Vol.35, No.4, pp.348-355, 2023

Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences

RESEARCH ARTICLE

pISSN 2233-8322, eISSN 2508-870X
https://doi.org/10.22698/jales.20230028

유기질 비료와 식물 생장촉진 미생물의 혼합 비율별 상추의 생육에 미치는 영향

박기병[1], 이인규[2], 조세열[3]*

[1]강원대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부 식물의학전공 대학원생, [2]강원대학교 농업생명과학대학 스마트농업융합학과 대학원생, [3]강원대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부 식물의학전공 교수

Effect of Organic Fertilizers and Plant Growth-Promoting Microorganisms on Lettuce Growth

Ki Byung Park[1], In Kyu Lee[2], Saeyoull Cho[3]*

[1]Graduate Student, Department of plant medicine, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
[2]Graduate Student, Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
[3]Professor, Department of plant medicine, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

***Corresponding author:** Saeyoull Cho (E-mail: saeyoullcho@kangon.ac.kr)

Received: 15 September 2023
Revised: 6 October 2023
Accepted: 17 October 2023

A B S T R A C T

This study aimed to develop organic fertilizers that are more effective than existing ones via mixing plant growth-promoting microorganisms with them. The TB B1-B5 (*Bacillus licheniformis*) strain was isolated from the livestock composting process. Lettuce seed germination experiments and lettuce growth promotion tests were conducted with other plant growth-promoting microorganisms. The TB B1-B5 strain showed a superior germination promotion effect compared to other growth-promoting microorganisms and promoted lettuce growth in pot experiments. To mix organic fertilizers and the selected TB B1-B5 strains, experiments were conducted for each ratio of lettuce and organic fertilizers. Growth was excellent in the treatment with 1% organic fertilizers. In addition, the mixing ratio of 1% organic fertilizers and 5% TB B1-B5 strains promoted lettuce growth. Based on the results of this experiment, the optimal ratio of organic fertilizer and TB B1-B5 strains was confirmed; adding a mixture of 1% organic fertilizers and 5% TB B1-B5 strains was found to be more effective on plant growth than the input. The results of this study suggest the possibility of developing organic fertilizers that are superior to existing organic fertilizers and are believed to be an indicator for sustainable and eco-friendly agriculture practices in the future.

Keywords: Compost, Lettuce, Livestock, Microbial, Organic fertilizer

서 론

국내 무기질비료의 사용량은 2011년 대비, 2019년 기준 13.3%로 증가하고 있고, 1 ha당 무기질비료 사용량도 2011년 이후 연평균 1.8%로 증가하고 있다(Jeong et al., 2020). 농가에서 무기질비료를 사용하는 이유는 유기질비료

© Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 비하여 비료가 토양에 흡수되는 시간이 매우 빠르며, 질소(N), 인(P), 칼륨(K)이 주성분이기에 적은 사용량에 비하여 고효율적인 효과가 있다. 하지만 무기질비료의 지속적인 사용은 여러 부정적인 영향을 끼치고 있으며, 무기질비료가 토양 내 장기간 잔류할 경우, 토양과 지하수 오염, 토양내 미생물 다양성 감소로 이어질 수 있다(Zheng et al., 2019). 더불어 토양 내 염류집적으로 인한 심각한 농업 문제로 대두되고 있다(Cho et al., 1999). 이러한 무기질비료 사용량 감소시키려 국내에서는 '친환경농업육성법'으로 유기 농업 활성을 위한 다양한 정책을 시행하고 있으며(Lee et al., 2017), 그중 '화학 비료 사용량 감축 정책'으로 인해 유기질비료 사용량이 증가하고 있다(Kim et al., 2017). 또한 정부는 유기질비료를 2016년 526천톤, 2017년 539천톤, 2018년 509천톤씩 매년 꾸준하게 농가에 공급하고 있다(MAFRA, 2019). 유기농업은 가축분퇴비 등의 자원을 이용하여 공급을 원칙으로 하며(An et al., 2021), 현재 친환경 농가에서 사용하고 있는 유기질비료는 대다수 수입 유박으로, 유박의 수입량은 117만톤(17년)에 달하며, 농림축산식품부은 수입 유박의 원료 안전성 우려로 유박을 대체할 수 있는 비료 개발이 필요한 실정이다(Jang et al., 2019). 유기질 비료의 자원 중 가축분뇨는 다양한 유기물과 무기물을 포함하고 있으며, 퇴비로 공정하여 토양에 시비할 경우 토양을 비옥하게 하며, 작물의 생산량도 증대시킬 수 있다(Beaudet et al., 1990). 환경부의 가축분뇨 발생량에 따르면 21년 기준, 14만톤이 배출되었으며, 그중 약 71%가 퇴비화, 29%는 액비화로 처리되고 있다(ME, 2023). 친환경적이고 지속 가능한 농업을 추진하기 위해 매년 증가하는 가축분뇨의 유기질 비료 자원화를 촉진해야 되며, 꾸준한 연구가 필요한 실정이며(Yoon et al., 2017), 그 일환으로 유용 미생물을 이용하여 혼합하는 연구가 증가하고 있다. 식물생장촉진미생물의 근권세균(rhizobacteria)은 식물 생장호르몬 생성 및 인산 가용화, 질소 고정 등과 같은 작용으로 인하여 식물의 생장 및 작물의 생산성을 증가시킬 수 있다(Jeong et al., 2013). 따라서 본 연구에서는 가축분 퇴비와 식물생장촉진 미생물의 혼합 연구 및 효과 검정을 통하여 기존의 가축분 유기질비료보다 우수한 비료 개발 가능성을 확인하고, 친환경 농업 활성에 기여할 수 있는 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

식물 생장촉진 미생물 선발

식물 생장촉진 미생물은 강원도 원주에 위치한 (주)중부바이오텍 유기질비료 공정에서 시료를 채취하여 분리하였다. 수집한 시료는 실온에 1일동안 건조시킨 후 시료 1 g을 멸균수 9 ml이 들어있는 시험관에 넣고 15분간 정치과정 후 serial dilution 방법을 이용하여 10^{-1} – 10^{-5}까지 희석하였다. 그리고 tryptic soy agar(TSA) 고체배지에 30 μl씩 접종, 도말하여 28°C에서 3일간 배양하였으며, 자란 미생물의 colony 중 모양 및 색 등의 형태적 특성에 따라 순수 분리하였다. 분리한 미생물은 3획 평판법으로 이용하여 배양한 후 16S rRNA(Universal primer 27F; 5'-AGAGTTTGAT CTGGCTCAG-3', 1492R; 5'-TACGGYTACCTTGTTACGAC TT-3')을 이용하여 염기서열을 분석하고 genebank BLAST를 통하여 동정을 진행하였다. 원주의 (주)중부바이오텍 가축분 유기질비료 공정에서 분리된 미생물을 동정한 결과, *Bacillus* 속으로 확인되었다(Table 1). 최종 분리된 미생물은 20% Glycerol stock을 만들어 -80°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

Table 1. List of microorganisms isolated from livestock compost processing

Strain Name	Identified bacterial isolates	Similarity (%)	Isolated Location
TB B1-B5	*Bacillus licheniformis*	99	Wonju

종자 발아촉진 검정

선발된 미생물의 종자 발아촉진 효과 여부를 확인하기위해 상추(동오적치마, 동오시드)를 이용하였다. 각 처리구별 30립의 종자를 완전임의배치법으로 진행하였다. 선발된 미생물의 효과 비교를 위해 강원대학교 농업생명과학대학 식물미생물생명공학실험실에서 식물 생장촉진 미생물 3종을 분양받아 대조구로 사용하였다(Table 2). 먼저 종자를 1% sodium hypochlorite 10초 동안 담궈 종자 표면 소독 후 멸균수에 총 4번의 세척을 진행하였다. Petri dish(∅90 mm)에 여과지(Whatman No. 1)를 2장씩 깐 후 처리구별 동일하게 멸균수 7 ml를 주입 후, 실험군인 TB B1-B5 (*Bacillus licheniformis*)와 대조군인 분양받은 3종의 식물 생장촉진 미생물을 1×10^7 cfu/ml로 희석한 현탁액에 1시간 침지 후 다시 1시간을 건조하여 치상하였으며, 무처리구는 표면 살균만 진행하였고, 비교구 positive control은 친환경 작물생육용 유기농자재 이카디안 29(한국 휴바스)에 1시간 침지 후 치상하였다. 본 발아실험은 온도 25°C, 습도 60% 조건의 배양챔버에서 7일 동안 수행하였다. 최종 발아율은 다음의 계산식에 따라 산출하였다.

(1) 발아율(%) = 총 발아수/총 공시종자수 × 100

식물생장촉진 효과 검정

선발된 해당 균주인 TB B1-B5의 생장촉진효과를 확인하기위해 실험을 진행하였다. 실험 작물은 상추(동오적치마, 동오시드)의 육묘를 사용하였으며, 처리조건으로는 무처리구(증류수), positive contorl은 친환경 작물생육용 유기농자재 이카디안 29(한국 휴바스), negative control은 tryptic soy broth(TSB)배지를 관주하였다. TB B1-B5 처리구는 100 ml의 TSB 배지에 TB B1-B5(*B. licheniformis*)균주를 100 μl 접종하여 48시간 배양 후 균주 농도를 1×10^7 cfu/ml 로 맞추어 처리하였으며, 모든 처리구는 1, 7, 14일 간격으로 총 3번, 100 ml씩 관주하였다. 3주 후 결과를 측정하였으며, 생체중, 건조중, 엽수를 조사하였다.

가축분퇴비의 함량별 식물생장최적 비율 확립

계분 40%, 돈분 15%, 마분 10%, 톱밥 35%이 혼합되어있는 부숙 완료된 가축분퇴비(유기물 함량 39%, 질소 1.56%, 인산 1.47%, 칼리 1.70%)의 식물생장촉진 최적 비율을 확립하기 위해 실험을 진행하였다. 실험작물은 상추(동오적치마, 동오시드)육묘를 이용하였으며, 토양은 시판용 상토(바로커, 서울바이오)를 이용하여 pot(지름 19 cm × 높이 17 cm)에 3 L 기준으로 가축분퇴비의 1%, 5%, 10% 비율을 혼합하여 14일 동안 실험을 진행하였다(Table 3). 생체중, 건조중, 엽면적, 엽수를 조사하였으며, 엽면적은 Plant Canopy Analyzer(LI-3100C, NAS Korea, Korea)기기를 이용하여 측정하였다.

Table 2. List of plant-growth-promoting microorganism strains

Strain Name	Bacterial identification name
PA12	*Bacillus amyloliquefaciens*
MR19	*Bacillus subtilis*
B18	*Bacillus siamensis*

가축분퇴비와 식물생장촉진 미생물 혼합 연구

앞선, 가축분퇴비의 함량별 식물생장최적 비율 확립의 실험 결과를 통해 도출된 가축분퇴비 비율의 조건을 기본으로, 선발된 식물생장촉진 균주인 TB B1-B5(*B. licheniformis*)균주를 1, 5, 10% 비율별 혼합 실험을 진행하였다. 실험 작물은 앞선 실험과 동일한 상추(동오적치마, 동오시드)를 이용하였으며, 처리조건으로 무처리구는 상토(바로커, 서울바이오)에 상추를 이식하였고, positive control은 친환경 작물생육용 유기농자재 이카디안 29(한국 휴바스)를 처리, negative control은 가축분퇴비 1% 혼합, TB B1-B5 처리구는 균주의 농도 1×10^7 cfu/ml로 맞추어 1, 5, 10% 비율로 가축분퇴비의 1%와 혼합하였다(Table 4).

통계분석

모든 실험 결과는 3반복 값의 평균과 표준편차로 나타내었다. 무처리구와 처리구 사이의 통계분석은 IBM SPSS Statistic 24 software의 one-way ANOVA를 실시하고 사후 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 유의수준은 $P < 0.05$에서 확인하였다.

결과 및 고찰

종자 발아촉진 검정

종자 발아촉진 검정 결과, 무처리구의 발아율은 68%, 작물생육용 유기농자재를 사용한 비교구인 Positive control은 83%의 발아율을 기록하였다. TB B1-B5(*B. licheniformis*)균주를 처리한 종자 발아율은 95%로 전체의 처리구 중에서 가장 우세한 발아능력을 보였으며, 이는 식물생장촉진에 긍정적인 영향임을 시사한다(Fig. 1). *B. licheniformis*은 PGPR(Plant Growth-Promotiong Rhizobacteria)에 속하며 대표적인 식물생장촉진균으로 잘 알려져 있는데, 특히 옥신 계열 중 하나인 IAA(Indole-3-aceic acid)을 생성하고, 땅콩의 종자 발아 촉진 및 생장을 유도하는 효과가 있다고 알려져 있다(Prashanth and Mathivanan, 2010).

Table 3. Mixing ratio of livestock compost and soil

Treatment	Soil (ml/pot)	Livestock compost (ml/pot)
Control	3,000	
1%	2,970	30
5%	2,850	150
10%	2,700	300

Table 4. Mixing ratio of livestock compost and plant-growth-promoting microorganisms

Treatment	Soil (ml/pot)	Livestock compost (ml/pot)	TB B1-B5 (ml/pot)
Control	3,000		
Positive control	3,000		
Negative control	2,970	30	
TB B1-B5 1%	2,940	30	30
TB B1-B5 5%	2,820	30	150
TB B1-B5 10%	2,670	30	300

식물생장촉진 효과 검정

종자 발아검정에서 우수한 효과를 나타낸 TB B1-B5(*B. licheniformis*)균주를 접종하여 pot에서의 식물생장촉진효과를 검정하였다. 조사한 항목들 중 전체적으로 TB B1-B5의 처리구가 우수한 결과가 나왔는데, 무처리구에 비하여 TB B1-B5의 지상부 생체중은 약 1.26배 증가된 93.14 g 보여주었고, 엽수도 약 1.45배 증가된 13.2개로 우수한 생장촉진효과를 보여주었다(Table 5, Fig. 2). 이러한 결과는 향후 복합 유기질비료 제작시 식물 생장을 촉진시키는 미생물로 적합하다고 판단되는 결과이며, 실제로 *B. licheniformis*균은 PGPR근권 균주로서 식물의 생장을 촉진시키고(Lim and Kim, 2013), 식물 체내의 수분 효율을 증가시켜 작물의 Drought stress 조건에서 내성을 관여하는 효과가 있다고 알려져있다(Akhtar et al., 2020). 더불어 심각한 작물의 수확량 손실을 가져오는 탄저병인 *Colletotrichum spp.*에 대하여 항진균 활성을 가진다고 보고된 바가 있다(Nawaz et al., 2018).

가축분퇴비의 함량별 식물생장최적 비율 확립

가축분퇴비를 상토와 일정한 비율로 혼합하여 식물 생장의 최적 비율 확립을 위해 실험을 진행하였다. 상토와 1% 혼합한 처리구에서 조사한 전체 항목에서 우수한 결과값을 보였다(Table 6). 1%를 제외한 5%, 10% 처리구에서는 생육이 억제되는 현상이 보였는데, 이러한 결과는 상토와 혼합 비율이 1% 이상이 될 경우에는 가축분퇴비에 남아있는

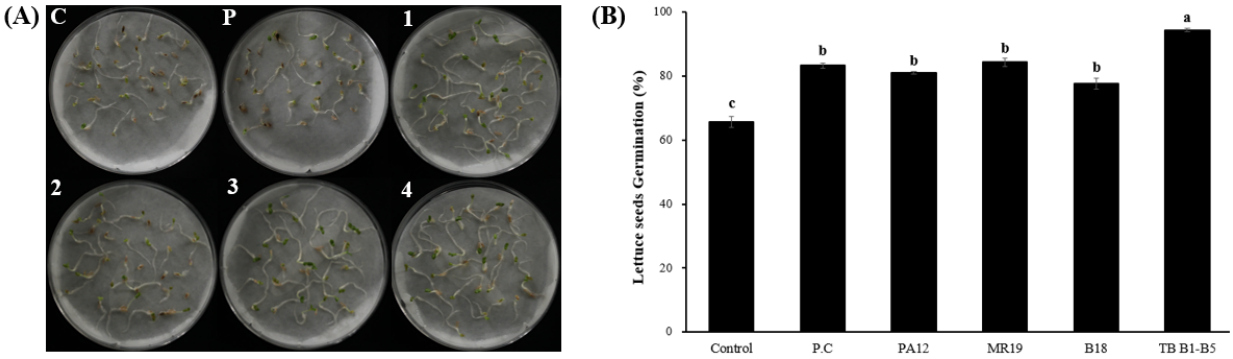

Fig. 1. Lettuce seed germination experiment using plant growth promoting microorganisms. (A): Lettuce seed germination at 25°C for seven days. C: control, P.C: positive control 1: PA12, 2: MR19, 3: B18, 4: TB B1-B5. (B) Germination rate of lettuce seeds after seven days. Each value is represented as mean ± standard deviation. Superscripts represented in alphabetical order indicates the difference between the group at P < 0.05 with one-way ANOVA and Duncan's multiple range test.

Table 5. Growth evaluation of fresh weight, dry weight, and number of leaves in lettuce using *Bacillus licheniformis* TB B1-B5 culture

Treatment	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Number of leaves
	Shoot	Root	Shoot	Root	
Control	73.36 ± 13.90^{c}	7.06 ± 1.71^{b}	4.61 ± 1.76^{b}	0.30 ± 0.06^{b}	9.10 ± 2.61^{bc}
Positive control	87.65 ± 12.10^{ab}	8.15 ± 1.27^{b}	6.97 ± 3.45^{b}	0.35 ± 0.05^{ab}	11.70 ± 3.34^{ab}
Negative control	77.15 ± 9.50^{bc}	6.91 ± 1.30^{b}	4.75 ± 1.39^{b}	0.24 ± 0.03^{c}	8.80 ± 2.96^{c}
TB B1-B5	93.14 ± 15.60^{a}	9.91 ± 2.28^{a}	9.72 ± 1.74^{a}	0.38 ± 0.02^{a}	13.20 ± 3.12^{a}

Values are presented as mean ± standard deviation. ^{a}Alphabetical order means difference between the group in the same column at P < 0.05 with one-way ANOVA and Duncan's multiple range test.

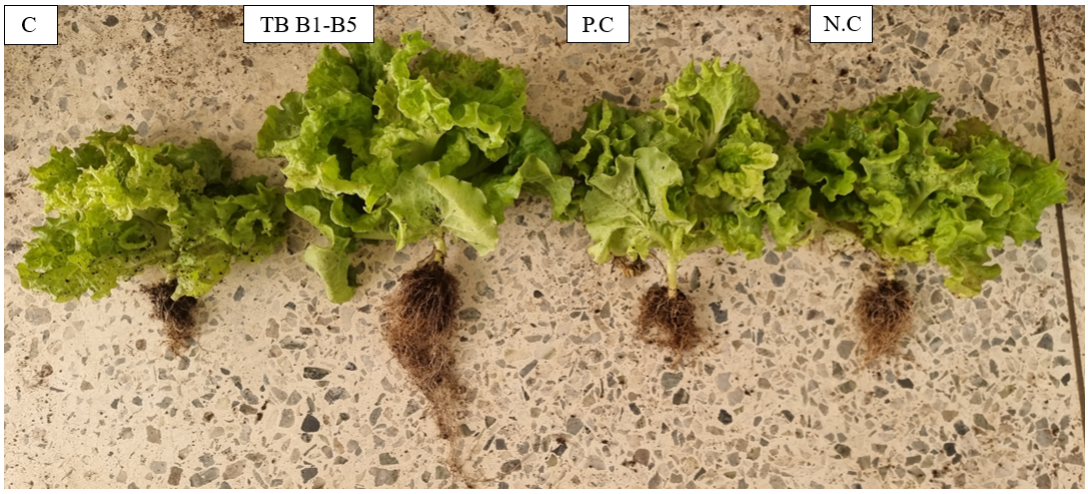

Fig. 2. Lettuce growth promotion experiment results using TB B1-B5 strains. C: control, TB B1-B5 (*B. licheniformis*), P.C: positive control, N.C: negative control.

Table 6. Growth investigation results of lettuce by livestock compost ratio

Treatment	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Leaf area (cm^2)	Number of leaves
Control	46.81 ± 4.69^{b}	2.74 ± 0.40^{ab}	59.50 ± 7.14^{b}	5.80 ± 0.96^{b}
1% Mix	66.65 ± 1.07^{a}	3.28 ± 0.15^{a}	75.82 ± 3.90^{a}	6.80 ± 0.96^{a}
5% Mix	42.63 ± 9.71^{b}	2.25 ± 0.29^{b}	55.94 ± 10.10^{ab}	5.50 ± 1.00^{b}
10% Mix	39.50 ± 4.90^{b}	2.11 ± 0.07^{b}	53.05 ± 3.44^{ab}	4.30 ± 0.50^{c}

Values are presented as mean ± standard deviation. [a]Alphabetical order means difference between the group in the same column at $P < 0.05$ with one-way ANOVA and Duncan's multiple range test.

일부의 암모니아 가스로 인하여 작물의 생육 저해로 판단된다. 암모니아는 가축분뇨내 부숙과정에서 발생하는 대표적인 부산물이며, 암모니아 가스로 인하여 작물피해를 예방하기 위해서는 가축분퇴비의 충분한 부숙과 더불어 최적의 시비 비율 확립이 필요하다(Kwon et al., 2010). 본 실험을 통하여 보여진 결과값인 1% 혼합 비율을 식물 생장을 촉진시키는 최적 비율로 확립하였다. 추가로 토양의 pH 및 유기물 성분 분석을 통하여 가축분퇴비 비율 증가에 따른 토양 환경 변화 연구가 필요할 것으로 판단된다.

가축분퇴비와 식물생장촉진 미생물 혼합 연구

가축분퇴비의 최적 비율 확립 실험에서 도출된 결과값인 1% 혼합을 기본으로 하여 TB B1-B5(*B. lichemiformis*) 균주를 비율별로 혼합하여 실험을 진행하였다. 실험 결과로 TB B1-B5균주 5% 혼합처리가 가장 우수한 효과를 보였는데, 생체중은 Control 처리구보다 1.78배 높은 평균 140.34 g으로 나타내었으며, 잎채소로서 생산성과 직결되는 엽수는 평균 14개로 전체 처리구 중 가장 많은 엽수를 나타내었다. 특히 TB B1-B5균주 10% 혼합 처리구에서는 TB B1-B5 균주 1% 혼합처리보다 낮은 결과값을 보였다(Table 7). 이러한 결과는 적정 수준 이상으로 많은 양의 미생물을 혼합하면 작물의 근권 약화를 시키게 되며, 따라서 지상부의 생장도 이루어지지 않을 것이라 판단된다. 실제로 미생물의 혼합비율이 높아질수록 식물의 초장 감소, 작물의 활력 감소, 엽면적 감소로 이어진다는 연구결과와 동일한 경향을 나타내었다(Kim et al., 1997).

Table 7. Lettuce growth investigation results according to the mixing ratio of livestock compost and *Bacillus licheniformis* TB B1-B5 strains

Treatment	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Leaf area (cm^2)	Number of leaves
Control	78.70 ± 6.64^{c}	4.32 ± 0.59^{b}	124.60 ± 0.55^{c}	9.30 ± 0.47^{cd}
Positive control	109.70 ± 4.40^{b}	4.43 ± 0.31^{b}	160.20 ± 0.35^{ab}	11.00 ± 0.82^{bc}
Negative control	104.30 ± 6.00^{b}	4.35 ± 0.41^{b}	152.30 ± 0.56^{b}	10.70 ± 0.47^{c}
TB B1-B5 1%	139.60 ± 3.35^{a}	5.22 ± 0.19^{ab}	163.80 ± 0.12^{ab}	12.70 ± 0.47^{b}
TB B1-B5 5%	140.30 ± 3.42^{a}	6.03 ± 0.21^{a}	165.40 ± 0.19^{a}	14.00 ± 0.82^{a}
TB B1-B5 10%	136.80 ± 3.34^{a}	4.96 ± 0.21^{b}	162.80 ± 0.22^{ab}	12.30 ± 0.47^{b}

Values are presented as mean ± standard deviation. [a]Alphabetical order means difference between the group in the same column at $P < 0.05$ with one-way ANOVA and Duncan's multiple range test.

결 론

국내의 농업은 시간이 지날수록 친환경 농업, 친환경 농산물로 확대되고 있다. 하지만 농민들은 친환경 농산물을 포기하고, 생산성에 의존하는 생산 농업을 이행하고 있다. 기존 유기질비료의 시비로 작물의 품질 및 생산성이 낮아, 무기질비료를 더하여 시비하거나, 무기질 비료만 시비하고 있는 실정이다. 이를 보완하기 위해서는 무기질비료에 비하여 유기질비료가 우수한 효과를 가질 수 있는 연구가 절실히 필요하다. 본 실험 결과로 기존의 가축분퇴비를 시비하는 것보다 상토에 가축분퇴비 1%와 식물생장촉진미생물인 TB B1-B5(*B. licheniformis*)균주 5% 혼합 후 시비할 시 식물 생장의 효과가 향상된다는 결과를 도출하였다. 또한 가축분퇴비는 부숙 공정이 반드시 필요한 유기질 자재로서, 가축분퇴비 부숙 공정에서의 TB B1-B5균주 처리시 부숙 속도, 암모니아 가스 발생량 등과 같은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 기존의 가축분 유기질비료보다 우수한 가축분 유기질비료 개발 가능성을 제시하며, 향후 지속가능한 친환경 농업를 위한 하나의 지표가 될 것이라 판단된다.

사 사

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through Industrialization technology development to respond to crop viruses and pests Project, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 121052-2).

인용문헌(References)

Akhtar, S. S., Amby, D. B., Hegelund, J. N., Fimognari, L., Großkinsky, D. K., Westergaard, J. C., Roitsch, T. (2020) *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. FIPS 11:297.

An, N. H., Lee, S. M., Hwang, H. Y., Park, S. G., Lee, C. R. (2021) Effects of Fermented Mixed Organic Fertilizer Utilizing By-Products on Soil Properties and the Yield of Organic Lettuce. JKORRA 29:41-48.

Beaudet, R., Gagnon, C., Bisaillon, J. G., Ishaque, M. (1990) Microbiological aspects of aerobic thermophilic treatment of swine waste. AEM 56:971-976.

Cho, N. S., Oh, B. I., Kim, D. S., Min, D. S. (1999) Manufacturing of Organic Composts from Shiitake Bedlogs.

JKWST 27:62-69.

Jang, J. E., Lim, G. J., Lee, J. G., Yoon, S. H., Hong, S. E., Shin, K. H., Kang, C. S., Hong, S. S. (2019) Application effects of organic fertilizer utilizing livestock horn meal as domestic organic resource on the growth and crop yields. JKORRA 27:19-30.

Jeong, H. K., Im, Y. A., Kang, K. S. (2020) Analysis of the integrated crop livestock farming system and improvement ways. KREI.

Jeong, J. H., Kim, S. W., Kim, Y. S., Ramsal, G., Lee, Y. S. (2013) Effect of inhibiting plant hospital mold and promoting plant growth using useful microorganisms. JKS 41:118-126.

Kim, H. G., Seo, B. S., Chung, S. J. (1997) Effects of compost mixed with microorganism compost fermented on the seedlings growth of tamato and red pepper. Korean J Orga Agric 5:129-140.

Kim, M. S., Kim, S. C., Park, S. J., Lee, C. H. (2017) Replacement Amount of Mineral Fertilizer and Soil Chemical Property by Organic Fertilizer in Plastic Film House Soils for Watermelon. Korean society of soil science and fertilizer, autumn academic presentation. 140-140.

Kwon, S. I., Hong, S. G., Oh, S. Y., Jang, Y. A., Kim, K. R., Shin, J. D., Park, W. K. (2010) Suppress on Seed Germination by Ammonia Gas from Unmatured Compost. spring academic presentation. 312-312.

Lee, C. R., Ok, J. H., An, M. S., Lee, S. B., Park, K. L., Hong, S. G., Kim, M. G., Park, C. B. (2017) Soil chemical properties of long-term organic cultivation upland. Korean J Org Agric 25:161-170.

Lim, J. H., Kim, S. D. (2013) Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR Bacillus licheniformis K11 in pepper. PPJ 29:201.

Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (2019) “Practice guideline of project of organic fertilizer”, Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs.

Ministry of Environment (ME) (2023) Prior information announcement. http://www.me.go.kr/ (Accessed June 20, 2023).

Nawaz, H. H., Rajaofera, M. N., He, Q., Anam, U., Lin, C., Miao, W. (2018) Evaluation of antifungal metabolites activity from *Bacillus licheniformis* OE-04 against Colletotrichum gossypii. PBP 146:33-42.

Prashanth, S., Mathivanan, N. (2010) Growth promotion of groundnut by IAA producing rhizobacteria *Bacillus licheniformis* MML2501. Archives of Phytopathology and Plant Protection 43:191-208.

Yoon, B. S., Choi, S. Y., Lim, S. J., Heo, S. J., Park, Y. H., Hong, D. K. (2017) “Chemical Properties of Cultivating Green Onion Soils in Gangwon Province.” Korean society of soil science and fertilizer, autumn academic presentation. 106-106.

Zheng, F., Zhu, D., Giles, M., Daniell, T., Neilson, R., Zhu, Y. G., Yang, X. R. (2019). Mineral and organic fertilization alters the microbiome of a soil nematode Dorylaimus stagnalis and its resistome. STE 680:70-78.