Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 28(3), pp.27-36 (2020)
ISSN 1225-6498 eISSN 2508-3015 https://doi.org/10.17137/korrae.2020.28.3.27

Original Paper

혼합발효 유기질비료의 제조과정 중 비료 특성 변화 및 상추 생육에 미치는 영향

안난희[a†], 이상민[b], 오은미[a], 이초롱[c], 공민재[d]

Change in Fertilizer Characteristics during Fermenting Process of Organic Fertilizer and Effect on Lettuce Growth

Nan-Hee An[a†], Sang-min Lee[b], Cho-Rong Lee[a], Eun-mi Oh[c], Min-Jae Gong[d]

(Received: Jul. 1, 2020 / Revised: Sep. 11, 2020 / Accepted: Sep. 14, 2020)

ABSTRACT: This study investigates the changes in inorganic composition and the microbial counts during the process of fermentation of mixed domestic organic resources for the development of alternatives for imported oil cake, and examines the characteristics of mixed fermentation organic fertilizer (MFOF). The effect of the MFOF on the lettuce growth is investigated in order to evaluate the possibility of replacing the existing mixed oil cake with the MFOF. Six kinds of domestic by-product resources, which are rice bran, distiller's dried grains, sesame meal, fish meal, and spent mushroom substrate, are mixed by mixing ratio and the composition was analyzed during the fermentation process for 90 days under moisture content 30% and sealed condition. During the 90 days of fermentation, the pH change of the MFOF was little, and the moisture content was maintained at 34-35% until the 60th day of fermentation, and then decreased to 30-31% on the 90th day. Total nitrogen content remained unchanged during the fermentation period, but total carbon content showed a significant difference on the 21st day of fermentation. It was confirmed that the content of fertilizer composition (nitrogen, phosphate, and potash) of the MFOF was 8.7% or more, which is suitable for the minimum amount standard of the main nutrients to be contained in the organic fertilizer. During the fermentation process of organic fertilizer, the density of bacteria and actinomycetes increased until 60 days and 30 days, respectively, and thereafter little changes were shown, and fungal population showed an increasing trend. As a result of lettuce cultivation test in the greenhouse by applying the MFOF, the growth and yield were comparable to that of using the existing mixed oil cake fertilizer when 100% was applied based on crop standard nitrogen fertilizer level. The use of mixed fermentation organic fertilizer made with domestic by-product resources can be used for use in farms in the future and is expected to contribute to the stable production of environment friendly agricultural products.

Keywords: agricultural by-products, fertilizer source, castor oil-cakes, organic fertilizer

초 록: 본 연구는 수입유박 대체 자재 개발을 위해 국내 유기자원을 배합하여 발효하는 과정에서 무기성분과 미생물 수의 변화를 조사하여 혼합발효 유기질비료의 특성을 구명하고, 제조된 혼합발효 유기질비료의 기존 혼합유박

[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)
[d] 국립농업과학원 유기농업과 박사후연구원(Post-doctoral researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

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

대체 가능성을 검토하고자 상추 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 국내 부산물 자원 미강, 주정박, 참깨박, 어분, 버섯폐배지 등 5종을 혼합비율별로 혼합하고 수분함량 30%, 밀봉조건에서 90일간 발효과정 중의 성분을 분석하여 기존 혼합유박 성분함량 기준에 적합한 혼합발효 유기질비료를 제조하였다. 발효 90일 동안 비료의 pH 변화는 적으며, 수분함량은 발효 60일까지는 34~35%로 유지되다가 90일차에 30~31%로 감소하였다. 총질소 함량은 발효기간 동안 큰 변화 없이 유지되었으나 총탄소 함량은 발효 21일차에 유의적인 차이를 나타냈다. 제조된 혼합발효 유기질비료의 비료성분 (질소, 인산, 칼륨) 함량이 8.7% 이상으로 유기질비료에 함유된 주성분의 최소량 기준에 적합한 것을 확인하였다. 유기질비료 발효과정 중 세균과 방선균의 밀도는 각각 60일, 30일차까지 증가하다 이후 변화가 적었으며 사상균은 증가하는 경향을 나타냈다. 제조된 혼합발효 유기질비료를 시용하여 온실에서 상추를 재배한 시험 결과, 표준 질소시비량 기준 100% 시용시 혼합유박 대비 생육 및 수량이 대등한 결과를 나타냈다. 따라서 지역 내 발생되는 부산물자원으로 제조된 혼합발효 유기질비료는 수입유박을 대체하여 양분관리 자재로 농가 활용이 가능하며 친환경농산물의 안정적 생산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 국내 유기자원, 비료자원, 아주까리 유박, 유기질비료

1. 서 론

정부에서는 제4차 친환경농업 육성 5개년 계획에 따라 2014년 화학비료 사용량을 258kg ha^{-1} 기준하여 2020년도까지 9% 감축 목표를 설정하고 이를 대체하기 위해 친환경 농자재 지원사업으로 유기질비료를 공급하고 있다[1]. 유기질비료는 유박류 등의 원료를 부숙과정 없이 제조한 비료로 가축분 퇴비에 비해 질소 함량이 1~3배 정도 높고 속효성인 특성을 가지고 있어 국내 친환경 농산물 생산 농가에서는 화학비료를 대체할 양분공급원으로써 유기질비료에 의존하는 실정이다[2,3].

현재 유통되고 있는 유기질비료는 단일 원료에 의해 제조된 것 보다 2종 이상의 원료를 혼합하여 만든 혼합유박, 혼합유기질, 유기복합이 주류를 이루고 있다. 유기질비료의 원료는 식물성과 동물성으로 구분되며, 식물성은 아주까리 유박, 채종유박, 대두박, 미강유박 등이 있고, 동물성은 어박 및 골분 등이 있다[4]. 현재 유기질비료 원료의 80~90%가 수입되며 대부분 채종유박, 아주까리유박 등이며 수입량은 117만톤, 수입액은 1,448억원 ('17년)에 달한다[5]. 아주까리 유박은 다른 유박에 비해 가격이 저렴하지만 인간이나 동물에게 독성이 있는 ricin, ricinine이 함유되어 있어 사료로 이용되지 못하고 비료 원료로 사용하고 있다[6]. 유기질비료는 작물의 생육 및 수량을 증가시키는 긍정적인 효과도 있지만 밭토양에 장기 연용한 결과 토양유기물 증가 효과는 미미한 것으로 보고되었다[7]. 수입유박의 사용은 원료의 안전성 우려 및 자원순환과 토양환경 보존을 통한 지속가능한 농업을 실천하고자 하는 유기농업과 상충되므로 지역 내 발생되는 부산물자원을 활용하여 수입유박을 대체할 수 있는 자재 개발이 필요한 실정이다.

혼합발효 유기질비료는 우리나라 비료공정규격에 설정되어 있지 않으나 일본 등 국외에서는 보카시(Bokashi)라는 이름으로 여러 작물에 활용되고 있다[8,9]. 재료는 주로 미강, 유박, 어박, 골분 등 탄질율이 낮은 유기물이 주로 쓰이며 발효조건에 따라 호기적 또는 혐기적으로 7~21일 정도 발효시키며 발효 미생물로 유용 미생물들을 첨가하기도 한다. 보카시 비료의 질소함량은 사용된 원료에 따라 1.09 ~ 3.50%로 보고되었으며[10] 탄질비가 낮고 작물 생육에 충분한 질소공급으로 수량증대 효과를 나타냈다[11,12]. 국내에서는 유기질비료 제조시 호기적 발효과정 중 특성 변화[8]에 대해 보고되었을 뿐 이후 혼합발효 유기질비료 관련 연구가 체계적으로 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 수입유박 대체 자재 개발을 위해 국내 유기자원을 배합하여 발효하는 과정에서 무기성분과 미생물수의 변화를 조사하여 혼합발효 유기질비료의 특성을 구명하고, 제조된 혼합발효 유기질비료의 기존 혼합유박 대체 가능성을 검토하고자 상추 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 혼합발효 유기질비료 제조

혼합발효 유기질비료 원료는 미강, 주정박, 참깨박 등을 Table 1 같이 배합비율을 달리하여 3종의 비료를 제조하였으며. 비료 F1, F2, F3은 90일간 발효과정 중 혼합발효 유기질비료 특성 분석 시험에 사용하였다. 유기질비료의 총량은 10 kg으로 하였으며 수분함량을 30% (w/w) 정도로 맞춰 물을 첨가하였다. 혼합된 유기질비료는 폴리에틸렌 봉투에 담은 후 공기가 들어가지 않게 입구를 밀봉한 후 47 L 스티로폼 박스에 넣어 2019년 1월부터 4월까지 비가림 시설에서 3개월 동안 발효과정을 수행하였다. 유기질비료 제조에 사용된 유기자원의 특성은 Table 2와 같다. 어분은 질소함량이 9.5%, 인산함량이 6.4%로 재료들 중 가장 높았으며 미강과 버섯폐배지를 제외한 모든 재료의 탄질비는 10이하로 낮았다.

2.2. 혼합발효 유기질비료 성분 분석

유기질비료는 혼합직후, 발효과정 중 21일, 30일, 60일, 90일차에 채취하여 70 ℃에서 2일간 건조 후 분쇄한 시료를 사용하였다. 수분함량은 건조법, pH는 1:5법, 질소와 탄소는 시료 0.5 g을 취하여 원소분석기 (ELEMENTAR Varimax CN, Germany)로 측정하였으며 무기성분은 시료 0.3 g을 H_2SO_4-$HClO_4$로 습식분해시킨 여액을 희석하여 인산은 Vanadate법, 칼륨은 유도결합 플라즈마 발광광도계 (GBC Intrgra XL, Australia)로 분석하였다[13].

2.3. 미생물 밀도

혼합발효 유기질비료의 제조과정 중 미생물 밀도 변화는 희석평판법에 준하여 측정하였다[13]. 시료 3 g을 27 mL의 멸균수에 넣고 왕복진탕기에서 200 rpm으로 10분간 진탕하여 10^2~10^6 배가 되도록 희석액을 만들고 이를 미생물수 측정에 사용하였다. 일반세균은 yeast glucose agar, 방선균은 starch casein agar, 사상균은 rose bengal agar에 30 mg/L의 streptomycin을 첨가하여 조제한 배지를 사용하여 세균과 방선균은 28 ℃에서 4~7일, 사상균은 25 ℃에서 5일간 배양하였다. 각 시료당 미생물 개체수는 3개의 petri dish에 나타난 colony를 각각 계수하여 평균값을 내어 산출하였다.

2.4. 작물 재배 및 생육조사

혼합발효 유기질비료의 시용효과를 구명하기 위해 작물재배 시험은 국립농업과학원 유기농업과 유리 온실 (완주)에서 수행하였다. 시험구는 제조한 혼합발효 유기질비료 (MFOF), 혼합유박 (MOC), 화학

Table 1. Mixing Ratio of Fermented Organic Fertilizer by Weight per Weight

	Rice bran (%)	Distillers dried grains (%)	Sesame oil meal (%)	Fish meal (%)	Spent mushroom media (%)
F1	20	20	20	20	20
F2	20	20	20	40	-
F3	20	40	20	20	-

Table 2. Chemical Properties of Materials Used for Producing Fermented Organic Fertilizer

Material	T-N	P_2O_5	K_2O	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
Spent mushroom media	2.4	1.9	1.34	18.3	5.2

Table 3. Soil Chemical Properties Used for This Experiment

	pH	EC	OM	Av. P_2O_5	Ex. cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------		
	6.8	0.23	12.4	142.7	0.53	8.56	1.88
Optimum range	6.5~7.0	<2	20~30	250~400	0.4~0.6	6.0~7.0	2.0~2.5

비료 (NPK), 무비 (NF)로 4처리, 3반복으로 수행하였다. 혼합발효 유기질비료는 미강, 주정박, 골분, 참깨박 그리고 어분을 각각 20% (W/W)씩 혼합한 후 수분 30%, 밀봉조건에서 21일간 상온에서 발효시켰으며 비료함량은 질소 5.5, 인산 5.7, 칼륨 0.5% 이었다. 혼합유박은 아주까리 유박 47%, 대두박 23%, 채종유박 10%, 미강 20%가 배합된 제품으로 성분함량은 질소 4.0, 인산 2.0, 칼륨 1.0% 이었다. 포트시험에 사용한 토양은 유기농업과 시험포에서 나지상태로 관리되었으며 토성은 식양토, 화학성은 pH가 6.8, 유기물 함량은 12.4 g kg^{-1}, 유효인산은 142.7 mg kg^{-1}으로 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨과 마그네슘 함량이 상추 재배 적정범위보다 낮은 것으로 나타났다(Table 3).

재배시험은 정식 2주전에 1/5000a 와그너 포트에 시험토양 4kg와 상추 표준시비량 (N-P_2O_5-K_2O : 20-5.9-12.8 kg $10a^{-1}$)의 질소 함량을 기준하여 유기자재(혼합발효 유기질비료, 혼합유박)와 화학비료는 요소, 용과린, 염화가리로 전량 혼합하여 처리하였다[14]. 상추 (청치마)는 2019년 5월 29일 정식하고 7월 9일까지 수확하여 누적 생체중을 계산하였다. 엽록소는 엽록소측정기 (SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였고 엽수, 엽장, 엽폭 등은 농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사분석기준[15] 에 준하여 실시하였다. 재배 후 식물체는 채취하여 70℃ 건조기에서 48시간 건조 후 건물중을 측정하였다.

2.5. 토양 분석

수확 후 포트 내 전체 토양은 풍건 후 2 mm체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다. pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH meter (Orion model Star A211, USA)와 EC meter (Hanna model HI 9932, Korea)로 측정하였다. 토양유기물은 원소분석기 (ELEMENTAR Varimax CN, Germany)로 총 탄소함량 측정 후 1.724를 곱해 산출하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 720 nm에서 비색계 (UV-2450, SHIMADZU, JAPAN)로 측정하였다. 치환성 양이온은 1M NH_4OAc (7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광 광도계 (GBC Intrgra XL, Australia)으로 분석하였다.

2.6. 통계처리

XLSTAT 프로그램 (ver. 2015)을 이용하여 분석하였으며, 측정결과에 대한 통계처리는 Duncan's multiple range test (DMRT)방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 혼합발효 유기질비료의 pH와 수분함량 변화

혼합발효 유기질비료의 발효과정 중 pH와 수분함량 변화는 Fig. 1과 같다. 혼합발효 유기질비료별 pH는 F2 > F1 > F3 순으로 높았으며 발효 90일 동안 F1은 5.0~5.1, F2는 5.4~5.6, F3은 4.7~5.2 범위에 있었다. 가축분뇨 퇴비화 과정의 경우 pH 변화는 초기에는 유기산 생성으로 감소하다 물질분해가 본격화되면 암모니아 생성의 영향으로 인해 상승하며 일정기간 경과 후 숙성단계를 거치면 pH가 7~8 정도가 된다고 하였다[16]. 본 연구에서는 발효 90일 경과 후 혼합발효 유기질비료의 pH는 4.7~5.6으로 퇴비의 pH보다 낮은 경향을 보였으며 이러한 차이는 호기적 퇴비화 조건과 달리 뒤집기 작업이 없는 밀봉된 발효 조건에서 기인한 것으로 미강, 대두박 등을 원

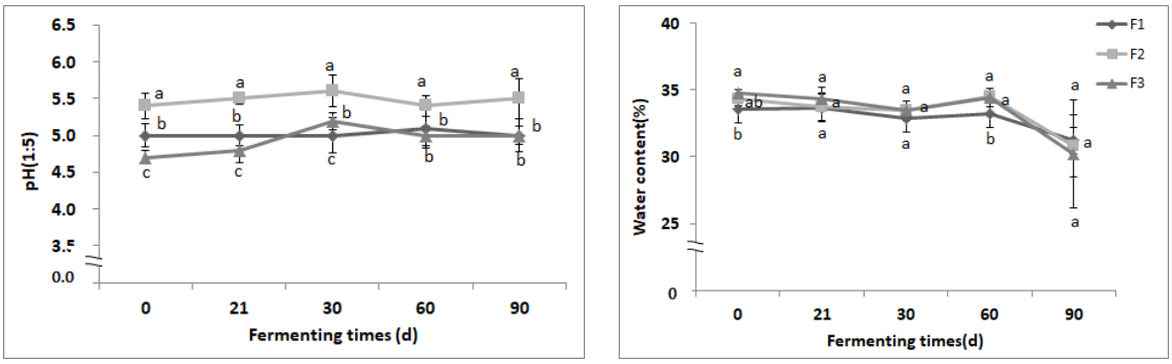

Fig. 1. Changes in pH and moist content during fermenting process. The vertical bars are standard deviation. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. F1: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 20% fish meal + 20% spent mushroom spent; F2: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal; F3: 20% rice bran + 40% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal.

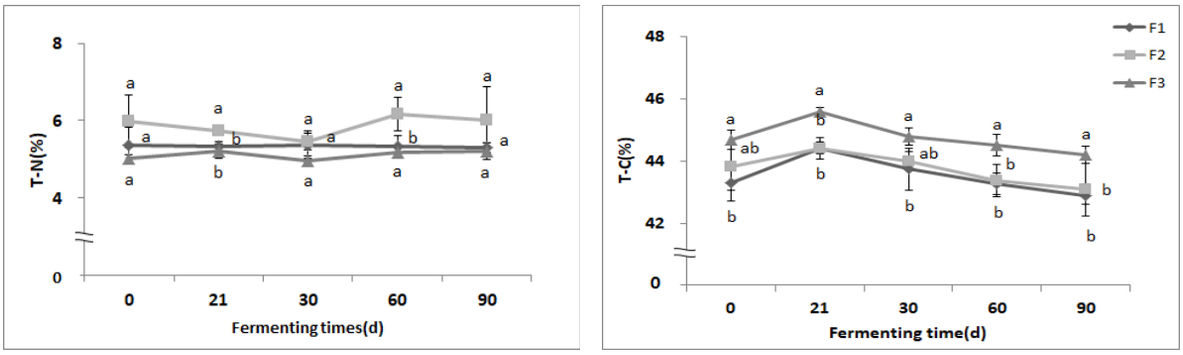

Fig. 2. Changes in total nitrogen and total carbon content during fermenting process. The vertical bars are standard deviation. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. F1: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 20% fish meal + 20% spent mushroom spent; F2: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal; F3: 20% rice bran + 40% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal.

료로 가축의 발효사료 제조시 발효된 사료의 pH가 자연노출보다 밀봉조건에서 낮은 경향이었다는 보고와 유사한 결과를 보였다.[17] 수분함량은 제조당일 비료 3종 모두 34~35%로 발효 60일까지는 수분이 유지되다가 90일차에 30~31%로 감소하였다. Simamoto (2000)는 혼합발효 유기질비료 제조 시 적정 수분함량을 30~50%로 보고하였으며[18] 적정 수분은 혼합발효 유기질비료의 품질에 영향을 준다고 하였다[9]. 또한 혼합발효 유기질비료 제조 시 뒤집기 작업이 수행되었을 때는 비료더미의 온도가 59 ℃까지 올라가고 수분이 초기 36.3%에서 70일 발효 후 12.5%까지 감소한 결과[8]와 달리 본 시험구와 같이 밀봉된 발효조건에는 60일 이상 수분함량이 유지되는 것을 확인하였다.

3.2. 혼합발효 유기질비료의 총질소 및 총탄소 함량과 C/N비 변화

발효기간 중 총질소와 탄소 변화는 Fig. 2와 같다. 발효 초기 총질소 함량이 가장 높은 F2는 재료 중 질소 함량이 높은 어분의 첨가량이 많았기 때문이며 발효기간 동안 5.5~6.0% 범위에서 측정되었다. F1과 F3은 각각 5.4~5.3%, 5.0~5.2% 범위이며 3종 비료의 시기별 질소함량은 큰 변화 없이 유지되었다. 이 등(2004)[8]은 혼합발효 유기질비료 제조 시 호

기적 조건에서는 70일 동안 총질소 함량이 3.5%에서 2.8%로 0.7% 감소하였으나 본 시험조건 (밀봉)에서는 총질소 함량이 크게 변하지 않는 것을 확인하였다. 총탄소 함량은 비료 중 F3이 제조 당일 44.7%로 가장 높았으며 21일차에 45.6%로 증가하였다가 이후 44.8~44.2% 범위에서 측정되었다. F1, F2의 총탄소 함량은 F3과 유사하게 제조 당일보다 21일차에 높아졌다가 이후 42.9~44.0% 값을 나타냈다. 발효기간 동안 비료 3종은 21일차에 총탄소 함량의 유의적인 차이를 나타냈다.

탄질비는 처리구별로 차이는 있으나 10 이하로 일반적으로 초기 탄질비를 25~30으로 맞추는 가축분 퇴비에 비해 낮은 탄질비를 보였다. 비료 중 F2가 7.0~8.1로 가장 낮았으며 F1이 8.3~8.1, F3은 8.5~9.0 으로 발효기간 동안 유지되거나 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 가축분뇨 퇴비화 과정에서 낮은 탄질비는 질소 손실과 악취를 발생시킨다고 알려져 있으나 혼합발효 유기질비료 제조 조건은 미강과 버섯폐배지를 제외하고 10 이하로 밀봉조건 하에서 가축분뇨 퇴비화 특성과는 많은 차이가 있을 것을 판단된다.

3.3. 혼합발효 유기질비료의 인산 및 칼륨함량 변화

혼합발효 유기질비료의 발효기간 중 인산과 칼륨함량의 변화는 Fig. 4와 같다. 인산함량은 F2가 3.6~3.3, F1이 3.5~2.9, F3은 3.3~2.6% 범위에서 측정되었으며 인산함량이 높은 어분 첨가비율이 높았던 F1이 가장 높게 나타났다. 칼륨함량은 F1이 1.2~0.9, F2는 1.2~1.0, F3은 1.3~1.1% 으로 발효기간 동안 비료 3종 1% 내외로 나타났다. 비료공정규격에서 유기질비료의 비료성분 함량은 질소, 인산, 칼륨 전량 중 2종 이상의 합계량이 최소 7% 이상이 되도록 규정하고 있다. 제조된 혼합발효 유기질비료 3종 모두 질소, 인산, 칼륨 성분 함량이 8.7% 이상으로 함유하

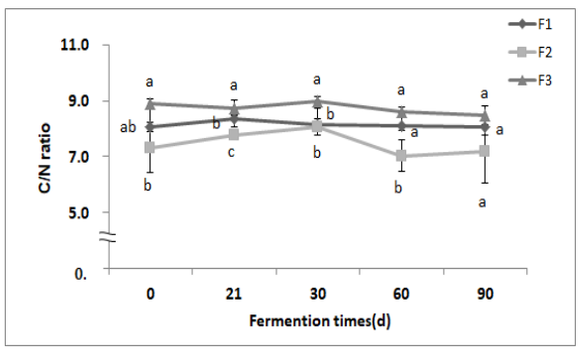

Fig. 3. Changes in C/N ratio during fermenting process. The vertical bars are standard deviation. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. F1: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 20% fish meal + 20% spent mushroom spent; F2: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal; F3: 20% rice bran + 40% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal.

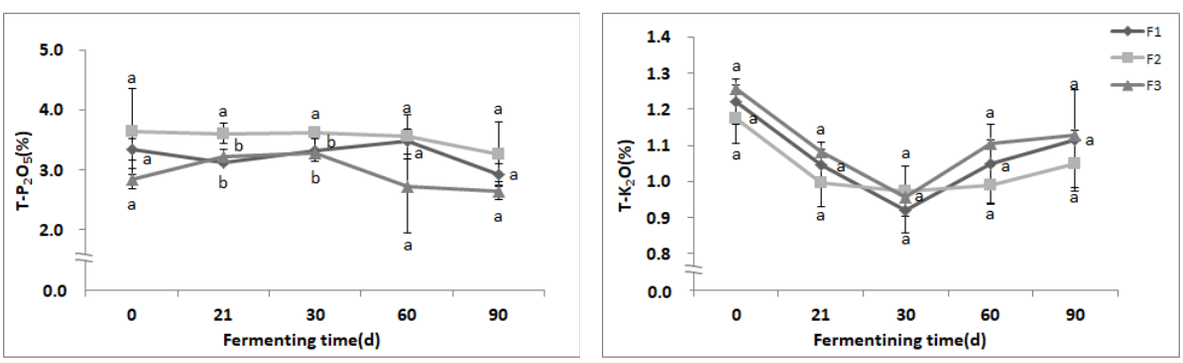

Fig. 4. Changes in total phosphate and total potash content during fermenting process. The vertical bars are standard deviation. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. F1: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 20% fish meal + 20% spent mushroom spent; F2: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal; F3: 20% rice bran + 40% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal.

여야 할 주성분의 최소량 기준에 적합하였다.

3.4. 혼합발효 유기질비료의 발효과정 중 미생물 밀도 변화

혼합발효 유기질비료 발효과정 중의 미생물 밀도 변화는 Fig. 5와 같다. 세균의 경우 비료 종류에 상관없이 발효60일차까지 증가하다 이후 일정한 값을 유지하는 경향을 보였다. 제조 당일 F1, F2, F3의 세균밀도는 각각 4.90, 4.98, 4.88 log cfu g-^{1} 이었으며 발효 90일차는 5.92, 7.73, 6.72 log cfu g^{-1} 이였다. 방선균의 밀도는 F1을 제외하고 비료 2종은 발효 30일차까지 증가하다 이후 변화가 적은 경향을 나타냈다. F1은 발효기간 동안 4.96~4.73 log cfu g^{-1} 이었으며 F2, F3은 90일차에 각각 7.78, 7.63 log cfu g^{-1} 로 증가하였다. 사상균의 경우 발효기간 동안 증가하는 경향을 나타냈으며 F1은 제조당일 3.47에서 90일차에 5.86 log cfu g^{-1}, F2는 2.98에서 7.86 log cfu g^{-1}, 그리고 F3은 2.33에서 7.66 log cfu g^{-1}로 증가하였다. 호기성 미생물에 의해 진행되는 퇴비화 과정은 초기에는 중온성 미생물이 유기물 분해에 관여하며 퇴비온도가 40℃ 이상으로 상승하면 고온성 미생물이 관여한다. 이후 유기물의 분해가 완료되고 퇴비더미 온도가 40℃ 이하로 낮아지면 다시 중온성 미생물이 재정착하게 되는데 공기 공급이 없는 밀봉조건의 발효 유기질비료의 경우 유기물 분해에 관여하는 미생물 종류는 퇴비화 조건과는 상이할 것으로 사료된다.

3.5. 비료 처리에 따른 상추 생육 및 토양의 화학적 특성 변화

제조된 발효비료 시비에 따른 상추의 생육특성은 Table 4와 같다. 제조 발효비료를 상추 표준질소시비량 기준 100% 시용할 경우 혼합유박 100% 및 화학비료 100% 시용구와 엽색도, 엽수, 엽장, 건물중은 통계적인 유의차는 없었다. 생체중은 화학비료 시용구가 124.2 g으로 가장 높았으나, 혼합유박 100%는 통

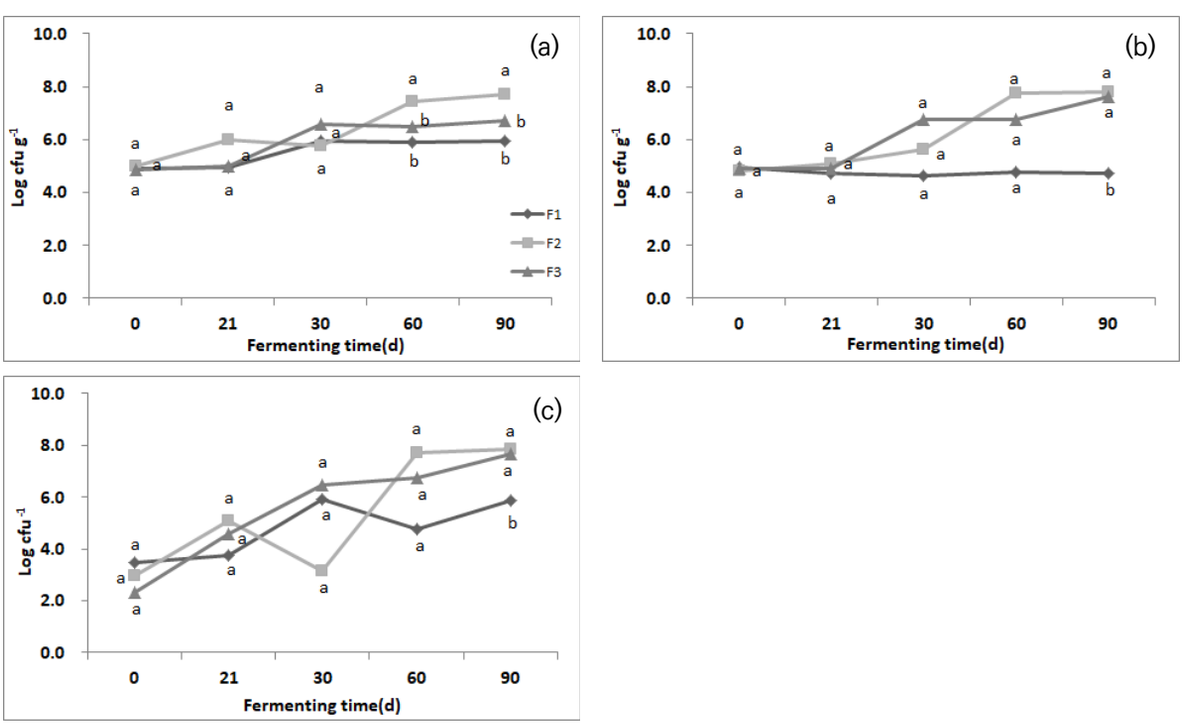

Fig. 5. Changes in microbial population during fermenting process. (a)bacteria, (b)actinomycetes and (c)fungi. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$. F1: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 20% fish meal + 20% spent mushroom spent; F2: 20% rice bran + 20% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal; F3: 20% rice bran + 40% distillers dried grains + 20% sesame oil meal + 40% fish meal.

Table 4. Growth of Characteristics of Lettuce after Applying Organic Fertilizers

Treatment	Leaf color	No of leaves	Leaf length	Fresh weight	Dry weight
	SPAD value	ea/plant	cm	g/plant	
MFOF†	30.9a‡	26.7a	22.6a	107.7b	11.0a
MOF	31.6a	28.3a	22.7a	115.1ab	9.7a
NPK	29.1a	28.3a	22.7a	124.2a	10.1a
NF	22.1b	13.0b	18.2b	31.2c	3.5b

†MFOF: Mixed fermented organic fertilizer; MOF: Mixed oil cake fertilizer; NPK: chemical fertilizer; NF: no fertilizer.
‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $P < 0.05$).

Table 5. Chemical of Characteristics of Soil after Lettuce Cultivation Applying Organic Fertilizers

Treatment	pH	EC	OM	Av. P_2O_5	Ex. cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------
MFOF†	6.1b‡	0.28b	12.6b	186.2a	0.17b	10.01a	3.23a
MOF	5.9c	0.35ab	13.6a	174.6b	0.18b	9.85a	3.17a
NPK	6.0c	0.39a	11.0c	147.7c	0.17b	9.63a	3.02a
NF	6.3a	0.18dc	10.8c	145.9c	0.21a	9.96a	3.17a

†MFOF: Mixed fermented organic fertilizer; MOF: Mixed oil cake fertilizer; NPK: chemical fertilizer; NF: no fertilizer.
‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $P < 0.05$)

계적인 유의차가 없었으며, 혼합유박 100%와 제조발효비료 100% 시용구도 통계적 유의차는 없었다.

상추 재배 후 토양의 화학적 특성은 Table 5와 같다. pH는 유기질비료 (혼합발효, 혼합유박) 시비 후 적정범위보다 낮아졌으며 혼합유박 시용구가 혼합발효 유기질비료 시용구보다 낮은 경향을 나타났다. 이러한 pH 변화는 유기질비료에 포함되어 있는 유기물의 분해과정에서 생성된 유기산으로 인하여 변동되었다고 보고하였다[19]. EC의 경우 유기질비료 시비 후 증가하였으며 혼합유박 시용구가 혼합발효 유기질비료 시용구보다 높은 경향을 나타났다. 김 등 (2019)의 연구결과에서도 이러한 EC증가는 유기질비료는 퇴비와 달리 미부숙 상태이고, 탄질비가 낮아 미생물에 의한 질소 무기화가 빠르게 진행되고 토양 중으로 EC에 영향을 미치는 양분의 공급이 증가되므로 토양의 EC가 증가하는 것으로 보고하였다[20]. 시험후 유기질비료 시용구의 토양유기물 함량은 화학비료 및 무비구에 비해 높고 시험전과 비교하여 다소 증가하거나 차이가 없었으며 이러한 결과는 단기간의 유기질비료 공급에 따른 토양 유기물함량이 증가하는 기존 연구결과들과 유사하게 나타났다[21,22]. 유효인산은 화학비료 및 무비구에 비해 유기질비료 시용구가 높았으며 시험전에 비해 증가하였다. 토양의 칼륨 함량은 시험전에 비해 감소하였으며 칼슘과 마그네슘 함량 변화는 유기질비료 시용으로 증가하였지만 통계적으로 유의성은 없었다. 상추 재배 후 토양의 칼륨성분의 부족은 선행연구에서도 칼륨성분 함량이 낮은 유기질비료를 투입하고 작물을 재배하게 되면 칼륨성분이 부족해지므로 양분의 균형적인 흡수, 이용을 위해 칼륨 성분함량을 작물의 비료요구량에 맞도록 조절하거나 다른 비료로 칼륨성분을 보충할 필요가 있다고 보고된 바 있다[2,23].

4. 결 론

본 연구는 국내 유기자원을 배합하여 발효하는 과정에서 무기성분과 미생물수의 변화를 조사하여 혼합발효 유기질비료의 특성을 구명하고, 제조된 혼

합발효 유기질비료를 기존 혼합유박 비료와 양분공급 효과를 비교하여 수입유박 대체 양분관리 자재로의 활용 가능성을 검토하였다. 국내 부산물 자원 중 미강, 주정박, 참깨박, 어분, 버섯폐배지 등 5종을 혼합비율별로 혼합하고 수분함량 30%의 밀봉조건에서 90일간 발효 과정 중 성분을 분석하여 기존 혼합유박 성분함량 기준에 적합한 혼합발효 유기질비료를 제조하였다. 제조된 비료는 혼합유박의 질소함량 (4%) 대비 평균 질소함량은 5.3%이며 질소, 인산, 칼륨 성분 함량이 8.7% 이상으로 함유하여야 할 주성분의 최소량 기준 (7% 이상)에 적합하였다. 제조된 혼합발효 유기질비료를 시용하여 온실에서 상추를 재배한 결과, 작물표준 질소시비량 기준 100% 시용시 혼합유박 대비 생육 및 수량이 대등한 결과를 나타냈다. 본 연구결과는 국내 부산물 자원을 활용하여 농가에서 수입유박 대체 양분관리 자재를 제조하여 사용할 수 있는 가능성을 보여주었으며 향후 지속적인 이용기술의 개발과 보급은 수입유박의 의존도를 낮추며 친환경농산물의 안정적 생산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

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

References

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), The National Fourth Five-Year Plan for Environmental Agriculture, (2016).
2. Kim, M. S., Kim, S. C., Yun, S. G., Park, S. J. and Lee, C. H., “Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated”, Journal 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”, Journal 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. Jang, J. E. and Lim, G. J., “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).
6. Yoon, J. O., “Studies on the preparation of food proteins from castor bean protein”, Kor. J. Food. Sci. Technol., 12(4), pp. 263~217. (1980).
7. Lee, S. M., “Long-term effects of organic matters in upland soil”, Research Report, National Institute of Agricultural Science, (2009).
8. 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. Soli Sci. Fert., 37(2), pp. 263~217. (2004).
9. Kengo, Y. and Xu, H. L., “Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microoranisms”, Journal of crop production., 3(1), pp. 255~265. (2001).
10. 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).
11. 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).
12. 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).
13. National Institute of Agricultural Science(NIAST), Analysis methods of soil and plant, Rural Development Administration(RDA), Korea. (2010).
14. National Institute of Agricultural Science(NIAST),

The standard of fertilizer application crop species, Rural Development Administration(RDA), Korea. (2006).

15. National Institute of Agricultural Science(NIAST), Investigation and standard for agriculture experiment, Rural Development Administration(RDA), Korea. (2000).
16. Cardenas, R. R. and Wang, L. K., "Evaluation of city refuse compost maturity, A review", Biol. Wastes, 27(2), pp. 115~142. (1989).
17. Ki, G. S., "The effect of water content and the presence or absence of fermentation agent on feed value in the manufacture of total mixed rations", Research Report, National Institute of Animal Science, (2002).
18. Shimamoto, K., Advanced microbiological farming for promoting soil, 3rd ed., Korean society of compost Farming, pp. 181~334. (2000).
19. Oh, T. S. and Kim, C. H., "Effect of using organic fertilizer on the growth of rice and soil", Korean J. Crop Sci., 58(1), pp. 36~42. (2013).
20. Kim, S. H., Hwang, H. Y., Seo, H. B., Rim, J. E., Park, S. J., Lee, Y. H. and Kim, M. S., "Response of yield and nitrogen use efficiency for garlic on different types and rates of organic fertilizer", J. of KORRA, 27(4), pp. 35~42. (2019).
21. Kim, K. C., Ahn, B. G., Ko, D. Y., Kim, J. and Jeong, S. S., "Effect of expellar 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).
22. Kim, K. C., Ahn, B. G., Ko, D. Y., Kim, J. and Jeong, S. S., "Effect of expellar 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).
23. Kim, Y. K., Cho, Y. Y., Oh, H. J., Kang, H. J., Yang, S. H., Moon, B. C. and Jwa, C. S., "Growth, yield and nutrient uptake of radish as a affected by amount of organic fertilizer in a volcanic ash soil", Korean J. Org. Agric, 23(4), pp. 892~846. (2015).