

부산물 활용 발효 유기질비료 처리에 따른 유기 상추 토양 특성 및 수량에 미치는 영향

안난희^a, 이상민^b, 황현영^a, 박상구^b, 이초롱^{a†}

Effects of Fermented Mixed Organic Fertilizer Utilizing By-Products on Soil Properties and the Yield of Organic Lettuce

Nan-Hee An^a, Sang-min Lee^b, Hyun-Young Hwang^a, Sang-Gu Park^b, Cho-Rong Lee^{a†}

(Received: Sep. 7, 2021 / Revised: Sep. 17, 2021/ Accepted: Sep. 17, 2021)

ABSTRACT: This study aimed to develop an alternative organic fertilizer to castor oil cake-based fertilizers. To assess the nutrient effect of the developed fermented mixed organic fertilizers, the yield of lettuce and soil characteristics after growth were analyzed and compared to those of a trial using a mixed expeller cake fertilizer. Two fermented mixed organic fertilizers, FA and FB, each containing 5.0% nitrogen, 2.6% phosphate, and 1.4% potassium, were produced by mixing different ratios of rice bran, dried distillers grains, sesame oil meal, and fish meal. This study was conducted with six trials: untreated, mixed expeller cake fertilizer, and the fermented mixed organic fertilizers FA and FB. Based on the amount of nitrogen fertilization (70 kg ha⁻¹) on the lettuce, the fermented mixed organic fertilizers FA and FB were applied at 100% and 150%, respectively, and the mixed oil cake was applied at 100%. As the amount of treatment increased, there was no significant difference except the number of leaves in FA treatment. The yields from the FA100 and FB100 treatments were 38.2 and 40.8 Mg ha⁻¹, respectively, which was not significantly different from that of the mixed expeller cake fertilizer treatment at 38.3 Mg ha⁻¹. In addition, the nitrogen uptake and utilization efficiency of the lettuce were not significantly different between mixed expeller cake fertilizer and fermented mixed organic fertilizer treatments. Analysis of the chemical properties of the soil after the trial showed that the mixed expeller cake fertilizer treatment showed the lowest pH. There were no significant differences in electrical conductivity, content of soil organic matter, available phosphate, and exchangeable cation among the fertilizer treatments. However, the bacterial and actinomyces density was higher in the soil from the fertilizer trials than in the non-fertilizer trials. These results indicated that the two tested fermented mixed organic fertilizers had nourishing effects and soil characteristics that were similar to those of the mixed expeller cake fertilizer. Thus, farmers can use these fermented mixed organic fertilizers as alternatives to castor oil cakes for the cultivation of organic lettuce.

Keywords: Agricultural by-products, Organic fertilizer, Castor oil cake, Fermentation, Lettuce

초 록: 본 연구는 연구는 아주까리유박을 주원료로 제조되는 유기질비료의 대체자재의 개발 목적으로 혼합유기질 발효비료의 양분공급 효과 검증을 위해, 시용 후 상추의 생육 및 토양 특성을 혼합유기질과 비교 분석하였다. 혼합유기질 발효비료는 미강, 주정박, 참깨박, 어분의 혼합비율을 달리하여 비료성분이 질소 5.0, 인산 2.6, 칼리 1.4%인 혼합유기질 발효비료 2종 (FA, FB)를 제조하였다. 본 시험은 무처리, 혼합유기질, 혼합유기질 발효비료

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

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

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

처리구로 설정하였으며, 시비량은 시설재배 상추의 표준시비량의 질소기준으로 (70kg ha^{-1}) 혼합유기질 발효비료 FA와 FB는 100, 150% 수준, 혼합유기질은 100%로 설정하였다. 상추 생육은 혼합유기질 발효비료 처리량이 증가할수록 FA 처리구의 엽수를 제외하고는 유의차는 없었다. 수량은 FA100, FB100 처리구가 각각 $38.2, 40.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ 으로 혼합유기질 처리구 (38.3 Mg ha^{-1})와 유의한 차이는 없었다. 상추의 질소 흡수량과 이용 효율은 혼합유기질과 혼합유기질 발효비료 처리구와 유의적인 차이는 없었다. 시험 후 토양 pH는 무비구를 제외하고 시험 전에 비해 다소 낮아지는 경향을 보이며 처리구 중 혼합유기질 처리구의 변화가 크게 나타났다. 전기전도도, 토양유기물, 유효인산 및 치환성 양이온 함량은 처리간의 유의적인 차이는 없었다. 또한 토양의 세균과 방선균 밀도는 무비구에 비해 비료 처리구가 높게 나타났다. 상기 결과를 종합할 때, 제조한 혼합유기질 발효비료 2종은 혼합유기질과 대등한 양분공급 효과와 토양 특성을 확인하였으며 상추 재배를 위한 아주까리유박 대체 자재로 유기재배 농가에서 활용 가능한 것으로 판단된다.

주제어: 부산물, 유기질비료, 아주까리유박, 발효, 상추

1. 서론

화학비료를 사용하지 않는 유기농업에서는 쪼갠, 가축분퇴비, 유기질비료 등 유기자원의 활용 및 토양에 축적된 유기물로부터 양분공급을 원칙으로 한다. 유기자원 중 유기질비료는 비료공정규격상 부산물비료에 속하며 퇴비와 달리 발효과정 없이 본래의 형태와 성질을 그대로 유지한다. 가축분퇴비에 비해 질소 함량이 1~3배 정도 높고 속효성인 특징으로¹⁾ 국내 친환경 농산물 재배 농가에서는 화학비료를 대체할 양분공급원으로서 의존하고 있는 실정이다^{2,3)}.

유기질비료는 질소, 인산, 칼리 등 비료 성분을 함유하고 있으며 토양 시비 후 미생물에 의한 무기화 과정을 거쳐 작물 생육에 필요한 양분을 공급할 수 있는 특징이 있다⁴⁾. 이러한 유기질비료의 양분공급 효과는 벼⁵⁾, 상추⁶⁾, 다채⁷⁾, 적겨자⁸⁾ 등 다양한 작물의 생육 안정과 생산성 증대에 긍정적인 효과를 나타내지만 유박을 발토양에 장기 연용한 결과 토양유기물 증가 효과는 미미한 것으로 보고되었다⁹⁾. 현재 유통되고 있는 유기질비료는 단일 원료에 의해 제조된 것보다 2종 이상의 원료를 혼합하여 만든 혼합유박, 혼합유기질, 유기복합이 주류를 이루고 있다. 유기질비료의 원료는 식물성과 동물성으로 구분되며, 식물성은 아주까리유박, 채종유박, 대두박, 미강유박 등이 있고, 동물성은 어박 및 골분 등이 있다⁴⁾. 유기질비료 원료의 80~90%가 수입되며 대부분 채종유박, 아주까리유박 등으로 수입량은 117만톤, 1,448억원 ('17년)에 달한다¹⁰⁾. 아주까리유박은 다른 유박에 비해 가격은

저렴하지만 인간이나 동물에게 독성이 있는 ricin이나 ricinine이 함유되어 있어 사료로 이용되지 못하고 비료 원료로만 사용하고 있다¹¹⁾. 수입유박의 사용은 원료의 안전성 우려가 있으며 양분의 재순환을 극대화시키고 외부 유입을 최소화하여 지속 가능한 농업의 가치를 실천하기 위해 지역 내 발생하는 부산물 자원을 이용하여 수입유박을 대체할 수 있는 자재 개발이 필요한 실정이다^{4,10)}.

일부 국내에서 발생하는 우각¹⁰⁾, 김치공장 부산물¹²⁾, 주정박¹³⁾ 등을 활용하여 유기질비료를 제조하고 작물 재배 효과를 보고하였다. 또한 우리나라 비료공정규격에 설정되어 있지 않으나 일본 등 국외에서는 보카시(Bokashi)라는 이름으로 발효과정을 거친 유기질비료를 여러 작물에 활용되고 있다^{14,15)}. 제조 방법은 탄질비가 낮은 미강, 유박, 어박, 골분 등 유기물과 유용미생물(EM)을 첨가하여 공기가 들어가지 않는 밀봉조건에서 7~21일 정도 발효시킨다. 보카시 비료의 질소 함량은 사용된 원료에 따라 1.09~3.50%로 보고되었으며¹⁶⁾, 낮은 탄질비로 작물 생육에 충분한 질소공급으로 수량 증대 효과가 보고되었다^{17,18)}. 국내에서는 깻묵, 미강, 주정박 등 유기자원을 혼합하여 호기, 혐기 조건에서 발효과정 중 유기질비료의 특성 변화가 보고되었을 뿐 관련 연구가 미흡한 실정이다^{13,14)}.

따라서 본 연구는 수입유박 대체 양분관리자재 개발을 위해 깻묵, 미강 주정박 등 부산물 자원을 활용하여 혼합유기질 발효비료 2종을 제조하였으며, 상추에 대해 양분공급 효과를 평가하여 수입유박을 대체할 자재로 활용 가능성을 확대하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 혼합유기질 발효비료 제조

미강, 주정박, 참깨박, 어분의 배합비율을 달리하여 비료 A (FA)과 비료 B (FB)를 제조하였다. 원료의 특성은 Table 1과 같으며 각 비료의 총량을 100 kg에 맞추어 FA는 미강-주정박-참깨박-어분의 비율이 20-30-30-20%, FB는 10-40-40-10%으로 비율별로 혼합한 후 수분 함량을 30% (w/w) 정도로 맞춰 물을 첨가하였다. 혼합된 재료는 15 kg씩 폴리에틸렌 봉투에 담아 공기가 들어가지 않게 입구를 밀봉한 후 비가림 시설에서 21일간 발효 후 사용하였다. 발효 후 비료의 성분 함량은 질소 5.0, 인산 2.6, 칼리 1.4% 이었다.

Table 1. Chemical Properties of Materials Used for Producing Fermented Organic Fertilizer

Material	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	C/N ratio	Moisture content (%)
Rice bran	1.9	3.6	1.56	24.0	9.3
Distillers dried grains	5.0	1.9	1.38	9.4	10.3
Sesame oil meal	6.7	2.6	1.08	7.3	6.5
Fish meal	9.5	6.4	0.91	4.3	10.8

2.2. 시험포장 및 처리구 설정

본 시험은 국립농업과학원 유기농 시험포장 시설 하우스에서 2020년 9월 1일부터 10월 21일까지 재배 시험을 수행하였다. 처리구는 1×5 m로 면적이 5 m²이 되도록 조성하였으며 처리구는 난괴법 3반복으로 배치하였다. 처리내용은 혼합유기질 발효비료 2종 (FA, FB), 혼합유기질 (MEC), 무처리 (NF)이며 FA와 FB는 상추 표준시비량의 질소함량 기준으로 100, 150%로 시비량 2종을 설정하였다. 혼합유기질은 아주까리유박 47%, 대두박 23%, 채종유박 10%, 미강 20%가 배합된 제품으로 성분함량은 질소 4.0, 인산 2.0, 칼리 1.0% 이었다. 처리구별 시비량은 시설재배 상추 표준시비량 (N-P₂O₅-K₂O: 70-30-36 kg ha⁻¹)¹⁹과 Eq(1). 식을 이용하여 계산하였으며 상추 정식 2주 전 토양에 전량 시비하였다.

$$\text{유기질비료 시비량 (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{작물표준 N시비 (kg ha}^{-1}\text{)}}{100} \times \text{유기질비료 질소함량 (\%)} \quad \text{Eq.(1)}$$

2.3. 작물재배 및 생육조사

상추 (적측면, 아시아종묘)는 본엽이 5~6매 전개되었을 때 20×20 cm 간격으로 2020년 9월 1일에 정식 하였으며 9월 23일부터 10월 21일까지 총 4회 수확 하였다. 생육 및 수량 조사는 농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사분석기준²⁰에 따라 처리구별로 수확 시 동일한 상추 24주를 수확하여 엽수와 생체중을 누적 하였으며, 최종 수확기에 엽장, 엽폭을 측정하였다.

2.4. 토양 및 식물체 분석

토양은 유기질비료 처리 전과 작물 수확 후 표토 0~20 cm 깊이의 토양을 auger를 이용하여 채취하였고 음건 후 2 mm체를 통과시켜 토양시료를 제조하였다. 조제한 토양은 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다²¹. pH와 전기전도도 (EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법에 의하여 pH meter (Star A211, Orion, USA)와 EC meter (HI 9932, Hanna, Korea)로 측정하였다. 토양유기물은 원소분석기 (Varimax CN, Elementar, Germany)로 총 탄소함량 측정 후 1.724를 곱해 산출 하였으며 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N ammonium acetate로 침출한 유도결합 플라즈마 발광 광도계 (Intrgra XL, GBC, Australia)로 분석하였다. 식물체는 70°C 건조기에서 72시간 건조 후 수분을 정량하였으며 질소의 이용 효율을 조사하기 위해 Elemental analyzer (Vario max CN, Elementar, Germany) 이용하여 총질소를 정량하였다. 처리별 상추의 질소 이용효율은 Eq. (2)식을 이용하여 산출하였다¹⁾.

$$\text{질소이용효율 (\%)} = \frac{\text{각처리구의 질소흡수량 (kg ha}^{-1}\text{)} - \text{무비구의 질소흡수량 (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{질소중시비량 (kg ha}^{-1}\text{)}} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

2.5. 토양 미생물 밀도 조사

토양 미생물 분석을 위해 시험 후 채취한 토양을 2 mm 체로 거른 후 4°C 냉장고에 보관하면서 2주일

이내에 분석하였다. 습토 3 g을 27 mL의 멸균수에 넣고 왕복 진탕기에서 30분간 진탕하여 희석 평판법으로 토양 내 미생물 밀도를 조사하였다. 일반 세균은 yeast glucose agar, 방선균에는 starch casein agar, 사상균에는 rose bengal agar에 30 mg L⁻¹의 streptomycin을 첨가하였다. 배양조건은 세균과 방선균은 28°C에서 4~7일, 사상균은 25°C에서 5일간이며, 각 시료당 미생물 계수는 3개의 petridish에 나타난 colony를 각각 계수한 평균값을 생균수 (Colony Forming Unit: CFU g⁻¹ 건토)로 계산하였다²²). 토양 미생물체량(Microbial biomass C)은 혼중 추출법을 이용하여 분석하였다²³). 비혼중 시료는 습윤토양 15 g에 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였고, 혼중 시료는 습윤토양 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.

2.6. 통계처리

모든 데이터는 XLSTAT 프로그램 (ver. 2015)을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였으며, 측정 결과에 대한 통계처리는 Duncan's multiple range test (DMRT)방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상추 생육 특성 및 수량

혼합유기질 발효비료 종류 및 시비량에 따른 상추의 생육 특성은 Table 2와 같다. FA100과 FB100 처리구는 MEC100과 비교하여 엽장은 13.0~13.4 cm, 엽폭은 12.3 cm, 엽수는 21.2~22.6개로 처리간의 차이는 없었다. 혼합유기질 발효비료 처리량이 증가할수록 FA 100, 150% 처리간의 엽수를 제외하고는 유의한 차이는 없었다. 시설 다체 재배 결과에서도 유박 사용량이 증가하여도 생육에 유의적 차이가 없는 결과와 유사하였다⁷).

FA100과 FB100 처리구의 상추 수량은 각각 38.2, 40.8 Mg ha⁻¹으로 혼합유기질 처리구 (38.3 Mg ha⁻¹)와 처리간의 유의한 차이는 없었다(Fig. 1). FA와 FB의 시

용량을 150%로 증가하여도 수량은 40.8~41.0 Mg ha⁻¹로 상추 수량에 영향을 미치지 않았다. 본 시험에서의 비료 처리량은 시설재배 상추의 표준사용량에 준하여 각각 70, 10.5 kg ha⁻¹를 사용하였으며 토양 EC 기준으로 토양검정에 의한 추천량 (N: 129 kg ha⁻¹)에 비해 적은 양의 비료가 투입되어 시비량 증가에 따른 증수 효과가 나타나지 않는 것으로 사료된다.

Table 2. Growth of Characteristics of Lettuce After Applying Organic Fertilizers

Treatment		Leaf length	Leaf width	No. of leaves
		(cm)		
MEC [†]	100	12.3b [‡]	13.2ns	21.5b
FA	100	13.4ab	12.3	21.2b
	150	13.9a	13.5	23.6a
FB	100	13.0ab	12.3	22.6ab
	150	13.3ab	12.9	22.9ab
NF		13.2ab	12.3	21.3b

[†]MEC: mixed expeller cake; FA: mixed fermented organic fertilizer A (20% rice bran + 30% distillers dried grains + 30% sesame oil meal + 20% fish meal); FB: mixed fermented organic fertilizer B (10% rice bran + 40% distillers dried grains + 40% sesame oil meal + 10% fish meal); NF: no fertilizer.

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

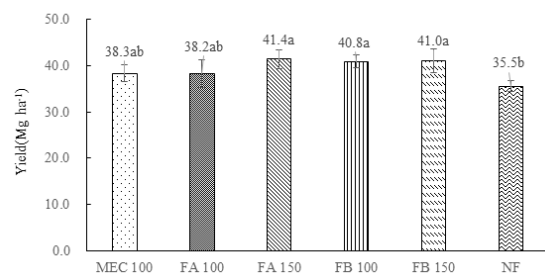


Fig. 1. Yield of lettuce according to type and application rate of organic fertilizer. Different letters on top of the columns indicate significant difference as determined by Duncan's test at $p < 0.05$. MEC: mixed expeller cake; FA: mixed fermented organic fertilizer A (20% rice bran + 30% distillers dried grains + 30% sesame oil meal + 20% fish meal); FB: mixed fermented organic fertilizer B (10% rice bran + 40% distillers dried grains + 40% sesame oil meal + 10% fish meal); NF: no fertilizer.

3.2. 상추의 질소 이용 효율

혼합유기질 발효비료 종류 및 시비량에 따른 상추의 질소 이용 효율은 Table 3과 같다. 혼합유기질의 질소 흡수량과 이용 효율은 각각 87 kg ha⁻¹, 42.7%으로 FA100와 FB100 처리구의 질소 흡수량과 이용 효율이 대등하게 나타났다. 비료 처리별 질소 이용율은 31.9~55.5% 범위로 봄작기에 유박의 질소 이용율이 25~34%⁽⁶⁾, 겨울작기에는 16~24%의 질소 이용율을⁽²⁴⁾을 보고한 선행연구보다 높게 나타났다. Kim et al.⁽²⁵⁾은 작물의 질소 이용율은 pH, 토성, 수분함량, 비료종류 등에 따라

달라지며, 토양에 처리된 유기자원의 유기물질의 형태(질소, 탄질물, 셀룰로오스, 리그닌, 폴리페놀 등)에 따라 질소 이용율에 차이를 나타낸다고 보고하였다.^(26,27) 선행연구에서도 배추에 시용한 결과 혼합유기질과 대등한 양분공급 효과를 보고하였으며⁽¹³⁾, 시설 상추의 재배 시에도 혼합유기질 발효비료 (FA, FB)는 혼합유기질을 대체하는 비료로 활용가능한 것으로 사료된다.

3.3. 토양의 화학적 특성 변화

시험 전과 후의 토양화학성은 Table 4와 같다. 시험 전 토양의 EC가 1.39 dS m⁻¹으로 유효인산과 치환성 칼륨 함량을 제외한 양분함량은 상추 재배에 적합한 적정범위에 미치지 못하였다⁽¹⁹⁾. 비료 처리 후 pH는 무비구를 제외하고 시험 전에 비해 다소 낮아지는 경향을 보이며 처리구 중 혼합유기질 처리구의 변화가 크게 나타났다. 유기질비료 시용에 따른 다채 및 적겨자 재배 후의 토양 pH가 낮아진 결과와 유사하며^(7,8) 이는 비료가 토양에서 무기화되는 과정에서 수소이온의 발생으로 낮아진 것으로 사료된다. EC 함량은 무비구에 비해 혼합유기질 발효비료 및 혼합유기질 처리구에서 높은 경향을 나타내며 비료 처리간의 유의차는 없었다. Uhm et al.⁽²⁸⁾의 선행연구 결과에서는 유기질비료 시용량이 증가할수록 토양 EC를 5.8~16.1% 증가하여 양분 집적의 우려를 나타냈으나, 본 연구결과의 경우 양분 집적의 우려는 나타나지 않았다. 토양 유기물 함량은 시험 후 처리간의 유의한 차이는 없었

Table 3. Nitrogen Uptake Characteristics of Lettuce According to Type and Application Rate of Organic Fertilizer

Treatment	Amount of nitrogen uptake (kg ha ⁻¹)	Nitrogen use efficiency (%)
MEC [†] 100	87b [‡]	42.7ab
FA 100	95b	54.3a
	150	110a
FB 100	96b	55.5a
	150	90b
NF	56c	-

[†]MEC: mixed expeller cake; FA: mixed fermented organic fertilizer A (20% rice bran + 30% distillers dried grains + 30% sesame oil meal + 20% fish meal); FB: mixed fermented organic fertilizer B (10% rice bran + 40% distillers dried grains + 40% sesame oil meal + 10% fish meal); NF: no fertilizer.

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

Table 4. The Chemical Properties of Soil before and after Cultivation

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	
Before	7.8	1.39	18.8	383.9	0.40	7.80	1.66	
After	MEC [†] 100	7.3c [‡]	1.18a	17.5ns	352.9ns	0.39ns	8.22ns	1.85ns
	FA 100	7.7ab	0.86a	19.0	343.4	0.33	7.70	1.68
		150	7.6bc	0.88a	18.6	353.3	0.39	8.41
	FB 100	7.8ab	1.22a	18.6	401.1	0.42	7.79	1.66
		150	7.6bc	1.06a	17.5	369.1	0.40	8.60
	NF	8.0a	0.61b	16.8	342.2	0.44	7.07	1.25

[†]MEC: mixed expeller cake; FA: mixed fermented organic fertilizer A (20% rice bran + 30% distillers dried grains + 30% sesame oil meal + 20% fish meal); FB: mixed fermented organic fertilizer B (10% rice bran + 40% distillers dried grains + 40% sesame oil meal + 10% fish meal); NF: no fertilizer.

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

으며 유기질비료 처리로 유기물 함량이 증가하는 기존의 결과²⁶⁾와 다소 상이하며, 이는 시험 토양의 유기물 함량이 재배적정 범위에 미치지 못하고 투입한 유기질 비료량이 적어 토양 유기물 증가에 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다. 유효인산 함량은 시험 후 342~401 mg kg⁻¹으로 처리간의 유의적인 차이는 없었다. 재배 후 치환성 양이온 K, Ca 및 Mg 함량은 무처리에 비해 증가하지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 본 시험에서는 비료 처리량은 시설재배 상추 표준사용량 (N: 70 kg ha⁻¹)에 준하였으며, 토양 EC 기준에 의한 검정 시비량 (N: 129 kg ha⁻¹)에 비해 상대적으로 적어 유기질비료 처리에 따른 양분의 집적에 대한 문제는 발생하지 않았다. 그러나 유기질비료의 과다 및 장기 사용시 토양의 질산염 집적 문제²⁹⁾, 토양검정에 의한 질소 기준량으로 유기질비료 사용시에는 인산 투입량이 토양검정에 의한 인산 기준량에 비해 많은 양이 투입된다는 결과²⁸⁾에서 언급된 바와 같이 토양 조건에 따라 적절한 유기질비료 사용이 이루어져야 될 것으로 사료된다.

3.4. 토양 미생물상 분포

비료 사용 후 토양 미생물상 분포를 조사한 결과는 Table 5와 같다. 호기성 세균밀도는 비료처리구가 12.2~16.9×10⁷ CFU g⁻¹로 무비구 (9.3×10⁷ CFU g⁻¹)에 비해 높았으며 이러한 결과는 비료 사용으로 작물의 생육이 촉진되고 뿌리의 발달로 인해 근권의 세균 밀도가 증가하는 결과와 유사하게 나타났다^{7,8,10)}. 방선균 밀도

는 FB 처리구가 21.4~20.9×10⁶ CFU g⁻¹로 높은 경향을 나타내며, 사상균은 6.3~15.4×10⁵ CFU g⁻¹으로 혼합유기질, FB 150 처리구와 FA 150, 무비구간의 유의한 차이를 나타냈다. 미생물체량은 무비구와 비료 처리구가 유의적인 차이를 나타내며 발효비료 FA, FB 처리구가 혼합유기질구에 비해 높은 경향을 나타냈다. 발효비료 원료로 사용된 주정박은 탄질율이 낮고, 비료성분함량이 높아 유기질비료 원료로 활용 가능성이 높으며 주류생산에 이용된 미생물은 효소 생산, 유기산, 영양분 등을 함유하고 있어 작물의 양분공급과 토양미생물 활성화에 긍정적인 효과를 나타낸다고 보고하였다³⁰⁾. 토양 미생물 군집은 토양관리에 따른 토양의 화학성 즉, pH와 유기물의 차이가 미생물 군집 분포에 뚜렷하게 관련되어 있다고 보고되었으며³¹⁾ 본 연구에서 혼합유기질과 제조한 혼합유기질 발효비료 처리 후 토양 유기물이 처리구별 뚜렷한 차이가 없었기 때문에 미생물상 분포에도 큰 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 수입유박 대체자재 개발을 위해 미강, 주정박, 참깨박, 어분의 혼합비율을 달리하여 발효시킨 비료2종 (FA, FB)을 제조하였으며 상추 사용 후 양분공급 효과와 토양 특성을 혼합유기질과 비교하였다. 상추 수량은 혼합유기질 처리구와 비교하여 FA100,

Table 5. The Change of Microorganism in Soil by Organic Fertilizers Application in Lettuce Cultivation

Treatment	Bacteria (×10 ⁷)			Actinomycetes (×10 ⁶)		Fungi (×10 ⁵)		Microbial biomass C (μg g ⁻¹)
	(cfu g ⁻¹)							
MEC ⁺ 100	12.2ab [†]			15.3ab		15.4a		120.2cd
FA	100	15.1a		12.1b		14.6ab		154.0ab
	150	12.9ab		14.9ab		8.6b		168.3a
FB	100	12.9ab		20.9a		14.2ab		163.0a
	150	16.9a		21.4a		16.3a		131.9bc
NF	9.3b			14.1b		6.3b		95.3d

⁺MEC: mixed expeller cake; FA: mixed fermented organic fertilizer A (20% rice bran + 30% distillers dried grains + 30% sesame oil meal + 20% fish meal); FB: mixed fermented organic fertilizer B (10% rice bran + 40% distillers dried grains + 40% sesame oil meal + 10% fish meal); NF: no fertilizer.

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $P < 0.05$).

FB100 처리구는 유의한 차이는 없었다. 상추의 질소 이용은 FA100와 FB100 처리구의 질소 흡수량과 이용 효율은 혼합유기질 처리와 대등하게 나타났다. 또한 재배 후 토양화학적은 처리간의 유의적인 차이는 없었으며 토양 유기물이 처리간의 뚜렷한 차이가 없었기 때문에 미생물상 분포에도 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 결론적으로 제조한 혼합유기질 발효 비료 FA, FB는 수입유박 대체자재로 혼합유기질과 대등한 양분공급 효과와 토양에 미치는 영향을 확인 하였으며 상추 재배를 위한 양분공급자재로 유기재배 농가에서 활용가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ013515012020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Yoon, H. B., Lee, J. S., Lee, Y. J., Kim, M. S. and Lee, Y. B., "Effect of different colored polyethylene mulch on the change of soil temperature and yield of chinese cabbage in autumn season", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 45(4), pp. 511~514. (2012).
2. Kim, M. S., Kim, S. C., Yun, S. G., Park, S. J. and Lee, C. H., "Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated", *J. of the KORRA*, 26(1), pp. 21~28. (2018).
3. Cho, S. H. and Chang, K. W., "Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture", *J. of the KORRA*, 15(1), pp. 149~158. (2007).
4. An, N. H., Lee, S. M., Cho, J. R. and Lee, C. R., "Estimation of agricultural by-products and investigation on nutrient contents for alternative of imported oil-cake", *J. of KORRA*, 27(4), pp. 71~81. (2019).
5. Yang, C. H., Yoo, C. H., Kim, B. S., Park, W. K., Kim, J. D. and Jung, K. Y., "Effect of application time and rate of mixed expeller cake on soil environment and rice quality", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 41(2), pp. 103~111. (2008).
6. Won, T. J., Cho, K. R., Kang, C. S., Roh, A. S. and Lim, J. W., "Effects of different oil cakes on nitrogen use efficiency and lettuce yield in plastic film house soils", *Korean J. Soil Sci. Fert. Spring Conference*, p. 147. (2009).
7. Kim, K. C., Ahn, B. G., Ko, D. Y., Kim, J. and Jeong, S. S., "Effect of expeller cake fertilizer on soil properties and Tah Tasai chinese cabbage yield in organic greenhouse Farm", *Korean of Envi. Agri.*, 33(3), pp. 149~154. (2014).
8. Kim, K. C., Ahn, B. G., Ko, D. Y., Kim, J. and Jeong, S. S., "Effect of expeller cake fertilizer application on soil properties and Red Mustard yield in soil organic farm of plastic film greenhouse", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 45(6), pp. 1022~1026. (2012).
9. Lee, S. M., "Long-term effects of organic matters in upland soil", *Research Report, National Institute of Agricultural Science*, pp. 211~224. (2009).
10. Jang, J. E., Lim, G. J., Lee, J. G., Yoon, S. H., Hong, S. E., Shin, K. H., Kang, C. S. and Hong S. S., "Application effect of organic fertilizer utilizing livestock horn meal as domestic organic resource on the growth and crop yields", *J. of KORRA*, 27(2), pp. 19~30. (2019).
11. Yoon, J. O., "Studies on the preparation of food proteins from castor bean protein", *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 12(4), pp. 263~271. (1980).
12. Kim, Y. S., Lee, T. S., An, J. A., Song, H. Y., Chung, Y. B. and Cho, S. H., "Characteristics of composting of castor oil cake mixed with waste from kimchi factory and its influence on lettuce growth", *J. of KORRA*, 25(2), pp. 49~57. (2017).
13. An, N. H., Lee, S. M., Oh, E. M., Lee, C. R. and Gong, M. J., "Application effects of mixed fermented organic fertilizer utilizing by-Products on yield of chinese cabbage and soil environment", *J. of the*

- KORRA, 28(2), pp. 235~250. (2020).
14. Lee, J. T. Lee, C. J. and Kim, H. D., "Changes in physiochemical properties and microbial population during fermenting process of organic fertilizer", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 37(2), pp. 116~123. (2004).
 15. Kengo, Y. and Xu, H. L., "Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganism", *J. of crop production*, 3(1), pp. 255~265. (2001).
 16. Madelaine, Q. and Cecilia, C., "Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review", *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 19(1), pp. 237~248. (2019).
 17. Xu, L., "Effect of microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn", *J. Crop Prod.*, 3(1), pp. 183~214. (2001).
 18. Zaman, A., Ahmed, M. and Gogoi, P., "Effect of bokshi on plant growth, yield and essential oil quantity and quality in patchouli(*Pogostemon Cablin Benth.*)", *Biosci. Biotech. Res. Asia*, 7(1), pp. 383~387. (2010).
 19. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), "Fertilizer recommendation for crops", RDA, Suwon, Korea, pp. 112~113. (2017).
 20. Rural Development Administration (RDA), "Investigation and standard for agriculture experiment", RDA, Suwon, Korea, pp. 533~537. (2012).
 21. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), "Analysis methods of soil and plant", RDA, Suwon, Korea, pp. 103~119. (2000).
 22. 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).
 23. 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).
 24. Kim, M. S., Park, S. J., Kim S. H., Hwang, H. Y., Shim, H. and Lee, Y. H., "Effect of application amount of organic compound fertilizer on lettuce growth and soil chemical properties under plastic film house", *J. of KORRA*, 28(3), pp. 37~44. (2020).
 25. Kim, J. G., Lee, K. B., Lee, S. B. and Kim, S. J., "Effect of chicken manure compost application on the growth of vegetables and nutrients utilization in the upland soil", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 31(2), pp. 177~182. (1998).
 26. Cho, Y. S., Lee, B. Z. and Chea, Z. R., "Nitrogen mineralization of cereal straw and vetch in paddy soil by test tube analysis", *Korean J. Crop Sci.*, 44(2), pp. 25~36. (1999).
 27. Calderon, F. J., McCarty, G. W. and Reeves III, J. B., "Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation", *Biol. Fertil. Soils*, 41, pp. 328~336. (2005).
 28. Um, M. J., Noh, J. J., Chon, H. G., Kwon, S. W. and Song, Y. J., "Application effect of organic fertilizer and chemical fertilizer on the watermelon growth and soil chemical properties in greenhouse", *Korean Journal of Environment Agriculture*, 31(1), pp. 1~8. (2011).
 29. Kim, S. H., Hwang, H. Y., Park, S. J., Kim, S. C. and Kim, M. S., "Evaluation of preplant Optimum application rate of mixed expeller cake in chinese cabbage cultivation at the field", *J. of the KORRA*, 27(3), pp. 41~48. (2019).
 30. Lee, J. H., Park, S. M., Park, C. D., Jung, H. J., Kim, H. S. and Yu, T. S., "Characteristics of Ju-Back and effect of Ju-Back fertilizer on growth of crop plants", *Journal of Life Science*, 17(11), pp. 1562~1570. (2007).
 31. Kim, Y. S., Lee, Y. M., Weon, H. Y., Sang, M. K. and Song, J. K., "Comparative analysis of soil microbial communities between conventional and organic farming systems in pepper cultivation", *Korean J. organic agric.*, 28(2), pp. 235~250. (2020).