

상추 수경재배에서 돈분발효액비의 시용 효과

이원경¹, 전신재², 원재희^{3*}¹강원특별자치도농업기술원 연구협력과 연구사, ²강원특별자치도농업기술원 과채류시험장 연구관,³강원특별자치도농업기술원 원예연구과 연구관Effect of Using Pig Manure Fermented Liquid Fertilizer in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Hydroponic CultivationWonkyoung Lee¹, Shinjae Jeon², Jaehee Won^{3*}¹Researcher, Research Cooperation Section, Gangwon State Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24203, Korea²Senior Researcher, Experimental Station for Fruit Vegetables, Gangwon State Agricultural Research & Extension Services, Cheolwon 24054, Korea³Senior Researcher, Horticultural Research Section, Gangwon State Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24203, Korea

*Corresponding author: Jaehee Won (E-mail: wjh7075@korea.kr)

A B S T R A C T

Received: 14 February 2024

Revised: 5 March 2024

Accepted: 18 March 2024

The results of testing the applicability of pig manure-fermented liquid fertilizer (PMLF) for hydroponic lettuce cultivation showed that the growth and yield of lettuce were very low compared to those of normal nutrient solutions for hydroponics. Compared with the nutrient solution for the hydroponics of lettuce (NSHL), the ion content of PMLF was lower in nitrate nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, and sulfur but ammonia nitrogen, potassium, sodium, and chlorine were higher. In particular, the sodium and chlorine contents of PMLF were 8.9 and 27.2 times higher than those of NSHL, respectively. After 14 days of treatment, the $\text{NO}_3^- \text{N}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{PO}_4^{2-} \text{P}$, and Ca^{2+} ion contents of the drained nutrient solution decreased rapidly, resulting in an insufficient supply of nutrients. The yield of PMLF is thought to be low because of lack of certain nutrients and nutrient imbalances. In this study, heavy metal contents within the plant, such as Cd, Ni, As, and Pb, were not detected in any of the treatments, and the detected amounts of Cu and Zn were lower than the acceptance criteria. The total polyphenol and flavonoid contents in the PMLF group were higher than those in the NSHL group. In addition, the oxygen-scavenging ability of ABTS in the PMLF treatment was higher than that in NSHL. These results confirmed that it is possible to produce high-quality lettuce with excellent antioxidant ability when hydroponic lettuce is grown using organic NSHL. These results confirmed the possibility of producing lettuce with high antioxidant capacity when organic PMLF was used in hydroponic lettuce cultivation; however, there were also problems with lettuce growth inhibition and low yield due to nutrient imbalance. In addition to supplementing and supplying insufficient nutrients, complementary research, such as the effect of sodium and chlorine accumulation in the medium on lettuce growth, should be continuously pursued.

Keywords: Antioxidant, Nutrient solution, Substrate culture

서론

우리나라는 경제성장과 더불어 축산물의 수요가 증가함에 따라 가축분뇨의 발생량도 동반 상승하고 있다(Ryoo, 2010). 초기에는 이러한 가축분뇨를 폐수로 인식하여 수질오염 방지를 위한 정화처리 위주로 정책이 추진되었다. 그러나 국내외 환경 변화에 따라 최근에는 자원화 개념으로 전환되어 퇴·액비 제조 기술 등에 많은 연구가 추진되어 농업적으로 활용되고 있다.

이러한 가축분 액비의 비료성분 중 질소는 화학비료 사용량에 미치지 못하지만, 칼리 함량이 높고, 인산 등 유효성분이 함유되어 있어 적절한 활용으로 화학비료 대체가 가능할 수 있다. 액비의 공정규격은 질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분합계량 공정규격은 0.3% 이상이 되어야 하고, 비소는 5 mg/kg 이하, 카드뮴 0.5 mg/kg 이하, 수은 0.2 mg/kg 이하, 납 15 mg/kg 이하, 크롬 30 mg/kg 이하, 구리 50 mg/kg 이하, 니켈 5 mg/kg 이하 및 아연 130 mg/kg 이하로 관리되고 있으며, 대장균과 살모넬라 공정규격은 불검출이고, 염분 및 수분의 공정규격은 각각 0.3% 이하 및 95% 이상이다(Ahn et al., 2021).

현재 우리나라에서 생산 및 유통되고 있는 액비를 분석한 결과, 질소, 인산, 칼리의 성분합계량이 0.3% 이하인 부적합 비율이 6.9%와 12%로 보고하였다(Ahn et al., 2021; Lee et al., 2011). 중금속은 대부분 공정규격 기준에 적합하였으나 일부 농가(29농가 중 1농가)에서 비소와 구리 함량이 초과하였고, 아연은 4농가에서 초과 검출되었다(Ahn et al., 2021). 대장균과 살모넬라는 모두 공정규격(불검출)에 만족하였다(Ahn et al., 2021; Lee et al., 2011).

돈분액비를 이용한 토양관비 재배에 관한 연구로 고추(Lim et al., 2010), 오이와 호박(Bang et al., 2000) 등의 연구가 수행되어 화학비료 대체용으로 사용이 가능함을 확인하였다. 또한 Ryoo(2010)는 관비재배뿐만 아니라 수경재배에서의 활용을 위하여 막분리 돈분액비를 사용한 결과, 수량은 60% 수준이었으나 액비에 골분, 동물성 아미노산, 해초 분말 등을 첨가시 83% 수준으로 수량이 높아져 수경재배용으로 활용이 가능하다고 보고하였다.

유기성 용액을 이용한 수경재배를 위하여 다양한 재료를 이용하고 있다. Zandvakili et al.(2019)은 시판되는 유기성 용액을 사용하여 5품종의 상추를 재배한 결과, 화학비료보다는 수량이 낮았으나 질산태 질소 함량이 낮은 고품질 상추를 생산할 수 있었고, 수량을 높이기 위해서는 배양액의 농도를 높여주어야 할 것으로 보고하였다. Phibunwatthanawong and Riddech(2019)는 3가지 식물성 폐기물을 부숙시킨 조합으로 상추를 NFT(nutrient film technique)로 재배하여 친환경적인 폐기물 순환이 가능함을 확인하였다. 이외에도 생선 폐기물 유래의 유기비료액 활용 수경재배시 배양액 내 과산화수소수 처리효과(Lau and Mattson, 2021) 등의 연구가 수행되었다. 또한 돈분액비를 이용한 토마토 수경재배에서는 화학비료와 비교하여 생육은 지연되었으나, 총 수량은 차이가 없었고, 액비 내 나트륨과 염소 함량이 높아 토마토 식물체 내에서도 나트륨과 염소 함량이 높았고, 인 함량은 낮아 돈분액비는 필수비료원에 대한 보정이 필요하다고 하였다(Kechasov et al., 2021). 이와 같이 돈분액비에 많이 포함된 나트륨과 염소는 상추 수경재배에서 질산태 질소 함량을 낮추고, 건물물을 높여 저장성이 좋은 상추를 수확할 수 있는 방법이기도 하다(Markiewicz et al., 2023). 따라서 본 연구에서는 상추 수경재배시 유기성 돈분발효액비의 활용 가능성을 검토하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

본 시험은 강원특별자치도 철원군에 소재하고 있는 강원특별자치도농업기술원 과채류시험장의 연동형 비닐온실에서 상추 수경재배 시 돈분발효액비의 활용성을 검증하기 위하여 수행되었다.

2023년 4월 25일에 128구 플러그트레이에 원예용 상토를 충전 후 상추 종자를 1립씩 파종하여 35일간 육묘하였다.

시험품종은 이자벨(Ezabel, Enza Co.), 이자트릭스(Ezatrix, Enza Co.), 선풍포잡(Seonpungpochap, Kwonnong Co.)의 3품종이었다. 스티로폼베드(20 × 15 × 120 cm)에 코이어 배지(칩 : 더스트 = 5 : 5)를 충전 후, 점적호스(5 cm 간격)를 한 줄로 설치하였다. 정식 전 코이어 배지의 포습을 위하여 처리구마다 각각 돈분발효액비와 수경재배용 양액을 3일간 충분히 공급하였다. 정식은 5월 30일에 실시하였고, 재식간격은 20 cm, 배지 부피는 4 L/주이었다.

상추 수경재배시 양액의 종류는 돈분발효액비와 수경재배용 양액으로 처리하였다. 시험에 사용한 돈분발효액비는 철원군 공동자원화 시설(김화읍 소재)에서 생산된 것을 공급받아 사용하였고, 화학적 특성과 중금속 함량은 각각 Table 1과 Table 2와 같다. 수경재배양액은 $\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N} : \text{PO}_4\text{-P} : \text{K} : \text{Ca} : \text{Mg} = 8.0 : 1.2 : 3.6 : 5.0 : 3.0 : 1.5$ me/L로 농촌진흥청 엽채류 수경재배 양액 조성을 기준으로 하였다. 모든 처리의 급액 농도는 EC 1.5 dS/m로 조정하여 공급하였다. 1회 급액량은 80 – 100 mL/주 내외로 기상 및 생육단계에 맞추어 매일 3 – 6회를 타이머를 이용하여 급액하였다.

시험구는 완전임의배치 3반복이었으며, 생육조사는 구당 10개체씩 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부의 생체중, 건물중, 건물물 등이었다. 또한 엽록소, 무기물, 비타민 C, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 함량을 분석하였고, 돈분발효액비의 안전성을 확인하고자 중금속 함량을 분석하였다.

정식 후 7일 간격으로 급액과 배액 시료를 채취하여 4°C 냉장고에 보관하면서 분석하였다. 분석항목은 pH, EC, 이온이었으며, 이온 분석은 배양액을 여과한 후 Ion Chromatograph(940 Professional IC, Metrohm, Swiss)를 이용하여 양이온과 음이온을 측정하였다.

식물체 분석을 위하여 상추 지상부를 80°C에서 48시간 동안 건조한 후 분쇄하고 0.5 g을 황산으로 습식 분해하였다. 식물체 분해액은 증류수로 희석하여 여과한 후 인산은 Vanadate 법으로, 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg), 비소(As), 카드뮴(Cd), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu) 함량은 ICP-OES(Integra Dual, GBC, Australia)로 분석하였다. 전질소 함량은 원소분석기(Vario Max, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany)로 분석하였다(Lee et al., 2023; NIAS, 2000).

항산화물질 함량 분석은 비타민 C, 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 측정하였다. 비타민 C는 AOAC법(AOAC, 2010)에 따라 meta-phosphoric acid에 반응시켜 HPLC(Waters 2690, Waters, Milford, MA, USA)로 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 시료 내 폴리페놀성 화합물에 의하여 Folin-ciocalteu reagent가 환원되어 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리를 이용하여 측정하였다(Houghton & Soumyanth, 2006). 총 플라보노이드 함량은 Jia et al.(1999)의 방법을 참고하여 측정하였다. 또한 배양액 종류에 따른 상추의 ABTS radical에 대한 소거 활성은 Pellegrin et al.(1998)의 방법으로 측정하였다.

Table 1. Characteristics of chemical property of pig manure fermented liquid fertilizer

pH	EC (dS/m)	Cation (mg/L)				Anion (mg/L)			
		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ⁻ -P	SO ₄ ²⁻ -S	Cl ⁻
8.16	8.12	1,906	36.1	74.3	452	48.8	0.1	61.8	2,073

Table 2. Contents of heavy metal within pig manure fermented liquid fertilizer (unit: mg/kg)

Item	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
Analysis results	nd ¹⁾	nd	nd	nd	0.09	1.21	0.17	3.68
Acceptance criteria	< 5	< 0.5	< 0.2	< 15	< 30	< 50	< 5	< 130

¹⁾ nd; not-detected

돈분발효액비의 중금속 함량은 시료 원액 10 mL를 황산으로 습식 분해하였다. 분해액을 증류수로 희석하여 여과한 다음 ICP-OES(Integra Dual, GBC, Australia)로 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu)를 분석하였고, 수은분석기(DMA-80, Milestone, Italy)로 수은(Hg)을 분석하였다(NIAS, 2012).

기타 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 의거하여 실시하였으며, 통계처리는 SAS(ver. 9.4, SAS Co.) 프로그램을 이용하여 다중검정을 실시하였다(SAS, 2023).

결과 및 고찰

정식시 묘소질에서 이자벨 품종은 엽수는 5.13매/주이었고, 엽장과 엽폭은 각각 5.89 cm, 5.35 cm이었다. 생체중은 이자벨 품종이 1.31 g/주로 무거웠으나 건물중은 0.11 g/주로 이자트릭스와 선평포삽 품종보다 가벼워 건물률이 낮았다(Table 3).

급액 종류에 따른 정식 14일 후의 품종별 생육은 3품종 모두 돈분발효액비 처리보다 수경재배양액 처리에서 엽수, 엽장, 엽폭, 생체중 및 건물중이 양호하였다. 즉, 품종에 상관없이 초기부터 양액 종류에 따른 생육 차이가 육안으로 뚜렷하였다. SPAD의 경우 양액 종류 처리 간 차이보다 품종 간 차이가 더 컸다(Table 4).

정식 30일 후 생육과 수량을 보면(Table 5, Fig. 1), 엽수는 모든 품종에서 돈분발효액비 처리보다 수경재배양액 처

Table 3. Characteristics of seedling quality at planting time according to lettuce varieties

Cultivars	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Dry weight ratio
Ezabel	5.13	5.89	5.35	1.31	0.11	8.48
Ezatrix	6.47	6.19	3.31	1.16	0.13	11.19
Seonpungpochap	4.13	7.89	5.47	1.22	0.13	10.38
LSD _{0.01}	0.51	0.73	0.40	ns ¹⁾	ns	1.17

¹⁾ ns; non-significant

Table 4. Growth characteristics of lettuce varieties according to the type of nutrient solution (14 days after transplanting)

Nutrient solution	Cultivar	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD ¹⁾	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Dry weight ratio
PMLF ²⁾	Ezabel	11.9	8.8	10.4	17.5	18.1	0.93	5.14
	Ezatrix	16.5	9.9	8.0	38.6	14.8	0.93	6.28
	Seonpungpochap	9.2	11.9	12.1	19.4	20.9	1.09	5.22
NSHL ³⁾	Ezabel	13.4	10.8	12.7	20.7	31.6	1.41	4.46
	Ezatrix	18.4	11.9	11.1	37.7	28.3	1.47	5.19
	Seonpungpochap	9.9	15.3	15.6	18.0	37.5	1.74	4.64
Nutrient solution		** ⁴⁾	**	**	ns	**	**	**
Cultivar		**	**	**	**	**	**	**
Nutrient solution*Cultivar		ns	*	ns	*	ns	ns	ns

¹⁾ SPAD; relative chlorophyll content by SPAD-502 (Minolta, Japan)

²⁾ PMLF; pig manure fermented liquid fertilizer

³⁾ NSHL; nutrient solution for hydroponics of lettuce

⁴⁾ **, *, and ns; significant at 0.01, 0.05, and non-significant, respectively

리에서 많았다. 엽장과 엽폭도 같은 경향이였다. 생체중은 이자벨 품종에서 수경재배양액 처리가 돈분발효액비 처리보다 2.66배 무거웠고, 이자트릭스는 4.4배, 선풍포참은 3.06배 무거웠다. 건물중도 생체중과 같은 경향으로 수경재배양액 처리에서 무거웠다. 이와 같이 돈분발효액비 처리에서 수경재배양액 처리에 비해 수량이 낮았던 것은 돈분발효액비에 칼리 함량이 높고, 질소, 인산 함량이 낮아 양분의 부족과 불균형에 기인한 것으로 사료되었다(Ryoo, 2010). SPAD 값은 품종간 차이는 유의성이 있었으나 양액 종류 처리 간에는 차이가 없었다. 그러나 클로로필 함량은 배양액

Table 5. Quantity and quality of each lettuce variety according to the type of nutrient solution (29 days after transplanting)

Nutrient solution	Cultivar	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD ¹⁾	Chlorophyll content (mg/kg)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Dry weight ratio
PMLF ²⁾	Ezabel	23.1	12.7	15.3	20.7	3.55	110	5.5	5.07
	Ezatrix	35.8	12.9	12.3	40.6	4.57	85	5.4	6.39
	Seonpungpochap	18.0	14.8	16.6	19.2	4.44	115	6.7	5.82
NSHL ³⁾	Ezabel	32.4	17.1	20.4	21.5	2.30	293	11.4	3.87
	Ezatrix	51.5	18.6	17.6	36.4	1.93	374	15.2	4.06
	Seonpungpochap	24.7	22.1	22.0	17.7	2.29	353	15.8	4.46
Nutrient solution		** ⁴⁾	**	**	ns	**	**	**	**
Cultivar		**	**	**	**	ns	**	**	**
Nutrient solution*Cultivar		*	*	ns	ns	*	**	**	*

¹⁾, ²⁾, ³⁾ and ⁴⁾ see Table 4.

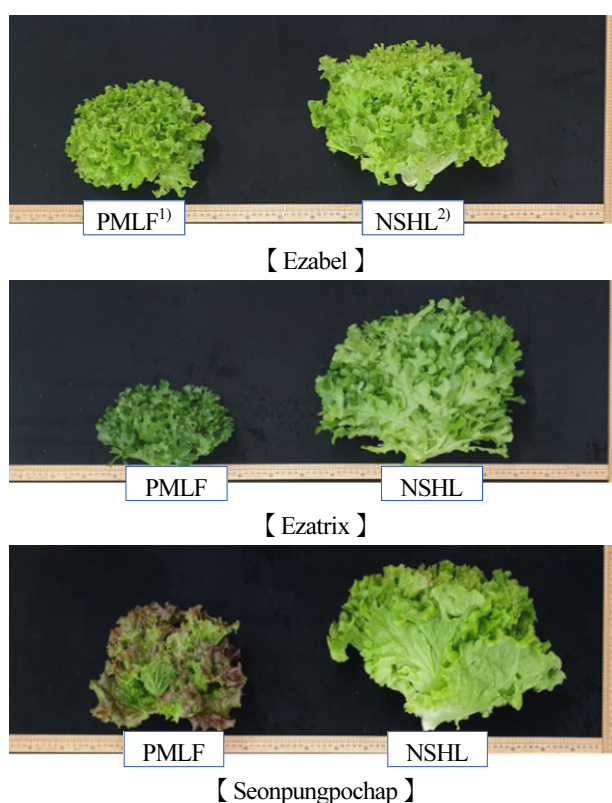


Fig. 1. Harvest quality by lettuce variety according to the treatment. ¹⁾ and ²⁾ see Table 4.

간에 유의성이 있었으나 품종간에는 차이가 없었다. SPAD 값과 클로로필 함량은 식물체 내에서 질소 상태를 나타내는 것으로 상관관계가 높다. 그러나 본 시험에서는 차이가 있는데, 이는 SPAD값은 광합성이 활발했던 외엽을 측정하고, 클로로필 함량은 상추 식물체 전체를 이용하여 분석하였기 때문인 것으로 판단되었다(Viacava et al., 2013).

돈분발효액비와 수경재배양액의 특성과 이온 함량은 Table 6과 같다. 급액조건을 EC 1.5 dS/m로 동일하게 하였으므로 EC는 차이가 없었다. pH는 돈분발효액비는 8.1로 높았고 수경재배양액 처리는 6.0으로 적정하였다. 돈분발효액비는 돈분발효액비의 이온 함량은 수경재배양액과 비교하여 칼슘, 마그네슘, 질산태 질소, 인, 황의 함량이 적었고, 나트륨, 칼륨, 암모니아태 질소, 염소 함량은 많았다. 특히 나트륨과 염소의 함량은 수경재배양액 처리에 비해 각각 8.9배, 27.2배 높았다.

돈분발효액비와 수경재배양액 처리의 배액을 분석한 결과, pH는 돈분발효액비에서는 7.4 내외로 유지되었고, 수경재배양액 처리에서는 정식 14일 후부터 증가하여 7.01까지 높아졌다. EC는 상추 생육량이 증가함에 따라 두 처리 모두 정식 14일 이후부터 급격하게 낮아졌다(Fig. 2). 배액에서의 Na^+ 와 Cl^- 이온의 함량은 당초 급액에서 함량이 높았던 돈분발효액비 처리에서 지속적으로 증가하였다. 즉, 상추의 뿌리가 각 이온에 대한 선택도 차이에 의한 선택적 흡수의 결과로 여겨졌다(Yamazaki, 1984). NO_3^- -N, PO_4^{2-} -P, Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ -N은 정식 14일 이후부터 배액에서의 이온 함량이 급격하게 낮아져 흡수율이 높아졌던 것으로 판단되었다. 특히 돈분발효액비의 NO_3^- -N, PO_4^{2-} -P, Ca^{2+} , NH_4^+ -N은 고갈되는 수준까지 낮아져 절대 시비량이 부족하였다(Fig. 3).

돈분발효액비 처리에서 상추 품종별 식물체 무기물 중 T-N, CaO, MgO, P_2O_5 의 함량이 수경재배양액 처리보다 낮았는데(Table 7), NO_3^- -N, Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{2-} 이온의 함량이 낮았던 Table 6의 경향과 같았다. 그러나 칼륨 이온은 돈분발효액비의 이온 함량이 수경재배양액보다 상대적으로 높았으나 식물체 내 K_2O 는 유의성이 없었다. 상추는 다른 채소 작물에 비해 인의 요구도가 크다(Cleaver and Greenwood, 1975). 식물체 분석 결과, 인산 함량이 돈분발효액비 처리구에서 수경재배양액 처리보다 현저히 낮아 상추 생육을 저해했던 주요 요인 중 하나라고 사료되었다.

급액 종류에 따른 상추 품종별 중금속 함량을 보면, 카드뮴, 니켈, 비소, 납은 모든 처리에서 검출되지 않았다(Table

Table 6. Chemical composition of nutrient solution used for hydroponic cultivation of lettuce

Nutrient solution	pH	EC (dS/m)	Cation (mg/L)					Anion (mg/L)			
			K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+ -N	Na^+	NO_3^- -N	PO_4^{2-} -P	SO_4^{2-} -S	Cl^-
PMLF ¹⁾	8.1	1.5	296	30.8	10.9	26.0	70.3	36.1	1.1	19.9	167.8
NSHL ²⁾	6.0	1.5	176	152.0	26.9	7.9	7.7	136.5	21.2	46.0	6.0

¹⁾ and ²⁾ see Table 4.

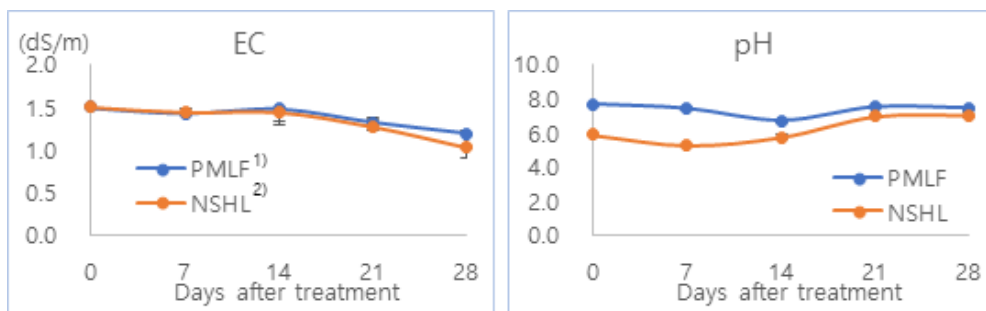


Fig. 2. Changes in EC and pH by treatment over the hydroponic lettuce cultivation period. ¹⁾ and ²⁾ see table 4. Vertical bar means standard deviation.

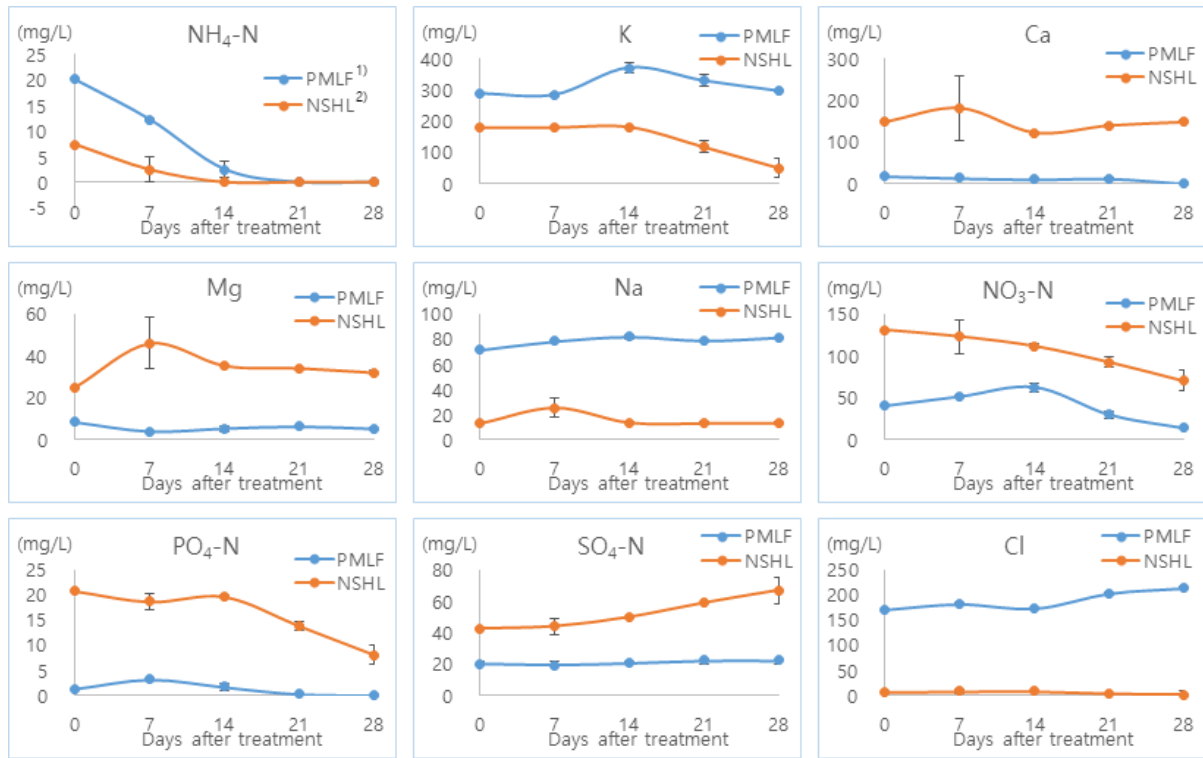


Fig. 3. Changes in ion concentration by treatment over the hydroponic lettuce cultivation period. ¹⁾ and ²⁾ see table 4. Vertical bar means standard deviation.

Table 7. The mineral content of inorganic components of lettuce according to the type of nutrient solution (unit: mg/kg)

Nutrient solution	Cultivar	T-N	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅
PMLF ¹⁾	Ezabel	4.24	0.71	11.1	0.34	0.42
	Ezatrix	3.96	0.68	10.1	0.35	0.40
	Seonpungpochap	3.89	0.76	10.5	0.30	0.40
NSHL ²⁾	Ezabel	5.67	2.28	10.1	0.66	1.60
	Ezatrix	5.18	2.01	10.1	0.63	1.39
	Seonpungpochap	5.25	2.36	10.0	0.68	1.50
Nutrient solution		** ³⁾	**	**	**	**
Cultivar		**	**	*	ns	**
Nutrient solution*Cultivar		ns	*	*	**	**

¹⁾, ²⁾, and ³⁾ see Table 4.

8). 구리는 이자벨 품종의 돈분발효액비 처리에서 수경재배용 배양액보다 함량이 높았고, 이자트릭스와 선풍포잡 품종도 같은 경향이였다. 아연도 돈분발효액비 처리구에서 수경재배양액 처리보다 2.45 – 3.08배 함량이 높았다. 이와 같이 돈분발효액비에서 재배한 상추에서 구리와 아연 함량이 높은 것은 돼지 사육 농가에서 구리, 아연 등 광물질이 포함된 돼지의 사료를 사용함으로써 돈분에 중금속이 포함되었기 때문이었던 것으로 사료되었으나, 포함된 중금속 함량은 모두 식품 허용 기준치보다 낮았다(Ahn et al., 2021).

급액 종류에 따른 상추 품종별 항산화성 물질의 함량은 Table 9와 같다. Ascorbic acid 함량은 양액 종류와 품종 모두 처리 간 유의성이 없었다. 그러나 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 3품종 모두 돈분발효액비 처리구에서 높

았다. 또한 품종에 따라서도 차이가 있어 이자트릭스 품종에서 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량이 가장 높았으며, 선풍포잡, 이자벨 품종 순이었다. 이는 상추 품종에 따라 총 페놀 함량에 차이가 있었다는 기존의 결과와 일치하였다 (Liu et al., 2007). 또한 ABTS의 활성산소 소거 능력은 상추 품종별로 차이가 확인하였으며, 수경재배양액 처리보다 돈분발효액비 처리에서 더 높았다. Chang and Kim(2016)은 유기재배한 깻잎, 청상추, 브로콜리의 ABTS 활성산소 소거 능력이 관행재배한 시료보다 우수하였다고 보고하였던 결과와 같은 경향이였다.

이상의 시험 결과, 돈분발효액비를 상추의 수경재배용 양액으로 사용하는 것은 상추의 중금속 함량이 문제가 없었으며, 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 등의 phytochemical 함량이 높고 ABTS의 활성산소 소거능도 높아 항산화능이 우수한 고품질 상추 생산의 가능성을 확인하였다. 그러나 돈분발효액비는 pH가 8.1로 높고 칼륨 함량은 높지만, 질소와 인산 함량이 극히 낮은 등 양분 간 불균형이 매우 심하였고, 수경재배양액 처리에 비해 상추의 생육과 수량이 매우 불량하였다. 따라서 생산성을 높일 수 있도록 부족한 질소와 인산을 추가 공급하는 등 양분균형을 위한 연구와 배지에 집적되는 나트륨과 염소에 의한 상추 생육저해에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 판단되었다.

Table 8. Content of heavy metal components of lettuce according to the type of nutrient solution (unit: mg/kg)

Nutrient solution	Cultivar	Cd	Ni	As	Pb	Cu	Zn
PMLF ¹⁾	Ezabel	nd ²⁾	nd	nd	nd	3.55	152
	Ezatrix	nd	nd	nd	nd	4.57	182
	Seonpungpochap	nd	nd	nd	nd	4.44	183
NSHL ³⁾	Ezabel	nd	nd	nd	nd	2.30	65
	Ezatrix	nd	nd	nd	nd	1.93	59
	Seonpungpochap	nd	nd	nd	nd	2.29	65
Nutrient solution						*** ⁴⁾	**
Cultivar						ns	**
Nutrient solution*Cultivar						*	**

^{1), 3), and 4)} see Table 4.

²⁾ nd; not-detected

Table 9. Content of antioxidants and ABTS radical scavenging activity of lettuce according to the type of nutrient solution

Nutrient solution	Cultivar	Ascorbic acid (mg/100 g)	Total polyphenols (mg/g)	Total flavonoids (mg/g)	ABTS radical scavenging activity (%)
PMLF ¹⁾	Ezabel	44.3	28.7	34.0	37.7
	Ezatrix	48.9	55.3	66.2	65.7
	Seonpungpochap	43.4	45.4	51.0	53.1
NSHL ²⁾	Ezabel	31.2	16.4	19.8	22.1
	Ezatrix	40.0	39.5	18.6	47.5
	Seonpungpochap	49.5	28.7	34.0	35.2
Nutrient solution		ns ³⁾	**	**	**
Cultivar		ns	**	**	**
Nutrient solution*Cultivar		ns	ns	ns	ns

^{1), 2), and 3)} see Table 4.

요약

상추 수경재배를 위한 돈분발효액비의 적용 가능성을 검정한 결과, 상추의 생육과 수량은 돈분발효액비가 수경용 양액에 비해 매우 낮았다. 돈분발효액비의 이온 함량은 수경재배양액 처리에 비해 질산태 질소, 인, 칼슘, 마그네슘, 황은 적었고, 암모니아태 질소, 칼륨, 나트륨, 염소는 많았다. 특히 나트륨과 염소의 함량은 수경재배양액 처리보다 각각 8.9배, 27.2배가 많았다. 배액의 이온 함량은 정식 14일 이후부터 급격히 낮아졌다. 특히 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{2-}\text{-P}$, Ca^{2+} 은 고갈되는 수준까지 낮아져 양분 공급이 부족하였다. 따라서 돈분발효액비 처리에서 수량이 낮았던 것은 특정 양분 부족과 불균형이 원인으로 사료되었다. 중금속 함량은 카드뮴, 니켈, 비소, 납은 모든 처리에서 검출되지 않았으며 구리와 아연의 검출량은 식품 허용 기준치보다 낮았다. 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 함량과 ABTS 활성산소 소거 능력은 돈분발효액비 처리에서 높았다. 이와 같은 결과를 통해 유기성 돈분발효액비로 상추 수경재배에 활용할 경우 항산화능력이 높은 상추 생산 가능성을 확인하였으며, 양분 불균형에 따른 상추 생육저해와 낮은 수량 문제도 있었다. 부족한 양분을 보완하여 공급하는 방안과 더불어 배지 내 나트륨과 염소 집적이 상추 생육에 미치는 영향 등 보완 연구가 지속적으로 추진되어야 한다고 판단되었다.

사사

본 결과물은 농림축산식품부·농촌진흥청·과학기술정보통신부(전문기관 농림식품기술기획평가원·(재)스마트팜 연구개발사업단)에서 시행한 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업(421009-04)의 지원을 받아 연구되었음.

인용문헌(References)

- Ahn, T., Kim, D., Lee, H., Shin, H., Chung, E. (2021) A study on the nutrient composition and heavy metal contents in livestock manure compost liquefied fertilizer. *Journal Kor Soc Water Environ* 31:306-314. (in Korean with English abstract)
- AOAC (2010) Official Method of Analysis of AOAC (18th ed). Method 998.12, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Bang, S. B., Lim, S. H., Ham, B. J., Jeong, B. C., Lee, M. K. (2000) Study on the fertigation of fruit vegetables using TAO liquid nutrient. pp.167-173. In: Gangwon Agricultural Research and Extension Services. Experimental Research Report of 2000 year. Chuncheon, Korea. (in Korean with English abstract)
- Chang, M. S., Kim, G. H. (2016) Quality characteristics and antioxidant activities of the organic leaf and stem vegetables. *J East Asian Soc Diet Life* 26:201-206. (in Korean with English abstract)
- Cleaver, T. S., Greenwood, D. J. (1975) Ready reckoner to predict best fertilizer levels for vegetables. *Grower* 83:1269-1271.
- Houghton, P. J., Soumyanth, A., (2006) α -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *J Ethnopharmacol* 107:449-455.
- Jia, Z., Tang, M., Wu, J. (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effect on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559.
- Kechasov, D., Verheul, M. J., Paponov, M., Panosyan, A., Paponov, I. A. (2021) Organic waste-based fertilizer in hydroponics increases tomato fruit size but reduces fruit quality. *Front Plant Sci* 12:1-20.

- Lau, V., Mattson, N. (2021) Effects of hydrogen peroxide on organically fertilized hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). Horticulturae 7:106.
- Lee, J. H., Go, W. R., Kunhikrishnan, A., Yoo, J. H., Kim, J. Y., Kim, W. I. (2011) Chemical composition and heavy metal contents in commercial liquid pig manures. Kor J Soil Sci Fert 44:1085-1088.
- Lee, Y. J., Lee, C. W., Park, H. J., Song, Y. S. (2023) Effect of phosphorus fertigation on concentration of soil available phosphate and growth of green onions (*Allium fistulosum* L.) in open field. Korean J Soil Sci Fert 56:291-299. (in Korean with English abstract)
- Lim, T. J., Lee, I. B., Kang, S. B., Park, J. M., Hong, S. D. (2010) Effects of fertigation with pig slurry on growth and yield of red pepper. Kor J Environ Agri 29:227-231. (in Korean with English abstract)
- Liu, X., Ardo, S., Bunning, M., Parry, J., Zhou, K., Stushnoff, C., Stoniker, F., Yu, L., Kendall, P. (2007) Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. LWT 40:552-557.
- Markiewicz, B., Bosiacki, M., Rogalski, J., Misiak, K., Mieloszyk, E., Mieloch, M. (2023) Chemical composition, nitrate content, and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown under different concentrations of NaCl. J Elem 28:1237-1252.
- NIAS (2000) Soil and plant analysis method. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (in Korean)
- NIAS (2012) Quality control and utilization of animal manure and liquid fertilizer. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (in Korean)
- Pellegrin, N., Re, R., Yang, M., Rice-Evans, C. (1998) Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazolone-6-sulfonic acid) radical cation decolorization assay. Method Enzymol 299:379-389.
- Phibunwatthanawong, T., Riddech, N. (2019) Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. Int J Recyc Org Waste Agric 8:369-380.
- RDA (2012) Research and analysis standards for agricultural science and technology (5th ed). Rural Development Administration, Suwon, Korea. (in Korean)
- Ryoo, J. W. (2010) Effects of concentrated pig slurry separated from membrane filter and several environment-friendly agro-materials mixtures on the growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponics. J Lives Hous & Env 16:51-60. (in Korean with English abstract)
- SAS (2023) SAS/STAT 15.3 User's guide. SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA.
- Viacava, G. E., Gonzalez-aguilar, G., Roura, S. I. (2013) Determination of phytochemicals and antioxidant activity in butterhead lettuce related to leaf age and position. J Food Biochemistry 38:352-362.
- Yamazaki, K. (1984) Nutrient solution culture (2nd ed). Pak-kyo Co., Tokyo. (In Japanese)
- Zandvakili, O. R., Barker, A. V., Hashemi, M., Etemadi, F., Autio, W. R. (2019) Comparisons of commercial organic and chemical fertilizer solutions on growth and composition of lettuce. J Plant Nutrition 42:990-1000.