유기농자재 사용에 따른 고추 병해 발생과 토양 미생물상 구조의 상관관계

Correlation between Disease Occurrences and Microbial Community Structure by Application of Organic Materials in Pepper

*Corresponding author

Tel: +82-55-772-1922

Fax: +82-55-772-1929

E-mail: kwak@gnu.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-2139-1808>조경준¹ · 김성현² · 이용복¹ · 곽연식^{1,2*} ¹경상대학교 응용생명과학부, ²경상대학교 식물학과Gyeongjun Cho¹, Seong-Hyeon Kim², Yong-Bok Lee¹, and Youn-Sig Kwak^{1,2*}¹Division of Applied Life Science (BK21Plus), Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea²Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Organic farming is necessary to sustainable agriculture, preserve biodiversity and continued growth the sector in agriculture. In organic farming, reduced usage of chemical agents that adversely affect human health and environment, employing amino acids and oil cake fertilizer, plant extracts, and microbial agents are used to provide safe agricultural products to consumers. To investigation microbiome structure, we proceeded on the pepper plant with difference fertilizers and treatments in organic agriculture for three years. The microbial communities were analyzed by the next generation sequencing approach. Difference soil microbiota communities were discovered base on organic fertilizer agents. Occurrences of virus and anthracnose diseases had a low incidence in conventional farming, whereas bacteria wilt disease had a low incidence in microbial agents treated plots. Microbe agents, which applied in soil, were detected in the microbial community and the funding suggested the applied microbes successfully colonized in the organic farming environment.

Keywords: Microbial agent, Microbiome, Organic farming

Received July 13, 2020

Revised October 20, 2020

Accepted October 21, 2020

서론

유기농업은 토양 보존 및 개선하기 위하여 에너지 사용 최소 화하면서 생물 다양성 유지 등을 통하여 소비자에게 안전하고 우수한 품질의 농식품을 제공하는 것을 목표로 한다(Gomiero et al., 2008). 세계적으로 유기농업은 급속도로 성장하고 있는 농업 분야 중 하나이며, 관행농업과 비교하여 작물에 발생하는

병해 관리에 대해 연구되고 있다(van Bruggen과 Finckh, 2016). 농업에서 미생물제제의 사용은 일반적인 화학 제제와 달리 환경과 인간의 건강에 유해한 영향을 미치지 않으며, 장기간 방제 제로 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 제제의 효과가 화학 제제에 비해 비교적 느리며, 저장기간 짧아 저온저장이 필요하다(Khan 등, 2012). 하지만 우수한 유용미생물은 작물의 성장을 촉진시켜 작물의 생산을 향상시킨다(Toyata와 Watanabe, 2013). 이러한 유용미생물은 농업이나 식품 산업에서 유용하게 사용될 수 있다(Singh과 Trivedi, 2017). 또한 미생물 군집은 병원균의 억제 또는 식물의 저항성 반응 등으로 통하여 병원균으로부터 작물을 보호한다(Weller 등, 2002). 유기질 비료와 유용

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

© The Korean Society of Plant Pathology

© 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.

미생물을 혼합한 비료의 사용이 작물생육과 품질 향상에 효과가 있는 것으로 보고되었다(Choi 등, 2008, Kim 등, 2008, 2010). 대부분의 미생물은 환경변화에 민감하게 반응하지만, 우수한 근권 정착력을 가지는 미생물은 작물의 근권 토양에서 우점하게 되며(Lee와 Ha, 2011), 이러한 미생물 군집은 토양의 건전성에 기여하고, 비배관리에 밀접하게 연관이 있다고 보고되었다(Lupatini 등, 2017).

본 연구는 2015년, 2016년, 2017년에 노지 고추의 유기농업과 관행농업 재배지에서 시비와 약제처리에 따른 토양미생물의 다양성 비교, 탄저병 등의 병해 방제 효과를 검증하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

시험구 배치 및 약제 처리. 시험구 배치는 무처리(untreatment), 식물성(oil cake fertilizer), 동물성(amino acid fertilizer), 관행(nitrogen, phosphorus, potassium) 비료를 사용하고, 식물추출물(plant extract)과 미생물제제(microbial agent)를 분할구 배치법(split-plot design)으로 실시하였다. 본 실험에서 사용된 유기농 제제 및 관행농 제제는 시중에 시판되고 있는 제품 중 무작위로 선발하여 사용하였으므로, 본 연구결과에서 제제의 생산자 및 제품의 정확한 품명은 공개하지 않는다. 고추 재배시 시비는 고추 표준시비량(19–11.2–14.9 kg/10 a: N-P₂O₅-K₂O)을 참고하여 질소와 칼륨은 3회 처리하고(관행재배), 식물성 처리구는 유박을 전량 시비하였으며, 동물성 비료 처리구는 동물성 아미노산 비료(8.7 kg/10 a)를 3회 시비하였다. 그리고 무처리는 시비하지 않았다. 미생물제제는 *Bacillus velezensis* G341 (1.0×10^7 cfu/ml)과 *Lysinibacillus sphaericus* TC1 (5.0×10^5 cfu/ml)을 혼합 사용하였으며, 식물추출물인 오배자 추출물을 2주 간격으로 3회 관주 및 엽면 살포를 하였다(Table 1). 관행재배의 처리는 농가의 관행 시비에 맞게 살포하였으며 본 시비는 3년간 동일한 방법으로 수행하였다. 미생물상 조사를 위한 토양 시료 채취는 고추 작기중 3회에 걸쳐 채취하였다.

근권토양 미생물 DNA 추출 및 군집분석. 근권토양 내 미생물의 DNA를 추출하기 위해서 FastDNA Spin Kit for Soil (MP

Biomedicals, Irvine, CA, USA)와 FastPrep instrument (MP Biomedicals)을 사용하였으며, Nanodrop 2000c (Thermo Scientific, Wilmington, DE, USA)을 사용하여 DNA를 정량하였다. 16S rRNA를 증폭하는 universal primer인 341F (5'-CCTACGGGNGGCWGCAG-3')와 805R (5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3')를 사용하였다(Herlemann 등, 2011). 추출한 DNA는 Chunlab (Seoul, Korea)에 의뢰하여 16S rRNA중 V3–V4 region을 증폭시킨 다음 next generation sequencing인 Illumina MiSeq을 이용하여 미생물 군집구조를 분석하였다. 미생물상 분석은 2016년도와 2017년도에 고추를 수확한 후 근권토양을 대상으로 총 2회 실시하였다.

병 발생 및 길항 미생물 조사. 고추 재배는 9.5 m×33 m의 포장 구역에 각각 2.5 m×10 m의 유박, 동물성 비료, 무처리의 비배관리 처리구로 구성되었으며, 각 비배관리 처리구는 3 m×1.2 m 규모의 미생물, 식물추출물, 무처리구의 유기농자제 투입구로 구성되었다. 고추의 재식 간격과 이랑의 폭은 약 30 cm로 각 구획당 80주가 식재되었다. 관행농 처리구는 2.5 m×10 m로 조성하여 실험을 수행하였다. 비료 및 약제 처리구간별 탄저병, 바이러스, 청고병을 육안으로 조사하였다. 포장의 크기를 고려하여 한 반복당 고추 3그루를 임의로 선발한 후, 고추 한 그루에 발생한 탄저병의 비율을 구하였으며, 바이러스 병과 청고병 또한 한 반복당 발병개체의 비율을 조사하였다. 고추 발고랑 사이의 토양을 깊이 10 cm를 걷어내어 각 처리구당 3번의 토양을 채집하였다. 매년 3회 실시하였으며 한 처리구당 3개의 토양 샘플을 균일하게 섞어 1 g이 되도록 하였다. 멸균수 10 ml을 넣은 후, 1/10씩 희석하여 만든 시료를 TSA 배지(tryptic soy agar; pancreatic digest of casein 17.0 g, papaic digest of soybean 3.0 g, dextrose 2.5 g, sodium chloride 5.0 g, agar 20 g per liter)에 도말하였다. 도말된 TSA 배지에서 세균의 균총만을 대상으로 분리하여, 탄저병 길항 미생물 조사를 위해 각 처리구의 토양에서 30개의 균을 임의로 선발하여 탄저병 원인균(*Colletotrichum gloeosporioides*, KACC 40690)과 PDK 한천배지(potato dextrose pepton; potato starch 1.7 g, dextrose 8.3 g, pepton 10 g, agar 20 g per liter) 상에서 대치배양을 통해 확인하였다.

Table 1. Characteristics of microbial agent and plant extract in this study

	Microbial agent	Plant extract
Ingredient	<i>Bacillus velezensis</i> G341 (1.0×10^7 cfu/ml) <i>Lysinibacillus sphaericus</i> TC1 (5.0×10^5 cfu/ml)	Gallnut extract
Soil application	Dilute 10 ml/l and applied 50 ml per plant	Dilute 1 g/l and 100 ml per plant
Leaf application	Dilute 75 ml/15 l and applied	Dilute 15 g/15 l and applied

통계분석 방법. 토양 내 미생물 밀도의 비교를 위해서 One-way ANOVA와 사후분석(Tukey HSD)을 이용하였으며, 탄저병, 바이러스, 청고병에 대하여 조사한 내용은 Three-way ANOVA와 사후분석(Scheffe method)을 이용하여 분석을 진행하였다. 분류학적 동정은(taxonomic assignment) SILVA database (<http://www.arb-silva.de/>)를 사용하여 문(Phylum)단계에서 미생물 군집을 그래프로 나타냈다. 그래프의 시각화는 ggplot2 version 3.2.1 (R package)을 사용하여 작성하였다.

결과 및 고찰

근권 미생물 밀도 및 탄저병 길항균 분포. 토양 시료를 1/10 씩 순차적으로 희석한 시료를 TSA 배지에 도말하여 cfu를 측정하여 처리구별로 비교를 하였다. 그 결과 토양 내 미생물 밀도는 10^7 cfu/g of soil의 밀도를 보였다(Fig. 1). 분산분석결과 연도별 비료처리에 따른 미생물 밀도의 차이는 통계적으로 유의한 결과를 나타내지 않아 토양내 미생물 밀도는 일정한 것으로 판단

된다. 탄저병 길항 미생물 빈도조사를 위해 각 처리구의 토양에서 30개의 균을 임의로 선별하여, 탄저병 원인균(*C. gloeosporioides*, KACC 40690)과 PDK 한천배지상에서 대치배양을 통해 선별하여 처리 구간별로 길항미생물 빈도를 조사하였다. 2015년에는 탄저병 병원균인 *C. gloeosporioides*에 대한 길항미생물이 많이 발견되지 않았으나, 2016년 5월, 6월에는 전년대비 많이 발견되었다가 8월에 급격히 감소하였으며 2017년도에서는 2015년과 비슷한 수준으로 발견되었다(Table 2).

고추의 탄저병, 바이러스, 청고병 발병. 비료 및 약제 처리구간 별로 탄저병, 바이러스, 청고병을 육안으로 조사하였다. 탄저병의 경우 국내에는 *C. acutatum*, *C. gloeosporioides*, *C. coccodes*, *C. dematium*에 의하여 주로 발병한다고 알려져 있으며(Park과 Kim, 1992), 바이러스에 의하여 생기는 병은 국내에는 BBWV2 (Broad bean wilt virus), CMV (Cucumber mosaic virus), INSV (Impatiens necrotic spot virus), PMMoV (Pepper mild mottle virus), TSWV (Tomato spotted wilt virus) 등이 바

Fig. 1. Total microbial counts in soil as influenced by different organic amendments. Log10 colony forming units (cfu) count culturable microbes in soil by fertilizers and treatments. All samples dilute 10^{-1} to 10^{-5} and spreading on tryptic soy agar (TSA) media. NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; UNT, untreated; MA, microbial agent; PE, plant extract. Statics analyzed to compare difference of fertilizer groups by treatments, data were sorted, used One-way ANOVA and Tukey HSD. The difference in treatments each fertilizer groups is not shown ($P > 0.2$). Each replication contained three repeats. Error bars represent $\pm$ SD (standard deviation).

Table 2. Number of antifungal microbe isolates from the soils that received the organic materials

Treatment		Date of investigation								
		2015			2016			2017		
		May 26	Jun 23	Aug 19	May 21	Jun 30	Aug 10	May 26	Jun 23	Aug 19
UNT	UNT	0/30	0/30	1/30	4/30	3/30	0/30	4/30	3/30	1/30
	MA	7/30	0/30	0/30	2/30	12/30	0/30	3/30	0/30	3/30
	PE	0/30	1/30	3/30	4/30	4/30	0/30	1/30	2/30	0/30
	UNT	1/30	2/30	0/30	8/30	0/30	0/30	0/30	4/30	3/30
OCF	MA	7/30	0/30	0/30	7/30	5/30	1/30	3/30	1/30	2/30
	PE	0/30	3/30	0/30	13/30	2/30	5/30	1/30	0/30	4/30
	UNT	0/30	0/30	4/30	4/30	2/30	0/30	2/30	0/30	0/30
AAF	MA	0/30	0/30	1/30	20/30	3/30	2/30	0/30	0/30	0/30
	PE	0/30	0/30	2/30	10/30	4/30	0/30	2/30	0/30	1/30
NPK		0/30	1/30	1/30	5/30	7/30	0/30	0/30	0/30	0/30

UNT, untreated; MA, microbial agent; PE, plant extract; OCF, oil cake fertilizer; AAF, amino acid fertilizer; NPK, nitrogen, phosphorus, potassium.

이러스 병을 일으킨다고 알려져 있으며(Choi 등, 2010), 한 반 복 당 발병 개체 비율을 구하였다. 청고병의 경우 1차년도와 2 차년도에는 발생하지 않았지만 3차년도에 대량으로 발생하였 다. 원인균인 *Ralstonia solanacearum*가 도관부에 증식하여 기 주식물이 급격히 고사하는 식물병으로 알려져 있다(Lebeau 등, 2011). 청고병은 한 반복당 발병개체의 비율을 구하였다. 조 사한 내용은 조사시기, 약제, 비료처리에 따른 변화를 Three-way ANOVA와 사후분석(Scheffe method)을 이용하여 분석 하였다. 1차년도 탄저병 조사에 따르면, 관행과 유기농가 간의 탄저병 발병률이 매우 크게 차이가 났다. 시험 포장에서 비료 ($P<0.001$), 조사시기($P<0.001$)에는 발병에 대하여 유의차가 있 었으나 약제($P=0.25$)에 대해선 유의차가 없었다. 사후분석에서 는 시간에 지남에 따라 4차 조사(9월 15일)까지 꾸준히 증가하 는 것으로 나왔으며, 비료에서는 관행, 식물성 비료, 동물성 비 료 집단군이 무처리보다 발병률이 낮았다(Fig. 2). 2차년도 조 사에서는 조사시기($P<0.001$), 비료($P=0.005$)에는 발병에 대하 여 유의차가 있었으나 약제($P=0.271$)에 대해선 유의차가 없었 다. 사후분석 결과 1차 조사(7월 22일) 2차 조사(8월 10일)가 같 은 집단군으로 분류되어 발병률에 차이가 없었으나, 시간이 지 날수록 발병률이 높아졌다. 비료에서는 비료무처리가 집단군 A, 동물성비료가 집단군 B, 식물성비료, 관행구가 집단군 AB로 분류되어 식물성비료와 동물성비료에서 탄저병 발병률이 가 장 낮게 나타났다. 3차년도에서는, 조사시기($P<0.001$)와 약제 ($P=0.020$)에 대해선 발병률 유의차가 있었고 비료($P=0.301$)에

대해선 발병률 유의차가 없었다. 사후분석(Scheffe method) 결 과 시기에 따라 각각 다른 4개의 집단군으로 나뉘어 점점 발병 률이 증가하는 것으로 나타났으며, 약제에 대하여서는 미생물 제재와 무처리에서 100%의 발병률로 제일 높은 그룹으로 나타 났고 그 다음 식물추출물(95% 발병률)이 낮았으며 제일 낮은 그룹은 관행(75% 발병률)으로 나타났다(Fig. 2). 이러한 결과는 유기농 재배지에서 고추 탄저병의 관리에 적합한 유기농법의 개발이 시급히 요구되고 있음을 나타내고 있다.

바이러스의 경우에서 1차년도에서는 조사시기($P=0.001$), 비 료($P<0.001$), 약제($P=0.002$)에 대해서 유의차가 있었다. 사후분 석결과 시기별로는 1-3차(7월 31일, 8월 14일, 8월 27일)가 가장 높은 그룹으로 분류되었으며 3-5차(8월 27일, 9월 15일 9월 30 일)가 가장 낮은 것으로 나타나 발병률이 시간에 따라 감소하 는 것으로 나타났다. 비료의 경우에는 동물성비료가 발병률이 가장 높은 것으로 나타났으며 나머지는 같은 집단으로 나타났 다. 약제는 무처리와 식물추출물이 가장 높은 집단으로 분류되 었으며 식물추출물과 미생물제재가 그 다음을 구성하였고 관 행이 발병률이 가장 낮은 것으로 나타났다. 2차년도에서는 조 사시기($P<0.001$), 비료($P<0.001$)에는 발병에 대하여 유의차가 있었으나 약제($P=0.195$)에 대해선 유의차가 없었다. 사후분석 결과 시기별로는 2차 조사(8월 10일) 때 발병률이 높고 비료별 로는 식물성비료와 무처리가 같은 집단으로 분류되었으며 비 료무처리, 동물성 비료, 관행이 집단군 B로 분류되어 식물성비 료구가 발병률이 가장 높은 것으로 나타났다. 3차년도에는 조

Fig. 2. Pepper anthracnose disease incidence in organic material treatments. Pepper anthracnose occurrences are visualized by linear graphs. According to 'Three-way ANOVA' analyzed, investigation of pepper anthracnose incidence in 2015, each fertilizers and period of incidence study show significantly difference ($P < 0.001$). In contrast, treatments were not shown difference in anthracnose incidence ($P = 0.25$). In 2016, each fertilizer and period of incidence difference were shown ($P < 0.001$, $P = 0.005$). Treatments were not shown ($P = 0.271$). In 2017, period of incidence and treatments group show difference ($P < 0.001$, $P = 0.020$), by fertilizer was not shown ($P = 0.301$). NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; UNT, untreated; AAF, amino acid fertilizer; OCF, oil cake fertilizer; MA, microbial agent; PE, plant extract. Each replication contained three repeats. Error bars represent $\pm$ SD (standard deviation).

Fig. 3. Viral disease incidences among organic materials treatment. Virus occurrence on pepper were visualized by linear graph. 'Three-way ANOVA' statics analyzed, pepper viral disease incidence investigation in 2015, each fertilizer, period of incidence study and treatments show significantly difference (each $P = 0.001$, $P = 0.000$, $P = 0.002$). In 2016, each fertilizer and period of incidence study difference were shown ($P < 0.001$, $P < 0.001$). Treatments were not shown ($P = 0.195$). In 2017, All of comparison groups, fertilizer, period of incidence study and treatments, were shown difference ($P < 0.001$, $P = 0.001$, and $P < 0.001$). NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; UNT, untreated; AAF, amino acid fertilizer; OCF, oil cake fertilizer; MA, microbial agent; PE, plant extract. Each replication contained three repeats and error bars represent $\pm$ SD (standard deviation).

사시기($P=0.001$), 비료($P<0.001$), 약제($P<0.001$)에 대해 모두 유의차가 있었다. 사후분석 결과 시기별로는 3차(8월 24일)가 가장 높으며, 1차(7월 20일)가 그 다음 낮았고 2차(8월 11일)와 4차(9월 29일)가 가장 낮은 집단군으로 분류되었다. 비료별로는 비료무처리가 가장 발병률이 높은 것으로 분류되었으며 식물성+동물성 비료가 그 다음으로 낮았고 관행구와 식물성비료 처리구가 발병률이 가장 낮은 것으로 나타났다. 약제별로는 미생물제제가 발병률이 가장 높았으며 식물추출과 무처리가 그 다

음 낮은 집단으로 분류되었고 관행이 가장 낮은 것으로 나타났다(Fig. 3). 본 결과는 고추 노지 재배에서 바이러스 병의 경감을 위해 식물 추출물의 이용과 식물성 비료의 사용이 효과적일 수 있음을 나타내고 있다.

3차년도 청고병의 경우 조사시기($P<0.001$), 약제($P<0.001$)에는 발병에 대하여 유의차가 있었으나 비료($P=0.384$)에 대해선 유의차가 없었다. 사후분석(Scheffe method) 결과 시기별로는 1차(7월 20일)는 발병률이 가장 낮은 그룹C로 분류되었으며 2

Fig. 4. Bacterial wilt incidences in organic material treated pepper. Bacterial wilt disease incidence on pepper in 2017, were visualized by linear graph. According to 'Three-way ANOVA' statics analyzed, pepper bacterial wilt disease incidence differs period of incidence investigation and treatments ($P<0.001$). Fertilizer group does not show difference ($P=0.384$). NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; UNT, untreated; AAF, amino acid fertilizer; OCF, oil cake fertilizer; MA, microbial agent; PE, plant extract. Each replication contained three repeats and error bars represent $\pm$ SD (standard deviation).

Fig. 5. Rarefaction curve for different treatments. Rarefaction curves indicate the number of detected OTUs as more sequences are considered per sample. After sampling 25,000 reads, with the sampled read number increasing, the newly discovered OTUs reduced and the rarefaction curves tended to attain the saturation plateau. AAF, amino acid fertilizer; OCF, oil cake fertilizer; UNT, untreated; NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; MA, microbial agent. 2016 AAF, 708 OTUs number, 31,754 reads; 2016 OCF, 783 OTUs number, 36,216 reads; 2016 NPK, 733 OTUs number, 31,389 reads; 2016 UNT, 711 OTUs number, 37,844 reads; 2017 NPK①, 1,332 OTUs number, 44,757 reads; 2017 NPK②, 677 OTUs number, 25,880 reads; 2017 OCF+MA①, 756 OTUs number, 34,923 reads; 2017 OCF+MA②, 805 OTUs number, 39,862 reads.

차(8월11일)는 B그룹으로 분류되었다. 4차(9월 29일)에서 가장 높은 그룹 A로 분류되었고, 3차(8월 24일)는 그룹 AB로 분류되어 시기에 따라 발병률이 높아졌다. 약제에 따른 결과는 관행이 가장 발병률이 높았으며, 무처리와 미생물제제가 그 다음으로 낮은 집단군으로 나타났고, 식물추출물이 가장 낮았다(Fig. 4). 세균성 병원균에 의해 발생하는 고추 청고병은 미생물제제의 사용이 고추 유기농 재배에 효과적인 방법임을 나타내고 있으며, 향후 청고병 억제 미생물제제에 대한 더욱 깊이 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

유기농 제제별 미생물 군집 구조. 미생물 군집구조 분석은 2차년도와 3차년도에 걸쳐 총 2회 실시되었으며, 서열정보당 동정된 operational taxonomic unit (OTU)를 rarefaction curve로 나타내었다. 동정된 OTU 숫자는 최소 677개부터 최대 1,332개가 나왔으며 read수가 더 추가된다 하더라도 새로운 OTU가 발견될 가능성이 적으므로 조사된 미생물군집이 충분히 시료의 미생물군집을 대표하였다(Fig. 5). 미생물 군집의 구성을 살펴본 결과 전반적으로 Proteobacteria와 Firmicute가 가장 많았으며 그 다음으로 Actinobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi가 많이 존재한 것을 알 수 있었다(Fig. 6).

Bray-Curtis distance를 이용해 principal coordinate analysis를 평면상에 도식화하여 비료별 미생물상의 군집 변화 쉽게 나타내었다. 그 결과, 미생물제제와 동물성 비료를 사용한 토양에

Fig. 6. Microbial community composition in phyla levels. Phylogenetic analysis of microbes in organic fertilizers. Samples that amino acid fertilizer (AAF), microbial agent (MA), nitrogen, phosphorus, potassium (NPK), oil cake fertilizer (OCF), untreated (UNT).

서 *Bacillus*와 *Lysinibacillus*가 다른 처리구에 비해 많이 검출된 것을 볼 수 있었다. 그리고 처리구별 미생물상의 전체적인 분포는 동물성 비료와 미생물 제제를 사용한 토양에서 많은 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히, 2017년 미생물제제를 처리한 토양 군집과 토양 처리구의 미생물 상의 변화가 가장 두드러지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 7). 미생물제제를 처리한 토양에서 투입된 미생물의 분포가 많았으며, 그 밀도 또한 높게 조사되었다. 이를 통해서 미생물 처리에 따른 미생물 군집의 차이를 볼 수 있었으며, 미생물제제의 사용이 실제 경작지에 정착이 된 것을 알 수 있다.

Fig. 7. Principal coordinate analysis based on Bray-Curtis distance and weighted averages scores of OTUs. The comparison between microbial agent be used group and not used groups, show distribution of microbiome community. AAF, amino acid fertilizer; NPK, nitrogen, phosphorus, potassium; OCF, oil cake fertilizer; UNT, untreated; OTU, operational taxonomic units. Microbial agent treatment group show *Bacillus* and *Lysinibacillus* density certainly higher than others. Contour interval show microbial density. blue dots; *Lysinibacillus* OTUs, red dots; *Bacillus* OTUs in microbial agent ingredient.

요 약

유기농업은 지속가능한 농업을 위해서 필요하며, 생물 다양성 유지를 위해 필수적인 경작 방법으로 전 세계적으로 성장하고 있는 농업 분야 중 하나이다. 유기농업은 인류의 건강과 환경에 유해한 영향을 끼칠 수 있는 화학적 제재의 사용을 줄이고, 친환경적 동·식물성 비료, 식물 추출물, 미생물 제재 등이 사용되기 때문에 소비자에게 안전한 농산물을 제공할 수 있다. 노지 고추를 대상으로 3년간 유기농업 환경과 관행농업 환경에서 주요 병해 발생과 토양 미생물상의 조사하였다. 토양 미생물상의 차이는 차세대 염기서열 분석 기법을 활용하여 조사하였으며, 유기농업에 사용되는 제재의 종류에 따라 토양 미생물상이 다르게 형성되었다. 바이러스, 탄저병에 대해서는 관행농업에서의 병 발생률이 낮았으나, 청고병은 미생물 제재 사용에 의해 병 발생률이 낮게 나타났다. 미생물 제재를 사용한 토양에서 투입된 미생물이 토양 미생물에서 검출되었으며, 이는 미생물이 실제 토양에 정착했음을 시사한다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program, through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education (2020R1A2C2004177).

References

- Choi, D.-H., Sung, J.-K., Lee, S.-M., Lee, Y.-H., Kim, J.-M., Jung, J.-A. et al. 2008. Selection of useful organic materials as an additional fertilizer for organic red-pepper production and the application effect. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 41: 153-157. (In Korean)
- Choi, H.-S., Lee, S.-H., Kim, M.-K., Kwak, H.-R., Kim, J.-S., Cho, J.-D. et al. 2010. Occurrence of virus diseases on major crops in 2009. *Res. Plant Dis.* 16: 1-9. (In Korean)
- Gomiero, T., Paoletti, M. G. and Pimentel, D. 2008. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. *Crit. Rev. Plant Sci.* 27: 239-254.
- Herlemann, D. P., Labrenz, M., Jürgens, K., Bertilsson, S., Waniek, J. J. and Andersson, A. F. 2011. Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. *ISME J.* 5: 1571-1579.
- Khan, S., Guo, L., Maimaiti, Y., Mijit, M. and Qiu, D. 2012. Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. *Mol. Plant Breed.* 3: 63-79.
- Kim, Y.-S., Ham, S.-K., Kim, T.-S. and Jeon, H.-S. 2008. Effect of liquid fertilizer containing medium of *Lactobacillus confusa* and *Pichia anomala* on growth in creeping bentgrass. *Korean J. Turfgrass Sci.* 22: 185-196. (In Korean)
- Kim, Y.-S., Ham, S.-K. and Lee, S.-J. 2010. Effect of liquid fertilizer contained medium of *Lactobacillus* sp. and *Saccharomyces* sp. on growth of creeping bentgrass. *Korean J. Turfgrass Sci.* 24: 138-144. (In Korean)
- Lebeau, A., Daunay, M.-C., Frary, A., Palloix, A., Wang, J.-F., Dintinger, J. et al. 2011. Bacterial wilt resistance in tomato, pepper, and eggplant: genetic resources respond to diverse strains in the *Ralstonia solanacearum* species complex. *Phytopathology* 101: 154-165.
- Lee, Y.-H. and Ha, S. K. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 44: 242-247.
- Lupatini, M., Korthals, G. W., de Hollander, M., Janssens, T. K. and Kuramae, E. E. 2017. Soil microbiome is more heterogeneous in organic than in conventional farming system. *Front. Microbiol.* 7: 2064.
- Park, K. S. and Kim, C. H. 1992. Identification, distribution and etiological characteristics of anthracnose fungi of red pepper in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 8: 61-69.
- Singh, B. K. and Trivedi, P. 2017. Microbiome and the future for food and nutrient security. *Microb. Biotechnol.* 10: 50-53.
- Toyota, K. and Watanabe, T. 2013. Recent trends in microbial inoculants in agriculture. *Microbes Environ.* 28: 403-404.
- van Bruggen, A. H. C. and Finckh, M. R. 2016. Plant diseases and management approaches in organic farming systems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 54: 25-54.
- Weller, D. M., Raaijmakers, J. M., Gardener, B. B. and Thomashow, L. S. 2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40: 309-348.