

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
도시농업 활성화 및 자원순환 기술 개발		도시농업	'19~'22	농업기술원 원에연구과	김대균
도심지 낙엽의 재활용기술 개발		도시농업	'19~'21	농업기술원 원에연구과	김대균
색인용어	낙엽, 재활용, 퇴비화, 미생물 균주, 미생물제				

ABSTRACT

We tried to develop a recycling technology for fallen leaves that are generated every year and require a lot of cost for treatment. In particular, it was attempted to promote the utilization of fallen leaves as a resource by developing technology for composting, which is expected to be practically the most useful, and verifying the effectiveness of leaf compost.

In order to isolate fallen leaves composting promoting strains, 79 points were collected from 3 provinces, and 4 strains, including *Bacillus subtilis* GMP4-4(hereinafter GMP4-4), which had the best cellulose decomposition ability, were selected. In particular, GMP4-4 had the best cellulose decomposition ability, good spore retention ability, which is important for the development of microbial agents, and also had other functions and antibacterial properties against plant pathogens.

For the development of microbial agents, the effect of composting leaves of the selection strain GMP4-4 was confirmed, and then the carrier was selected. In the carrier selection test, rice bran showed higher spore density than other materials at low temperature (4°C), room temperature (25~26°C), and high temperature (40°C).

In the nitrogen source selection test, the composts prepared with Formulation 1 (amino acid nitrogen source) and Formulation 3 (nitrogen source urea) met the compost standard content, and Formulation 1 was finally selected as the most realistically usable formulation.

When preparing the microbial agents of Formulation 1, it was effective to promote the composting of leaves by mixing the strain cultured rice bran and amino acids in a ratio of 5:5 to prepare the microbial agents.

Most of the components of fallen leaves, such as T-N, P₂O₅, and K₂O, were generally low in comparison with potato by-products, corn by-products, and soybean by-products.

The trace components of fallen leaves did not show any specificity compared to the

by-products of general crops, and the heavy metal components of the fallen leaves were also not specific compared to those of general crops.

The process of manufacturing compost using microbial agents was organized with photos and necessary information for each step, and a manual on how to use microbial agents was created.

After composting of fallen leaves, OM/N was found to be 41.8 for microbial agents 1 (amino acid nitrogen source) and 37.6 for microbial agents 2 (urea nitrogen source), both of which were suitable for the compost standard content of fertilized organic fertilizer.

In a field test conducted in Suwon and Yongin 2 public vegetable gardens, the OM/N of microbial agents 1 after composting of fallen leaves was 43.9 in Suwon and 49.7 in Yongin. However, it was judged that composting was not performed well because the compost manufactured in Yongin was higher than the compost standard, the content of which should be less than OM/N 45.

When calculated through the application amount of fallen leaves compost and the regression equation, the appropriate application amount of fallen leaves compost during spring cultivation for open field lettuce was 2.668 tons/10a (44 kg based on 17 m²), and the appropriate application amount of fallen leaves compost for outdoor cabbage cultivation in autumn was 4.377 tons/10a (73kg based on 17m²).

Key words : Fallen leaves, Recycling, Composting, Microbial strains, Microbial agents

1. 연구목표

전국의 가로수는 600만 그루로 매년 1,440만톤의 낙엽이 생산되며 낙엽의 50% 이상이 소각되거나 매립되고 있으며, 이를 재활용 하고자 다양한 시도가 있어 왔다(농산촌활성화연구소, 2020)

국외의 경우 미국은 낙엽의 재활용 의무화 조례를 제정하였고, 일본은 유기질 퇴비생산에 주민 참여를 독려하고 있으며, 일반 쓰레기와 분리 배출 및 수거를 실시하고 있고, 독일은 유기농에 활용하는 등(이 등, 2012) 다양한 활용방법을 찾고 있다.

국내의 경우 낙엽은 대부분 소각 또는 매립되고 있으며, 대부분의 지자체는 자체적으로 낙엽을 수집 및 낙엽 자체로 공급하는 방식으로 재활용하고 있으며, 경기도 성남시와 같이 극소수의 지자체만이 큰 규모로 퇴비화 사업을 추진중에 있으나 이런 퇴비화 사업도 퇴비장 주변의 민원 문제, 낙엽의 수거 이동 문제, 낙엽내 쓰레기 문제 등 다양한 문제를 가지고 있다.

우리나라에서 낙엽은 기타폐기물로 지정되어 수거 후 매립 및 소각되어져 왔으며, 처리과정중에 2차 오염이 일어나면서 자연순환방안에 대한 관심이 증대되고 있다(이 등, 2012). 특히 최근

에는 지자체, 정부기관, 시민단체 등에서도 미세먼지 저감과 소각 비용 절약을 위해서 낙엽을 태우지 말고 재활용하는 방안을 조속히 마련해야 한다는 사회적 인식이 확대되고 있다.

권보람(2019)은 낙엽은 임상에 유입되고 분해자에 의해 무기물로 다시 생태계에 환원되기 때문에 낙엽의 생산과 축적 및 분해는 물질순환의 측면에서 중요한 의미를 갖고 있다고 하였는데, 낙엽의 분해를 촉진하여 쉽게 퇴비화한 후 경작지에 활용할 수 있는 기술개발이 낙엽 재활용 기술의 중요한 기술로 판단되었다. 이 등(2019)은 유용 미생물 제제를 이용하여 유채박을 부숙시켜 비료 효과를 증진시키는 방법을 구명하고 작물에 처리 후 시용효과를 확인하였고, 김 등(2018)은 북온대 지역적용 텃밭부산물을 활용한 순환형 토양관리 기술 개발에서 토끼 분변과 옥수수대를 이용한 퇴비화 기술개발과 함께 작물에 처리 후 시용효과를 확인하는 등 버려지는 자원을 이용한 퇴비기술개발과 제조된 퇴비를 이용한 시용효과 구명 연구는 지속적으로 진행되고 있다.

본 시험에서는 매년 발생되고 처리에 많은 비용이 소요되는 낙엽에 대한 재활용 기술을 개발하고자 하였으며, 특히 현실적으로 가장 활용도가 좋을 것으로 기대되는 퇴비화를 위한 기술 개발 및 낙엽퇴비의 효과검증을 통하여 낙엽의 자원으로써 활용을 촉진하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물 선발(2019년)

낙엽 퇴비화 촉진에 효과가 좋은 미생물 균주(바실러스 서브틸리스 대상)를 분리하기 위한 낙엽퇴비 시료 수집은 3개도의 야산을 대상으로 실시하였다. 충청남도 공주(계룡산 일대) 및 청양(칠갑산 일대) 21점, 강원도 인제, 평창 야산 31점, 경상북도 청송(주왕산 일대), 봉화(청량산 일대) 27점의 총 79점을 수집하였다. 시료 수집 방법은 나무 밑의 낙엽퇴비의 표면 10cm를 걷어내고 그 아래의 잘 부식된 낙엽퇴비를 수거하여 냉장보관 후 시료로 사용하였다.

수집한 시료에서 미생물 균주를 분리한 후, 그 미생물 균주에 대해 낙엽의 주성분인 셀룰로오스의 분해능력과 양분이용성, 항균이용성 등을 조사하였다. CMC배지(셀룰로오스가 영양원으로 들어있는 배지)내 생육직경을 조사하여 셀룰로오스 분해능력을 조사하였고, M2배지(미생물 포자형성 조사를 위한 혼합성 액체배지) 테스트를 통하여 포자형성과 4개월 뒤 포자수를 계산하였다.

선발균주의 기능성은 CAS(철이용성), LT(낙엽배지), ACC(스트레스내성), NA(질소 고정), SM(단백질 분해) 능력에 대하여 조사하였으며, 항균력 조사는 미생물 균주를 PDA배지에 식물 병원균(시들음병, 잿빛곰팡이병, 브라운패치병, 탄저병)과 대치 배양하여 48시간 경과 후 병원균 증식을 억제 한 저지정도를 조사하였다.

<시험 2> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 개발(2020년)

가. 선발균주의 낙엽 퇴비화 효과 검정

선발균주가 낙엽 퇴비화에 효과가 있을 것인지에 대한 효과 검정을 구명하기 위해선발균주가 들어 있는 얇은 배양액과 선발균주가 들어있는 배양액을 대상으로 낙엽 무게의 5%, 10% 처리하고 60일 경과 후 OM, OM/N 등을 조사하여 퇴비화 정도를 계산하였다.

나. 선발균주 배양을 위한 담체 선발 시험

미생물제를 제조하기 위해서 필요한 미생물 담체(미생물의 서식을 위해 사용되는 서식처) 선발 시험을 수행하였다. 시험 담체 종류는 쌀겨, 바이오차, 폐화석, 제올라이트, 펄라이트로 하였으며, 배양균주 330ml에 각각의 담체 시료 1kg(펄라이트는 1L)를 혼합하여 4℃, 상온, 40℃에서 보관 후 60일 경과 후 포자수를 계산하였다.

선발된 일반 담체와 선발된 균주 배양 담체의 퇴비화 효과 검정은 담체 준비 후 각각 낙엽 무게의 5%, 10% 처리하고 60일 경과 후 퇴비화 정도를 조사하였다.

선발균주와 선발 담체를 이용하고 이와 함께 미생물제에 필요한 질소원을 구명하고자 질소원 선발시험을 수행하였다. 질소원은 어박, 아미노산, 요소를 이용하였으며, 혼합 비율은 N 성분함량 기준 5%로 하여 혼합하였다. 이와 함께 미생물제에 일반적으로 사용되는 당밀과 제형화와 인 성분 추가를 위해 광물질(장석 분말)을 포함하여 반죽 후 2mm 관을 통과시켜 37가지의 펠렛 제형의 미생물제를 제조하였다. 미생물제 제조시 사용되는 시험재료와 퇴비화 시험에 사용된 낙엽의 이화학적성은 표 1과 같다.

미생물제 조성시 질소원은 미생물제 내 질소원별 N 성분함량 기준 5%로 하였으며, 이때 제형 1은 쌀겨 30g, 균주 배양액 10g, 광물질 30g, 아미노산 36g, 제형 2는 쌀겨 30g, 균주 배양액 10g, 광물질 10g, 어박 69g, 제형 3은 쌀겨 30g, 균주 배양액 10g, 광물질 10g, 요소 17.5g을 혼합하여 제조하였다. 이 37가지 제형의 미생물제의 퇴비화 효과와 특이성을 조사한 후, 가장 산업화하기 쉽고 친환경적이어서 다양하게 활용하기 좋은 제형의 미생물제를 선발하였다.

이 선발된 제형의 미생물제에 대하여 균주배양 쌀겨와 질소원 혼합비율을 구명하고자 하였다. 균주배양 쌀겨와 질소원을 8:2, 5:5로 혼합하여 미생물제를 제조한 후 낙엽에 처리하고 60일 후 퇴비화 정도를 조사하였다.

표 1. 시험재료의 이화학적 특성

시험재료	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	NaCl (%)	OM (%)	OM/N	수분 (%)
낙엽	0.67	0.46	0.78	4.3	0.4	0.03	0.06	87.33	136.2	3.59
쌀겨	1.88	4.46	2.06	0.08	1.35	0.03	0.06	74.20	38.56	15.66
아미노산	16.58	0.06	0.05	0.18	0.06	1.26	2.38	91.78	5.15	4.26
어박	5.79	2.91	0.59	2.63	0.44	2.44	4.59	58.54	9.83	21.3
요소	46.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
광물질	이산화규소(SiO ₂) 64.5%, 산화칼륨(K ₂ O) 11.2%, 산화알루미늄(Al ₂ O ₃) 18.7%, 인산(P ₂ O ₅) 0.34%									

<시험 3> 낙엽의 성분 특성 및 낙엽내 쓰레기 실태 조사(2019 ~ 2020년)

가. 도심지 낙엽의 일반, 미량 및 중금속 성분

도심지 낙엽의 성분 분석을 위한 시료로 도심지 낙엽을 2019년 동계에 40점(수원, 화성 일대 도로변 20점, 아파트단지 10점, 공원 10점), 2020년 동계에 40점(수원, 화성 일대 도로변 20점, 아파트단지 10점, 공원 10점)을 수집하여 일반 성분과 중금속 성분을 분석하였다.

나. 낙엽 시료내 쓰레기 실태 조사

도심지 낙엽에 대한 낙엽 시료내 쓰레기 실태조사 시료는 2019년 동계에 18점(수원 화성 일대 도로변 8점, 아파트단지 5점, 공원 5점), 2020년 동계에 29점(도로변 15점, 아파트단지 7점, 공원 7점)을 수집하여 쓰레기량을 조사하였다.

낙엽의 성분 분석은 경기도농업기술원 농업환경 실험 분석법(경기도원, 2017)에 준하였다. 일반 성분중 질소는 Kjeldahl법, 유기물은 회화법, 인산은 Vanadate법, K₂O, CaO, MgO 등의 양이온은 습식분해법을 통하여 유도결합플라즈마 발광분광분석기(optima 8300, PerkinElmer)로 정량하였다. 미량 및 중금속 성분은 습식분해법을 통하여 유도결합플라즈마 발광분광분석기(iCAP PRO XP ICP-OES, thermo fisher scientific)로 정량하였으며, 중금속 중 수은은 수은분석기(Hydra II, Teledyne Leeman Labs)를 통하여 정량하였다.

<시험 4> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 활용법 및 시용효과 구명(2021년)

<시험 2>에서 제조된 낙엽 부숙촉진 미생물제의 활용법을 구명하고자 실제 도시텃밭 등에서 활용할 수 있는 규모(건조낙엽 100kg)로 낙엽 퇴비화 효과 검정 시험을 원내 1개소와 현지 실증 시험 2개소(수원, 용인 공영텃밭)에서 수행하였다.

원내에서는 미생물제 1(아미노산 질소원), 미생물제 2(요소 질소원)를 낙엽 시료에 처리하였고, 수원, 용인 공영텃밭에서는 화학적인 재료가 들어간 미생물제 2는 제외하고 미생물제 1을 처리하였다. 원내와 수원은 노지 조건이었으며, 용인은 콘크리트 바닥과 슬레이트 지붕이 있는 퇴

비장 조건에서 시험을 수행하였다.

미생물제 처리과정은 퇴비화에 적합한 수분인 65% 내외로 먼저 조절하였으며, 미생물제를 건조 낙엽 시료 기준 무게비 5%로 처리하였다. 온도상승을 위해 비닐로 피복하고 통기를 위해 구멍을 뚫어주었고, 20일에 한번씩 비닐을 벗겨 환적을 하였으며, 80일까지 시험하며 경시적 변화를 조사하였다.

개발 미생물제를 이용하여 제조된 낙엽퇴비의 작물재배 효과 검증을 위하여 시험 작물로 상추(봄 재배)와 배추(가을 재배)를 재배하며 시험하였으며, 재배방법은 노지 재배 조건으로 하였고, 처리량은 표준재배법 질소량과 동일 해당량을 시용하였다. 상추는 정식 4월 12일, 이후 60일간 재배, 배추는 정식 8월 25일, 이후 60일간 재배하였다. 작물의 생육 특성, 수량 등을 조사하였으며, 시험처리 시용량과 수량을 회귀식을 통하여 상추와 배추 재배시 3요소(화학비료)와 동일한 수량을 구명하였다. 시험 낙엽퇴비의 이화학적 성분은 표 2, 시험전 토양의 이화학성은 표 3과 같다.

표 2. 시험 낙엽퇴비의 이화학적 성분

시험재료	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	OM (%)	OM/N	수분 (%)
건물	1.28	0.37	0.88	3.56	0.55	55.8	43.6	-
현물	0.81	0.23	0.56	2.25	0.35	35.1	43.3	36.7

표 3. 시험 전 토양의 이화학성

시험작물	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations(cmol/kg)		
				K	Ca	Mg
상추	7.4	25	719	1.23	7.0	1.9
배추	7.1	25	705	1.22	6.9	1.4

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물 선발(2019년)

3개도 야산에서 수집한 낙엽퇴비 79점에서 분리한 미생물 균주를 대상으로 셀룰로오스의 분해능력과 양분이용성, 항균이용성 등의 기능성을 조사하여 상위 4종의 바실러스 서브틸리스 균주를 선발하였으며, 이에 대한 결과는 표 4, 표 5와 같다. 상위 4종의 균주 중에서 특히 바실러스 서브틸리스 GMP4-4(이하 GMP4-4)는 CMC 배지내 생육도 가장 좋아 셀룰로오스 분해 능력이 가장 좋다고 판단되었으며, 4개월 뒤 포자수도 가장 많았다. 또한 철이 들어있는 배지(철 이용성)와 낙엽을 갈아 넣은 배지(낙엽 배지)에서도 생육이 다른 균주보다 좋았다.

표 4. 선발균주의 셀룰로오스 분해능력 검정 및 포자 형성능

균주명	CMC 배지내 생육직경 [↓] (mm)	M2테스트 [↓] (포자 형성)	4개월 뒤 포자수
GMP4-4	38	○	5.2×10^9
BHM7-4	36	○	4.1×10^9
YYM1-4	34	○	3.4×10^9
BHM12-4	36	○	3.9×10^9
대조	26	○	4.8×10^9

↓ CMC 배지 : 셀룰로오스가 영양원으로 들어있는 배지로서 이 배지에서 잘자라는 균주는 셀룰로오스 분해능력이 좋다고 평가됨

↓ 포자형성 : 포자형성이 가능한 균주여야 미생물제로 활용 가능함

표 5. 선발균주의 기타 기능성

균주명	CAS(철이용성) (mm)	LT(낙엽배지) (mm)	ACC (스트레스내성)	NA (질소고정)	SM (단백질분해)
GMP4-4	26.6	17.1	++	++	++
BHM7-4	17.5	19.4	++	++	++
YYM1-4	9.5	17.8	++	++	++
BHM12-4	25.6	12.1	++	++	++
대조	14.9	11.4	+	+	+

4종 균주의 식물 병원균(시들음병, 잿빛곰팡이병, 브라운패치병, 탄저병)에 대한 항균력은 4종 균주가 모두 대조 균주보다 좋았으나, 특히 GMP4-4가 다른 선발균주보다도 병원균에 대한 항균력이 비슷하거나 더 높았다.

표 6. 선발균주의 항균력 조사

균주명	<i>F.oxysporum</i> (시들음병)	<i>R.solani</i> (브라운패치병)	<i>B.cinerea</i> (잿빛곰팡이병)	<i>C.gloeosporioides</i> (탄저병)
GMP4-4	+++	+++	+++	+++
BHM7-4	+++	+++	++	+++
YYM1-4	+++	+++	++	+++
BHM12-4	+++	+++	++	+++
대조	++	++	++	++

4종의 선발균주 중 특히 GMP4-4는 셀룰로오스 분해 능력이 가장 좋았으며, 미생물제 개발에 중요한 포자 유지능력도 좋았다. 기타 기능성과 식물 병원균에 대한 항균력도 좋아 미생물제 개발을 위한 균주로 선발하였으며, 균주명 바실러스 서브틸리스 GMP4-4라는 이름으로 특허출원을 하였다.

<시험 2> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 개발(2020년)

가. 선발균주(GMP4-4)의 낙엽 퇴비화 효과 검정

선발균주가 낙엽 퇴비화에 효과가 있을 지에 대한 시험을 수행하였다. 일반 배양액과 선발균주가 배양된 배양액을 낙엽에 처리 후(낙엽 무게의 5%, 10%) 60일 경과 후 퇴비화 정도를 조사한 결과는 표 7과 같다.

퇴비 부숙도 측정방법은 콤팩(CoMMe-100), 솔비타(Solvita) 등의 기계적 방법이 있는데, 이는 미부숙 퇴비에서 나오는 암모니아와 이산화탄소를 기계적으로 측정하는 것이다(경기도농업기술원, 2017). 낙엽 퇴비는 암모니아와 이산화탄소가 기계적으로 측정할 수 없는 수준이어서 부산물비료의 공정규격의 부숙 유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량(농촌진흥청, 2021)인 유기물 30% 이상, OM/N 45 이하를 조사함으로써 부숙도 확인을 대신하였다. 일반 배양액과 선발균주 배양액을 비교했을 경우 표 7에서와 같이 선발균주 배양액 처리에서 OM이 낮아져서 선발균주인 GMP4-4가 미생물제 개발을 위해 필요한 균주로 판단되었다.

표 7. 일반 배양액과 선발균주(GMP4-4) 배양액에 의한 퇴비화 효과

처리내용	T-N(%)	OM(%)	OM/N
1. 무처리	0.81	82.1	98.9
2. 일반 배양액 (5% 처리)	0.90	75.8	84.2
3. 일반 배양액 (10% 처리)	1.02	71.8	70.4
4. 선발균주 배양액 (5% 처리)	1.03	72.8	70.7
5. 선발균주 배양액 (10% 처리)	1.17	68.4	58.5

나. 선발균주 배양을 위한 담체 선발 시험

미생물제를 제조하기 위한 미생물 담체 선발을 위한 담체 및 저장온도별 균주의 포자수를 조사한 결과는 표 8과 같다. 쌀겨는 4℃, 상온, 40℃ 모두에서 다른 담체 종류에 비하여 포자수가 가장 많아 가장 적절한 담체로 선발하였다. 선발균주가 배양된 선발 담체(쌀겨) 처리시 낙엽 퇴비화 효과는 표 9와 같이 일반 쌀겨 처리보다 선발균주가 배양된 쌀겨를 처리한 낙엽에서 퇴비화가 더 촉진되어 이는 미생물제 개발을 위한 기초자료로 활용하였다.

표 8 담체 및 저장온도별 균주 밀도 조사

저장온도	담체 종류 및 포자수				
	쌀겨	바이오차	패화석	제올라이트	펄라이트
4℃	12×10 ⁶	1×10 ⁶	6×10 ⁶	11×10 ⁶	9×10 ⁶
상온	10×10 ⁶	7×10 ⁶	1×10 ⁶	12×10 ⁶	7×10 ⁶
40℃	18×10 ⁶	3×10 ⁶	1×10 ⁶	0×10 ⁶	1×10 ⁶

표 9. 선발균주(GMP4-4)가 배양된 담체(쌀겨)의 낙엽 퇴비화 효과 검정

처리내용	T-N(%)	OM(%)	OM/N(%)
1. 무처리	0.83	81.5	98.2
2. 일반쌀겨 (5% 처리)	0.93	75.0	80.6
3. 일반쌀겨 (10% 처리)	1.15	65.3	56.8
4. 선발균주 배양쌀겨 (5% 처리)	1.13	73.9	65.4
5. 선발균주 배양쌀겨 (10% 처리)	1.35	64.5	47.8

선발균주와 선발 담체를 이용하고 이와 함께 미생물제 제조에 중요한 재료인 질소원을 구명하고자, 시험 질소원별 3가지 제형의 미생물제를 제조(그림 1)하였으며, 이 3가지 제형의 미생물제를 낙엽에 처리 후 퇴비화 효과를 검정한 결과는 표 10과 같다. 제형 2(질소원 어박)는 OM/N이 77.4로써 부산물비료의 공정규격의 부숙유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량 이상으로 적합하지 않았으며, 또한 제조 후 건조과정에서 냄새가 심하고 곰팡이가 발생하여 적합한 제형에서 제외되었다.

제형 1(질소원 아미노산)과 제형 3(질소원 요소)을 이용하여 제조된 퇴비는 모두 퇴비기준 규격 함량에는 적합하였다. 제형 3은 제조가 쉬워 일반 농업현장이나 대규모의 퇴비제조 공장 등에서는 활용될 수 있다고 판단되었으나, 현재 국내에서는 낙엽의 대규모 퇴비화 제조 현장의 부족 및 운영의 어려운 점, 질소원인 요소는 화학적인 재료로서 최근의 도시농업 공영텃밭 등에서는 사용할 수 없는 단점이 있다. 반면, 아미노산이 질소원으로 들어있는 제형 1은 도시농업 텃밭, 일반 농가 등에서 다양하게 활용될 수 있고, 유기농업 현장에서도 활용될 수 있어 가장 적당한 제형으로 판단되어 다음 단계 연구를 진행하였다.



그림 1. 질소원 별 미생물제의 형태

표 10. 질소원별 미생물제의 낙엽 퇴비화 효과 검정

처리내용	T-N(%)	OM(%)	OM/N(%)	비고
1. 무처리	0.80	82.3	103.3	
2. 제형 1(질소원 아미노산)	1.34	58.1	43.5	천연재료
3. 제형 2(질소원 어박)	0.95	73.6	77.4	냄새, 곰팡이
4. 제형 3(질소원 요소)	1.46	54.5	37.3	화학재료포함

제형 1의 미생물제에 대하여 균주 배양 쌀겨와 질소원(아미노산) 혼합비율을 구명하고자 하였다. 균주 배양 쌀겨와 아미노산을 8:2, 5:5로 혼합하여 미생물제를 제조한 후 낙엽에 처리 하여 60일 후 퇴비화 효과를 검정한 결과(표 11), 낙엽 무게의 5% 처리로 처리했을 경우 질소원이 더 많이 들어간 5:5 처리에서 퇴비화 효과가 더 좋았다. 낙엽 무게의 10% 처리시 효과는 각각 5% 처리보다 효과는 좋았으나 낙엽 무게의 10% 처리는 경제적으로 너무 많은 양의 미생물제가 투입되는 것으로 판단되었으며, 각각 5% 처리만 되어도 부산물비료의 공정규격의 부숙유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량인 유기물 30% 이상, OM/N 45 이하로써 적합한 비율로 조사되었다.

표 11. 질소원 혼합비율별 미생물제의 낙엽 퇴비화 효과 검정

처리내용	T-N(%)	OM(%)	OM/N
1. 무처리	0.83	82.5	99.5
2. 8:2 (5% 처리)	1.02	58.8	57.6
3. 8:2 (10% 처리)	1.42	53.6	37.7
4. 5:5 (5% 처리)	1.25	55.4	44.3
5. 5:5 (10% 처리)	1.56	51.8	33.2

이상의 결과로 바실러스 서브틸리스 GMP4-4 균주를 가지고 미생물제를 제조할 경우 담체는 쌀겨, 질소원은 아미노산, 균주 배양 쌀겨와 질소원(아미노산) 혼합비율은 5:5 하여 제조하는 것이 효율적인 미생물제 제조방법인 것으로 판단되었다.

<시험 3 > 낙엽의 성분 특성 및 낙엽내 쓰레기 실태 조사(2019~2020년)

가. 도심지 낙엽의 일반, 미량 및 중금속 성분

도심지 낙엽의 성분 분석을 위한 시료로 2019년 동계에 40점(수원, 화성 일대 도로변 20점, 아파트단지 10점, 공원 10점), 2020년 동계에 40점(수원, 화성 일대 도로변 20점, 아파트단지 10점, 공원 10점)의 낙엽

을 수집하여 일반 성분과 미량 및 중금속 성분을 분석하였다.

낙엽의 일반 성분은 표 12에서와 같이 T-N, P₂O₅, K₂O 등 대부분의 성분은 김 등(2018)이 감자 부산물, 옥수수 부산물, 콩 부산물을 분석한 결과와 비교해 볼 때 전체적으로 낮은 수준이었다. 특히 T-N은 일반작물보다는 많이 적었으나 낙엽에도 0.7~0.77% 정도 들어 있어 양분적 가치는 있다고 판단되었다.

표 12. 도심지 낙엽의 일반 성분

수집지역	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	NaCl (%)	OM (%)	OM/N
도로변	0.70	0.26	0.69	5.7	1.8	0.06	0.12	87.1	104.9
아파트단지	0.77	0.22	0.73	6.0	1.7	0.06	0.11	84.4	98.9
공원	0.70	0.20	0.65	4.3	1.2	0.06	0.10	89.3	134.0
감자 부산물 ¹⁾	1.75	0.48	7.99	3.9	1.1	0.05	0.09	71.9	41.1
옥수수 부산물 ²⁾	1.08	0.65	2.80	0.56	0.33	0.02	0.04	85.6	79.2
콩부산물 ³⁾	1.05	0.43	1.64	1.0	0.61	0.04	0.07	91.6	98.8

1) 감자 수확후 감자대 2) 옥수수 수확후 옥수수대 3) 콩 수확후 콩대 (김 등, 2018)

낙엽의 미량 및 중금속 성분은 표 13과 같다. 미량 성분 중 Fe와 Zn은 감자 부산물보다는 적었으나 옥수수 부산물이나 콩 부산물 보다는 많았으며, Mn은 감자 부산물과는 비슷하였으나 옥수수, 콩 부산물 보다는 높은 경향이였다. 중금속 성분도 일반 작물 부산물과 비해서도 특이 사항은 없었으며, 모든 중금속 성분이 부속 유기질비료 퇴비기준에서 함유할 수 있는 최대량에 비하여 많이 낮은 수준으로 조사되었다.

표 13. 도심지 낙엽의 미량 및 중금속 성분 (단위 mg/kg)

수집지역	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Cd	As	Cr	Ni	Hg
도로변	1120.6	65.1	286.4	9.9	12.8	0.19	6.2	10.3	5.4	0.06
아파트단지	1078.4	51.1	264.2	9.0	13.2	0.06	6.5	9.8	5.5	0.07
공원	1005.8	78.2	690.1	8.3	12.0	0.41	5.9	10.4	5.6	0.06
감자 부산물	2215.5	146.6	351.0	13.5	5.4	0.41	2.9	30.7	10.6	0.04
옥수수 부산물	362.3	41.8	111.2	6.9	1.3	0.11	0.8	29.8	12.7	0.005
콩 부산물	238.7	11.7	41.2	36.7	1.3	0.06	1.3	10.9	4.1	0.01
부속 유기질비료 퇴비기준 ¹⁾				360 이하	130 이하	5 이하	45 이하	200 이하		2 이하

1) 농촌진흥청고시 제2021-29호. 비료 공정규격 설정. 별표 3 부산물비료의 공정규격 설정

나. 낙엽 시료내 쓰레기 실태 조사

도심지 낙엽에 대한 낙엽 시료내 쓰레기 실태조사 시료로 2019년 동계에 18점(수원 화성 일대 도로변 8점, 아파트단지 5점, 공원 5점), 2020년 동계에 29점(도로변 15점, 아파트단지 7점, 공원 7점)을 수집하여 쓰레기량을 조사하였다(표 14).

2019년과 2020년도에 수집한 도로변 23점(R1~R23), 아파트단지 12점(A1~A12), 공원 12점(P1~P12)에 대하여 수집 장소별 포대의 낙엽량 전체에 대한 낙엽량과 쓰레기량의 평균 비율은 도로변에서 수집한 낙엽에서 가장 높은 0.56%로 조사되었고, 공원에서 수집한 낙엽에서는 0.19%로 쓰레기가 가장 적었다. 또 수집 장소에 따른 포대별 쓰레기 비율은 도로변에서 수집한 23포대에서는 0~3.6%, 아파트단지 수집 12포대에서는 0~2.3%, 공원 수집 12포대에서는 0~1.3%의 쓰레기가 포함되어 있었다. 특히 도로변 포대 중 2.3%, 아파트단지 포대 중 3.6%의 높은 비율로 쓰레기가 들어 있는 포대 등은 청소과정에서 쓰레기를 따로 구분하여 버리지 않고 같이 넣어서 처분한 것으로 판단되어 향후 낙엽의 재활용을 위해서는 쓰레기의 분리수거가 반드시 필요하다고 생각되었다.

표 14. 낙엽 시료내 쓰레기 비율

수집장소	낙엽량(kg)	쓰레기량(g)	비율(%)
R1	13.1	21.6	0.2
R2	7.7	8.6	0.1
R3	14.7	20.2	0.1
R4	16.7	50.0	0.3
R5	13.2	468.1	3.6
R6	24.4	29.4	0.1
R7	6.4	11.8	0.2
R8	8.9	24.3	0.3
R9	4.2	14.7	0.4
R10	9.9	1.4	0.0
R11	15.9	106.7	0.7
R12	6.1	26.1	0.4
R13	13.0	26.1	0.2
R14	15.0	8.8	0.1
R15	6.6	109.1	1.7
R16	9.8	70.7	0.7
R17	4.5	18.4	0.4
R18	4.8	39.5	0.8
R19	2.7	70.7	2.6
R20	7.8	55.4	0.7
R21	9.9	51.7	0.5
R22	6.0	22.7	0.4
R23	7.5	18.7	0.2
합계	228.3	1,274.7	0.56

수집장소	낙엽량(kg)	쓰레기량(g)	비율(%)
A1	10.6	4.6	0.0
A2	21.1	9.7	0.0
A3	11.9	65.5	0.6
A4	7.9	55.7	0.7
A5	6.6	147.8	2.3
A6	11.9	88.2	0.7
A7	9.7	27.6	0.3
A8	3.1	20.0	0.6
A9	2.9	45.4	1.6
A10	5.4	10.3	0.2
A11	4.6	21.4	0.5
A12	3.4	15.6	0.5
합계	98.6	511.8	0.52
P1	16.9	6.6	0.0
P2	30.2	87.6	0.3
P3	13.1	0.9	0.0
P4	11.4	150.2	1.3
P5	21.0	4.8	0.0
P6	25.1	9.2	0.0
P7	16.5	9.7	0.1
P8	12.3	4.8	0.0
P9	13.4	45.7	0.3
P10	4.2	5.6	0.1
P11	7.1	4.7	0.1
P12	4.3	10.3	0.2
합계	175.2	340.1	0.19

<시험 4> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 활용법 및 시용효과 구명(2021년)

<시험 2>에서 개발된 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제의 활용법 개발과 실증 효과를 구명하고자 원내 1개소와 현지 실증시험 2개소(수원, 용인 공영텃밭)에서 시험을 수행한 결과는 다음과 같다. 원내에서는 미생물제 1(아미노산 질소원), 미생물제 2(요소 질소원)를 낙엽 시료에 처리하였으며, 수원, 용인 공영텃밭에서는 화학적인 재료가 들어간 미생물제 2는 제외하고 미생물제 1을 처리하였다. 미생물제 처리는 본원이 6월 1일, 수원과 용인은 6월 3일 이었으며, 20일 간격으로 교반하였으며, 교반과정에서 시료를 채취하여 분석하였으며, 퇴비장 조건은 원내와 수원은 동일한 노지 조건이었고, 용인은 콘크리트 바닥과 슬레이트 지붕이 있는 퇴비장 조건에서 시험을 수행하였다

원내에서의 미생물제 처리별 낙엽 퇴비내 온도변화는 그림 2와 같이 미생물제 1과 미생물제 2 처리 후 1달 정도 퇴비내 온도가 무처리구에 비하여 높게 유지되어 미생물제의 처리의 효과가 나타났다. 2가지 미생물제 중 미생물제 1의 경우에는 처리 후 초기 15일 동안 온도가 가장 높게 유지되었던 반면 미생물제 2의 경우는 미생물제 처리 후 초기 15일 정도까지는 미생물제 1 보다 낮게 유지되다가 이후 15일 동안은 미생물제 1 보다 높게 유지되었다. 미생물제 1은 아미노산이 질소원으로 사용되어 낙엽에 처리되었을 경우 미생물의 증식이 빨라 온도가 초기에 상승된 것으로, 반면 미생물제 2는 요소가 질소원으로 미생물의 증식이 미생물제 1 보다는 천천히 이루어진 결과로 판단되었다.

미생물제 처리별 낙엽퇴비의 경시적 이화학성 변화는 그림 3과 같다. 미생물제 처리 후 OM의 변화는 미생물제 1 처리구에서 초기 20일까지 빨리 감소하였으나, 미생물제 2 처리구에서는 초기 40일 까지 빨리 감소한 후 이후에는 천천히 감소하였다. T-N의 변화는 미생물제 1과 미생물제 2 모두에서 처리 후 60일까지 증가하다가 이후에는 비슷하게 유지되었다.

낙엽퇴비 완료 후 이화학성은 그림 4와 같이 OM(%)은 미생물제 1이 52.1, 미생물제 2가 50.1, T-N(%)은 미생물제 1이 1.25, 미생물제 2가 1.33으로 조사되어, OM/N은 미생물제 1이 41.8, 미생물제 2가 37.6으로 나타났다. 두 미생물제 모두 부산물비료의 공정규격의 부숙 유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량인 OM(%) 30 이상, OM/N 45 이하에 충족하였다.

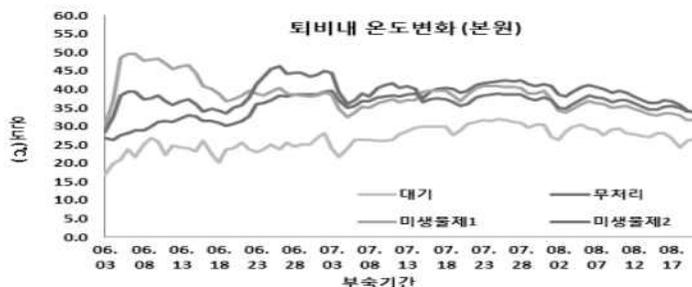


그림 2. 미생물제 처리별 낙엽 퇴비내 온도 변화(본원)

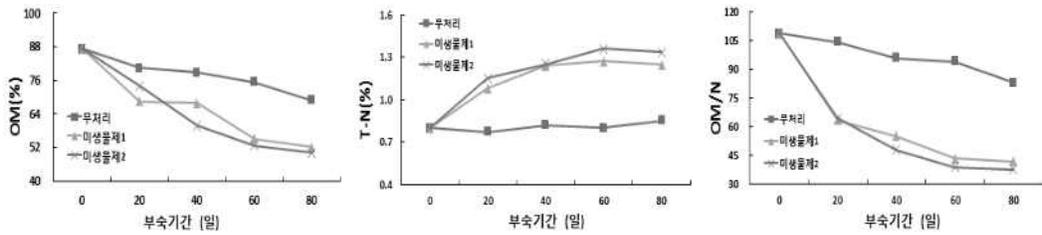


그림 3. 미생물제 처리별 낙엽퇴비의 경시적 이화학성 변화(본원)

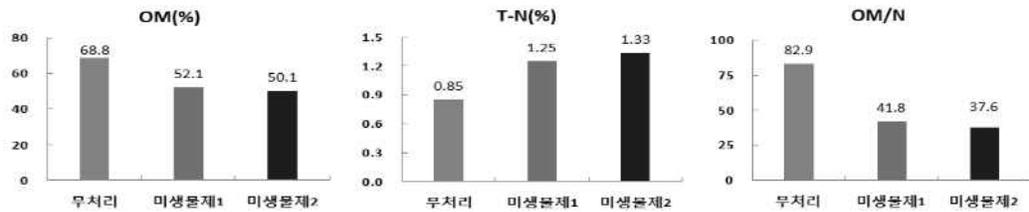


그림 4. 미생물제 처리별 낙엽퇴비 완료 후 이화학성(본원)

수원, 용인 실증시험은 그림 5에서와 같이 다른 조건에서 실시하였다. 용인 공영텃밭에서의 실증 시험은 바닥이 콘크리트여서 낙엽 수분관리에 불리하고, 햇빛이 잘 들지 않는 조건이라 수원에서의 조건보다 불리한 조건으로 판단되었다.

퇴비내 온도변화(그림 6)는 수원과 용인 실증시험 모두에서 미생물제 1 처리구에서 무처리구에 비하여 처리 후 한달 정도 높게 유지되어 미생물제의 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 미생물제 처리 후 수원에서의 초기 한달 정도의 온도 상승이 용인에서의 온도보다 높았는데 이는 수원은 원내와 동일한 노지 조건이었으나, 용인은 콘크리트 바닥과 슬레이트 지붕이 있는 퇴비장 조건에 의한 것으로 추측되었다.

미생물제 처리 후 OM의 변화는 수원, 용인 모두에서 미생물제 1 처리구에서 초기 20일까지 빨리 감소하고 이후에는 다소 완만한 감소를 나타냈고, T-N의 변화는 초기 20일 동안 빨리 증가하다가 이후 60일까지 완만하게 증가 되다가 이후에는 유지되는 수준이었다(그림 7).

낙엽퇴비 완료 후 이화학성은 그림 8과 같이 OM(%)은 수원에서는 미생물제 1이 55.8, 무처리가 65.3, 용인에서는 미생물제 1이 57.7, 무처리가 70.5이었고, T-N(%)은 수원에서는 미생물제 1이 1.27, 무처리가 0.86, 용인에서는 미생물제 1이 1.16, 무처리가 0.81 이었다. 결국 미생물제 1의 OM/N은 수원에서는 43.9, 용인에서는 49.7로 조사되어 용인에서 제조된 퇴비는 부산물비료의 공정규격의 부숙유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량 OM/N 45 이하 기준 보다 높아 퇴비화가 잘 이루어지지 않은 것으로 판단되었다.



수원



용인

그림 5. 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 실증시험 현장

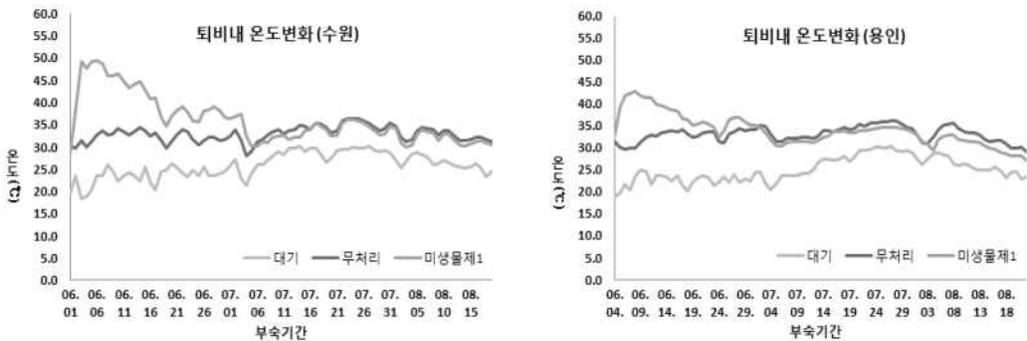


그림 6. 미생물제 처리별 낙엽 퇴비내 온도의 변화

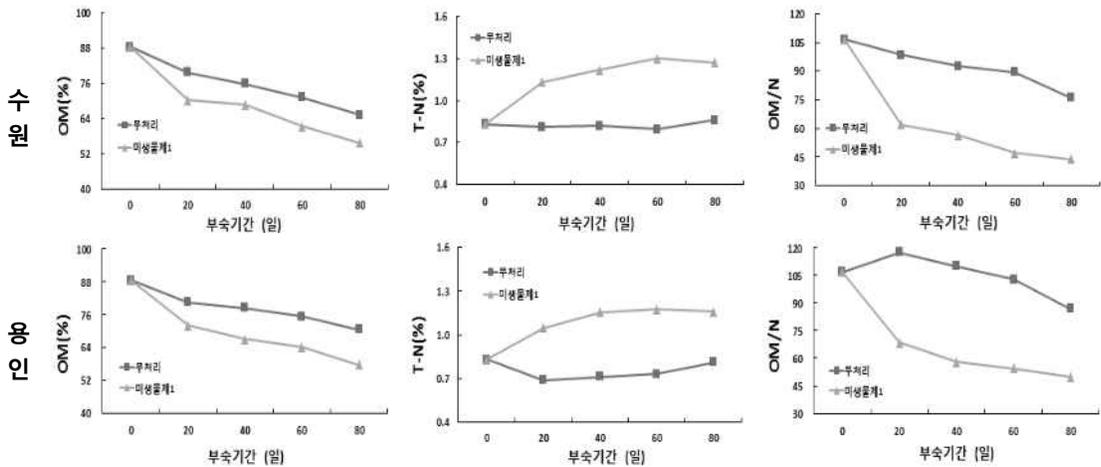


그림 7. 미생물제 처리별 낙엽퇴비의 경시적 이화학성 변화

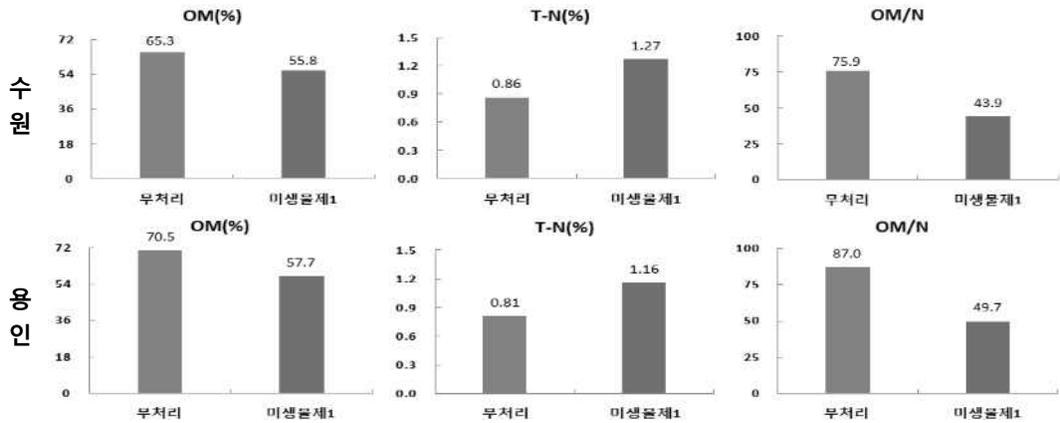


그림 8. 미생물제 처리별 낙엽퇴비 완료 후 이화학성

낙엽퇴비의 작물별 시용 효과 구명을 위한 시험에서, 노지 상추 봄 재배시 정식 후 30일, 60일의 생육은 표 15와 같다. 낙엽퇴비 시용량이 증가할수록 엽장과 엽폭이 증가하였으며, 정식 후 60일에 화학비료인 3요소와 비슷한 생육을 나타낸 낙엽퇴비 시용량은 1톤과 3톤 사이였다.

표 15. 낙엽퇴비 시용량별 상추의 생육

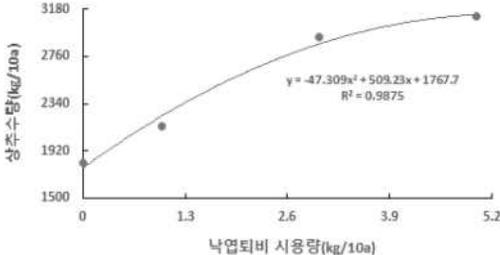
처리내용	정식 후 30일		정식 후 60일	
	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)
1. 3요소	18.2	16.7	14.4	13.4
2. 낙엽퇴비 0톤/10a	15.0	14.2	13.5	12.1
3. 낙엽퇴비 1톤/10a	16.1	15.0	14.0	13.1
4. 낙엽퇴비 3톤/10a	17.1	16.1	15.0	14.1
5. 낙엽퇴비 5톤/10a	17.9	16.5	16.1	15.2

낙엽퇴비 시용량과 수량을 회귀식을 통하여 상추 재배시 3요소(화학비료)와 동일한 수량을 구명하였는데(표 16), 수량으로 본 낙엽퇴비의 시용량은 2,668톤/10a 이었으며, 이를 도시텃밭에 많이 활용되는 면적인 17m²기준(5평)으로 하였을 경우에는 44kg의 시용량이 계산되었다. 하지만 낙엽퇴비는 우리원에서 개발한 미생물제가 아닌 다양한 방법으로 만들어 질 수 있고, 그에 따라 낙엽퇴비의 N 함량은 달라질 수 있다고 판단되었다. 그래서 제조된 낙엽퇴비의 N 함량을 조사하여 면적당 시용량을 계산할 수 있는 조건표를 표 17과 같이 작성하였다.

산출식(kg/10a)은 $20 \div \text{낙엽퇴비 질소함량} \div 0.925$ 인데, 먼저 낙엽퇴비의 비료 효율(%)은 3요소 수량과 대등한 조건으로 사용했을 경우 낙엽 퇴비량으로 계산할 수 있다. 그래서 낙엽퇴비 비료 효율은 $92.5\% = [(2,469/2,668)] \times 100$ 으로 계산되는데, 2,469는 상추 재배 전 N 20kg/10a에 해당하는 낙엽퇴비의 N 기준 사용량(톤/10a)으로 이론값이며, 2,668은 상추 재배 후 3요소 수량과 대등한 낙엽퇴비의 사용량(톤/10a)으로 실제값이다.

표 16. 낙엽퇴비 사용량별 상추 수량 및 회귀식

처리내용	수량(kg/10a)
1. 3요소	2,790
2. 낙엽퇴비 0톤/10a	1,816
3. 낙엽퇴비 1톤/10a	2,139
4. 낙엽퇴비 3톤/10a	2,930
5. 낙엽퇴비 5톤/10a	3,113



낙엽퇴비 적정 사용량 : 2.668톤/10a

표 17. 노지 상추 재배시 낙엽퇴비 질소 함량별 사용량 조건표

낙엽퇴비 N 함량(%)	사용량(kg)		비 고
	10a 당	17m ² 기준(5평)	
0.5	4,324	72	○ 산출식(kg/10a) : $20 \div \text{낙엽퇴비 질소함량} \div 0.925$ - 20 : 상추 질소 시비량(kg/10a) - 낙엽퇴비 질소 함량 : $\chi(\%)/100$ - 0.925 : 낙엽퇴비의 비료 효율 계수 * 단, 비료효율 계수는 우리원에서 개발한 미생물제를 첨가하여 제조된 낙엽퇴비를 사용하여 재배한 결과임
0.6	3,604	60	
0.7	3,089	51	
0.8	2,703	45	
0.9	2,402	40	
1.0	2,162	36	

노지 배추 가을 재배시 정식 후 30일, 60일의 생육은 표 18과 같다. 낙엽퇴비 사용량이 증가할수록 엽장과 엽폭이 증가하였으며, 정식 후 60일에 화학비료인 3요소와 비슷한 생육을 나타낸 낙엽퇴비 사용량은 3톤과 5톤 사이였다.

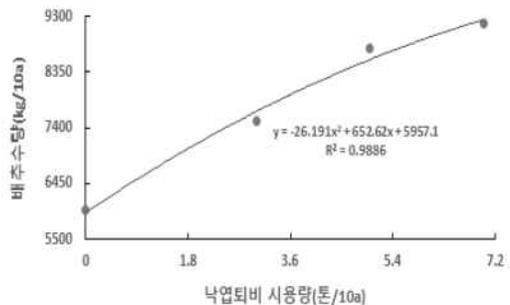
표 18. 낙엽퇴비 시용량별 배추의 생육

처리내용	정식 후 30일				정식 후 60일			
	엽수 (매/주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽면적 (cm ²)	엽수 (매/주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽면적 (cm ²)
1. 3요소	38.5	44.5	31.3	797	67.3	49.0	31.7	882
2. 낙엽퇴비0톤/10a	31.5	41.8	17.7	618	53.5	43.2	22.6	678
3. 낙엽퇴비3톤/10a	34.5	42.8	27.7	749	62.5	45.7	30.4	846
4. 낙엽퇴비5톤/10a	36.0	43.5	28.5	769	67.5	49.6	32.1	888
5. 낙엽퇴비7톤/10a	37.8	44.1	30.2	781	68.8	52.1	32.7	908

낙엽퇴비 시용량과 수량을 회귀식을 통하여 배추 재배시 3요소(화학비료)와 동일한 수량을 구명하였는데(표 19), 수량으로 본 낙엽퇴비의 시용량은 4,377톤/10a 이었으며, 이를 도시텃밭에 많이 활용되는 면적인 17m²기준(5평)으로 하였을 경우 73kg의 시용량이 계산되었다. 또한 상추 시험에서와 마찬가지로 배추에 대한 조건표를 표 19와 같이 작성하였다. 산출식(kg/10a)은 32 ÷ 낙엽퇴비 질소함량 ÷ 0.903 인데, 먼저 낙엽퇴비의 비료 효율(%)은 3요소 수량과 대등한 조건으로 시용했을 경우 낙엽 퇴비량으로 계산할수 있다. 그래서 낙엽퇴비 비료 효율은 90.3% = ((3,951/4,377)) X 100 으로 계산되는데, 3,951은 배추 재배 전 N 20kg/10a에 해당하는 낙엽퇴비의 N 기준 시용량(톤/10a)으로 이론값이며, 4,377은 배추 재배 후 3요소 수량과 대등한 낙엽퇴비의 시용량(톤/10a)으로 실제값이다.

표 19. 낙엽퇴비 시용량별 배추 수량 및 회귀식

처리내용	수량(kg/10a)
1. 3요소	8,312
2. 낙엽퇴비 0톤/10a	5,994
3. 낙엽퇴비 3톤/10a	7,518
4. 낙엽퇴비 5톤/10a	8,759
5. 낙엽퇴비 7톤/10a	9,173



낙엽퇴비 적정 시용량 : 4.377톤/10a

표 20. 노지 배추 재배시 낙엽퇴비 질소 함량별 시용량 조건표

낙엽퇴비 N 함량(%)	시용량(kg)		비 고
	10a 당	17m ² 기준(5평)	
0.5	7,087	118	○ 산출식(kg/10a) : 32 ÷ 낙엽퇴비 질소함량 ÷ 0.903 - 32 : 배추 질소 시비량(kg/10a) - 낙엽퇴비 질소 함량 : χ (%)/100 - 0.903 : 낙엽퇴비의 비료 효율 계수 * 단, 비료효율 계수는 우리원에서 개발한 미생물제를 첨가하여 제조된 낙엽퇴비를 사용하여 재배한 결과임
0.6	5,906	98	
0.7	5,062	84	
0.8	4,430	74	
0.9	3,937	66	
1.0	3,544	59	

<시험 4>의 원내 1개소와 현지 2개소(수원, 용인 공영텃밭)에서 실증시험을 수행하며 활용한 미생물제 활용법과 제조된 낙엽퇴비의 작물재배 시용 효과를 기반으로 ‘낙엽과 미생물제를 이용한 퇴비 제조 매뉴얼’을 작성하였다. .

그림 9와 같이 미생물제를 이용하여 퇴비를 제조하는 과정은 ① 낙엽 준비 → ② 수분 공급 → ③ 미생물제 처리 및 교반 → ④ 비닐 피복 → ⑤ 교반(2~3주 간격) → ⑥ 퇴비 완성의 과정을 거쳤다. 이 과정을 사진과 함께 단계별 필요한 내용을 정리하고, 상추(봄 재배)와 배추(가을 재배)에 대한 낙엽퇴비 텃밭 시용량을 포함하였다.

낙엽과 미생물제(경기농기원 개발)를 이용한 퇴비 제조 매뉴얼



- ① 낙엽준비 : 낙엽을 11~12월 경에 수집하여 야적(동계기간 수분흡수 및 자연퇴비화)
- ② 수분공급 : 동계 경과후 5~6월 경 낙엽 확인후 물을 줘서 수분을 65% 내외로 조절
* 수분 65%는 손으로 짰을 때 손가락 사이로 물이 스미는 정도
- ③ 미생물제 처리 및 교반 : 건조 낙엽 기준 무게비를 기준으로 하여 미생물제 5% 처리
(기온이 상승하는 5~6월 경이 퇴비제조에 적합)
* 건조낙엽 100kg은 수분흡수 후(생낙엽) 160kg 정도임
- ④ 비닐 피복 : 비닐로 피복하여 퇴비 온도를 상승시켜 퇴비화 촉진
* 공기가 통하도록 비닐에 적당히 구멍을 뚫어 줌
- ⑤ 교반 : 2~3주에 한번씩 비닐을 벗기고 교반 후 다시 덮어줌
- ⑥ 퇴비 완성 : 60일 이상 부숙 시킨후 사용함. 바로 사용하지 않을 경우에는 비가 들지 않는 곳에 잘 보관하였다가 사용

낙엽퇴비 텃밭 사용량(노지재배, 17m² 기준)
- 상추(봄재배) : 44kg / 배추(가을재배) : 73kg

그림 9. 낙엽과 미생물제를 이용한 퇴비 제조 매뉴얼

4. 적요

<시험 1> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물 선발(2019년)

- 가. 낙엽 퇴비화 촉진 미생물 균주 분리를 위한 시료는 3개도 79점을 수집하여 셀룰로오스 분해능력과 포자형성능 등이 좋은 GMP4-4 등 4종의 균주를 선발하였음.
- 나. 선발한 4종 균주는 대부분 철 이용성, 낙엽배지 이용성, 스트레스 내성, 질소 고정, 단백질 분해능의 기능이 있었으며, 식물 병원균인 시들음병, 브라운패치병, 잿빛곰팡이병, 탄저병에 대하여 항균력이 좋았음.
- 다. 4종 균주 중 특히 GMP4-4는 셀룰로오스 분해 능력이 가장 좋았으며, 미생물제 개발에 중요한 포자 유지능력도 좋았으며, 기타 기능성과 식물 병원균에 대한 항균력도 좋아 미생물제 개발을 위한 균주로 최종 선발하였음.

<시험 2> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 개발(2020년)

- 가. 일반 배양액보다 선발균주(GMP4-4)를 배양한 배양액의 퇴비화 효과가 좋아 선발균주의 낙엽 퇴비화 효과를 확인할 수 있었음.
- 나. 미생물제 개발을 위한 담체 선발시험에서 쌀겨가 다른 재료에 비하여 저온(4℃), 상온(25~26℃), 고온(40℃) 모두에서 높은 밀도를 보였음.
- 다. 균주배양 쌀겨의 낙엽 퇴비화 효과는 순수 쌀겨에 비하여 미생물을 함유한 쌀겨에서 퇴비화 효과가 좋았음.
- 라. 미생물제 개발을 위한 질소원 선발시험에서 제형 1(질소원 아미노산)과 제형 3(질소원 요소)으로 제조된 퇴비는 모두 퇴비기준 규격 함량에 적합하였고, 제형 1은 도시농업 공영텃밭 등에서는 사용할 수 있는 등 가장 현실적으로 활용도가 높은 제형으로 선발되었음.
- 마. 제형 1 미생물제 제조시 균주 배양 쌀겨와 아미노산을 5:5로 혼합하여 미생물제를 제조하는 것이 8:2로 제조하는 것보다 낙엽 퇴비화 촉진에 더 효과적이었음.
- 바. 이상의 결과로 GMP4-4 균주를 가지고 미생물제를 제조할 경우 담체는 쌀겨, 질소원은 아미노산, 균주 배양 쌀겨와 질소원(아미노산) 혼합비율은 5:5로 구명하였음.

<시험 3> 낙엽의 성분 특성 및 낙엽내 쓰레기 실태 조사(2019~2020년)

- 가. 낙엽의 T-N, P₂O₅, K₂O 등 대부분의 성분은 감자 부산물, 옥수수 부산물, 콩 부산물과 비교한 결과 전체적으로 낮은 수준이었음.
- 나. 낙엽의 미량 성분 중 Fe와 Zn은 감자 부산물보다는 적었으나 옥수수 부산물이나 콩 부산물 보다는 많았으며, Mn은 감자 부산물과는 비슷하였으나 옥수수, 콩 부산물 보다는 높은 경향이었음.
- 다. 중금속 성분도 일반 작물과 비해서도 특이 사항은 없었으며, 모든 중금속 성분이 부속 유기질비료 퇴비기준에서 함유할수 있는 최대량에 비하여 많이 낮은 수준이었음.

<시험 4> 낙엽 퇴비화 촉진 미생물제 활용법 및 시용효과 구명(2021년)

- 가. 낙엽퇴비 완료 후 OM/N은 미생물제 1(아미노산 질소원)이 41.8, 미생물제 2(요소 질소원)가 37.6으로 나타나, 두 미생물제 모두 부산물비료의 공정규격의 부숙유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량에 적합하였음.
- 나. 수원과 용인 공영텃밭에서 실시한 실증시험에서, 미생물제 처리 후 OM의 변화는 수원, 용인 모두에서 미생물제 1 처리구에서 초기 20일까지 빨리 감소하고 이후에는 다소 완만한 감소를 나타냈고, T-N은 초기 20일 동안 빨리 증가하다가 이후 60일까지 완만하게 증가되다가 이후에는 유지되는 수준이었음.
- 다. 낙엽퇴비 완료 후 이화학적 성분은 OM(%)은 수원에서는 미생물제 1이 55.8, 무처리가 65.3, 용인에서는 미생물제 1이 57.7, 무처리가 70.5이었고, T-N(%)은 수원에서는 미생물제 1이 1.27, 무처리가 0.86, 용인에서는 미생물제 1이 1.16, 무처리가 0.81 이었음.
- 라. 결국 미생물제 1의 OM/N은 수원에서는 43.9, 용인에서는 49.7로 조사되어 용인에서 제조된 퇴비는 부산물비료의 공정규격의 부숙유기질 비료의 퇴비기준 규격 함량 OM/N 45이하 기준 보다 높아 퇴비화가 잘 이루어지지 않은 것으로 판단되었음.
- 마. 노지 상추 봄 재배시 낙엽퇴비 시용량이 증가할수록 엽장과 엽폭이 증가하였으며, 정식 후 60일에서 화학비료인 3요소와 비슷한 생육을 나타낸 낙엽퇴비 시용량은 1톤과 3톤 사이였음.
- 바. 낙엽퇴비 시용량과 회귀식을 통하여 계산한 결과, 노지 상추 봄 재배시 낙엽퇴비의 적정 시용량은 10a 기준 2,668톤(17m² 기준 44kg)으로 조사되었음.
- 사. 노지 배추 가을 재배시 낙엽퇴비 시용량이 증가할수록 엽장과 엽폭이 증가하였으며, 정식 후 60일에서 화학비료인 3요소와 비슷한 생육을 나타낸 낙엽퇴비 시용량은 3톤과 5톤 사이였음.
- 아. 낙엽퇴비 시용량과 회귀식을 통하여 계산한 결과, 노지 배추 가을 재배시 낙엽퇴비의 적정 시용량은 10a 기준 4,377톤(17m² 기준 73kg)으로 조사되었음.
- 자. 미생물제를 이용하여 퇴비를 제조하는 과정은 사진과 함께 단계별 필요한 내용을 정리하고 <시험 4>에서 구명한 낙엽퇴비 텃밭 시용량을 포함하여 미생물제 활용법 매뉴얼을 제시하였음.

5. 인용문헌

권보람. 2019. 광릉숲과 태화산의 낙엽활엽수림에서 낙엽의 양과 탈락시기의 변동이 탄소수지에 미치는 영향. 강원대학교 대학원 산림환경시스템학과 석사학위 논문

경기도농업기술원. 2017. 농업환경 실험 분석법.

김대균, 김진영, 김혜형, 이원석, 서명훈. 2018. 북온대 지역적용 텃밭부산물을 활용한 순환형 토양관리 기술 개발. 경기도농업기술원 시험연구보고서 pp. 367-391

농산촌활성화연구소. 2020. 낙엽 재활용(연료화·퇴비화) 방안 연구 충청북도 용역보고서

농촌진흥청. 2021. 비료관리법의 공정규격설정 및 지정

농촌진흥청 국립농업과학원. 2017. 작물별 비료사용처방 기준(3차 개정본)

농촌진흥청고시 제2021-29호. 비료 공정규격 설정. 별표 3 부산물비료의 공정규격 설정

이승호, 한기연, 안형진, 김병호, 조세훈, 정준희. 2012. 안산시 낙엽 발생에 따른 친환경적 자원순환방안 연구. 안산녹색환경지원센터 보고서.

이지은, 박원, 김광수, 이영화, 권다운, 문운호, 차영록, 강용구. 2019. 유용 미생물 제제 이용 발효 유채박 비료 제조 및 시용 효과. 한작지 64(1) pp. 55~62

6. 연구결과 활용제목

- 도심지 낙엽의 주요 성분 자료 정보 제공(영농활용)
- 도심지 텃밭활용 낙엽퇴비화 매뉴얼(영농활용)
- 낙엽 부숙촉진 미생물 균주 바실러스 서브틸리스 GMP4-4(특허)
- 낙엽 부숙촉진 미생물제 제조방법(특허)

7. 연구원편성

과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
도심지 낙엽의 재활용 기술 개발	책임자	농업기술원 원예연구과	농업연구사	김대균	세부과제 총괄	'19	'20	'21
	공동연구자	"	농업연구관	김진영	자료검토	○	○	○
	"	"	농업연구사	최란선	문헌조사	○	○	○
	"	"	"	황지은	생육조사	○	○	○
	"	"	농업연구관	원선이	결과검토	○	○	○