

국내 자원으로 제조한 발효 유기질비료가 배추의 생육 및 질소이용효율에 미치는 영향

김유진^a, 김소희^a, 이상민^b, 이초롱^{c†}

Effect of Growth and Nitrogen Use Efficiency to Chinese Cabbage under Fermented Organic Fertilizer Treatment with Domestic Resource

You-Jin Kim^a, So-Hui Kim^a, Sang-Min Lee^b, Cho-Rong Lee^{c†}

(Received: Jul. 17, 2023 / Revised: Sep. 8, 2023 / Accepted: Sep. 18, 2023)

ABSTRACT: This study investigate growth responses of Chinese cabbage and nitrogen use efficiency (NUE) to application of fermented organic fertilizer produced from domestic organic resources for developing alternative materials instead of imported castor oil meal. Two types of fermented fertilizers (Fermented Organic Fertilizer A (OFA) and Fermented Organic Fertilizer B (OFB)) were produced by mixing distillers dried grains 30%, sesame cake 30%, rice bran 20% and fish meal 20% under different fermentation conditions. Treatment consisted of OFA is fermented for 21 days on plastic greenhouse, OFB is fermented for 5 days on 40°C, and MOF (Mixed Organic Fertilizer) is a fertilizer made with castor bean as the main ingredient. OFA, OFB and MOF were applied at the rate of 320 kg N/ha. Chinese cabbages were cultivated from Aug. to Nov. in 2022. Growth and yield of Chinese cabbage were no significant differences among all treatments except control (non-fertilized, NF). However, NUE of Chinese cabbage was higher the fermented fertilizer treatment (OFB: 81.4%, OFA: 79.1%) than the MOF (65.3%). It was observed that urease activity in the fermented fertilizer treatment was significantly higher than the MOF. This result confirmed that fermented fertilizers have similar effect on growth and yield with the MOF and could improve the NUE of crop.

Keywords: Agricultural by-products, Castor oil meal, Mixed oil cake, recycle of domestic biomass, Urease activity

초 록: 본 연구는 수입산 아жу까리박을 주원료로 하는 혼합유기질비료(혼합유박)을 대체하기 위해 국내 유기자원을 원료로 제조한 발효비료의 처리효과를 확인하는 목적으로 수행되었다. 발효비료는 주정박(30%), 깻묵(30%), 미강(20%), 어분(20%)을 혼합하여 제조하였다. 이때 발효조건을 달리하여 기존 발효방식(비가림 하우스에 21일간 발효)으로 제조한 발효비료A (Fermented Organic fertilizer A, OFA)와 발효기간을 단축(40°C에서 5일간 발효)시켜 제조한 발효비료B (Fermented Organic fertilizer B, OFB) 2종을 제조하였다. 본 실험의 처리구는 무처리(Control, NF), 혼합유박(Mixed organic fertilizer, MOF), 발효비료 처리구(OFA, OFB)로 설정하였으며, 노지 배추 표준시비량의 질소 기준(320 kg/ha)으

^a 국립농업과학원 농업환경부 유기농업과 석사후연구원(Post-master Researcher, Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Science)

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

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

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

로 자재를 처리하였다. 재배시험 결과 OFA, OFB와 MOF간의 배추의 생육과 수량이 유의적인 차이를 보이지 않았다. 배추의 질소이용효율은 발효비료 처리구(OFB : 81.4%, OFA : 79.1%)가 MOF (65.3%)보다 증가하였고, 발효비료를 처리한 토양의 Urease 활성도가 240~241 $\mu\text{g}/\text{g}/\text{dm}/2\text{h}$ 로 MOF (203 $\mu\text{g}/\text{g}/\text{dm}/2\text{h}$)와 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 결론적으로, 국내 유기자원으로 제조한 발효비료 2종은 혼합유박과 유사한 생육과 수량을 보였으며, 발효과정으로 작물의 양분흡수가 용이해져 질소이용효율을 개선시키는데 도움을 준 것으로 판단된다. 이에 제조한 발효비료가 양분공급자재로 혼합유박을 대체 하는데 효과적일 것으로 보인다. 특히, 발효기간을 기존대비 16일 단축시켜 제조한 OFB도 기존 발효비료(OFA)와 효과가 유사하여 현장 활용도가 높을 것으로 판단된다.

주제어: 부산물, 아주까리박, 혼합유박, 자원순환, Urease 활성도

1. 서론

우리나라 연간 유기성 자원 발생량은 약 626만톤이며¹⁾ 소각 또는 매립하는 과정에서 대기, 토양 및 수질 등의 환경오염이 발생하고 있다.^{2),3)} 유기성 자원은 비료, 사료, 식품 등 여러 분야에서 재사용되고 있으며^{4),5),6)} 이 중 비료 부분에서는 해외에서 발생하는 유기 자원인 유박을 수입하여 친환경 농가의 주 비료원으로 사용하고 있다. 수입되는 유박의 대부분을 차지하는 아주까리박에는 리신(Ricin)이라는 독성물질이 함유되어 안정성이 우려되고 있으며, 유박과 같은 유기물은 수분을 포함한 일정 조건에서 병균이나 해충 발생이 쉬워 수입되는 과정 중 해충이 유입될 가능성이 있다. 따라서 해외 유기성 자원 수입보다는 국내에서 발생하는 유기성 자원을 사용하여 선순환시키는 지속적인 연구가 필요하다.^{4),7),8)}

유기성 자원으로 제조한 비료(이하 유기질비료)는 크게 원료에 따라 미강, 깻묵, 식물성유박 등의 식물성비료와 어분, 골분, 혈분 등의 동물성비료, 식물성비료를 2종 이상 혼합한 혼합유박비료, 유기질비료가 2종 이상 혼합된 혼합유기질비료로 구분된다.⁹⁾ 유기질비료는 비료의 3요소 질소, 인산, 칼리 함량이 높은 원료를 사용하여 제조하기 때문에 토양 시용 시 미생물에 의해 분해되어 부산물비료에 비해 다양한 영양분이 많은 비료에 속한다.¹⁰⁾ 그러나 유기질비료는 대부분 동·식물체의 부산물인 박류를 발효시키지 않고 포장하여 판매되고 있는데 이는 토양에 투입 후 유기물이 분해되는 과정에서 발생하는 가스로 작물에 피해를 줄 수 있으며¹¹⁾ 발효과정을 거치지 않아 유익한 미생물이 생기지 않

을 수 있다.²⁾

발효는 유기물이 분해되는 과정으로 미생물이 영양분을 이용하여 대사산물을 합성하게 되는데 이 과정에서 미생물 또는 미생물 대사산물이 축적되어¹²⁾ 양분이용효율을 높이고,¹³⁾ 사료의 경우 단백질 함량을 증가시켜 동물의 영양효율에 도움을 준다.¹⁴⁾ 단백질은 식물체의 8%를 구성하며 토양에서 미생물이 분해된 효소에 의해 아미노산, 질소, 황으로 분해되어 식물체와 미생물의 양분으로 이용된다.¹⁵⁾

질소는 작물의 생산에 중요한 양분으로¹⁶⁾ 질소의 활용 부분에서 질소이용효율 개선의 중요성이 제기되어 왔다.^{17),18)} 질소이용효율은 작물이 흡수 또는 이용하는 단위당 최대 수율을 평가하는 척도로 농업효율, 생리효율, 이용효율 등 다양한 측면에서 분류되었다.^{19),20)} Urease는 요소(Urea)를 CO_2 와 NH_3 로 가수분해하는 효소로 토양 미생물이나 식물로부터 생산되며 식물체가 이용가능한 유기질소의 가용화를 촉진하여²¹⁾ 질소이용효율을 높이는데 도움을 줄 것이라고 추정된다.

선행연구에서는 발효비료와 혼합유박을 질소함량 기준으로 100%, 200% 시비하여 작물의 적정 시비량을 선발하였다.²²⁾ 기존에 발효비료를 제조하는 방법은 비가림 하우스에서 발효하여 3주 이상의 제조시간이 소요되었다. 이에 제조기간을 단축하기 위해 혼합사료기를 이용하여 혼합한 유기질비료를 40°C에서 5일간 발효하였다. 따라서 본 연구는 수입 유박 대체재로서 발효 조건에 따른 발효비료를 제조하였고, 시용 후 배추의 양분공급 효과를 평가하여 수입 혼합유박의 대체 자재로 활용 가능성을 확인하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 작물재배 및 생육조사

본 연구는 국립농업과학원 유기농격리포장(35° 49'33"N, 127° 02'52"E)에서 정식 2주 전인 2022년 8월 24일 비료처리를 하였으며 9월 7일에 배추 '추월' 품종(*B. rapa* cv. Chuwol)을 재배하고 11월 18일에 수확하여 시험에 이용하였다. 작물 정식 전 두둑(18 cm)을 조성하고 점적호스 설치 후 흑색 비닐로 멀칭을 하였다. 처리구 면적은 6 m (폭) × 3 m (길이)였으며 난괴법으로 3반복 배치를 하였다. 배추는 파종 후 약 30일이 지난 묘를 본엽이 4~5매 전개되었을 때 재식거리 40 cm × 70 cm로 정식 후 친환경자재를 주 1회 사용하여 나비목 해충을 중점적으로 방제하였다. 생육조사는 처리구당 15주씩 수확하여 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준²⁴⁾에 따라 구고, 구폭, 엽수, 생체중 및 견체중을 측정하였다. 시험 전 토양은 유기물 함량과 유효인산 함량이 농촌진흥청에서 제시하는 노지재배 토양의 적정기준²³⁾보다 낮은 특성을 보였다(Table 1).

2.2. 발효비료 제조

처리구는 국내에서 발생한 유기자재를 혼합한 후 발효조건을 달리하여 제조한 비료(이하 발효비료) 2

종(OFA, OFB), 수입 유기자원인 아주까리유박을 주 원료로 하는 혼합유박(MOF)과 무처리(Control, NF)로 구성하였다. 발효비료는 무게비로 주정박 30%, 깻묵 30%, 미강 20%, 어분 20%와 30%의 물을 혼합하였으며, OFA는 폴리에틸렌 봉투에 밀봉 후 비가림 하우스에서 8월에 21일간 발효하였다. OFB는 40°C의 혼합사료기(DDK-800 SERIES, Korea)에 5일간 발효하였다. MOF는 무게비로 아주까리박 47%, 미강 20%, 대두박 23%와 채종유박 10%가 배합된 혼합유박 제품을 시중에서 구매하여 사용하였다. 처리구별 시비량은 농촌진흥청 작물별 비료사용처방에 따라²³⁾ 노지재배 배추 질소 표준시비량(320 kg N/ha)과 Eq. (1) 식을 이용하여 산정하였다. 처리구별로 투입한 비료의 성분함량은 Table 2와 같으며 질소함량은 4.4~4.9%로 나타났다.

$$\begin{aligned} & \text{유기질비료시비량 (kg/ha)} & \text{Eq.(1)} \\ & = \text{작물표준 N시비 (kg/ha)} \\ & \quad \times \frac{100}{\text{유기질비료질소함량 (\%)}} \\ & \quad \times \text{수분보정} \end{aligned}$$

2.3. 토양 및 식물체 분석

토양은 비료 처리 전과 수확 후 토양채취기(Soil

Table 1. Properties of Experimental Soil Used in this Study

Treatment	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)		
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg
Before	7.0	0.4	9.6	64	0.4	6.7	1.7
Optimum	6.0~6.5	≥2	25~35	350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	1.2~2.0

Table 2. Chemical Properties of Experimental Organic Fertilizer

Treatment	Moisture content	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			(%)		
OFA ^x	30.9a ^y	4.9a	6.2b	2.8a	1.9a
OFB	31.4a	4.4b	7.8a	1.2b	0.9c
MOF	18.7b	4.7ab	8.5a	2.9a	1.5b

^xOFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days); OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days); MOF: mixed organic fertilizer

^yDifferent letter in same column indicates significantly different at the 5% level by DMRT

auger)를 이용하여 채취하였으며 토양 및 식물체 분석법²⁵⁾에 준하여 실험하였다. 토양과 증류수를 1:5 비율로 혼합하여 30분간 진탕 후 pH meter (Orion Star A215, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion Star A212, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 pH와 EC를 측정하였다. 총탄소와 총질소 함량은 Dumas법을 사용한 원소분석기(Vario Max CN, Elementar, Germany)를 이용하였고 유효인산은 UV/VIS 분광광도계(Specord 200 Plus, Analytik Jena, Germany)로 Lancaster법에 준하여 720 nm에서 측정하였다. 치환성 양이온은 1 M ammonium acetate를 pH 7.0으로 조절하여 추출한 후 ICP (Integra XL Dual, GBC, Australia)로 분석하였다. Urease 활성도는 100 ml 삼각플라스크에 습토 4 g과 Urea 기질 2.5 ml을 넣은 후 37°C에서 2시간 배양 후 2 M KCl과 D.W를 넣고 30분간 교반 후 여과하였다. 여과한 침출액에 0.3 M NaOH과 Sodium salicylate 용액, Dichlorisocyanurate 용액을 혼합한 후 30분간 교반하여 690 nm에서 흡광도를 측정하였다.

수확 후 배추는 70°C 건조기에 48시간 건조 후 분쇄하였으며 질소이용효율을 조사하기 위한 총질소를 원소분석기를 이용하여 측정하였으며 처리별 배추의 질소이용효율은 Eq.(2) 식으로 산출하였다.

$$\text{질소이용효율(\%)} = \frac{\text{각 처리구 질소흡수량 (kg/ha)} - \text{무비구 질소흡수량 (kg/ha)}}{\text{질소총시비량 (kg/ha)}} \times 100 \quad \text{Eq.(2)}$$

2.4. 통계처리

통계분석은 SAS 7.1 (SAS Institute Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하였으며, one-way ANOVA분석을 수행한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 처리간 비교를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 처리별 배추 생육 및 수량조사

발효비료(OFA, OFB)와 혼합유박 처리에 따른 작물 특성을 비교하기 위해 생육 및 수량을 조사하였으며, 수확 후 배추의 생육상태는 Fig. 1과 같다. 수확 후 생육 특성(Table 3)은 구고, 구폭, 엽수가 발효비료(OFA, OFB) 처리구에서 혼합유박보다 증가하는 경향을 보였다. 특히, 구고와 구폭은 OFB에서 각각 35.5 cm, 46.6 cm로 가장 높았으며, 생체중과 엽수는 OFA가 3570.2 g/plant, 71.3개로 가장 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 배추 수량은 무처리 대비 모든 처리에서 4배 이상 증가하는 경향을 보였으나, 비료처리구 간의 유의한 수량 차이는 보이지 않았다. OFA, OFB와 MOF의 생육 및 수량이 유사하게 나타난 결과는 발효비료와 혼합유박을 처리한 작물의 생육 및 수량이 대등하였다는 선행연구 결과와 유사하였으며,^{22),26)} 이는 발효비료가 혼합

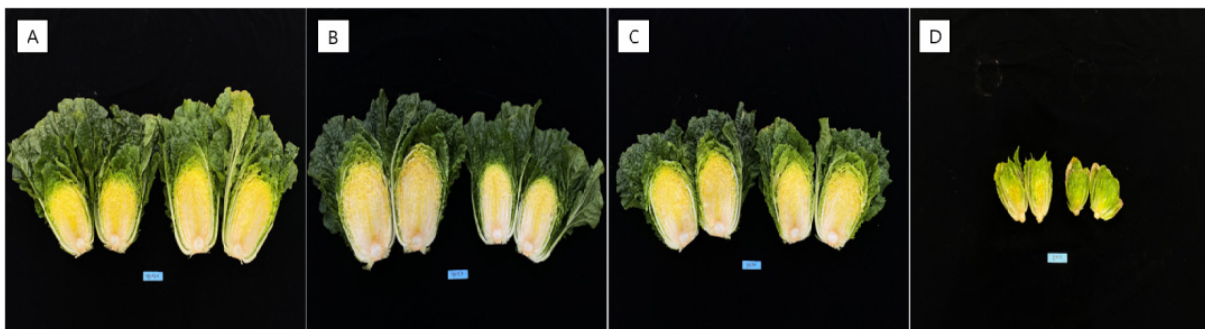


Fig. 1. Comparison of chinese cabbage growth according to fermented fertilizers and mixed organic fertilizer: (A) OFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days), (B) OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days), (C) MOF: mixed organic fertilizer, (D) NF: no fertilizer.

유박과 유사한 작물 생산 효과를 나타낼 수 있다고 판단된다. OFA와 OFB의 생육 및 수량이 대등한 것은 발효된 온도가 유사했기 때문이라고 판단된다. OFA가 제조된 시기는 8월로 고온기에 비가림 하우스에서 21일간 보관되었는데, Hong 등²⁷⁾과 Lee 등²⁸⁾에 따르면 고온기 온실 내부 온도는 평균 26°C를 유지하며 주간 최고 온도는 40°C를 상회한다고 하였다. 따라서 OFA는 최소 주간에는 OFB의 발효온도와 유사한 온도에서 발효되었기 때문에 OFB와 생육 및 수량 효과가 대등하게 나타난 것이라고 판단된다.

3.2. 처리별 배추 질소이용효율

발효비료와 혼합유박 처리에 따른 질소이용효율을 비교하기 위해 배추의 질소함량과 흡수량을 조사하였다(Table 4). 수확한 배추의 질소함량은 OFA와 OFB가 3.4%로 동일하였고, MOF가 3.2%로 발효비료구보다 낮은 경향을 보였으나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 배추의 질소흡수량은 발효비료가 MOF에

비해 높게 나타났으며, 그 중 OFB가 291.5 kg/ha로 가장 높게 나타났다. 또한, 발효비료 중 OFB(81.4%)가 배추의 질소이용효율이 가장 높았으며 MOF에 비해 약 16.1% 증가하였고 OFA 처리구(79.1%)도 MOF보다 13.8% 증가하는 경향을 보였다. 비료처리구의 배추 수량과 질소함량은 유의한 차이가 없었으나 OFB의 질소흡수량이 가장 높게 나타났는데 이는 비료처리구간의 배추 수량이 모두 큰 차이를 보이지 않았으나 OFB가 MOF보다 전체중이 5% 높게 나타났기 때문이다. 발효비료가 혼합유박보다 질소의 흡수량과 이용효율이 높은 결과는 유기자재를 발효함으로써 자재에 함유된 단백질이 단순 물질로 가수분해되면서²⁹⁾ 배추의 양분흡수를 증가시킨 것으로³⁰⁾ 판단된다. 또한, 제조방법을 달리한 발효비료 처리(OFA와 OFB)의 질소이용효율은 79.1%와 81.4%로 유사한 경향을 보여 처리 효과가 대등하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 발효비료를 처리한 배추의 질소이용효율이 20~30%로 나타났다는 선행연구 결과²²⁾와 비교하였을 때, 본 실험에서는 약 65~80%로 높은 경향

Table 3. Growth and Yield Characteristics of Chinese Cabbage Applied Organic Fertilizers

Treatment	Head height	Head width	Fresh weight	No. of leaves	Yield
	(cm)	(cm)	(g plant ⁻¹)		(Mg ha ⁻¹)
OFA ^x	35.3a ^y	44.9a	3570.2a	71.3a	97.2a
OFB	35.5a	45.6a	3375.1a	68.2a	92.3a
MOF	34.2a	43.6a	3374.1a	67.3a	89.9a
NF	18.1b	28.2b	665.4b	48.5b	18.1b

^xOFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days); OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days); MOF: mixed organic fertilizer; NF: no fertilizer

^yDifferent letter in same column indicates significantly different at the 5% level by DMRT

Table 4. Nitrogen Uptake Characteristics of Chinese Cabbage According to Type and Application Rate of Organic Fertilizer

Treatment	Dry weight	T-N	Amount of nitrogen uptake	Nitrogen use efficiency
	(g plant ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)
OFA ^x	294.5a ^y	3.4a	284.0a	79.1ab
OFB	307.7a	3.4a	291.5a	81.4a
MOF	293.5a	3.2a	240.1b	65.3b
NF	64.0b	1.7b	31.1c	

^xOFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days); OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days); MOF: mixed organic fertilizer; NF: no fertilizer

^yDifferent letter in same column indicates significantly different at the 5% level by DMRT

을 보였다. 이는 시험 전 토양이 적정 양분기준보다 낮은 비옥도를 가진 토양이었기 때문에 비료처리구의 효과가 실제보다 높게 평가된 것으로 사료된다. 이러한 결과를 통해 OFA, OFB가 MOF 보다 양분공급에 효과가 있으나 적정 양분기준의 토양에서 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3.3. Urease 활성도

OFA, OFB와 MOF를 처리한 토양의 Urease 활성을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. OFA와 OFB는 각각

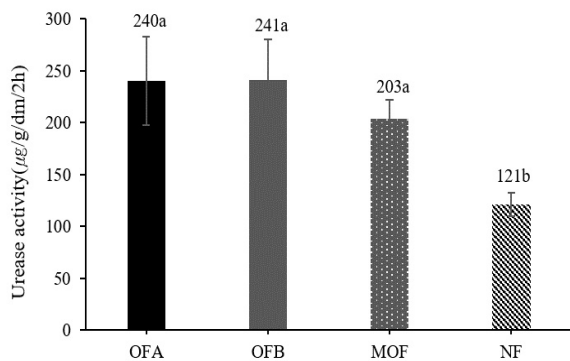


Fig. 2. Urease activity in soil after harvesting Chinese cabbage. OFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days); OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days); MOF: mixed organic fertilizer; NF: no fertilizer. Different letter indicates significantly different at the 5% level by DMRT.

241 µg/dm²/h, 240 µg/dm²/h로 MOF보다 약 18% 높은 경향을 보였으나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 비료처리구는 배추의 표준시비량인 320 kgN/ha로 질소 총 투입량이 동일하게 처리되었지만 발효 비료구의 질소이용효율이 혼합유박 처리구보다 높은 값을 보여 작물이 이용할 수 있는 질소가 혼합유박 처리구보다 발효비료구가 더 많다는 것을 알 수 있다. 이는 발효에 의해 증가한 미생물이 단백질을 저분자로 분해시키고²⁹⁾ 분해된 양분을 다시 미생물이 성장하는 요소로 사용함으로써 미생물의 증가로 질소의 수요를 증가시켜 Urease 활성이 높아진 것으로 판단된다.

3.4. 토양 화학적 특성

배추 수확 후 토양의 화학적 특성 분석 결과는 Table 5와 같다. EC는 OFA가 가장 증가하는 경향을 보였으며 발효비료가 혼합유박보다 높았다. C/N비가 낮은 유기질비료는 미생물에 의한 질소 무기화가 빠르고³²⁾, EC에 영향을 미치는 NO₃-N 등의 양분공급이 증가하기 때문에³³⁾ C/N비가 가장 낮은 OFA (6.2)의 EC가 크게 증가한 것으로 사료된다(Table 2). OM은 OFA와 OFB가 가장 낮은 경향을 보였는데 발효 과정에서 분해된 유기질이 토양에 공급되면서 MOF보다 빨리 소모된 것으로 판단된다. 유효인산은 MOF가 가장 높은 값을 보였으며 pH, 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량은 처리간 유의한 차이가 나타나지 않았다. OFA, OFB와 MOF의 토양 화학적 특성의 차이가 유사한 것으로 나타났다.

Table 5. Chemical Properties of Soil after Cultivation

Treatment	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)		
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg
OFA ^x	7.0ns ^y	0.46a	11b	77ab	0.23b	6.3ns	1.5a
OFB	7.1	0.29b	10b	88a	0.25b	6.6	1.6a
MOF	7.3	0.22c	14a	100a	0.25b	6.2	1.6a
NF	7.5	0.21c	9b	48b	0.32a	5.6	1.3b

^xOFA: fermented organic fertilizer A (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at plastic greenhouse for 21 days); OFB: fermented organic fertilizer B (30% distillers dried grains, 30% sesame oil meal, 20% rice bran and 20% fish meal were mixed and fermented at 40°C for 5 days); MOF: mixed organic fertilizer; NF: no fertilizer

^yDifferent letter in same column indicates significantly different at the 5% level by DMRT

4. 결론

수입산 아주까리박을 원료로 제조한 혼합유박과 국내 유기자원으로 제조한 발효비료 2종의 처리 효과를 비교하여 발효비료가 혼합유박의 대체재로 활용할 수 있는지를 확인하고자 수행하였다. 제조한 발효비료는 비가림 하우스에서 21일간 발효한 OFA와 40°C의 혼합사료기에 5일간 발효하여 발효기간을 단축시킨 OFB로 구분하였다. 발효비료와 혼합유박을 처리한 배추의 생육 및 생산성은 대등하였으며, 혼합유박 처리구 대비 발효비료 처리구의 질소 이용효율은 약 14~16% 증가하였다. Urease 활성도는 발효비료구가 혼합유박 처리구 대비 약 18% 증가하였다. 이러한 결과로 볼 때 제조한 발효비료 2종이 배추 재배를 위한 혼합유박의 대체재로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 특히 발효기간을 16일 단축시킨 OFB가 OFA와 대등한 경향을 보여 현장에서 활용성이 높을 것으로 판단된다. 그러나 시험 전 토양 양분이 비옥하지 않아 질소이용효율이 높게 평가되었기 때문에 추후 적정 양분 수준의 토양에서 보완시험이 필요할 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술연구(과제번호: PJ01599001)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. MinAlexander, M. J., Nam, K. B., Lim, S. H. and Son, E. S., "Exploration of Nutritional Components, Functional Components and Antioxidant Activities of Brewer's Spent Grain Powder, Red Ginseng By-Products and Rice Bran Powder", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 24(2), pp. 208~219. (2023).
2. Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S. and Teixeira, J. A., "Use of agro-industrial wastes in solid-state fermentation processes", *Industrial Waste*, pp. 121~141. (2012).
3. Eco-Cycle, Waste-of-energy: why incineration is bad for our economy, environment and community, pp. 1~20. (2011).
4. 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 Effects of Organic Fertilizer Utilizing Livestock Horn Meal as Domestic Organic Resource on the Growth and Crop Yields", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(2), pp. 19~30. (2019).
5. Chung, S. H., Park, H. W., Kwon, B. Y., Gu, G. Y., Bang, S. Y. and Park, K. S., "Study on the Activation Plan for Utilization of Agri-food by-products as Raw Materials for TMR", *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*, 34(4), pp. 296~306. (2014).
6. Kwon, M. S. and Lee, M. H., "Quality characteristics of sponge cake added with rice bran powder", *Culinary Science and Hospitality Research*, 21(3), pp. 168~180. (2015).
7. Cho, K. R., Won, T. J., Kang, C. S., Lim, J. W. and Park, K. Y., "Effects of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 42(3), pp. 152~159. (2009).
8. Mavis, B. B., Hwang, H. Y., Lee, S. M., Lee, C. R. and An, N. H., "Impacts of Different Organic Fertilizers on Soil Fertility and Soil Respiration for a Corn (*Zea mays* L.) Cropping System", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 30(4), pp. 151~163. (2022).
9. 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 oilcake", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(4), pp. 71~81. (2019).

10. Lim, D. G., "Current status and prospects of by-product fertilizers", *Soil and Fertilizer*, 2(2), pp. 28~66. (2000).
11. Kim, B. Y., "Causes and preventive measures for crop gas damage", *Soil and Fertilizer*, 1(1), pp. 54~79. (2000).
12. Chen, H., *Modern solid state fermentation*, Netherlands: Springer, pp. 2~3. (2013).
13. Boonop, K., Wanapat, M., Nontaso, N. and Wanapat, S., "Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation", *Scientia Agricola*, 66, pp. 629~633. (2009).
14. Chen, H. Z. and He, Q., "Value-added bioconversion of biomass by solid-state fermentation", *J Chem Technol Biotechnol*, 87(12), pp. 1619~1625. (2012).
15. Kim, G. H., Kim, G. Y., Kim, J. G., Sa, D. M., Seo, J. S., Son, B. K., Yang, J. U., Uhm, G. C., Lee, S. E., Jeong, G. Y., Jeong, D. Y., Jeong, Y. T., Jeong, J. B. and Hyun, H. N., *Soilology*, 2nd ed., Hyangmun, p. 261. (2009).
16. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N. and Foley, J. A., "Closing yield gaps through nutrient and water management", *Nature*, 490(7419), pp. 254~257. (2012).
17. Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P. and Shen, Y., "Managing nitrogen for sustainable development", *Nature*, 528(7580), pp. 51~59. (2015).
18. Liu, Y., Hu, B. and Chu, C., "Toward improving nitrogen use efficiency in rice: utilization, coordination, and availability", *Current Opinion in Plant Biology*, 71, p. 102327. (2023).
19. Santos, A. B., Fageria, N. K. and Prabhu, A. S., "Rice ratooning management practices for higher yields", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(5~6), pp. 881~918. (2003).
20. Shoji, S., Delgado, J., Mosier, A. and Miura, Y., "Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7~8), pp. 1051~1070. (2001).
21. Krajewska, B., "Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 59(1~3), pp. 9~21. (2009).
22. An, N. H., Lee, S. M., Oh, E. M., Lee, C. R. and Gong, M. J., "Application effects of fermented mixed organic fertilizer utilizing by-products on yield of Chinese cabbage and soil environment", *Journal of the Korea oRganic Resources Recycling Association*, 28(4), pp. 77~85. (2020).
23. NIAST, *Prescription of Fertilizer Use by Crop*, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea, pp. 174~176. (2022).
24. RDA, *Investigation and standard for agriculture experiment*, RDA, Suwon, Korea, pp. 533~537. (2012).
25. NAIST, *Method of soil and plant analysis*, RDA, Suwon, Korea. (2000).
26. An, N. H., Lee, S. M., Hwang, H. Y., Park, S. G. and Lee, C. R., "Effects of Fermented Mixed Organic Fertilizer Utilizing By-Products on Soil Properties and the Yield of Organic Lettuce", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 29(3), pp. 41~48. (2021).
27. Hong, Y. S., Park, S. H., Yun, S. W., Kwon, J. Y., Lee, S. Y., Lee, S. G., Moon, J. P., Jang, J. K., Bae, H. J. and Hwang, J. S., "Photosynthesis by leaf age and fruit characteristics by fruiting nodes in vertical and hydroponic cultivation of oriental melon applied with air duct for high-temperature season", *Journal of Bio-Environment Control*, 32(2), pp. 89~96. (2023).
28. Lee, J. H., Lee, J. S., Kwon, J. K., Yeo, K. H., Bang, J. W., Kim, J. H. and Myung, D. J., "Effects of shield materials on the growth and yield characteristics of melon grown inside a plastic greenhouse in summer season", *Journal of Bio-Environment Control*, 30(4), pp. 304~311. (2021).
29. Frias, J., Song, Y. S., Martínez-Villaluenga, C., De

- Mejia, E. G. and Vidal-Valverde, C., "Immunoreactivity and amino acid content of fermented soybean products", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(1), pp. 99~105. (2008).
30. Shekib, L. A., "Nutritional improvement of lentils, chick pea, rice and wheat by natural fermentation.", *Plant Foods for Human Nutrition*, 46, pp. 201~205. (1994).
31. Abdullah, N. and Hutagalung, R. I., "Rumen fermentation, urease activity and performance of cattle given palm kernel cake-based diet", *Animal Feed Science and Technology*, 20(1), pp. 79~86. (1988).
32. Cho, K. R., Won, T. J., Kang, C. S., Lim, J. W. and Park, K. Y., "Effect of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field", *Korean J. Soil. Sci. Fert.*, 42(3), pp. 152~159. (2009).
33. Kang, B. G., Kim, I. M., Kim, J. J., Hong, S. D. and Min, K. B., "Chemical characteristics of plastic film house soil in chungbuk area", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 30, pp. 265~271. (1997).