

돈 분뇨 액비에 미생물 첨가가 배추의 발아지수에 미치는 영향

김태일·유용희·정의수·Antonio J. Barroga*·양창범·김민균**

농촌진흥청 축산연구소

Effect of Microbial Inoculant to Pig Liquid Fertilizer on Germination Index of Chinese Cabbage

Kim, T. I., Yoo, Y. H., Chung, E. S., Barroga, A. J.*, Yang, C. B. and Kim, M. K.**

National Livestock Research Institute, R.D.A, Suwon 441-350, Korea

Summary

This study was carried out to investigate the effect of *Synechocystis* sp. KACC 91007 when added to a pig slurry or pig liquid fertilizer (PLF) on germination index (GI) of Chinese cabbage. The preliminary experiment involved the screening of inoculant levels which were; 0.05, 0.1, 0.2, and 0.3%, respectively. The 0.05% level of inoculant was selected based on low phytotoxicity and high GI. The PLF underwent a 107 day aerobic and anoxic processing conditions. The T-N, T-P, NH₄, and NO₃-N concentrations of the untreated pig slurry were; 2,873, 753, 1,441.6, and 16.48 ppm, respectively. Using aerobic processing treatment, the fertilizer value of the PLF was 3,672, 164, 183.87, and 21.97 ppm, respectively. In contrast, the fertilizer value of the PLF processed under anoxic condition was reduced to 1,261, 68, 161, and 16.87 ppm. The GI value of the untreated PLF under aerobic and anoxic processing condition was 83 and 40.4%, respectively. With the addition of the 0.05% microbial inoculant, the GI improved by more than 40 and 50% respectively, when the PLF was processed under anoxic and aerobic conditions. The above findings proved that the aerobic processing of PLF for 107 days was better than anoxic and yielded higher T-N which is a macro-nutrient fertilizer material. Consequently, the addition of 0.05% microbial inoculant resulted to a higher GI of the Chinese cabbage specifically under aerobic processing condition.

(**Key words** : Germination Index, Livestock liquid fertilizer, Aerobic, Anoxic)

* 주립대학 동물과학과(Department of Animal Science, Central Luzon State University, Science City of Munoz, Nueva Ecija, 3120, Philippines).

** 서울대학교 농화학과(Division of Applied and Chemistry, School of Agricultural Biotechnology Center for Plant Molecular Genetics and Breeding Research, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

Corresponding Author : Kim, T. I., National Livestock Research Institute, R.D.A, Suwon 441-350, Korea,
Tel : 031-290-1725, Fax : 031-290-1731, E-mail : kimti@rda.go.kr

서 론

가축분뇨의 자원화는 액비화 및 퇴비화 등의 공정을 통해서 이루어지고 있다. 가축분뇨의 자원화 방법 중 퇴비화보다는 액비화가 보다 손쉽게 처리공정에 접근할 수 있고 경제적이다(Charles와 Donald, 2002). 가축분뇨의 액비화는 쉽게 분해될 수 있는 단백질, 탄수화물 등의 분해를 유도하고 기질의 안정화를 통해서 작물에 시용된다. 그러나 이들 일부 성분들은 화학적, 생물학적 반응을 거쳐 불용화되어 작물의 비료가치가 낮아지고 기질은 토양에 축적되게 된다. 특히, 인산은 산성토양에서 칼슘이온과 쉽게 결합하여 불용화 됨으로써 토양의 지력 저하와 하천과 바다의 부영양화를 가져오는 주원인이 되고 있다(Paul과 Clark, 1989). 이러한 문제를 해결하기 위한 가장 바람직한 방법은 인산가용화 미생물을 이용하여 토양 및 가축분뇨에 다량으로 축적되고 함유되어 있는 불용성 인산을 작물이 이용할 수 있는 유리인산으로 전환하는 것이다(강 등, 2001).

인산은 작물의 생명에 중요한 요소로서 조직의 각 부위에 함유되며 세포핵의 구성 성분이다. 흡수된 인산은 생장이 왕성한 눈 부분이나 뿌리의 선단, 종자 또는 열매 등으로 이동하여 세포증식에 이용되고 있다. 그리고 종자에서는 저장형 인산인 phytic 산이 주 성분이며 이의 대사기능으로써는 광합성에서 광인산화 반응과 전자전달에 관여하며, 동화산물의 전류와 단백질 합성에도 밀접한 관계를 가지고 있다. 주로 인은 식물이나 토양미생물 및 가축에게 무기태 인 형태로 이용되는데, 특히 사료 내 존재하는 인은 유기태 인이 대부분이기 때문에 돼지 등 단위가축은 20~30% 정도의 유기태 인만을 무기태 인으로 전환하여 이용하고 나머지는 그대로 분으로 배출되어 환경오염원으로(허 등, 1992; 김 등, 1995) 될 수 있지만 가축분뇨는 토양의

이용을 증진시키고(신 등, 1999; Campbell 등, 1986; Freeze와 Sommerfeldt, 1985; Sommerfeldt 등, 1988) 식물의 영양성분이 풍부하기 때문에 이를 적절한 방법으로 처리할 수 있다면 토양의 물리화학적 개선과 더불어 토양과 가축의 미생물상이 개선되어 환경농업으로 유도할 수 있다(Sommerfeldt와 Chang, 1985, 1987; Cromwell 등, 1993).

인산가용화 미생물을 이용한 환경친화형 생물비료(biofertilizers)의 개발 노력은 부단히 이루어져 왔다. 이미 1950년대에 러시아와 동유럽에서 불용성 인산화를 가용화시킬 수 있는 미생물(phosphobacteria)을 분리하여 토양에 처리한 결과 작물의 인산 흡수를 증대시킬 수 있었으며 평균 10%의 수량 증가를 보았다(Dubey와 Billore, 1992). 1980년대에는 *Penicillium bilaji* 등의 사상균이 인산의 흡수를 증대시키는 것으로 밝혀졌다. 국내에서도 환경농업의 중요성이 인식되면서 여러 대학 및 연구소에서 미생물제제에 대한 연구를 시작하고 있으나 균주선발 및 배양특성 조사, 포장시험 등에 관한 폭넓은 연구의 부족으로 아직 실험실 수준의 초보적인 단계에 머무르고 있다(Kim 등, 1984; Suh 등, 1995).

인산가용화 미생물 중에서 광합성균 *Synechocystis* sp.는 균체내에 alkaline phosphatase를 가지고 있으며 유기태 인을 인의 절단을 통해 무기태 형태로 전환시키는 역할(Cromwell 등, 1995; Liu 등, 1997; O'Quinn 등, 1997) 이외에 phytate와 결합되어 있는 난용성인 단백질, 아미노산 및 미량광물질 복합체를 분해함으로써 작물의 영양소 이용성을 증가시키는데 효과적인 효소라고 알려져 있다(Adeola 등, 1995; Lei 등, 1993a,b; Stahl 등, 2000). 따라서, 본 연구는 돈 분뇨 액비에 인산가용화 광합성균 *Synechocystis* sp. KACC 91007 첨가가 배추의 발아지수에 미치는 효과를 구명하기 위해서 수행하였다.

재료 및 방법

1. 액비제조 방법

액비제조는 축산연구소 축산생명환경부 बै치 유니트식 돈 슬러리 처리장에서 폭기와 무폭기 처리구로 구분하여 수행하였다. 액비 저장조(크기: 10 m³)에 돈 슬러리를 5 m³를 넣고 3개월 동안 돈 분뇨 액비를 제조하였으며 폭기 처리구의 경우는 폭기량을 8.112 l/min로 하였다.

2. Alkaline phosphatase 활성 측정

숲 토양에서 분리한 균주를 LB broth에서 spectrophotometer로 600 nm에서 O.D 0.4에서 0.6정도로 배양 후 생균수(4×10^8 cell/ml)를 측정했고, *Synechocystis* sp. KACC 91007은 BG-11 broth에서 730 nm에서 O.D 0.8에서 1.0 정도까지 배양시켜 생균수(2×10^8 cell/ml)를 측정 한 뒤 원심분리해서 상층액을 Brickman과 Beckwith(1975) 방법으로 2 mM *p*-nitrophenyl-phosphate를 처리하여 spectrophotometer로 405 nm에서 측정하였다.

3. 시료 채취

액비 제조 후 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 107일에 시료를 각 액비 저장조 통의 바닥으로부터 20, 40, 60 cm 높이에서 시료를 취하여 이를 혼합한 후 액비화 기간별 성분변화를 구명하기 위해서 분석용 시료로 이용하였고 미생물 첨가기간을 설정하기 위해서 액비 제조 후 1일과 7일에 액비를 채취하여 미생물 첨가 실험을 수행하였으며 그 결과를 바탕으로 미생물처리 5분, 1시간, 6시간, 24시간 후에 시료를 채취하여 발아율과 발아지수를 조사하였다.

4. 액비 성분 분석법

가. 질소화합물 분석

암모니아태 질소(NH₄-N)는 시료 2 g을 2 M KCl 50 ml로 추출 여과한 후 여과액을 취해 MgO를 1g 가한 후 증류액을 0.05N H₂SO₄로 적정하여 함량을 조사하였다. 질산태 질소(NO₃-N)는 시료 2 g을 2 M KCl 50 ml로 추출 여과한 후 여과액을 취해 데발데 합금 0.5 g을 가한 후 증류액을 0.005 N H₂SO₄로 적정하여 함량을 계산하였다(AOAC, 1984).

나. T-P(총인)

시료 중의 유기물을 산화 분해시켜 인산염의 형태로 변화시킨 후 인산염을 아스코르빈산 환원 흡광 광도법으로 880 nm에서 측정하여 인산의 농도를 구하였다(APHA, 1998).

5. 배추의 발아지수 분석

발아지수를 구하기 위해서 배추(*Brassica campestris*. L.)의 발아율(Germination Ratio; G. R.)과 근장을 Zucconi 등(1981a, b)의 방법에 따라 실험하였다. 추출물을 5℃에서 15분간 8,000 rpm으로 원심 분리한 상등액을 0.45 μm 막(Gelman Scientific, Ann Arbor, MI)을 이용하여 여과한 후 무균상태를 유지하면서 0, 3, 10배로 연속 희석하여 Whatman No.2 filter paper 2매가 깔린 petri-dish에 배추종자를 각각 10립씩 놓고 희석액을 20 ml씩 첨가한 후, 25℃ 배양기에서 암상태를 유지하면서 5일간 배양하였다. 생육측정을 위해서 50%(V/V) 에탄올 3 ml를 샐레에 넣어 발육을 정지시킨 후 대조구 및 처리구 모두 5번 반복의 평균값으로 발아율과 뿌리길이를 구하였다. 발아율과 뿌리길이의 생장을 측정은 대조구의 발아와 뿌리길이를 각 처리구의 발아와 뿌리길

이로 나누어 100배를 하여 측정하였다. 발아 지수는 발아율과 뿌리길이의 성장율을 곱하여 산출하였다.

6. 통계처리

본 시험에서 얻어진 결과는 SAS(1988)의 General Linear Model procedure를 이용하여 Duncan's multiple range test에 의하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 공시균주의 선정 및 Alkaline phosphatase 활성 측정

본 시험에 이용된 공시균주는 *Synechocystis*

sp. KACC 91007로서 Elhai 등(1990)의 방법에 의하여 배양하였다. 성장용 배지의 구성 성분은 Table 1과 같다. 공시균주의 배양을 위한 광 조건을 $60 \mu\text{moles m}^{-2} \text{S}^{-2}$ 으로 하였으며 28°C에서 5~7일 동안 130 rpm으로 진탕 배양시킨 후 10^7 CFU/ml 수준으로 맞추어 둔 분뇨액비의 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.3%를 첨가하여 첨가수준을 결정하였다. Alkaline phosphatase의 비교실험은 김 등(1999)이 분리한 *Bacillus* sp.(FSO-2), *Bacillus* sp.(FSO-3), *Micrococcus* sp.(FSO-4)을 이용하였다.

인산가용화 미생물(photobacteria)로 *Bacillus* sp., *Penicillium* sp., *Micrococcus* sp.과 *Pseudomonas* sp. 등이 알려져 있으며(Dubey와 Billore, 1992; Kucey 1988; Tiwari 등, 1993; Agasimani 등 1994) *Bacillus* sp.(FSO-2), *Bacillus* sp.(FSO-3), *Micrococcus* sp.(FSO-4)는

Table 1. Composition of growth media for *Synechocystis* sp. KACC91007

Ingredient	Concentrate Mixture ^c	
	mg/ℓ	Molarity
Solution I ^a NaNO ₃	1,500	18 mM
Solution II ^b MgSO ₄ · 7H ₂ O	75	300 μM
Solution III ^b CaCl ₂ · 2H ₂ O	36	240 μM
Solution IV ^b K ₂ PO ₄ · 3H ₂ O	40	230 μM
Solution V ^b Na ₂ CO ₃	20	190 μM
Solution VI ^b Citric acid · H ₂ O	6.6	31 μM
Ferric ammonium citrate	6	~20 μM
Na ₂ MgEDTA	1	2.8 μM
Solution VII ^b H ₃ BO ₃	2.86	48 μM
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.81	9.1 μM
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.222	7.7 μM
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.39	1.6 μM
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079	0.32 μM
Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.049	0.17 μM

^a 100 × concentration

^b 1000 × concentration

^c After autoclaving, 5 mM TES was added to a pH of 8.0 with 10 mM glucose as final concentrate mixture. For solidified media, twice autoclaving was done separately to the concentrated liquid medium, agar and 1 M thiosulfate. Mixing ratio was 1:1:0.002 prior to pouring on plates.

숲 토양에서 분리 동정되었으며(김 등 1999) 본 시험에서 인산가용화 균으로 판명되었다 (Fig. 1).

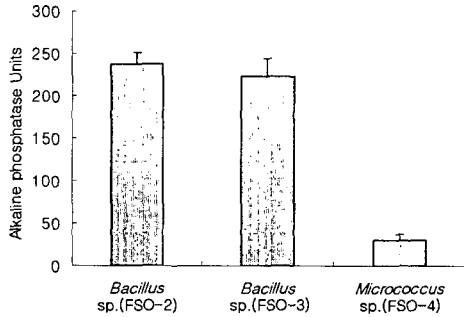


Fig. 1. Alkaline phosphatase test of isolated strains* (n=3).

* Nanomoles of p-nitrophenol produced per minute

Bacillus sp.(FSO-2), *Bacillus* sp.(FSO-3), *Micrococcus* sp.(FSO-4) 및 *Synechocystis* sp. KACC 91007의 Alkaline phosphatase 활성을 측정 한 결과는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 토양에서 분리 동정된 3종의 미생물 중 *Bacillus* sp.(FSO-2)가 OD 값이 0.34로 가장 높게 나타났고 *Synechocystis* sp. KACC91007은 2.91로 확인되어 이를 공시균주로 사용하였다.

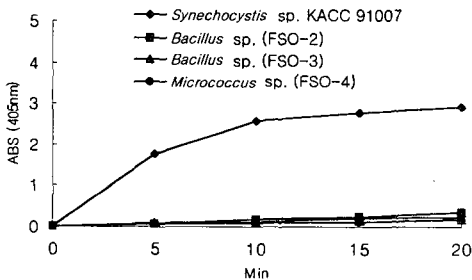


Fig. 2. Microbial alkaline phosphatase concentrations based on the time (n=3).

2. 돈 슬러리의 액비화 중 성분 변화

본 시험에 이용된 돈 슬러리의 T-N, T-P, NH₄-N과 NO₃-N의 농도는 Table 2와 같이 각

각 2,873 ppm, 753 ppm, 1,441 ppm, 16 ppm이었고 폭기와 무폭기 조건에서 107일 동안 액비를 제조한 후 NO₃-N가 약간 증가한 것을 제외하고 모두 감소하였다. 폭기 액비화 조건에서 T-N의 농도가 1,204 ppm인 반면 무폭기 조건에서는 1,999 ppm으로 나타나 총질소의 경우 폭기 액비화 조건에서 58.09%가 감소되었고 무폭기에서는 30.42%가 감소되어 폭기로 액비를 제조시 질소의 손실이 더 큰 것으로 나타났다. 액비화 과정 중 암모니아태 질소변화는 폭기여부에 관계없이 88% 수준으로 감소되었으나 질산태 질소는 폭기처리의 경우 93% 정도가 증가된 반면 무폭기는 50% 정도가 증가되었다. 이와 같은 결과는 정 등(1998)의 보고와 같이 유기물 중의 질소 성분이 유기물 분해 과정에서 NO₃-N으로 무기화가 폭기 액비제조시 활발하게 이루어진 것으로 판단되어진다.

폭기 액비화 조건에서 T-P의 농도가 149 ppm인 반면 무폭기 조건에서는 83 ppm으로 나타나 총인인 경우 폭기 액비화 조건에서 80.21%가 감소되었고 무폭기에서는 88.93%가 감소되어 액비화 과정 중 무폭기 처리구에서 돈 슬러리에 존재하는 미생물에 의한 인의 이용성이 더 큰 것으로 사료되었다.

3. 축분뇨 액비의 희석에 따른 발아율과 발아지수

돈 분뇨 액비 제조 후 희석 배수에 따른 발아율과 발아지수 결과는 Fig. 3과 같다. 액비 제조 후 희석하지 않은 폭기조건의 액비 처리구가 54%의 발아율을 가지는 반면 무폭기 조건의 액비처리구는 17.4%를 나타내었고 발아지수는 각각 5.6과 0.2를 나타내었다. 원액대비 3배를 희석한 경우 폭기조건의 액비 처리구가 89.3%의 발아율을 나타낸 반면 무폭기 조건의 액비처리구는 90.4%를 나타내었고 발아지수는 폭기구가 83과 무폭기구가

Table 2. Comparative fertilizer nutrient materials of the PLF before inoculant treatment***
(Unit : ppm)

Items		T-N*	T-P**	NH ₄ -N	NO ₃ -N	
PLF	Initial	2,873±43.79	753±14.18	1,441±9.47	16±1.05	
	107days	Aerobic	1,999±24.35	149± 4.37	171±9.62	31±0.89
		Aanoxic	1,204±11.76	83± 1.74	174±4.83	24±2.67

* Total Nitrogen.

** Total phosphorus.

*** Values are means of 3 replicates indicated by ±SD.

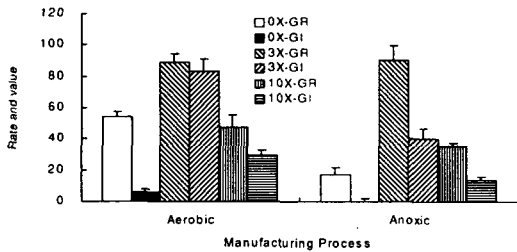


Fig. 3. Germination rate and GI value based on the dilution of PLF without microbial inoculant(n=3).

40.4를 나타내었다. 또한, 10배를 희석한 경우 폭기조건의 액비처리구가 47.83%의 발아율을 나타낸 반면, 무폭기 조건의 액비처리구는 35.9%를 나타내었고 발아지수는 폭기구가 29.6과 무폭기구가 13.5를 나타내었다. 이 결과로 폭기액비에서 무폭기액비보다 발아지수가 200% 정도 더 높게 나타났고 액비 제조 방법에 따른 처리구에 관계없이 종자 파종 후 원액 액비를 사용시 작물에 성장 장애를 일으킬 수 있을 것으로 판단되어지며 과일 희석을 해도 김 등(2004)의 연구와 같이 식물의 영양 불균형의 문제로 인한 근장의 상태가 양호하지 못해 발아지수가 매우 낮아지는 것으로 나타났다. 희석하지 않은 처리구에서 희석한 처리구보다 발아지수가 낮은 것은 김 (2003)의 연구에서 퇴비화 90일 령에 무희석구에서 발아지수가 35.33, 3배 희석구에서 81.8, 10배 희석구에서 115.83을 나타낸

것과 결과가 유사하였고 Still 등(1976)과 Solbraa 등 (1983)의 보고에 의하면 유기산에 의한 작물의 장애 결과로 보고하고 있다. 또한, 10배 희석구보다 3배 희석구의 발아지수가 160% 이상 높게 나타난 것은 김 등(2003)의 결과와 상이하게 나타나 퇴비와 액비의 사용방법을 달리할 필요가 있는 것으로 판단되어진다.

축분뇨 액비에는 작물 성장에 필요한 영양 성분이 다량 함유된 반면 성장에 장애를 주는 유기산 등도 함유되어 있기 때문에 작물의 장애를 줄이고 영양분을 충분히 고려하기 위해선 축분뇨 액비를 작물에 이용 시 적절한 희석을 하여야 할 것으로 판단된다.

4. 발아율과 발아지수를 근거로 미생물 최적 첨가수준 설정

돈 분뇨 액비에 미생물 첨가 기간을 설정하기 위해서 액비 제조 후 1, 3, 5, 7일에 미생물을 첨가하여 발아율과 발아지수를 조사하였으며 지속적으로 낮게 검출되는 3일과 5일의 성적은 본 논문에 제시하지 않고 1일과 7일만 제시하여 비교하였다. 1일과 7일의 0.1%(V/V)와 0.3%(V/V) 미생물 첨가 결과는 Table 4와 같다. 돈 분뇨 액비를 0, 3, 10배 희석한 후 1, 7일 후에 미생물 0.1%를 첨가하였을 때 폭기와 무폭기 액비처리구에서 나

Table 3. Periodic physiochemical changes of the PLF****

(Unit : ppm)

Items		Days							
		10 days	20 days	30 days	40 days	50 days	60 days	80 days	107 days
Aerobic	T-N*	2,789 ±40.97	1,357 ±46.74	1,881 ±20.85	1,328 ±15.67	1,261 ±13.43	1,246 ± 2.76	1,388 ± 5.61	1,204 ±11.76
	T-P**	66 ± 6.75	306 ± 5.36	199 ± 4.48	304 ±10.94	164 ± 2.73	153.7 ± 7.42	159.7 ± 5.14	149 ± 4.37
	NH ₄ -N	146.91 ± 3.67	188.29 ± 7.86	182.77 ±11.74	183.25 ± 1.97	183.87 ± 3.62	201 ±16.79	200 ±12.43	171 ± 9.62
	NO ₃ -N	4.32 ± 1.68	6.67 ± 0.75	8.63 ± 2.16	20.79 ± 8.09	21.97 ± 4.37	25 ± 7.19	187 ±10.84	31 ± 0.89
Anoxic	T-N	2,791 ±34.79	2,248 ±27.41	2,897 ±13.54	1,746 ±30.73	3,672 ± 9.72	2,254 ±13.40	2,153 ±22.94	1,999 ±24.35
	T-P	317 ±14.75	113 ± 8.21	108 ± 5.39	115 ± 3.16	68 ± 0.72	79 ± 6.94	76.7 ± 3.47	83.3 ± 1.74
	NH ₄ -N	169.74 ±15.34	165.43 ± 2.48	160.8 ± 7.34	155.78 ± 1.05	161 ± 6.34	172 ± 3.19	131 ± 2.94	174 ± 4.83
	NO ₃ -N	47.09 ± 4.61	18.83 ± 1.48	9.85 ± 1.32	9.81 ± 0.43	16.87 ± 1.93	10 ± 1.03	22 ± 2.74	24 ± 2.67

* Total nitrogen

** Total phosphorus,

*** Suspended solids

**** Values are means of 3 replicates indicated by ±SD

타난 발아율은 비슷하게 나타났고, 액비제조 후 1일에 미생물을 첨가한 폭기액비구의 발아지수는 56.8, 149.0, 113.3을 나타내었으며, 무폭기 액비구에서는 38.7, 141.8, 116.5로 나타났다. 반면, 7일에 처리한 폭기액비의 발아지수가 13.2, 34.3, 53.6이었고, 무폭기 액비의 경우 8.6, 34.6, 53.3을 나타내었다. 또한 미생물 0.3%를 첨가하였을 경우 발아율은 7일 무폭기 액비구를 제외하고는 비슷하였으며, Still 등(1976)과 Solbraa 등(1983)의 보고와 같이 유기산에 의한 작물의 장애 결과로 보인다. 1일 후 미생물을 첨가한 폭기 액비구의 발아지수는 43.4, 127.6, 126.7으로 나타났으며, 무폭기 액비구는 32.7, 142.8, 233로 나타났다.

반면, 7일 처리구에서는 폭기 액비의 발아지수가 3.6, 58.1, 62.8로 나타났고 무폭기 처리구에서는 0.4, 64.5, 99.3으로 나타났다. 각각의 미생물 첨가 수준별 발아지수를 보면 7일보다 1일에서 처리배수에 관계없이 약 5배 정도가 높았다. 또한, 1일에 미생물 첨가 시 희석하지 않은 처리구보다 10배 희석구에서 200% 이상 발아지수가 높게 나왔고, 10배 희석구에 비해 3배 희석구에서 발아지수가 130% 이상 높게 나타났다.

이 결과로써, 미생물의 최적 투입시기는 액비 제조후 1일이 가장 적당한 것으로 나타났고 액비를 원액 그대로 사용하는 것보다 3배의 최적 희석 배수를 사용하는 것이 발아

Table 4. Effects of time and dilution rates of *Synechocystis* sp. KACC91007 to PLF on GR and GI of Chinese cabbage¹

Items		Swine manure liquid fertilizer											
		Aerobic						Anoxic					
		0.1%			0.3%			0.1%			0.3%		
		0	3X	10X	0	3X	10X	0	3X	10X	0	3X	10X
1 days	GR (%) [*]	90.0 ±3.42 ^c	100.0 ±0.00 ^a	96.7 ±6.72 ^b	83.3 ±1.46 ^c	100.0 ±0.00 ^a	96.7 ±2.67 ^b	83.3 ±3.16 ^b	100.0 ±0.00 ^a	100.0 ±0.00 ^a	76.7 ±1.61 ^b	100.0 ±0.00 ^a	96.7 ±2.46 ^a
	GI ^{**}	56.8 ±3.49 ^c	149.0 ±3.76 ^a	113.3 ±4.71 ^b	43.4 ±0.63 ^b	127.6 ±2.71 ^a	126.7 ±1.97 ^a	38.7 ±0.35 ^c	141.8 ±4.59 ^a	116.5 ±3.62 ^b	32.7 ±4.12 ^c	142.8 ±3.64 ^b	233.0 ±10.06 ^a
7 days	GR (%)	71.9 ±6.13 ^c	93.3 ±4.62 ^a	87.3 ±2.06 ^b	58.1 ±0.88 ^c	107.4 ±5.74 ^a	87.4 ±3.46 ^b	67.8 ±4.15 ^b	78.5 ±2.32 ^a	82.1 ±1.46 ^a	28.5 ±0.45 ^c	100.0 ±0.00 ^a	75.1 ±5.16 ^b
	GI	13.21 ±6.75 ^c	34.3 ±13.46 ^b	53.6 ±7.34 ^a	3.6 ±2.73 ^b	58.1 ±4.06 ^a	62.8 ±5.11 ^a	8.6 ±1.99 ^c	34.6 ±4.23 ^b	53.3 ±2.42 ^a	0.4 ±2.65 ^c	64.5 ±8.66 ^b	99.3 ±2.79 ^a

* Germination rate.

** Germination index.

¹ Microbial inoculant dosages were 0.1% and 0.3% with 2 dilution rates and values are means of 5 replicates indicated by ±SD.

^{abc} means with different superscripts in same row are significantly different at P<0.05.

지수를 상승시키는 것으로 사료된다.

5. 발아율과 발아지수를 근거로 미생물 첨가수준 시험

미생물 첨가기간이 첨가 후 1일 시점이 발아율과 발아지수가 양호하여(Table 4 참조) 미생물 첨가가 이루어지는 1일 이내의 시간대별 발아율과 발아지수로 미생물 첨가 수준 시험을 수행하였으며 미생물 첨가수준을 0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2%를 수행한 결과 0.05%와 0.1%, 0.15%의 수준에 대한 발아지수 결과가 0.05%의 수준과 큰 차이가 없어 미생물 첨가수준을 0.05%와 0.2%의 결과만을 본 논문에서 제시하였으며 그 결과는 Table 5와 같다. 축분뇨 액비를 3배 희석한 처리구에서 미생물을 처리하지 않은 대조구와 0.05%, 0.2%를 첨가한 처리구를 5분, 1시간, 6시간, 24시간 후에 측정된 결과를 비교하였을 때,

폭기 액비의 대조구에서는 발아지수가 각각 81.61, 83.73, 50.39, 90.72로 나타났고, 0.05% 미생물 처리구에서는 48.68, 69.34, 78, 145.35를 나타냈으며, 0.2% 미생물 처리구에서는 118.2, 122.19, 137.54, 179.27로 나타났다. 반면, 무폭기 액비의 대조구의 3배 희석 처리구에서는 69.6, 77.37, 88.11, 92.49로 나타났고, 0.05% 미생물 첨가구에서는 94.22, 122.37, 126.7, 133.61로 나타났고, 0.2% 미생물 첨가구에서는 18.45, 121.77, 132.25, 174.72로 나타났다. 0.05%의 미생물을 첨가한 구와 0.2%의 미생물을 첨가한 구의 차이는 거의 나타나지 않았으며, 미생물을 첨가하지 않은 대조구보다 0.05%의 미생물을 첨가한 구에서 발아지수가 폭기에서 168% 증가하고 무폭기에서 150% 증가한 것은 Cromwell 등(1995); Liu 등(1997); Roukas(1999); 강 등(2001)의 보고와 같이 액비 내에 존재하는 난용성 인산염을 가용화시키기 때문에 발아

Table 5. Effects of time and dilution rates of *Synechocystis* KACC91007 to PLF on GR and GI of Chinese cabbage^a

Items		Swine manure liquid fertilizer						
		Anoxic						
		Control		0.05%		0.2%		
		0	3×	0	3×	0	3×	
T I M E	5 min	GR(%)*	3.33±0.24	83.30± 1.36	30.00±2.10	93.30±3.73	4.95±0.45	66.67± 3.17
		GI**	0.02±0.32	69.60± 4.67	0.99±0.55	94.22±3.19	15.04±0.05	18.45± 0.98
	65 min	GR(%)	92.59±6.73	96.30± 4.13	77.78±2.67	103.70±6.41	77.78±3.10	96.30± 7.16
		GI	33.98±1.77	77.37± 3.19	65.43±4.72	122.37±2.38	72.93±3.76	121.77± 8.81
	365 min	GR(%)	30.00±1.46	93.30± 6.48	40.00±2.33	86.67±5.72	20.00±0.94	90.00± 5.73
		GI	4.06±1.67	88.11± 2.43	69.87±3.17	126.70±5.27	75.71±6.38	132.25± 5.37
	1445 min	GR(%)	26.67±2.34	96.67±13.64	16.67±2.78	93.33±3.67	10.00±3.42	86.67± 4.36
		GI	3.18±0.86	92.49± 6.88	88.57±4.37	133.61±6.13	99.06±7.34	174.72±12.95
	Items		Swine manure liquid fertilizer					
			Aerobic					
			Control		0.05%		0.2%	
			0	3×	0	3×	0	3×
T I M E	5 min	GR(%)*	20.00±2.16	96.67±5.43	30.00±1.78	80.00±2.64	63.30±2.48	96.67± 7.94
		GI**	1.97±0.47	81.61±6.79	1.40±0.35	48.68±3.64	3.95±0.62	118.2 ± 9.96
	65 min	GR(%)	63.96±2.64	100.00±0.00	81.48±2.66	107.41±9.67	92.59±4.35	111.11± 4.53
		GI	12.83±0.84	83.73±6.49	13.44±1.32	69.34±4.79	34.59±1.62	122.19±15.68
	365 min	GR(%)	3.33±0.31	100.00±0.00	13.33±2.65	70.00±3.97	20.00±0.99	100.00± 0.00
		GI	0.06±0.63	50.39±1.76	5.51±1.02	78.00±3.46	79.76±2.79	137.54±14.69
	1445 min	GR(%)	50.00±2.67	93.30±6.72	26.67±2.34	93.33±6.72	70.00±1.97	93.33± 2.61
		GI	8.68±1.64	90.72±6.42	86.31±2.43	145.35±5.34	107.94±4.16	179.27±17.58

* Germination rate.

** Germination index.

^aMicrobial inoculant dosages were 0.05% and 0.2% with three dilution rate and values are means of 5 replicates indicated by ±SD.

올과 발아지수의 상승효과를 나타낸 것으로 사료된다. 또한, 모든 처리구에서 5분 후 24 시간 이내에 시간에 따라 발아지수가 증가하는 양상으로 보이고 24시간이 지난 시점이

최고의 발아지수를 나타냈다. 따라서, 본 연구에서는 최적 미생물 첨가 시기가 액비화 후 1일에 0.05%의 미생물을 첨가하는 것이 배추의 발아지수가 가장 높은 것으로 나타났

다. 회석배수에서도 3배회석구에서 가장 양호한 성적을 얻을 수 있었다. 돈 분뇨 액비에 광합성균의 첨가를 위해선 액비제조 후 액비시용 하루 전에 미생물제제를 투여하고 투여수준을 0.05%로 하면서 폭기과정을 거치게 함으로써 최적의 발아지수를 얻을 수 있을 것으로 사료되었다. 그러나 이와 같은 연구결과가 가용성 인산만의 효과라고 단정하기 위해서는 액비내의 존재하는 영양분과의 상관관계 구명 등 보다 많은 연구가 요구된다.

적 요

본 연구는 돈 분뇨 액비에 미생물 첨가가 배추의 발아지수에 미치는 효과를 구명하기 위해서 수행하였다. 돈 분뇨 액비는 107일 동안 폭기와 무폭기 상태로 액상비료를 제조하여 공시하였고 미생물 첨가는 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.3% 수준으로 하였다. 0.05% 미생물 접종 처리구에서 식물 독성이 낮고 발아지수가 높게 나타났다. 첨가수준별 돈분 액비 이용시험에서 초기 돈 슬러리의 액비성상은 T-N 2,873 ppm, T-P 753 ppm, NH₄-N 1,441.6 ppm, NO₃-N 16.48 ppm으로 50일이 되면서 폭기조건에서 T-N 3,672 ppm, T-P 164 ppm, NH₄-N 183.87 ppm, NO₃-N 21.97 ppm로 변화하였으며, 무폭기 조건에서 T-N 1,261 ppm, T-P 68 ppm, NH₄-N 161 ppm, NO₃-N 16.87 ppm로 나타났다. 미생물을 처리하지 않고 107일동안 폭기조건과 무폭기 조건으로 액비화한 시료의 발아지수는 각각 83과 40.4 이었다. 돈 분뇨 액비를 무산소 제조시 40% 이상, 호기제조시 50% 이상의 발아지수가 개선되었다. 이와 같은 결과는 액비제조 처리가 무산소 제조보다는 호기제조 처리가 작물에 양호한 것으로 판단되어지며 이는 호기처리시 총질소의 함량을 높게 유지할 수 있도록 하는 결과인 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

1. 강선철, 양미옥, 태연희. 2001. 인산가용화균 *Penicillium* sp. GL-101의 유리인산 생성기작에 관한 연구. 한국환경농학회지. 20(1):1-7.
2. 김범철, 허우명, 황길순, 김동섭, 최광순. 1995. 소양호에서의 인의 존재 형태별 분포에 관하여. 한국육수학회지. 28:151.
3. 김태일. 2003. 돈분 악취 및 퇴비화의 생물학적 제어를 위한 미생물 적용 연구. 서울대학교 박사학위논문. pp. 46-47.
4. 김태일, 송준익, 양창범, 김민균. 2004. 돈분 퇴비화 중 부숙도에 미치는 영향인자 구명. 동물자원지. 46(2):261-272.
5. 김태일, 한정대, 남은숙, 양창범, 김재환, 백순용. 1999. 숲 토양 미생물의 돼지 슬러리 탈취 적용 효과. 한초지. 41(1):101-108.
6. 신재순, 이혁호, 신동은, 김정갑, 조영무, 육완방, 유종원. 1999. 젖소액비 시용량에 따른 담근먹이 옥수수 생산성과 토양 화학적 특성의 변화. 한초지. 19(1):17-22.
7. 허수명, 김범철, 안태석, 이기종. 1992. 소양호 유역과 가두리로부터의 인 부하량 및 인 수치(Phosphorus Baget), 한국육수학회지. 25:207.
8. 정광용, 조남준, 정이근. 1998. 가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성 비교. 한국환경농학회지 17(4):301-3051.
9. Adeola, O., Lawrence, B. V., Sutton, A. L. and Sutton, T. R. 1995. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs. J. Anim. Sci. 73:3384-3391.
10. Agasimani, C. A., Mudlagiriyappa and Sreenivasa, M. N. 1994. Response of groundnut to phosphate solubilizing microorganisms. Groundnut News 6:5.

11. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. APHA, Washington, DC.
12. AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
13. Brickman, E. and Beckwith, J. 1975. Analysis of the regulation of *Escherichia coli*. alkaline phosphatase synthesis using deletions and $\Phi 80$ transducing phages. J. Mol. Biol. 96:307-316.
14. Campbell, C. M., Schnitzer, M., Stewart, W. B., Biederbeck, J. V. O. and Selles, F. 1986. Effect of manure and P fertilizer on properties of a Black Chernozem in Southern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 66:601-613.
15. Charles, D. Fulhage and Donald, L. 2002. Fertilizer nutrients in livestock and poultry manure. Nutrients and Bacterial Waste. MU Guide EQ351.
16. Cromwell, G. L., Coffey, R. D., Parker, G. R., Monegue, H. J. and Randolph, J. H. 1995. Efficacy of a recombinant-derived phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs. J. Anim. Sci. 73:2000-2008.
17. Cromwell, G. L., Stahly, T. S., Coffey, R. D., Monegue, H. J. and Randolph, J. H. 1993. Efficiency of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets of pigs. J. Anim. Sci. 71:1831-1840.
18. Dubey, S. K. and Billore, S. D. 1992. Phosphate solubilizing microorganism (PSM) as inoculant and their role in augmenting crop productivity in India-A review. Crop. Res. Hisar. 5:11.
19. Elhai, J., Thiel, T. and Pakrasi, H. 1990. DNA transfer into cyanobacteria. Plant Mol. Biol. Manual A12:1-23.
20. Freeze, B. S. and Sommerfeldt, T. G. 1985. Breakeven hauling distances for beef feed lot manure in southern Alberta. Can. J. Soil Sci. 65:687-693.
21. Kim, H. O., Uo, Z. K., Lee, S. C. and Kucey, R. M. N. 1984. Mycorrhizae distribution and rock phosphate dissolution by soil fungi in the citrus fields in Jeju-do, Cheju Natl. Univ. J. 17:45-50
22. Kucey, R. M. N. 1988. Effect of *Penicillium bilaji* on the solubility and uptake of P and micronutrients from soil by wheat. Can. J. Soil Sci. 68:261-270.
23. Lei, X., Ku, P. K., Miller, E. R., Ullrey, D. E. and Yokoyama, M. T. 1993a. Supplemental microbial phytase improves bioavailability of dietary zinc to weaning pigs. J. Nutr. 123:1117.
24. Lei, X., Ku, P. K., Miller, E. R., Yokoyama, M. T. and Ullrey, D. E. 1993b. Supplementing corn-soybean meal diets with microbial phytase maximizes phytate phosphorus utilization by weanling pigs. J. Anim. Sci. 71:3368.
25. Liu, J., Bollinger, D. W., Ledoux, D. R., Eilersieck, M. R. and Veum, T. L. 1997. Soaking increases the efficacy of supplemental microbial phytase in a low-phosphorus corn-soybean meal diet for growing pigs. J. Anim. Sci. 75:1292-1298.
26. O'Quinn, P. R., Knabe, D. A. and Gregg, E. J. 1997. Efficacy of Natuphos[®] in sorghum-based diets of finishing swine. J. Anim. Sci. 75:1299-1307.

27. Paul, E. A. and Clark, F. E. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic press, New York, USA.
28. Roukas, T. 1999. Citric acid production from carob pod by solid-state fermentation. Enzyme Microb. Technol. 24:54-59.
29. SAS. 1985. SAS user's guide : Statistics, SAS Inst, Inc., Cary, NC.
30. Solbraa, K., Sant, M. D., Selmer-Olson, A. R. and Gislerod, H. R. 1983. Composting soft and hardwood bark. Biocycle. 24:44-48.
31. Sommerfeldt, T. G., Chang, C. and Entz, T. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. Soil Sci. Soc. Am J. 52:1667-1672.
32. Sommerfeldt, T. G. and Chang, C. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. Soil Sci. Soc. Am J. 549: 983-987.
33. Sommerfeldt, T. G. and Chang, C. 1987. Soilwater properties as affected by twelve annual applications of cattle feedlot manure. Soil Sci. Soc. Am J. 51:7-9.
34. Stahl, C. H., Roneker, K. R., Thornton, J. R. and Lei, X. G. 2000. A new phytase expressed in yeast effectively improves the bioavailability of phytase phosphorus to weanling pigs. J. Anim. Sci. 78:668-674.
35. Still, S. M., Dirr, M. A. and Gartner, J. B. 1976. Phytotoxic effects of several bark extracts on mung bean and cucumber growth. J. Am. Soc. Horitic. Sci. 101:34-37.
36. Suh, J. S., Lee, S. K., Kim, K. S. and Seong, K. Y. 1995. Solubilization of insoluble phosphates by *Pseudomonas putida*, *Penicillin* sp., and *Aspergillus niger* isolated from Korean soils, J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. 28:278-286.
37. Tiwari, V. N., Pathak, A. N. and Lehri, L. K. 1993. Rock phosphate-superphosphate in wheat in relation to inoculation with phosphate solubilizing organism and organic waste. Ind. J. Agr. Res. 27:137-145.
38. Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A. and de Bertoldi, M. 1981a. Biological evaluation of compost maturity. Biocycle 22:27-29
39. Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. and de Bertoldi, M. 1981b. Evaluating toxicity of immature compost. Biocycle 22:54-57.