'21) 유박을 연용하였을 경우 토양 이화학성, 토양 미생물상의 변화와 유박 단용 대비 볏짚, 가축분퇴비를 혼용하였을 때의 토양의 변화 그리고 관행재배(토양검정시비) 대비 유기자재를 사용한 유기재배시 토양변화에 대한 정보를 구축하였다. 앞으로 벼 유기농업을 확대하는데 본 연구의 결과가 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

표 10. 현미 천립중, 쌀 품질 및 수량

처 리 내 용	현미 천립중 (g)	아밀로스 (%)	단백질 (%)	식미치 (TOYO)	쌀수량 (kg/10a)	완전미 수량 (kg/10a)	수량 지수
유박	23.7 ^{ab}	16.6 ^a	4.8 ^b	84.6 ^{ab}	545 ^c	467 ^c	87
유박+볏짚	23.5 ^{ab}	16.6 ^a	4.9 ^b	84.1 ^{ab}	576 ^{bc}	489 ^{bc}	91
유박+가축분퇴비	23.9 ^{ab}	16.9 ^a	5.5 ^a	82.4 ^{bc}	689 ^a	614 ^a	114
유박+볏짚+가축분퇴비	24.0 ^a	16.8 ^a	5.5 ^a	82.3 ^{bc}	708 ^a	633 ^a	118
토양검정시비	24.4 ^a	16.2 ^b	5.6 ^a	81.0 ^c	638 ^{ab}	538 ^b	100
무처리	23.0 ^b	16.8 ^a	4.7 ^b	86.1 ^a	440 ^d	387 ^d	72

4. 적 요

본 연구는 벼 유기재배지에서 유박, 볏짚, 가축분퇴비 등 유기자재 연용시 토양이화학성 및 토양미생물상 변동에 대한 토양환경 정보구축 및 유기재배토양 관리지침을 설정하고자 수행하였다.

- 가. 벼 유기재배시 유박만 연용('17~'21)한 경우에는 토양 pH가 시험전 6.3에서 5.7로 낮아졌으며, 치환성 칼륨이 42.3% 및 칼슘이 18.0% 감소하였으며, 유효인산은 적정범위보다 매우 낮으므로 토양 화학성을 개선하기 위해서는 토양검정후 적정 시용량의 가축분퇴비 혼용이 필요하였다.
- 나. 벼 유기재배시 유박만 연용('17~'21)한 경우에 비해 볏짚 및 가축분퇴비 혼용으로 토양 용적밀도는 낮아지고 공극률 및 입단율은 증가하여 토양 물리성이 개선되므로 유박을 이용한 벼 유기재배시 토양 물리성 개선을 위해서는 볏짚, 가축분퇴비의 혼용이 필요하였다.
- 다. 벼 유기재배시 유박, 볏짚(600kg/10a) 및 가축분퇴비(2톤/10a) 등 유기자재를 연용('17~'21)한 경우 1년차에서는 토양 미생물상이 처리별로 차이 없었으나 5년차에는 토양검정시비구(관행재배)에 비해 가축분퇴비 혼용시 사상균 밀도가 증가하고 유박, 볏짚, 가축분퇴비 등 유기자재 처리시 방선균 밀도가 증가하였다.
- 라. 유기자재를 연용('17~'21)하여 벼 유기재배시 토양검정시비구(관행재배) 대비 유박, 볏짚,

가축분퇴비 등 유기자재를 처리한 유기재배시 토양 미생물군집의 탄소화합물의 기질의 이용도 및 다양도와 풍부도가 높게 나타나 토양 미생물군집의 기능적 다양성이 증가하는 것으로 나타났다.

5. 인용문헌

- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법
- 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석 기준
- 박광래, 홍승길 et al. 2016. 유기농 토양의 화학적 특성 및 미생물상 연구. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(4): 77-83.
- 안난희, 이상민, 조정래 et al. 2014. Effects of long-term fertilization on microbial diversity in upland soils estimated by Biolog ecplate and DGGE. *Korea J. Soil Sci. Fer.* 47: 451-456.
- 안난희, 옥정훈 et al. 2015. 신규 유기농경지 토양의 유기물 공급이 토양 미생물군집에 미치는 영향 *Korean J. Org. Agric.* 23(4): 767-779.
- 연병열·곽한강·송요성 et al. 벅짚퇴비 50년 연용에 따른 벼수량과 논토양 유기물 함량 변화 2007. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(6): 454-459.
- 조현준·황선웅·한경화 et al. 2009. 유기농 밭토양의 물리화학적 특성. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(2): 98-102.
- 홍승길, 박광래, 김진호 et al. 유기농 실천 논토양의 이화학적 특성. 2016. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(4): 69-76.
- Crecchio, C., M. Curci, R. Mininni, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2001. Short term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biol. Fertil. Soils.* 34: 311-318.
- Pascual, J. A., C. Garcia, T. Hernandez, J. L. Moreno, and M. Ros. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation process. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1877-1883.
- Peacock, A. D., M. D. Mullen, D. B. Ringelberg, D. D. Tyler, D. B. Hedrick, P. M. Gale, and D. C. White. 2001. Soil microbial community response to dairy manure or ammonium nitrate application. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1011-1019.

6. 연구결과 활용제목

- 벼 유기재배지에서 유박, 볏짚, 가축분퇴비 연용에 따른 토양 이화학적 변화(영농활용)
- 벼 유기재배지에서 유박, 볏짚, 가축분퇴비 연용에 따른 토양 미생물상 변화(영농활용)

7. 연구원 편성

세 부 과 제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
						'17	'18	'19	'20	'21
벼 재배토양 유기재배 장기 연용효과 평가	책임자	환경농업연구과	농업연구사	장재은	시험수행 총괄	○	○	○	○	○
	공동연구자	"	농업연구관	한상욱	자료조사	-	-	-	-	○
		"	"	이진구	"	○	○	○	○	-
		"	"	임갑준	"	○	○	○	-	-
		"	농업연구사	윤승환	생육조사	○	○	○	○	○
		"	"	한정아	"	-	-	○	○	○
		"	"	최종인	"	-	-	-	-	○
		"	"	김상우	"	-	-	○	○	-
		"	"	장은규	"	-	-	○	-	-
		"	"	황지은	"	○	○	-	-	-
		"	"	최종윤	"	○	-	-	-	-
		"	농업연구관	이영순	연구자문	-	-	○	○	○
		"	"	홍순성	"	-	○	○	-	-
		"	"	강창성	"	○	○	-	-	-