

가축분뇨발효액비 관비 처리 후 상추와 배추의 생육

이태영, 김태웅, 김영선*

Growth Responds of Lettuce and Chinese Cabbage after Fertigating Livestock Liquid Fertilizer

Tae-Young Lee , Tae-Wooung Kim  and Young-Sun Kim 

대구대학교 원예학과

Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

* Correspondence: im0sunkim@daegu.ac.kr

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of livestock manure liquid fertilizer such as aerobic liquid fertilizer (AF) and anaerobic liquid fertilizer (AAF) on the growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*) and Chinese cabbage (*Brassica campestris*). Treatments were as follow; control, AF-1 (AF 1 L/m²), AF-2 (AF 2 L/m²), AF-3 (AF 4 L/m²), AAF-1 (AAF 1 L/m²), AAF-2 (AAF 2 L/m²), and AAF-3 (AAF 4 L/m²). The EC of commercial substrates in AF and AAF treatments were higher than that of the control. As applied AF and AAF in the lettuce and Chinese cabbage, growth factors like chlorophyll content, leaf number, leaf width, leaf length, fresh weight and dry weight, and the nutrient availability of nutrient content and nutrient uptake increased than those of the control. The application amount of AF and AAF was correlated with growth factors and nutrient availability positively ($p \leq 0.05$) in both lettuce and Chinese cabbage. These results indicated that fertigation of AF and AAF was improved the growth of lettuce and Chinese cabbage by promoting an uptake amount of nutrient.

Keywords: Aerobic liquid fertilizer (AF), Anaerobic liquid fertilizer (AAF), Fertigation, Livestock manure liquid fertilizer, Productivity

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.09>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 92-100

Received: June 1, 2024

Revised: August 12, 2024

Accepted: August 30, 2024

Published: September 6, 2024

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537

Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

서 언

국내 축산업은 육류 소비의 증가에 따라 지속적으로 성장해 왔고[1], 축산업의 발달과 더불어 가축분뇨 발생량도 증가되었다. 2012년 이후 런던협약의 이행에 따라 해양투기가 금지되어 가축분뇨는 대부분 자원화되었고[2], 일부는 정화 처리되었다[3]. 가축분뇨의 자원화는 전통적으로 퇴·액비화되었으나 최근에는 가축분뇨를 발효하여 바이오가스를 생산하고, 발생한 가스를 도시가스나 전력 생산 등 자원 순환 기술의 형태로 발전해 왔다[4,5]. 가축분뇨 자원화 시설에서 발효 후 발생하는 가축분뇨 발효액과 슬러지는 각각 가축분뇨 발효액비와 퇴비로 자원화되며 농경지에서 재사용하고 있다[6,7].

가축분뇨 발효액비는 수도작에서 가장 많이 이용하고 있으나 기비로 공급하고 있기 때문에 가축분뇨의 발생 시기와 가축분뇨 발효액비의 사용 시기에 간극이 발생하게 된다. 수도작에서 기비 처리 후에는 가축분뇨 발효액비를 사용하지 않으므로 다음 작기까지 발생하는 가축분뇨 발효액비를 보관해야 하고, 그 과정에서 환경 중으로 누출되는 경우 환경오염의 원인이 되기도 한다[8]. 따라서 수도작에서 가축분뇨 발효액비를 사용하지 않는 시기에 가축분뇨 발효액비를 이용할 수 있는 새로운 수요처의 발굴이 필요하다[9,10].

수도(*Oryza sativa*) 재배 외에 가축분뇨 발효액비를 처리한 식물은 원예작물, 사료작물, 과실수 및 조경식물 등이 있으며 [9-12], 가축분뇨 발효액비에 의해 농산물이 오염될 수 있으므로 위생 및 안전성을 고려한다면 원예작물이나 과실수보다는 사료작물이나 조경식물에 적용하는 것이 유리하나 처리 장소가 제한적이고 수송이 어렵다는 단점이 있으며, 공급되더라도 가축분뇨 발효액비를 처리하기 위해서는 처리 시설이 필요하다[9]. 따라서 가축분뇨 발효액비를 지속적으로 이용하는 방법으로 수송이 편리하고, 공급시설이 갖춰진 시설 재배지에 활용하고자 하는 노력이 있다[11]. 하지만 시설재배 토양의 경우 강우가 차단되고, 다비에 의해 토양 내 염류가 높으므로 가축분뇨 발효액비의 사용에 다소 어려움이 있다[13].

최근 수경재배는 이러한 토양의 염류집적 문제를 해소하고, 작물의 생산성을 높일 수 있으며, 작물에 필요한 양분공급을 조절하고, 재배 환경을 제어할 수 있는 새로운 농업기술이다[14]. 수경재배 중 고형배지경의 경우 보수력과 배수성 및 보비력이 우수한 상토원료를 이용하여 작물을 재배하여 다비재배에도 작물의 생산성이 증가하게 되었다[15]. 가축분뇨 발효액비의 경우 양분 농도가 낮고, 액상으로 되어 있으므로 이를 수경재배 상토에 식재 후 수경재배 배양액이나 관비로 활용이 가능할 것으로 판단된다[16]. 따라서 본 연구는 가축분뇨 발효액비의 수경재배용 관비로 이용할 수 있는지 여부에 대한 기초연구자료를 수집하기 위해 상토에 식재된 상추와 배추에 가축분뇨 발효액비를 관비 처리하여 작물의 생육과 특성을 조사하고자 한다.

재료 및 방법

공시 재료

본 실험은 경상북도 경산시 소재의 대구대학교 과학생명융합대학 부속농장 유리온실에서 2022년 5월부터 9월까지 수행되었다. 공시 작물은 상추(Lettuce, *Lactuca sativa*), 배추(Chinese cabbage, *Brassica campestris*)를 이용하였고, 상추 종자(한밭청치마, Aramseed Co., Ltd., Seoul, Korea)와 배추 종자(서울배추, Green Heart Bio Co., Ltd., Yeosu, Korea)를 구매하여 사용하였다. 공시 비료는 가축분뇨 발효액비 2종을 이용하였고, 발효 방법에 따라 호기성 발효액비(liquid fertilizer aerobically fermented with livestock manure; AF)와 혐기성 발효액비(liquid fertilizer anaerobically fermented with livestock manure; AAF)를 이용하였다. 공시 비료인 AF와 AAF의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 이외의 유해 중금속 및 유해 미생물은 기준 이하로 검출되었고, AF와 AAF의 발아지수는 각각 88과 100을 나타내어 비료공정규격에 적합하였다. 공시 토양은 원예용 상토(서울슈퍼바코, Seoul Bio Co., Ltd., Eumseoung, Korea)를 이용하였고, 산도(pH)와 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 각각 4.43과 0.91 dS/m를 나타냈다.

포트 조성 및 처리구 설정

시험용 5 inch 포트(직경 12.7 cm, 깊이 13 cm)에 원예용 상토 500 mL (상토 220~250 g/pot)를 충전한 후 수돗물을 이용하여

Table 1. The chemical properties of liquid fertilizer fermenting with livestock manure

Fertilizer ¹⁾	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	NaCl
AF	7.52	19.6	0.30	0.04	0.18	0.14
AAF	7.89	22.4	0.13	0.02	0.20	0.28
Guideline ²⁾	-	-	Total amount of N, P ₂ O ₅ and K ₂ O ≥ 0.3%			< 0.3%

¹⁾AF: Liquid fertilizer aerobically fermented with livestock manure, AAF: Liquid fertilizer anaerobically fermented with livestock manure.

²⁾Guideline was an official standard of liquid fermented livestock excrement (a byproduct of decomposed organic fertilizer).

포습하였다. 처리구는 가축분뇨 발효액비 종류에 따라 호기성 발효액비 처리구와 혐기성 발효액비 처리구로 구분하였다. 호기성 발효액비 처리구는 대조구(control), AF-1 처리구(AF 1 L/m²; AF 12.7 mL/5 inch pot), AF-2 처리구(AF 2 L/m²; AF 25.4 mL/5 inch pot) 및 AF-3 처리구(AF 4 L/m²; AF 50.8 mL/5 inch pot)로 구분하였고, 혐기성 발효액비 처리구는 대조구(control), AAF-1 처리구(AAF 1 L/m²; AAF 12.7 mL/5 inch pot), AAF-2 처리구(AAF 2 L/m²; AAF 25.4 mL/5 inch pot) 및 AAF-3 처리구(AAF 4 L/m²; AAF 50.8 mL/5 inch pot)로 구분하였다. 원예용 상토에 비료가 함유되어 있는 점을 고려하여 무처리구는 설정하지 않았다.

시험에 사용한 상추와 배추는 2022년 5월 27일 종자를 파종한 후 4주간 육묘를 관리하였고, 지상부의 생장이 비슷한 유묘를 선택하여 6월 28일 조성된 포트에 정식하였다. 정식 후 유묘가 활착할 수 있도록 14일간 관리한 후 7월 12일부터 처리구별 가축분뇨 발효액비를 주 1회씩 총 4회 관수 처리하였다. 대조구에서 하엽에 황화현상이 발생한 것을 통해 공시 토양 중 양분이 고갈된 것으로 판단하여 8월 5일 공시 작물을 수확하였다. 재배 기간 중 유리온실의 대기 온도는 15~34°C, 상대습도는 50~65%였으며, 작물의 생육 상태를 점검하여 매일 1~2회 관수하였다. 시험 기간 중 병충해는 발생하지 않아 작물보호제는 처리하지 않았다.

작물 생육 조사 및 분석

시험 종료 후 처리구별 상토의 분석은 8월 5일에 채취된 시료를 음지에서 풍건한 후 농촌진흥청의 상토 표준분석법에 준하여 pH와 EC를 분석하였다. 건조 후 5 mL의 시료를 정확히 칭량한 후 25 mL의 증류수를 첨가하고 약 1시간 진탕 후 pH 측정기(Seven Compact pH/ion S220, Mettler Toledo, Ohio, USA)와 EC (Orion 3 star, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 이용하여 측정하였다.

가축분뇨 발효액비 종류별 처리 후 작물 생육은 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중을 조사하였다. 엽록소는 엽록소 측정기(SPAD 502 plus, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 포트별 3개의 엽에서 측정한 후 평균하였다. 엽수는 엽채류 작물 개체의 총 엽수를, 생물중은 시료 채취 후 개체의 생체중을, 건물중은 생물중 조사 후 65°C로 셋팅된 건조기(OF-W155, Daihan Scientific, Daegu, Korea)에서 항량이 될 때까지 24시간 이상 건조한 후 개체 무게를 칭량하여 조사하였다. 엽장 및 엽폭은 개체 중 가장 큰 잎 3개를 채취한 후 각각 종경과 횡경 길이를 조사하였다. 건조된 시료는 분쇄하여 Kjeldahl 분해 후 질소, 인 및 칼륨을 분석하였다. 질소는 Kjeldahl 증류법으로, 인은 UV-spectrophotometer (Genesys 2PC, Thermo Fisher Scientific Korea, Seoul, Korea)를 이용하여 바나드-몰리브덴산법으로, 그리고 칼륨은 염광광도계(flame photometer, PFP7, Jenway, Stanfordshire, UK)를 이용하여 원자흡광분석법으로 분석하였다. 작물의 조직 중 분석된 양분 함량과 시험 종료 후 지상부 건물중을 곱한 후 작물의 재식밀도를 고려하여 단위면적당 작물별 양분 흡수량을 계산하였다.

통계분석

통계처리는 SPSS (ver. 27, IBM, New York, USA)를 이용하여 분산분석(analysis of variance; ANOVA)을 실시하였고, Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다. 가축분뇨 발효액비 처리량별 작물 생장의 변화는 상관관계를 통해 조사하였다.

결과 및 고찰

호기성 발효액비 처리 후 작물의 생육 특성

시험 종료 후 상추 및 배추의 재배 후 토양 특성은 Table 2와 같다. 상추의 재배 토양에서 pH와 EC는 각각 5.46~5.58과 0.066~0.078 dS/m의 범위를 나타냈고, 토양 pH는 대조구와 통계적인 유의차를 나타내지 않았으나 EC는 AF-3 처리구에서 증가하였다. 배추의 재배 토양에서 토양 pH와 EC는 각각 5.63~5.75와 0.066~0.077 dS/m의 범위를 나타냈고, 대조구와 비교할 때, 토양 pH는 통계적인 유의차를 나타내지 않았으나 EC는 AF-2와 AF-3 처리구에서 증가하였다. 이는 작물별 차이는 있으나 AF의 처리량이 증가로 토양 내 EC가 증가한 것으로 판단된다[17].

Table 2. The change of soil after growing lettuce and Chinese cabbage applying AF

Treatments ¹⁾	Lettuce (<i>L. sativa</i>)		Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)	
	pH (1:5)	EC (dS/m)	pH (1:5)	EC (dS/m)
Control	5.52a ²⁾	0.066b	5.63a	0.066c
AF-1	5.46a	0.066b	5.65a	0.067c
AF-2	5.54a	0.069b	5.68a	0.070b
AF-3	5.58a	0.078a	5.75a	0.077a

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AF-1, AF (Liquid fertilizer aerobically fermented with livestock manure) 1 L/m²; AF-2, 2 L/m²; AF-3, 4 L/m². Soil was sampled on August 5, 2022.

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

호기성 발효액비 처리 후 상추와 배추의 생육 특성을 조사하였다(Table 3). 상추의 엽록소는 2.89~3.91 mg/100 cm²의 범위를 나타냈고, AF 처리구에서 23.1~35.3% 증가하였다. 상추의 엽수, 생물중 및 건물중은 각각 15.2~21.8 ea/plant, 22.5~61.7 g/plant 및 2.4~5.5 g/plant를 나타내어 AF 처리 시 각각 23.4~43.4%, 80.0~174.2%, 50.0~129.1%씩 증가하였다. 상추의 엽장과 엽폭은 각각 11.5~15.6 cm와 7.3~11.0 cm의 범위를 나타냈고, 대조구보다 각각 24.3~35.6%와 26.0~50.7%씩 증가하였다. 배추의 엽록소는 2.18~3.14 mg/100 cm²의 범위를 나타냈고, AF 처리구에서 26.1~44.0% 증가하였다. 배추의 엽수, 생물중 및 건물중은 각각 7.2~10.8 ea/plant, 19.4~54.0 g/plant 및 3.3~6.0 g/plant를 나타내어 AF 처리 시 각각 34.7~50.0%, 129.9~166.5%, 78.8~84.8% 정도 증가하였다. 배추의 엽장과 엽폭은 각각 20.2~27.5 cm와 8.4~13.2 cm의 범위를 나타냈고, 대조구보다 각각 30.2~36.1%와 44.0~57.1%씩 증가하였다. AF 처리 후 상추와 배추에서 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중은 대조구보다 증가하였으며, AF의 처리량과 작물별 생육 조사 항목 간 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타냈다.

Table 3. The growth of lettuce and Chinese cabbage after applying AF

Treatments ¹⁾	Chlorophyll	No. of leaves	Leaf length	Leaf width	Fresh weight	Dry weight
	mg/100 cm ²	ea/plant	(cm)		(g/plant)	
Lettuce (<i>L. sativa</i>)						
Control	2.89c ²⁾	15.2c	11.5c	7.3c	22.5d	2.4d
AF-1	3.56b	18.8b	14.3a	9.2b	40.5c	3.6b
AF-2	3.79ab	19.3b	14.4a	9.5b	51.2b	3.7b
AF-3	3.91a	21.8a	15.6a	11.0a	61.7a	5.5a
Correlation ³⁾	0.824**	0.891**	0.803**	0.879**	0.946**	0.960**
Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)						
Control	2.18c	7.2b	20.2b	8.4b	19.4c	3.3b
AF-1	2.75b	9.7a	26.3a	12.1a	44.6b	6.0a
AF-2	2.72b	10.2a	27.7a	12.8a	54.0a	6.0a
AF-3	3.14a	10.8a	27.5a	13.2a	51.7a	5.9a
Correlation	0.909**	0.800**	0.701**	0.779**	0.752**	0.637**

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AF-1, AF (Liquid fertilizer aerobically fermented with livestock manure) 1 L/m²; AF-2, 2 L/m²; AF-3, 3 L/m². Lettuce and Chinese cabbage were harvested on August 5, 2022.

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

³⁾Correlation coefficient between supply of by concentration from AF and each growth factor such as chlorophyll content, leaves number, leaf length, leaf width, fresh weight and dry weight (n=12).

AF 처리 후 작물의 경엽 중 함유된 양분 함량 및 흡수량을 조사하였다(Table 4). 상추에서 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 20.3~41.3 g/kg, 1.4~2.6 g/kg, 19.4~35.0 g/kg을 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소와 인은 AF-2 및 AF-3 처리구에서, 칼륨은 AF-1, AF-2 및 AF-3 처리구에서 증가하였다. 상추가 생장하며 흡수한 질소, 인 및 칼륨량은 각각 4.96~22.68 g/m², 0.34~1.45 g/m²,

4.73~19.20 g/m²의 범위를 나타냈고, 대조구와 비교할 때, AF-1, AF-2 및 AF-3 처리구는 질소, 인 및 칼륨은 각각 75.0~357.3%, 58.8~326.5%, 92.4~305.9%씩 증가하였다. AF 처리량과 상추의 양분 함량 및 흡수량은 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타냈다.

Table 4. The nutrient content and uptake amount in the leaves of lettuce and Chinese cabbage after applying AF

Treatments ¹⁾	Nutrient content (g/kg)			Nutrient uptake (g/m ²)		
	N	P	K	N	P	K
Lettuce (<i>L. sativa</i>)						
Control	20.3c ²⁾	1.4c	19.4d	4.96d	0.34d	4.73d
AF-1	23.8c	1.5c	24.9c	8.68c	0.54c	9.10c
AF-2	33.6b	2.1b	30.9b	12.32b	0.78b	11.33b
AF-3	41.3a	2.6a	35.0a	22.68a	1.45a	19.20a
Correlation ³⁾	0.946**	0.934**	0.993**	0.951**	0.944**	0.971**
Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)						
Control	16.1b	1.1b	8.1c	5.23c	0.35c	2.63d
AF-1	15.4b	1.3b	8.2c	9.26bc	0.79b	4.92c
AF-2	18.9b	1.9a	8.6b	11.34ab	1.17a	5.15b
AF-3	25.2a	2.1a	9.1a	14.83a	1.24a	5.38a
Correlation	0.531**	0.890**	0.902**	0.746**	0.931**	0.857**

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AF-1, AF (Liquid fertilizer aerobically fermented with livestock manure) 1 L/m²; AF-2, 2 L/m²; AF-3, 4 L/m². Lettuce and Chinese cabbage were harvested on August 5, 2022.

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

³⁾Correlation coefficient between supply of by concentration from AF and each growth factor such as chlorophyll content, leaves number, leaf length, leaf width, fresh weight and dry weight (n=12).

배추에서 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 15.4~25.2 g/kg, 1.1~2.1 g/kg, 8.1~9.1 g/kg을 나타냈다. AF 처리 후 배추에서의 양분 함량은 질소가 AF-3 처리구에서, 인과 칼륨이 AF-2와 AF-3 처리구에서 대조구보다 증가하였다. 배추의 질소, 인, 칼륨의 흡수량은 5.23~14.83 g/m², 0.35~1.24 g/m², 2.63~5.38 g/m²의 범위를 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소 흡수량은 AF-2와 AF-3 처리구에서 각각 116.8%와 183.6%씩 증대되었고, 인과 칼륨 흡수량은 AF 처리구에서 각각 125.7~254.3%와 87.1~104.6% 정도 증대되었다. 배추에서 양분 함량과 흡수량은 AF 처리량과 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타냈다.

혐기성 발효액비 처리 후 작물의 생육 특성

AAF 처리 후 상추 및 배추의 재배 후 토양 특성은 Table 5와 같다. 상추의 재배 토양에서 pH와 EC는 각각 5.52~5.57과 0.066~0.077 dS/m의 범위를 나타냈고, 토양 pH는 대조구와 통계적인 유의차를 나타내지 않았으나 EC는 AAF-3 처리구에서 증가하였다. 배추의 재배 토양에서 토양 pH와 EC는 각각 5.63~5.74와 0.066~0.075 dS/m의 범위를 나타냈고, 대조구와 비교할

Table 5. The change of soil after growing lettuce and Chinese cabbage applying AAF

Treatments ¹⁾	Lettuce (<i>L. sativa</i>)		Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)	
	pH (1:5)	EC (dS/m)	pH (1:5)	EC (dS/m)
Control	5.52a ²⁾	0.066c	5.63a	0.066b
AAF-1	5.56a	0.072b	5.70a	0.073a
AAF-2	5.57a	0.073b	5.74a	0.074a
AAF-3	5.53a	0.077a	5.61a	0.075a

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AAF-1, AAF (Liquid fertilizer anaerobically fermented with livestock manure) 0.5 L/m²; AAF-2, 1 L/m²; AAF-3, 2 L/m². Lettuce and Chinese cabbage were harvested on August 5, 2022.

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

때, 토양 pH는 통계적인 유의차를 나타내지 않았으나 EC는 AAF 처리구에서 대조구보다 증가하였다. 이는 작물별 차이는 있으나 AAF의 처리량이 증가로 토양 내 EC가 증가한 것으로 판단된다[17].

AAF 처리 후 상추와 배추의 생육특성을 조사하였다(Table 6). 상추의 엽록소는 2.89~3.87 mg/100 cm²의 범위를 나타냈고, AAF 처리구에서 15.2~33.9% 증가하였다. 상추의 엽수, 생물중 및 건물중은 각각 15.2~21.5 ea/plant, 22.5~67.9 g/plant 및 2.4~5.4 g/plant를 나타내어 AAF 처리 시 각각 18.4~41.4%, 80.0~201.8%, 45.8~125.0%씩 증가하였다. 상추의 엽장과 엽폭은 각각 11.5~15.7 cm와 7.3~10.8 cm의 범위를 나타냈고, AAF 처리구에서 대조구보다 각각 27.8~36.5%와 27.4~47.9%씩 증가하였다. 배추의 엽록소는 2.18~3.05 mg/100 cm²의 범위를 나타냈고, AAF 처리구에서 15.6~39.9% 증가하였다. 배추의 엽수, 생물중 및 건물중은 각각 7.2~9.7 ea/plant, 19.4~62.3 g/plant 및 3.3~6.3 g/plant를 나타내어 AAF 처리 시 각각 27.8~34.7%, 111.0~221.1%, 69.7~90.9% 정도 증가하였다. 배추의 엽장과 엽폭은 각각 20.2~31.2 cm와 8.4~14.2 cm의 범위를 나타냈고, AAF 처리구에서 대조구보다 각각 29.7~54.5%와 36.9~69.0%씩 증가하였다. AAF 처리 후 상추와 배추에서 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중은 대조구보다 증가하였으며, AAF의 처리량과 작물별 생육 조사 항목 간 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타냈다.

Table 6. The growth of lettuce and Chinese cabbage after applying AAF

Treatments ¹⁾	Chlorophyll mg/100 cm ²	No. of leaves ea/plant	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Lettuce (<i>L. sativa</i>)						
Control	2.89c ²⁾	15.2d	11.5b	7.3c	22.5d	2.4d
AAF-1	3.33b	18.0c	14.7a	9.3b	40.5c	3.5c
AAF-2	3.77a	19.7b	15.2a	10.1ab	50.4b	3.9b
AAF-3	3.87a	21.5a	15.7a	10.8a	67.9a	5.4a
Correlation ³⁾	0.888**	0.928**	0.792**	0.854**	0.973**	0.983**
Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)						
Control	2.18c	7.2b	20.2b	8.4c	19.4c	3.3b
AAF-1	2.52b	9.7a	26.2a	11.5b	40.5b	5.6a
AAF-2	2.58b	9.2a	28.0a	13.4ab	41.3b	5.9a
AAF-3	3.05a	9.7a	31.2a	14.2a	62.3a	6.3a
Correlation	0.947**	0.667**	0.814**	0.810**	0.909**	0.785**

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AAF-1, AAF (Liquid fertilizer anaerobically fermented with livestock manure) 1 L/m²; AAF-2, 2 L/m²; AAF-3, 4 L/m². Lettuce and Chinese cabbage were harvested on August 5, 2022.

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

³⁾Correlation coefficient between supply of by concentration from AF and each growth factor such as chlorophyll content, leaves number, leaf length, leaf width, fresh weight and dry weight (n=12).

AAF 처리 후 작물의 경엽 중 함유된 양분 함량 및 흡수량을 조사하였다(Table 7). 상추에서 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 20.3~43.4 g/kg, 1.4~2.6 g/kg, 19.4~36.9 g/kg을 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소와 칼륨은 AAF (AAF-1, AAF-2, AAF-3) 처리구에서, 인은 AAF-2와 AAF-3 처리구에서 증가하였다. 상추가 생장하며 흡수한 질소, 인 및 칼륨량은 각각 4.96~23.47 g/m², 0.34~1.40 g/m², 4.73~19.97 g/m²의 범위를 나타냈고, 대조구와 비교할 때, AAF-1, AAF-2 및 AAF-3 처리구는 질소, 인 및 칼륨은 각각 92.5~373.2%, 52.9~311.8%, 94.5~322.2%씩 증가하였다. AF 처리량과 상추의 양분 함량 및 흡수량은 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타냈다.

배추에서 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 16.1~18.9 g/kg, 1.1~2.1 g/kg, 8.1~9.2 g/kg을 나타냈다. AAF 처리 후 배추에서 질소 함량은 통계적인 유의차를 나타내지 않았고, 인은 AAF 처리구에서, 칼륨은 AAF-2와 AAF-3 처리구에서 대조구보다 증가하였다. 배추의 질소, 인, 칼륨의 흡수량은 5.23~11.87 g/m², 0.35~1.32 g/m², 2.63~5.79 g/m²의 범위를 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소, 인 및 칼륨의 흡수량은 AAF 처리구에서 각각 79.0~127.0%, 127.0~277.1%, 74.1~120.0%씩 증대되었다. 배추에서 양분 함량과 흡수량은 AAF 처리량과 정의 상관관계($p \leq 0.05$)를 나타냈다.

Table 7. The nutrient content and uptake amount in the leaves of lettuce and Chinese cabbage after applying AAF

Treatments ¹⁾	Nutrient content (g/kg)			Nutrient uptake (g/m ²)		
	N	P	K	N	P	K
Lettuce (<i>L. sativa</i>)						
Control	20.3c ²⁾	1.4c	19.4d	4.96d	0.34d	4.73d
AAF-1	27.3b	1.5c	26.3c	9.55c	0.52c	9.20c
AAF-2	39.2a	2.3b	31.8b	15.17b	0.89b	12.31b
AAF-3	43.4a	2.6a	36.9a	23.47a	1.40a	19.97a
Correlation ³⁾	0.934**	0.939**	0.997**	0.970**	0.973**	0.982**
Chinese cabbage (<i>B. campestris</i>)						
Control	16.1a	1.1c	8.1c	5.23c	0.35d	2.63d
AAF-1	16.8a	1.4b	8.2c	9.36b	0.76c	4.58c
AAF-2	16.8a	1.9a	8.9b	9.85ab	1.14b	5.21b
AAF-3	18.9a	2.1a	9.2a	11.87a	1.32a	5.79a
Correlation	0.349*	0.896**	0.933**	0.813**	0.959**	0.948**

¹⁾Treatments were as follows. Control, horticultural substrate soil; AAF-1, AAF (Liquid fertilizer anaerobically fermented with livestock manure) 1 L/m²; AAF-2, 2 L/m²; AAF-3, 4 L/m². Lettuce and Chinese cabbage were harvested on August 5, 2022.

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

³⁾Correlation coefficient between supply of by concentration from AF and each growth factor such as chlorophyll content, leaves number, leaf length, leaf width, fresh weight and dry weight (n=12).

가축분뇨 발효액비(AF, AAF) 처리 후 토양 내에서 토양 pH의 변화는 나타나지 않았으며[18], 액비의 처리량에 따른 토양 중 양분 공급의 증가로 토양 EC 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다[17]. 가축분뇨 발효액비의 처리 후 토양 중 질산태 질소의 양이 증가하는 것으로 알려져 있고[19] 토양 중에서 인산과 양이온 등이 증가되기 때문에 EC가 증가한 것으로 판단된다[17]. 가축분뇨 발효액비 처리 후 토양 특성의 변화는 재배지의 토양 특성, 재배작물 및 처리량의 변화에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다[18]. Jo et al. [18]은 가축분뇨의 발효 형태에 따라 토양의 변화는 나타나지 않는다고 보고하였고, 본 연구에서도 AF와 AAF의 처리에 따른 토양의 이화학적 특성 변화는 없었다(Tables 2, 5). 본 연구에 사용한 토양은 상토로서 pH 5.5 정도로 일반적인 상토가 pH 5.1 정도라는 Lee et al. [20]의 결과와 유사하였고, 이들 결과는 일반 경작지나 간척지와는 차이를 나타낸다[19]. 상토의 주원료가 코코넛 코이어와 피트모스로서 양이온치환용량이 높다는 것을 고려할 때 일반 경작지보다 보비력과 토양 완충력이 높아 가축분뇨 발효액비의 사용 시 적절한 것으로 판단된다[19,20].

가축분뇨 발효액비는 발효 방법에 따라 호기성 발효액비(AF)와 혐기성 발효액비(AAF)로 나뉘므로 이들의 처리에 따른 작물의 재배 특성을 비교하였다. AF와 AAF를 주기적으로 관비한 후 상추와 배추의 생육은 액비의 처리량에 따라 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중 모두 증대되었다. 이는 액비의 처리에 따른 질소의 흡수에 의한 것으로 판단된다. 가축분뇨 발효액비의 비료 성분은 주로 질소와 칼리가 주성분을 이루고 있으며(Table 1), 시비 시 작물에서 생장에 관여하는 질소 성분을 기준으로 처리하고 있다[19]. 가축분뇨 발효액비는 무기태 질소(NH₄-N, NO₃-N) 외에도 콜로이드 형태의 유기물이 질소원으로 공급되고 있으며, 유기물은 토양에 공급 시 시간의 경과에 따라 무기태 질소의 형태가 변화하고[19], 이를 작물이 영양원으로 이용하여 생장하게 된다. 질소는 식물에서 생장을 증대시키며 식물 조직 중 주요 성분의 농도에 미치는 영향은 미미하나 양분 흡수량을 증대시키는 것으로 잘 알려져 있다[21]. Kussow et al. [22]는 질소는 식물의 생장과 인과 칼륨의 흡수를 유도하는 대표적인 비료 성분이라고 보고하였다. 비록 가축분뇨 발효액비의 처리 후 질소 공급으로 작물의 생장이 이뤄지고, 다른 성분들의 흡수를 유도하더라도 가축분뇨 발효액비의 비료 성분은 균형적으로 공급한다고 보기 어렵다. 본 연구에서도 가축분뇨 액비 처리 시 생육이 향상된 것은 원예용 상토에 일정량의 비료 성분이 함유되어 있기 때문으로 판단된다[20]. 따라서 가축분뇨 발효액비를 관비로 활용하여 엽채류 및 원예작물을 재배하기 위해서는 액비에서 부족한 성분을 보충하여야 한다[23].

가축분뇨 발효액비의 관비 사용은 가축분뇨의 자원화 후 발생하는 액비의 사용에 도움이 될 것으로 판단된다. 현재 가축분뇨 발효액비는 수도작에서 가장 많이 사용하고 있으나 벼 이앙 전 1회 처리 후 다시 사용하기 어렵기 때문에 지금과 같은 기비 중심의 가축분뇨 발효액비의 소비는 발효된 액비를 다음 작기까지 보관해야 하는 문제점이 있다. 따라서 주기적으로 자동시설을

통해 원예작물 재배에 활용한다면 가축분뇨 발효액비를 지속적으로 활용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 본 연구는 엽채류 재배에서 상토 조건에서 가축분뇨 발효액비를 주기적으로 공급하여 작물의 생육과 특성의 변화를 조사하였다(Tables 3, 6). 가축분뇨 액비는 양분의 불균형이나 악취 및 일정한 특성을 갖고 있지 않다는 단점을 갖고 있으나 양분을 보충하여 수경재배 배양액과 같이 주기적으로 공급한다면 활용가능성이 높을 것으로 판단된다[23-25]. 그러나 작물의 종류 및 생육 시기에 따라 양분의 요구도가 다르기 때문에 가축분뇨 발효액비를 관비로 이용하기 위해서는 액비의 분석 및 양분의 공급 체계에 관한 추가연구가 필요하였다[23,26]. 또한 가축분뇨 발효액비의 처리 후 농산물의 위생 및 안전성에 관한 모니터링도 필요하였다[27,28].

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: Y.-S. Kim conceived and designed the research, wrote the first manuscript, provide critical feedback, and revised the manuscript; T.-Y. Lee performed the statistical analysis and collected the data; T.-W. Kim led the growth experiment and performed an chemical analysis of soil and plant.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment: This research was supported Daegu University Future Scholars Program, 2023.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.09>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Young-Sun Kim.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Eom H, Kim K, Cho S, Moon J (2024) The association between COVID-19 and changes in food consumption in Korea: Analyzing the microdata of household income and expenditure from statistics Korea 2019-2022. *Journal of Nutrition and Health*, 57(1), 153-169. <https://doi.org/10.4163/jnh.2024.57.1.153>.
2. Kim DH, Shin JK, Han JC (2010) A survey on the status and strategy of swine manure utilization in the Gyeongnam. *Journal of Livestock Housing and Environment*, 16(1), 1-12.
3. Park KH, Choi DY, Cho SB, Yang SH, Hwang OH (2011) Evaluation of greenhouse gas emissions from animal manure treatment systems with life cycle assessment: A case study. *Journal of Livestock Housing and Environment*, 17(suppl.), 1-6.
4. Moon HS, Bae J, Park H, Jeon T, Lee Y, Lee D (2018) A study on establishment of technical guideline of the installation and operation for the biogas utilization of power generation and steam-results of the field investigation. *Journal of the Korean Resources Recycling Association*, 26(1), 55-64. <https://doi.org/10.17137/korrae.2018.26.1.55>.
5. Moon HS, Kwon J, Park H, Jeon T, Shin S, Lee D (2019) A study on establishment of technical guideline of the installation and operation for the biogas utilization of transportation and city gas: results of the precision monitoring. *Journal of the Korean Resources Recycling Association*, 27(2), 57-66. <https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.2.57>.
6. Ryoo JW (2009) Effects of application seasons and rates of swine liquid manure on yield and quality in rice. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 17(1), 95-109.
7. Na Y, Bac J, Moon T, Hwang Y, Lee Y (2013) Livestock wastewater treatment using MBR/NF/RO and application of post-denitrification and air flotation process to treat excess sludge and NR/RO brine. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 35(6), 407-414. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2013.35.6.407>.
8. Kim MS, Kwak DH (2016) Effect of livestock liquid manure released at a rice field on quality of soil and water in the Saemangeum watershed. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 30(1), 19-31. <https://doi.org/10.11001/jksww.2016.30.1.019>.
9. Ham SK, Lim JY, Lee YM (2014) Livestock liquid fertilizer utilization study of Zoysiagrass growing in the field. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 22(4), 11-20. <https://doi.org/10.17137/Korrae.2014.22.4.011>.

10. Kwon YH, Lee U, Hwang SI, Baik ES (2009) The characteristics of growth and fruiting in chestnut trees by SCB (slurry composting and biofiltration) liquid fertilizer. *Journal of Korean Forest Society*, 98(6), 676-680.
11. Ryoo JW (2012) Effect of the mixed treatment of electrolyzed micronutrients with nutrient solution and SCB slurry on mineral content and growth of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Korean Journal of Organic Agriculture*, 20(3), 385-397.
12. Longhini VZ, Cardoso AS, Berca AS, Boddey RM, Reis RA, Dubeux Jr JCB, Ruggieri AC (2021) Could forage peanut in low proportion replace N fertilizer in livestock systems?. *PloS one*, 16(3), e0247931. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247931>.
13. Kim KD, Lee BY, Park CK, Won WN, Yoo CJ (1999) Effects of fertigation of piggery waste water on the growth, the yield of red pepper and the chemical properties of soil under protected cultivation. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 7(2), 115-124.
14. Yu SO, Bae JH, Park YJ, Cho JY, Jang HG, Heo BG (2007) Analysis of domestic patent information of hydroponics field. *Journal of Bio-Environment Control*, 16(1), 13-20.
15. Bae JH, Lee YB, Kim HC, Cha SH, Lee HJ (2008) Development of suitable alternative substrates in hydroponics of sweet pepper. *Journal of Bio-Environment Control*, 17(2), 138-142.
16. Girma F, Gebremariam B (2018) Review on hydroponic feed value to livestock production. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 7(4), 106-109. <https://doi.org/10.31254/jsir.2018.7405>.
17. Ryoo JW, Park CH, Yoon TH (2012) Effect of growth and yield with SCB leachate application rates in rice. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 20(4), 631-632. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2012.20.4.631>.
18. Jo NC, Shin JS, Kim SH, Yoon SH, Hwanbo S, Jung MW, Lee KD, Kim WH, Seo S et al. (2010) Study on summer forage crop cultivation using SCB (slurry composting-biofiltration) liquid fertilizer on reclaimed land. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, 30(2), 121-126. <https://doi.org/10.5333/KGFS.2010.30.2.121>.
19. Lee SB, Cho KM, Yang CH, Oh YJ, Park TI, Kim KJ (2011) Effects of split application of SCB liquid fertilizer on rice yield and soil chemical property in Honam plain field. *Korean Journal of Crop Science*, 56(2), 140-145. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2011.56.2.140>.
20. Lee HH, Kim KH, Kang JY (2006) Comparison of the European standard methods and the Rural Development Administration method for determining chemical properties of horticultural substrates. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 24(3), 425-430.
21. Kim YS, Lee TS, Cho SH, Lee GJ (2018) Application of liquid fertilizer containing humate improving rhizosphere activation and favoring turfgrass quality. *Weed and Turfgrass Science*, 7(1), 62-71. <https://doi.org/10.5660/WTS.2018.7.1.62>.
22. Kussow WR, Soldat DJ, Kreuser WC, Houlihan SM (2012) Evidence, regulation, and consequences of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 359284. <https://doi.org/10.5402/2012/359284>.
23. Kang TW, Halder JN, Kim SR, Yoon YM, Lee MG (2017) Nutrient composition and heavy metal contents of matured livestock liquid fertilizer in Korea. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 25(4), 31-39. <https://doi.org/10.17137/korrae.2017.25.4.31>.
24. Mackie RI, Stroot PG, Varel VH (1998) Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, 76(5), 1331-1342. <https://doi.org/10.2527/1998.7651331x>.
25. Jeon SJ, Kim SR, Rho KS, Choi DY, Kim DK, Lee MG (2012) Physicochemical characteristics of liquid fertilizer made from pig manure in Korea. *Journal of Livestock Housing and Environment*, 18(3), 221-228.
26. Kwon YH, Lee U, Hwang SI, Baik ES (2009) The characteristics of growth and fruiting in chestnut trees by SCB (slurry composting and biofiltration) liquid fertilizer. *Journal of Korean Forest Society*, 98(6), 676-680.
27. Jang JK, Lee D, Paek Y, Lee T, Lin RG, Kim T (2021) Development of integrated microbubble and microfilter system for liquid fertilizer production by removing total coliform and improving reduction of suspended solid in livestock manure. *Journal of the Korea Academia-Industrial*, 22(2), 139-147. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.139>.
28. Kim JS, Chung DH, Shim WB (2016) Investigation of microbial contamination levels between GAP and non-GAP certified farms of lettuce and cucumber. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 31(6), 414-419. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2016.31.6.414>.