

Research Article



CrossMark

Open Access

Bacillus amyloliquefaciens HSOB-7와 *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 함유 유기질비료 처리 시 상추의 생육

김영선^{1*}, 이종진², 조성현^{3**}

¹대구대학교 과학생명융합대학 원예학과, ²(주)판코리아, ³효성오앤비(주)

Growth Response of Lettuce after Application of Mixed Organic Fertilizer Containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8

Young-Sun Kim^{1*}, Jong-Jin Lee² and Sung-Hyun Cho^{3**} (¹Department of Horticultural Science, College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ²PanKorea Co. Ltd., Daejeon 34154, Korea, ³Hyosung O&B Co. Ltd., Daejeon 34054, Korea)

Received: 20 November 2023/ Revised: 04 December 2023/ Accepted: 06 December 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Young-Sun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-5645-7021>

Jong-Jin Lee
<https://orcid.org/0009-0002-1002-9977>

Sung-Hyun Cho
<https://orcid.org/0009-0006-4228-3485>

Abstract

Bacillus spp. and *Saccharomyces* spp. are effective microorganisms that are applied as microbial fertilizers for crops in Korea. Mixed organic fertilizer (MOF) has been used in the Korean organic agriculture to supply nutrients to crops. This study was conducted to investigate the effects of MOF containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 (MOFBS) on the soil chemical properties and growth of lettuce (*Lactuca sativa*). Growth factors of lettuce were higher after applying different formulation types of MOFBS, such as powder and pellet, than those of NF, and not significantly different than those of control

(microbe-free MOF). Compared with the control, application of recommended amount of MOFBS (MOFBS 250 kg/10a, MOFBS treatment) and double the recommended amount (MOFBS 500 kg/10a, 2MOFBS treatment) did not significantly change the growth factors of lettuce. After the application of two formulation types or two different amounts of MOFBS, soil chemical properties such as electrical conductivity, organic matter (OM), exchangeable Ca, and cation exchangeable cation (CEC) increased. These results indicated that although the application of MOFBS improved soil fertility including OM and CEC, it did not significantly affect lettuce growth.

Key words: Cation exchangeable capacity, Growth factor, Lettuce, Mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 (MOFBS), Organic matter, Soil chemical property

*Corresponding author: Young-Sun Kim
Phone: +82-53-850-6715; Fax: +82-53-850-6719;
E-mail: im0sunkim@daegu.ac.kr

**Co-Corresponding author: Sung-Hyun Cho
Phone: +82-42-867-8838; Fax: +82-42-624-4068;
E-mail: esphyun@naver.com

서 언

친환경농업에서 유기질비료는 부숙유기질비료와 더불어 작물 생육 및 생산량 증대를 위해 사용하는 중요한 비료이다[1]. 현재 비료공정규격에서 유기질비료는 부산물비료에 해당하며 18종의 품목이 있으나 시중에서 농협에 등록된 계통비료의 대부분은 혼합유박, 혼합유기질 및 유기복합이 대부분을 차지하고 있다[2]. 유기질비료는 토양 미생물의 작용으로 토양 중에서 무기태질소로 변화되어 작물에 이용됨으로써[3] 지상부와 지하부의 생육을 촉진하고, 양분흡수 및 생산량을 증대시키며[4], 토양 내 유기물을 공급하여 토양비옥도를 개선시킨다[3].

토양 내 미생물은 토양 내 공급된 유기물을 분해하여 토양의 이화학적 특성을 개선하고, 작물에 필요한 양분을 공급하여 작물의 생산성을 향상시킨다[3,4]. 토양 내 존재하는 다양한 미생물은 유기물을 분해하거나 식물호르몬을 생산하는 능력을 갖고 있어 이들 중에서 우수한 특성을 갖는 미생물을 선발하여 작물재배 시 이용하고 있다[5,6]. 국내에서는 이러한 유용 미생물을 이용하여 작물재배에 이용할 수 있으며, 비료공정규격에서는 토양미생물제제로 분류하고 있다. 해외에서는 완효성비료에서 미생물이 함유되어 있는 비료도 있으나[7] 국내의 비료공정규격에서는 토양미생물제제로만 등록하도록 허용하고 있다. 토양미생물제제의 제형화는 액제, 수용제, 수화제, 캡슐제 등 비료를 이용하는 방법에 따라 다양한 형태가 있다[8,9].

*Bacillus amyloliquefaciens*가 단백질이나 전분 등 유기물을 분해하는 능력을 갖고 있으며[9], 항진균물질을 생산하여 생물적 방제제 및 길항성 미생물제제로 이용하기도 한다[10]. Kim et al.[9]은 토양에서 선발된 *B. amyloliquefaciens*를 단독으로 상추(*Lactuca sativa*)에 처리하였을 때에는 생육증대효과가 미미하나 유기질비료와 함께 처리하는 경우 생산량이 증가한다고 보고하여 유기질비료와 혼용 시 상승효과에 대해 보고한 바 있다. 또한 *Saccharomyces cerevisiae*는 주로 식품의 알코올 발효에 이용되고 있으나[11] 식물호르몬인 인돌-3-아세트산(indole-3-acetic acid, IAA)을 생성하기도 하며[12], IAA 생산능이 있는 미생물을 작물에 처리 시 생육을 개선하기도 한다[12]. *B. amyloliquefaciens*와 *S. cerevisiae*는 각각 우수한 특성을 갖고 있어 혼합 시 서로의 부족한 점을 보완할 수 있다는 장점은 있으나 배양조건이 다르기 때문에 토양미생물제제로 활용하기 위해서는 미생물 배지 조건이 다른 액상 제형보다는 미생물의 특성을 유지시키는 고상 제형 방법이

필요하다[13]. 유기질비료 원료는 미생물 생육에 필요한 다양한 유기물원을 보유하고 있어 미생물을 제형화에 이용할 수 있고[13], 유기질비료를 미생물비료로 제형화할 경우 작물재배 시 필요한 양분을 공급할 수 있다[1]. 하지만 비료공정규격에서 유기질비료에 미생물을 혼합할 수 있는 품목은 없으므로 유기질비료와 유용미생물을 함께 제형화를 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 우수미생물로 선발된 *B. amyloliquefaciens* HSOB-7과 *S. cerevisiae* HSOB-8을 함유하는 유기질비료(mixed organic fertilizer containing *B. amyloliquefaciens* HSOB-7 and *S. cerevisiae* HSOB-8, MOFBS)를 상추에 시비한 후 MOFBS의 제형 및 처리량에 따라 상추의 생육 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구는 2016년 8월부터 2017년 8월까지 12개월간 포트 시험과 포장시험을 수행하였고, 포트시험은 대전광역시 소재의 A사의 시험용 온실에서, 포장시험은 충남 부여군 소재의 농가에서 수행하였다. 공시작물은 상추[*L. sativa*; 포트시험(열풍상추, Kwonnong, Cheongju, Korea), 포장시험(청로메인, Worldseed, Gwangju, Korea)]를 이용하였다. 공시비료는 혼합유기질비료(mixed organic fertilizer, MOF; Hyosung O&B Co. Ltd., Asan, Korea)와 미생물함유 유기질비료(MOF containing *B. amyloliquefaciens* HSOB-7 and *S. cerevisiae* HSOB-8; MOFBS)를 사용하였다. 미생물함유 유기질비료는 H사에서 수집된 토양과 발효주정 시료로부터 각각 *B. amyloliquefaciens* HSOB-7와 *S. cerevisiae* HSOB-8을 분리하였고, 분리된 미생물을 최적배양조건에서 각각 배양한 후 MOF분말과 혼합하여 제형화하였다. 유기질비료가 상추가 분말과 입상으로 판매되는 것을 고려하여 MOF 분말과 미생물을 혼합한 분말제형과 이를 8 mm 입상으로 제형화한 입상제형으로 사용하였다. 공시비료의 성분 및 특성은 Table 1과 같다. 공시토양은 사질양토로서 포트시험과 포장시험에 사용된 토양의 이화학적 특성은 Table 2와 같다. 재배관리에 사용한 관개용수는 수돗물을 이용하였다.

MOFBS 제형별 상추 생장 시험

MOFBS 제형별 시험은 2016년 8월부터 11월까지 4개월

Table 1. The properties of fertilizers used in this experiment (%)

Fertilizer	WC	OM	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NaCl ²
MOF	13.2	67.6	4.4	2.0	1.1	0.10
MOFBS	13.5	74.1	4.6	3.1	1.8	0.18

²NaCl content of fertilizer was based on dry weight.

WC: water content; OM: organic matter; MOF: mixed organic fertilizer without poultry manure; MOFBS: mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 (3.1×10^6 cfu/g) and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 (3.4×10^6 cfu/g). The formulation types of MOFBS were a powder type and pellet type.

Table 2. The chemical properties of soil used in this experiment

Experiment ¹⁾	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	OM	Av-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation			CEC
						K	Ca	Mg	
Pot 1	7.42	0.39	0.18	1.77	304	0.47	6.74	1.69	10.9
Pot 2	6.62	0.48	0.30	0.42	95	0.99	4.48	2.13	9.36
Field	7.49	0.39	0.18	1.77	425	0.74	5.94	2.06	9.8

¹⁾Pot 1 and 2 in the pot experiments showed a formulation test of MOFBS and fertilizing amount test, respectively. EC: electrical conductivity; T-N: total nitrogen; OM: organic matter; Av-P₂O₅: available phosphate; CEC: cation exchangeable capacity.

간 A사의 시험용 온실에서 수행되었다. 처리구는 유기질비료의 종류 및 제형에 따라 무처리구(NF, no fertilizer), 대조구(Control, MOF 250 kg/10a), 분말처리구(Powder, powder type of MOFBS 250 kg/10a), 입상처리구(Pellet, pellet type of MOFBS 250 kg/10a)로 설정하였다. 상추의 재배는 1/5,000a 와그너포트를 사용하였고, 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였다. 유기질비료의 시비는 농촌진흥청 비료의 품질 검사방법 및 시료채취기준의 유기질비료 기준처리량으로 설정하여 처리량을 결정하였다.

시험을 위해 원예용 상토(한아름상토, Sinsung Mineral Co., Ltd., Goesan, Korea)를 육묘용 트레이(72구)에 포설한 후 2016년 9월 6일에 상추종자를 파종하여 약 38일 동안 유묘를 관리하였고, 완전히 활착된 유묘 중 가시적으로 유사한 생육을 나타내는 유묘를 선별하여 2016년 10월 14일에 정식하였다. 정식 15일 전인 2016년 9월 23일에 유기질비료를 처리량에 준하여 전층시비하였다. 재배 후 상추의 생육 조사는 작물 생육 상태를 달관조사하여 정식 후 28일이 경과한 11월 11일에 실시하였고, 수확 후 토양 화학성 변화를 위해 토양 시료를 채취하였다.

MOFBS 처리량별 상추 성장 포트시험

MOFBS 처리량별 시험은 2017년 7월부터 8월까지 2개월 간 A사의 시험용 온실에서 수행하였다. MOFBS의 제형은 입상제형을 이용하였고, 처리구는 유기질비료의 처리량에 따라 무처리구, 대조구(Control, MOF 250 kg/10a), MOFBS 정량처리구(MOFBS, pellet type of MOFBS 250 kg/10a), MOFBS 배량처리구(2MOFBS, pellet type of MOFBS 500 kg/10a)로 설정하였다. 재배는 1/5,000a 와그너포트를 사용하였고, 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였으며, 공시비료 시비량은 농촌진흥청 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준의 유기질비료 기준처리량으로 설정하여 처리하였다.

시험을 위해 원예용 상토(한아름상토, Sinsung Mineral Co., Ltd., Goesan, Korea)를 육묘용 트레이(72구)에 포설한 후 2017년 7월 10일에 상추종자를 파종하여 약 18일 동안 유묘를 관리하였고, 완전히 활착된 유묘 중 가시적으로 유사한 생육을 나타내는 유묘를 선별하여 7월 28일에 정식하였다. 정식 15일 전인 2017년 7월 13일에 유기질비료를 각 처리구별

처리량에 준하여 전층시비하였다. 재배 후 상추의 생육 조사는 작물 생육 상태를 달관조사하여 정식 후 28일이 경과한 8월 25일에 실시하였고, 수확 후 토양 화학성 변화를 위해 토양 시료를 채취하였다.

MOFBS 처리량별 상추 성장 포장시험

MOFBS 제형별 시험은 2016년 9월부터 11월까지 3개월 간 충청남도 부여군 소재의 농가에서 노지재배를 실시하였다. MOFBS의 제형은 입상제형을 이용하였고, 처리구는 유기질비료의 처리량에 따라 무처리구, 대조구(Control, MOF 250 kg/10a), MOFBS 정량처리구(MOFBS, pellet type of MOFBS 250 kg/10a), MOFBS 배량처리구(2MOFBS, pellet type of MOFBS 500 kg/10a)로 설정하였다. 재배면적은 20 m² (5 m × 4 m)였고, 총 시험면적은 240 m²였으며, 처리구는 난괴법(3반복)으로 배치하였다. 공시비료 시비량은 농촌진흥청 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준의 유기질비료 기준처리량으로 설정하여 처리하였다.

시험을 위해 원예용 상토(한아름상토, Sinsung Mineral Co., Ltd., Goesan, Korea)를 육묘용 트레이(72구)에 포설한 후 2017년 7월 10일에 상추종자를 파종하여 약 18일 동안 유묘를 관리하였고, 완전히 활착된 유묘 중 가시적으로 유사한 생육을 나타내는 유묘를 선별하여 7월 28일에 정식하였다. 정식 15일 전인 2017년 7월 13일에 유기질비료를 각 처리구별 처리량에 준하여 전층시비하였다. 재배 후 상추의 생육 조사는 작물 생육 상태를 달관조사하여 정식 후 28일이 경과한 8월 25일에 실시하였고, 수확 후 토양 화학성 변화를 위해 토양 시료를 채취하였다.

토양 분석 및 작물 생육 조사

처리구별 토양 분석은 시험 전과 종료 후 채취된 시료를 이용하여 수행되었고, 시료는 음지에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과된 시료를 이용하였다. 토양 분석 항목은 토양산도(pH), 전기전도도(EC, electrical conductivity), 유기물(OM, organic matter), 전질소(T-N, total nitrogen), 유효인산(Av-P₂O₅, available phosphate), 치환성 칼륨(K, exchangeable potassium), 치환성 칼슘(Ca, exchangeable calcium), 치환성 마그네슘(Mg, exchangeable magnesium), 양이온치환용량

(CEC, cation exchangeable capacity) 등이었고, 토양화학분석법에 준하여 분석하였다. pH와 EC는 1:5법으로 pH meter (3 star plus, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)와 EC meter (3 star plus, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 이용하여 분석하였고, OM은 Tyurin법으로, T-N은 질소분석기(Dvmatherm N pro, Gerhardt Analytical System, Königswinter, Germany)를 이용하여 분석하였다. Av-P₂O₅는 Bray No.1법으로 추출하여 바나드몰리브덴산법으로 발색한 후 UV-Spectrophotometer (Genesys UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온과 CEC는 1N-NH₄OAc 침출법으로 각각 분석하였고, 치환성 양이온은 침출 후 정용한 후 유도결합플라즈마(inductively coupled plasma, ICP; Optima 7300 DV, PerkinElmer, Massachusetts, USA)를 이용하여 원자발광분석법으로 분석하였다.

작물 생육 조사 내용은 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중 등을 조사하였다. 포트시험에서는 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중을, 포장시험에서는 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭 및 건물중을 조사하였다. 엽록소 함량은 엽록소측정기(SPAD 502 plus, Konica Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였고, 측정된 값(SPAD value)은 제조사에서 제시한 아래 식에 이용하여 엽록소 함량을 계산하였다. 엽수는 작물의 총 엽수를, 엽장과 엽폭은 최장 엽의 횡경과 종경 길이를, 생물중과 건물중은 개체별 총 무게를 조사하였다.

엽록소 함량(mg/100cm²) = SPAD value × 0.0996 - 0.152

통계분석

MOFBS의 처리량 및 작물 생육 조사 결과는 SPSS (ver 25.0, IBM, New York, USA)를 이용하여 던컨다중검정을 통해 처리구별 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

MOFBS 제형별 상추 성장 시험

MOFBS 처리 후 제형별 토양의 이화학적 특성을 조사하였다(Table 3). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구는 pH, EC, T-N 및 K의 함량은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, OM, Av-P₂O₅, Ca, Mg 및 CEC는 증가하였다. An et al.[1]은 유기질비료 처리 시 토양 내 Av-P₂O₅, Ca 및 Mg 등이 증가한다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 이는 유기물이 토양에 처리되는 경우 유기물이 증가하여 토양의 CEC를 증대되기 때문이다[14]. 대조구와 비교 시 MOFBS의 토양화학성은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 MOFBS의 처리에 의한 토양화학성의 변화를 확인할 수 없었다. 이는 유기질비료의 처리량이 동일했기 때문으로 판단된다[15].

MOFBS 처리 후 제형별 상추의 성장을 조사한 결과, 엽록소 함량, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중은 각각 3.70-4.13 mg/100cm², 12.7-16.0 ea/plant, 18.3-21.3 cm, 9.5-11.0 cm, 25.3-30.4 g/plant 및 1.86-2.40 g/plant의 범위를 나타냈다(Table 4). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구의 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭 및 건물중이 증대되었다. 대조구와 비교할 때 MOFBS 처리구의 상추 생장은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 미생물의 처리에 의해 상추의 성장에 영향을 미치지 않았다. 이는 작물의 생장이 질소와 같은 양분의 흡수에 의해 나타나며(Kim et al., 2016), 미생물은 처리된 유기물을 분해하여 이용하도록 돕는 작용을 하기 때문이다(Ham et al., 2014). 일부 미생물의 경우 처리 후 생육과정에서 대사물질 분비하여 작물의 생육을 개선하기도 하나[5] 미생물의 효과를 확인하기 위해서는 주기적인 처리가 필요하며 기비 처리 후 생육효과는 미미하였다[7,16]. MOFBS 처리구에서 분상과 입상 제형 처리 후 상추의 생장은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 MOFBS의 제형은 상추의 성장에 영향을 미치지 않았다. 이는 작물 재배 시 처리된 양분량이 동일했기 때문으로 판단되며[15], 이후 수행된 MOFBS 처리량별 포트 및 포장시험에서는 입상 제형의 MOFBS를 사용하였다.

Table 3. Changes of soil chemical properties in the lettuce applying two types of mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 in the pot experiment

Treatment ¹⁾	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	OM	Av-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation			CEC
						K	Ca	Mg	
						(cmol ⁺ /kg)			
NF	7.22a ²⁾	0.25a	0.13a	1.63b	256b	0.35a	6.21b	1.24b	8.63b
Control	7.47a	0.29a	0.15a	1.72ab	284a	0.38a	6.33a	1.40a	9.10a
Powder	7.13a	0.30a	0.16a	1.88a	290a	0.39a	6.39a	1.42a	9.25a
Pellet	7.12a	0.30a	0.16a	1.90a	286a	0.39a	6.40a	1.42a	9.28a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; Powder: powder type of MOFBS 250 kg/10a; Pellet: pellet type of MOFBS 250 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce. MOFBS means mixed organic fertilizer containing *B. amyloliquefaciens* HSOB-7 and *S. cerevisiae* HSOB-8.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

Table 4. The growth of lettuce applying two types of mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 in the pot experiment

Treatment ¹⁾	Chlorophyll content	No. of leaves	Leaf length	Leaf width	Fresh weight	Dry weight
	(mg/100cm ²)	(ea/plant)	(cm)	(cm)	(g/plant)	(g/plant)
NF	3.70b ²⁾	12.7b	18.3b	9.5b	25.3a	1.86b
Control	3.96ab	15.3a	19.9ab	10.4ab	27.9a	2.21ab
Powder	4.11a	16.0a	21.2a	10.8a	30.2a	2.36a
Pellet	4.13a	16.0a	21.3a	11.0a	30.4a	2.40a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; Powder: powder type of MOFBS 250 kg/10a; Pellet: pellet type of MOFBS 250 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce. MOFBS means mixed organic fertilizer containing *B. amyloliquefaciens* HSOB-7 and *S. cerevisiae* HSOB-8.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

Table 5. Changes of soil chemical properties in the lettuce after applying mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 in the pot experiment

Treatment ¹⁾	pH	EC	T-N	OM	Av-P ₂ O ₅	Exchangeable cation			CEC
						K	Ca	Mg	
	(1:5)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)	(cmol ⁺ /kg)				
NF	6.27b ²⁾	0.37b	0.22a	0.34b	57.6b	0.35b	4.09b	0.99a	8.02b
Control	6.72a	0.55ab	0.26a	0.45a	78.0ab	0.39ab	4.24ab	1.09a	8.37ab
MOFBS	6.42ab	0.67a	0.27a	0.43a	87.8ab	0.43ab	4.27ab	1.12a	8.51a
2MOFBS	6.54ab	0.76a	0.29a	0.52a	101.7a	0.49a	4.33a	1.20a	8.82a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; MOFBS: MOFBS 250 kg/10a; 2MOFBS: MOFBS 500 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

MOFBS 처리량별 상추 성장 포트시험

MOFBS의 처리량에 따른 포트에서의 상추의 성장 시험 후 토양의 화학적 특성을 조사하였다(Table 5). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구의 pH, T-N 및 Mg는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, EC, OM, Av-P₂O₅, K, Ca 및 CEC는 증대되었다. 대조구와 비교 시 시험 후 토양화학성은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. MOFBS 처리 후 토양 화학성의 변화는 대부분 제형별 시험과 유사한 결과를 나타냈다(Table 3, 5). 이는 시험 전 토양 중 치환성 양이온의 함량 차이에 의한 것으로 생각된다(Table 1).

MOFBS의 처리량에 따른 포트에서의 상추의 성장 조사 결과, 엽록소 함량, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중은 각각 2.65-2.95 mg/100cm², 15.3-18.3 ea/plant, 15.6-19.1 cm, 9.6-12.1 cm, 28.7-36.3 kg/m², 2.22-2.82 kg/m²을 나타냈다(Table 6). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구의 엽록소 함량, 엽수 및 생물중은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 엽장과 엽폭은 증대되었으며, 건물중은 2MOFBS 처리구에서 증대되었다. 제형별 시험과 달리 NF와 MOFBS 처리구간 생물중 및 건물중에서 차이가 나타나지 않은 것은 시험 전 토양의 전질소 함량이 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다(Table 2). 대조구와 비교할 때, MOFBS 처리구의 상추 생장은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 Table 2에 제

시된 바와 같이 MOF와 MOFBS의 성분량이 유사했기 때문으로 추정된다[15]. MOFBS의 처리구별 비교에서 MOFBS와 2MOFBS 처리구는 모든 조사항목에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 처리량은 250 kg/10a를 처리하여도 적절한 것으로 판단되었다.

MOFBS 처리량별 상추 성장 포장시험

MOFBS 처리량별 상추의 포장 재배 시험 후 토양의 특성을 조사하였다(Table 7). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구들(MOFBS, 2MOFBS)의 토양 내 T-N은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, EC, OM, Ca, Mg 및 CEC는 증대되었다. 토양 조사 항목 중 OM, Av-P₂O₅ 및 K는 MOFBS 처리구에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 2MOFBS 처리구에서 NF보다 증대되었다. 대조구와 비교할 때, pH, EC, T-N, OM, Av-P₂O₅, K, Ca 및 Mg는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, CEC는 약간 증가하였다. MOFBS 처리량별 포트시험과 포장시험에서 시험종료 후 토양화학성의 변화는 EC, OM, Ca 및 CEC는 NF보다 증가하여 유사한 특성을 나타냈으나 pH와 Mg는 차이를 나타냈다(Table 5, 6). 이는 시험 토양과 재배환경 등의 차이에 의한 것으로 판단된다. MOFBS와 2MOFBS의 토양화학성 차이는 pH는 2MOFBS에서 낮았으나 다른 항목에서는 통계적으로 유의

Table 6. The growth of lettuce after applying mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 in the pot experiment

Treatment ¹⁾	Chlorophyll content	No. of leaves	Leaf length	Leaf width	Fresh weight	Dry weight
	(mg/100cm ²)	(ea/plant)	(cm)	(cm)	(kg/m ²)	(kg/m ²)
NF	2.65a ²⁾	15.3a	15.6b	9.6b	28.7a	2.22b
Control	2.75a	17.0a	17.4ab	10.8ab	32.5a	2.51ab
MOFBS	2.84a	17.7a	18.2a	11.4a	34.1a	2.66ab
2MOFBS	2.95a	18.3a	19.1a	12.1a	36.3a	2.82a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; MOFBS: MOFBS 250 kg/10a; 2MOFBS: MOFBS 500 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

Table 7. Changes of soil chemical properties in the lettuce applying mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 and *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 in the field experiment

Treatment ¹⁾	pH	EC	T-N	OM	Av-P ₂ O ₅	Exchangeable cation			CEC
						K	Ca	Mg	
	(1:5)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)	(cmol ⁺ /kg)				
NF	7.26a ²⁾	0.25b	0.14a	1.52b	362b	0.54b	5.14b	1.54b	8.26c
Control	7.54a	0.28ab	0.15a	1.67ab	396ab	0.57ab	5.41a	1.73a	8.74b
MOFBS	7.08a	0.34a	0.16a	1.75ab	414ab	0.61ab	5.56a	1.67a	9.38a
2MOFBS	6.76b	0.40a	0.18a	1.86a	461a	0.65a	5.65a	1.77a	9.92a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; MOFBS: MOFBS 250 kg/10a; 2MOFBS: MOFBS 500 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

적인 차이를 나타내지 않았다. 포트시험에서는 MOFBS 처리 구간 차이가 없었으나 포장시험에서는 차이를 나타내어 재배 환경에 의한 차이로 생각되었다. Kim et al.[9]의 결과에서 *B. amyloliquefaciens*를 처리한 상추 재배지의 pH는 낮아지는 경향을 나타내어 본 연구와 유사한 변화를 나타냈다. 이러한 결과는 *B. subtilis* 함유 비료를 크리핑 벤투그래스에 처리한 결과에서도 유사한 경향을 나타냈다[7].

MOFBS 처리량별 상추의 포장 재배 시험 후 상추의 성장 특성을 조사한 결과, 엽록소 함량, 엽수, 엽장, 엽폭 및 건물중은 각각 3.60-4.05 mg/100cm², 21.9-34.4 ea/plant, 17.4-24.0 cm, 11.2-17.3 cm, 9.76-39.91 kg/m²을 나타냈다 (Table

8). NF와 비교할 때, MOFBS 처리구의 엽록소 함량, 엽수, 엽장, 엽폭 및 건물중은 증가했고, 대조구와 비교할 때 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. MOFBS 처리구별 상추의 성장 비교에서 MOFBS와 2MOFBS 처리구의 상추의 엽수, 엽장, 엽폭 및 건물중의 차이는 나타나지 않았다. 이는 미생물의 처리효과를 나타내기 위해서는 지속적으로 미생물을 관주처리와 같은 추비를 통해 지속적으로 공급할 때 작물의 생장이 증가하기 때문이다[9].

MOFBS의 시비는 작물에 유기질비료와 유용미생물을 공급할 수 있다는 장점이 있고, 작물재배 시험결과 유기질비료의 효과는 확인할 수 있으나 유용미생물의 혼용에 의한 상승효과

Table 8. The growth of lettuce applying mixed organic fertilizer mixed organic fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7 in the field experiment

Treatment ¹⁾	Chlorophyll content	No. of leaves	Leaf length	Leaf width	Dry weight
	(mg/100cm ²)	(ea/plant)	(cm)	(cm)	(kg/m ²)
NF	3.60b ²⁾	21.9b	17.4b	11.2b	9.76b
Control	3.88ab	31.8a	22.0a	16.4a	33.53a
MOFBS	3.94a	34.0a	23.6a	17.2a	39.13a
2MOFBS	4.05a	34.4a	24.0a	17.3a	39.91a

¹⁾Treatments were as follows. NF: non-fertilizer; Control: MOF 250 kg/10a; MOFBS: MOFBS 250 kg/10a; 2MOFBS: MOFBS 500 kg/10a. These fertilizers were applied before 15 days planting lettuce.

²⁾Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

는 확인하지 못했다. Kim et al.[7]은 미생물이 함유된 완효성 비료의 처리 시 한지형 잔디의 생육이 개선된다고 보고한 바 있으나 잔디는 기비보다는 재배 특성 상 추비를 통해 관리되었기 때문에 재배기간 동안 4-5회 정도 주기적으로 비료가 공급되었다. 하지만 본 연구에서는 작물 정식 전 1회만 공급되어 미생물의 정착 후 생육효과를 나타내 수 없었기 때문에 판단된다. Kim et al.[18]은 *B. amyloliquefaciens*가 토양에 살포되어 근권에 정착하여 식물의 생육을 개선하기 위해서는 7일 간격으로 관주처리하는 것이 필요하다고 보고한 바 있어 이를 뒷받침한다. 다만, 미생물의 처리는 양분의 유효도를 개선하거나 작물의 양분이용을 개선하는 것으로 알려져 있으므로 추후 MOFBS의 처리에 의한 상추의 양분흡수 및 이용율에 대한 보완연구가 필요하였다. 본 연구는 재배 전과 후 토양 중 미생물상이나 미생물의 정량분석 등을 수행하지 않아 공시 미생물의 처리 후 토양 내 정착이나 활착에 대한 내용은 확인하지 못했다. 따라서 MOFBS 처리 후 토양 내 미생물상의 변화나 공시 미생물의 정착에 대한 보완연구가 필요하였다. 또한, 본 연구는 단일 작기에 관한 결과이므로 연작에 따른 토양화학성 및 미생물상에 대한 연구와 고찰이 필요하였다.

결론

본 연구는 우수미생물로 선발된 *Bacillus amyloliquefaciens* HSOB-7과 *Saccharomyces cerevisiae* HSOB-8 등을 함유하는 유기질비료(MOFBS, mixed organic fertilizer containing *B. amyloliquefaciens* HSOB-7 and *S. cerevisiae* HSOB-8)를 상추에 시비한 후 MOFBS의 제형 및 처리량에 따른 상추의 생육변화를 조사하였다. MOFBS 제형별로 비교할 때, NF보다 상추의 생육이 증가하였고, 대조구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구와 비교할 때, MOFBS 처리량별 포트시험과 포장시험에서 상추의 생장은 모든 생육 조사 항목에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. MOFBS 제형 및 처리량별 시험에서 MOFBS 처리 후 토양 중 EC, OM, Ca 및 CEC는 증대되었다. 상기 결과를 종합할 때, MOFBS 처리는 토양 중에서 EC, OM 및 CEC가 증대되어 토양의 비옥도가 개선되었으나 *B. amyloliquefaciens* HSOB-7과 *S. cerevisiae* HSOB-8 처리에 의한 상추의 생육효과는 미미하였다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

- An NH, Lee SM, Lee CR, Oh EM, Gong MJ (2020) Change in fertilizer characteristics during fermenting process of organic fertilizer and effect on lettuce growth. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 28(3), 27-36. <https://doi.org/10.17137/korrae.2020.28.3.27>.
- Kim MS, Kim SC, Yun SG, Park SJ, Lee CH (2018) Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 26(1), 21-28. <https://doi.org/10.17137/korrae.2018.26.1.21>.
- Mavis BB, Hwang HY, Lee SM, Lee CR, An NH (2014) Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: Effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(1), 137-159. <https://doi.org/10.1007%2Fs11157-014-9347-1>.
- Jang JE, Lim GJ, Lee JG, Yoon SH, Hong SE, Shin KH, Kang CS, Hong SS (2019) 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), 19-30. <https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.2.19>.
- Kim KY, Park HB, Adhikari M, Kim HS, Byeon EJ, Lee IK, Lee YS. (2022) Selection and characterization of antagonistic microorganisms for biological control of *Acidovorax citrulli* causing fruit rot in watermelon. *Research in Plant Disease*, 28(2), 69-81. <https://doi.org/10.5423/RPD.2022.28.2.69>.
- Kim DS, Shin HY, Han SI (2022) Isolation of indole-3-acetic acid (IAA) producing *Arthrobacter* sp. and plant growth promotion effect. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, 39(6), 831-838. <https://doi.org/10.12925/jkocs.2022.39.6.831>.
- Kim YS, Lee CE, Ham SK, Lee GJ (2016) Growth of creeping bentgrass by application of compound fertilizer containing microbes. *Weed and Turfgrass Science*, 5(1), 42-50. <https://doi.org/10.5660/WTS.2016.5.1.42>.
- Choi SY, Yoon MH, Whang KS (2006) Comparison of the gel formation ability and stability of encapsulated microbial inoculant using extractable alginate from sea tangle. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 49(3), 170-174.
- Kim YS, Cho SH, Lee HS, Lee GJ (2021) Growth effects of microbial fertilizer containing *Bacillus amyloliquefaciens* in lettuce. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 29(4), 15-24. <https://doi.org/10.17137/korrae.2021.29.4.15>.
- Lee SY, Weon HY, Kim WG, Kim JJ, Han JH (2015) Selection of *Bacillus amyloliquefaciens* M27 for biocontrol on lettuce Sclerotinia rot. *The Korean Journal of Mycology*, 43(3), 180-184.

- <https://doi.org/10.4489/KJM.2015.43.3.180>.
11. Jung HK, Park CD, Park HH, Lee GD, Lee IS, Hong JH (2006) Manufacturing and characteristics of Korean traditional liquor Hahyangju prepared by *Saccharomyces cerevisiae* HA3 isolated from traditional Nuruk. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 38(5), 659-667.
 12. Prusty R, Grisafi P, Fink GR (2004) The plant hormone indoleacetic acid induces invasive growth in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biological Science*, 101(12), 4153-4157.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0400659101>.
 13. Park JK, Seo SI, Han GH, Kim KM, Kim DH, Song JK, Kim PI (2018) Development of microbial formulation a biological properties using *Bacillus velezensis* GH1-13. *Korean Society for Biotechnology and Bio-engineering Journal*, 33(4), 237-246.
<https://doi.org/10.7841/ksbbj.2018.33.4.237>.
 14. Choi JW, Jo JR, Lee KS, Kim MK (1992) Effects of paper mill sludge in submerged soil. *CNU Journal of Agricultural Science*, 18(1), 74-79.
 15. An NH, Lee SM, Oh EM, Lee CR, Gong MJ (2020) 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), 77-85.
<https://doi.org/10.17137/korrae.2020.28.4.77>.
 16. Ham SK, Lim JY, Lee YM (2014) The effect of thatch decomposing by application with composted liquid manure and microorganism medium in golf course soil. *Weed and Turfgrass Science*, 3(4), 342-346.
<https://doi.org/10.5660/WTS.2014.3.4.342>.
 17. Lee JH, Jun KS (2006) Effects of compost amendment on petroleum hydrocarbon removal and ATP concentration in bioremediation of diesel contaminated soil. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 28(7), 721-730.
 18. Kim DY, Kim BY, Ahn JH, Weon HY, Kim SI, Kim WG, Song JK (2015) Quantitative analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* GR4-5 in soil. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 23(4), 847-858.
<http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2015.23.4.847>.