

Production of Antifungal Compost by Using *Bacillus licheniformis* KJ-9

Dong-Cheol Seo¹, Jeong-Ae Ko and Sang-Won Lee*

Department of Microbiological Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

¹Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Received February 26, 2010 / Accepted August 30, 2010

In order to produce environmental-friendly fermented compost, a cattle manure-sawdust compost (antifungal compost) was developed by inoculation of *B. licheniformis* KJ-9 to cattle manure-sawdust. The thermal stability of the antifungal substance produced by *B. licheniformis* KJ-9 maintained more than 60% antifungal activity with heat treatment at 100°C for 10 min, and the optimum pH of antifungal activity of the substance was 7.0. In a pot experiment with red pepper, the antifungal compost increased 1.5~2 times in leaf number and stem and root growth rate compared to those of commercial compost. Also, the diameter of stems increased 1.5-3 times in the antifungal compost treated group. The amount of microbes increased markedly in soil supplemented with antifungal compost compared to the control. In the field experiment for cultivation of garlic and *Perilla japonica*, the growth of both crops was significantly enhanced in the field treated with antifungal compost as compared to the commercial compost.

Key words : *B. licheniformis*, antifungal substance, antifungal compost

서 론

화학농약은 자연계의 천적을 감소시켜 생태계를 파괴하고 지하수와 지표수를 오염시키며 농산물에 잔류하여 소비자의 건강을 위협하기 때문에 최근 잔류농약에 관한 규제가 매우 강화되고 있으며 또한 소비자들은 농산물의 잔류농약 두려움으로 인하여 유기농산물의 구입을 선호하고 있는 실정이다. 이를 위한 대체방법의 하나로 최근 토양내의 길항미생물에 의한 식물병원성균의 발병억제 방법인 생물방제법이 활발히 연구되고 있다[4,17].

현재는 화학농약이 세계농약시장의 대부분을 차지하고 있지만 멀지 않은 미래에는 이들을 대체할 수 있는 무독성 혹은 저독성 생물농약, 즉 식물이나 미생물들로부터 유래된 저독성 천연 물질이나 유용한 길항미생물 제제들을 이용한 생물학적 병충해 방제법의 실용화가 활발히 이루어질 것으로 예측하고 있다 [1,7,10,17]. 이러한 생물학적 병충해 방제의 효과는 토양 전염병을 감소시키며, 기주식물의 근권 정착능력을 촉진함으로써 작물의 성장을 양호하게 하여 수확량을 증대하는 것으로 알려져 있다[4]. 식물질병을 방제하기 위한 미생물로는 *Trichoderma* sp., *Pseudomonas* sp., *Streptomyces* sp. *Agrobacterium* sp. *Bacillus* sp. 등의 다양한 길항미생물이 널리 이용되고 있으며, 사용방법은 주로 이들 길항미생물 배양액 자체 혹은 대사물질을 상품화하여 이용하고 있다[8].

Lorito 등[13]은 *Trichoderma harzianum* P1에서 분리한 두

가지 type의 chitinolytic enzyme인 endochitinase와 chitobiosidase가 *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani* 등의 포자 발아와 germ tube 성장을 억제하는 것으로 보고하였다. 최근 Yu 등 [18]은 *Bacillus amyloliquefaciens*로부터 대두 유모에 질병을 유발시키는 *Rhizoctonia solani*에 대하여 높은 항균활성을 갖는 내열성의 antifungal protein을 분리하였으며, Kharbanda 등 [6]은 유채의 근권으로부터 분리한 *Bacillus* sp.으로부터 antifungal metabolite를 분리하였다. Liu 등[12]은 길항미생물 *Bacillus subtilis*로부터 내열성의 항진균성 단백질 B1을 분리하여 여러 가지 곰팡이에 대한 검토 결과를 보고하였다. 본 연구자들은 전보[9]에서 식물 병원성균주인 *Botrytis cinerea*, *Corynespora cassicola*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*에 대한 항균활성이 높고 cellulase, protease 및 chitinase 효소 분비력이 우수한 *Bacillus licheniformis* KJ-9를 자연계로부터 분리·동정하여 배양학적 특성을 보고하였다. 본 연구에서는 *B. licheniformis* KJ-9를 이용한 고품질의 항균발효퇴비를 생산할 목적으로 *B. licheniformis* KJ-9의 배양용액을 정기적으로 퇴비 발효조에 투여하여 제조한 항균발효퇴비(*B. licheniformis* KJ 9 fermented compost, BLC)를 개발한 다음 대조구인 기존의 판매퇴비(commercial compost, CC)와 함께 고추, 들깨 및 마늘의 *in vivo* 실험 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

공시균주 및 배지

공시균주는 carboxy methyl cellulase (CMCase), protease 및 chitinase 효소활성이 높고, 식물병원성균주에 대하여 항균

*Corresponding author

Tel : +82-55-751-3394, Fax : +82-55-751-3399

E-mail : swlee@jinju.ac.kr

활성이 우수한 균주로 전보에서[9] 분리·동정된 *Bacillus licheniformis* KJ-9를 사용하였다. 항균활성 측정을 위한 식물병원성균주는 농업진흥청 응용미생물과에서 분양받은 *Botrytis cinerea* KACC 40965, *Corynespora cassicola* KACC 40964, *Fusarium oxysporum* KACC 40047, *Rhizoctonia solani* KACC 40109의 균주를 사용하였다. *B. licheniformis* KJ-9의 보존 및 배양은 1.5% soluble starch, 0.5% yeast extract, 0.05% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 의 성분으로 구성된 배지를 사용하였으며, 배지의 초기 pH는 7.0, 배양온도는 50°C 그리고 진탕속도는 180 rpm으로 행하였다. 그리고 식물 병원성균주의 생육 및 보존을 위한 배지는 PDA (Difco) 평판배지를 사용하여 30°C에서 행하였다.

항균활성 측정

항균활성 측정은 PDA평판배지 중앙에 corker borer No. 5 (직경 7 mm)를 이용하여 식물 병원성균주를 블록형태로 접종한 다음 30°C의 항온기에서 곰팡이의 균사가 평판배지의 1/3정도를 덮을 때까지 배양하였다. 이때 성장하는 곰팡이 균사의 끝으로부터 1 cm 정도 떨어진 지점에 corker borer No. 5 (직경 7 mm)를 이용하여 평판배지 상에 구멍을 뚫은 다음 0.2 μm membrane filter로 여과한 *B. licheniformis* KJ-9의 배양용액 150 μl를 접종한 후 30°C에서 24~72시간 대치배양하여 식물 병원성균주의 균사성장 억제정도(inhibition zone)를 관찰하였다[13].

배양용액의 온도 및 pH 안정성

B. licheniformis KJ-9 배양용액의 온도 및 pH 안정성 검토 [11]를 위한 시료용액은 *B. licheniformis* KJ-9를 액체배양한 후 그 배양액을 8,000× g, 20분 동안 원심분리하여 얻어진 배양상등액을 0.2 μm membrane filter로 여과한 용액을 사용하였다. 온도 안정성 검토는 여과한 시료용액을 70, 80, 90 및 100°C에서 각각 10 분간 열처리한 다음 식물병원성 균주에 대한 상대적 항균활성을 열처리하지 않은 대조구와 비교하여 %로 나타내었으며, pH 안정성 검토는 시료용액을 0.1 M HCl 및 0.1 M NaOH로 pH 3, 5, 7, 9 및 11로 조절한 후 상온에서 천천히 흔들면서 2시간 동안 방치한 다음 중성으로 중화시켜 열 안정성과 동일한 방법으로 측정하였다.

항균발효퇴비의 제조

톱밥우분에 *B. licheniformis* KJ-9를 정기적으로 투여하여 발효시킨 항균발효퇴비(BLC)는 경남 산청군 신안면에 위치한 신안위탁퇴비공장의 협조를 얻어 고속연속 퇴비발효장치를 이용하여 제조하였다. 고속연속 퇴비발효조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 길이×폭×깊이가 각각 60 m × 6 m × 15 m로 구성되어 있으며, 발효조의 밑바닥에는 직경 100 mm의 통풍관을



Fig. 1. Production of antifungal compost by spraying of *B. licheniformis* KJ-9.

6개 설치하여 산소의 공급이 원활하도록 하였다. 발효 중인 퇴비의 뒤집기는 횡단 이동이 가능한 자동 교반장치를 이용하였다. BLC 제조를 위한 미생물 접종용액은 15 l의 발효조에 10 l의 액체배지를 넣고 *B. licheniformis* KJ-9 전배양액을 2% 접종하여 50°C, 120 rpm으로 72시간 배양하여 사용하였다. BLC는 *B. licheniformis* KJ-9의 배양용액을 수돗물로 10 배 희석하여 농약 살포 분무기로 2주일에 1회씩 톱밥우분퇴비의 표면에 분무하면서 30일 동안 발효를 행하여 제조하였다. BLC를 이용한 *in vivo* 실험의 대조구는 *B. licheniformis* KJ-9를 분무하지 않고 제조한 톱밥우분퇴비 즉, 종래의 판매퇴비(commercial compost, CC)를 사용하였다.

고추의 pot 실험

BLC를 이용한 식물의 pot 실험은 Han 및 Ko 등[3,19]의 방법에 따라 수행하였다. 가로×세로×높이가 각각 56 cm × 36 cm × 25 cm인 아이스박스의 밑바닥에 직경 2 cm 정도의 구멍을 12개 뚫고 일반 발 흙만을 사용한 시험구(a), 일반 발 흙에 CC를 10%(v/v) 혼합한 시험구(b), 일반 발 흙에 BLC를 10%(v/v) 혼합한 시험구(c) 각각에 시중의 종묘상에서 5 엽기 정도 성장한 고추종묘를 9포기씩 이식하여 60일 정도 재배하면서 고추역병, 탄저병 및 세균성 점무늬병 뿐만 아니라 고추의 잎 수, 줄기의 길이, 뿌리의 길이, 줄기의 횡단면 등의 고추 성장정도를 상호비교 검토하였다. a, b 및 c 시험구는 각각 2시험구(총 18포기)씩 준비하여 동시에 실험을 행하였으며 결과는 평균값으로 나타내었다.

항균발효 퇴비의 현장적용

본 연구에서 개발한 BLC의 현장적용 시험은 경남 산청군 신안면 장죽리에 위치한 일반 농가에서 400 m² 정도의 밭을 A, B구간으로 나누고 A구간에는 기존의 판매퇴비인 CC 400 kg (20 kg 포대 20개)를 살포하고, B구간에는 본 연구에서 제

조한 BLC 400 kg 살포한 후 늦가을에 마늘을 재배하여 생육상태를 관찰하였다. 그리고 마늘을 수확한 다음 해의 봄에는 들깨를 동일조건으로 재배하면서 작물의 질병 및 생육상태를 육안으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

온도 안정성

톱밥우분의 발효는 상당히 고온에서 진행되기 때문에 *B. licheniformis* KJ-9의 배양용액에 대한 온도 안정성을 검토하여 Fig. 2에 나타내었다. 처리온도를 70~100°C까지 변화시키면서 10분 동안 열처리한 결과 70°C에서는 모든 시험구에서 대조구와 거의 대등한 항균활성을 유지하였으며, 80°C에서도 *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysorum* 및 *Corynespora cassicola*의 식물병원성 균주에 대하여 각각 97, 95, 93 및 92%의 높은 열안정성을 유지하였다. 그러나 100°C에서는 각각 68, 62, 60 및 52% 정도만의 항균활성을 나타내었다. 그리고 *B. licheniformis* KJ-9의 배양용액은 열처리한 각 시험구의 모든 온도에서 *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysorum* 및 *Corynespora cassicola*의 순으로 항균활성이 높게 나타났다. Park 등[15]이 보고한 *B. subtilis* HS 25의 항균물질은 100°C에서 10분간 열처리하여도 *S. aureus*, *S. enteritidis*, *K. pneumoniae*, *P. mirabilis* 및 *V. parahaemolyticus* 등의 식품유해미생물에 대하여 거의 99% 이상 활성을 유지하였다는 결과보다는 낮은 활성을 유지하였지만, Piva 등[16]이 보고한 *Pediococcus pentosaceus* FB61이 생산한 pediocin A의 항균물질은 100°C에서 10분간 열처리하면 단지 5% 정도의 항균활성만이 유지되었다고 보고한 결과와 비교할 때 *B. licheniformis* KJ-9가 생산한 항균물질의 열 안정성은 상당히 높은 것으로 판단되었다. 이상의 결과로 미생물이 생산하는 항균물질은 그 미생물의 특성

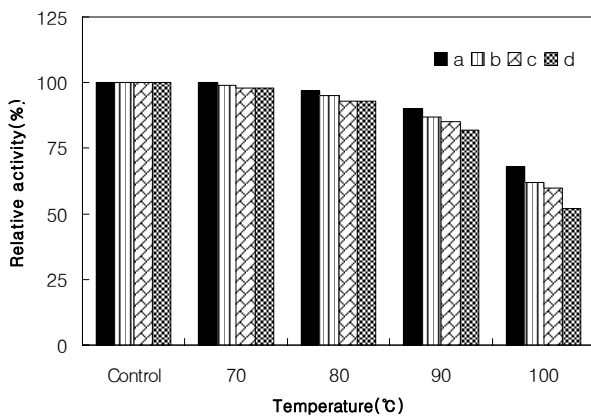


Fig. 2. Heat stability of the culture supernatant *B. licheniformis* KJ-9. The remain activity was checked with four phytopathogenic fungi. a, *Botrytis cinerea*; b, *Rhizoctonia solani*; c, *Fusarium oxysorum*; d, *Corynespora cassicola*.

에 따라서 열 안정성에 상당한 차이를 나타내는 것으로 판단된다.

pH 안정성

B. licheniformis KJ-9가 생산한 항균물질의 pH 안정성을 검토하여 Fig. 3에 나타내었다. pH 3에서는 4종류의 모든 식물병원성 미생물에 대하여 거의 항균활성을 나타내지 않았지만 pH 5에서부터 항균활성이 나타나기 시작하여 pH 7의 중성 및 pH 9의 알칼리성 영역에서는 상당히 높은 항균활성을 유지하였다. 그러나 pH 11의 강알칼리 영역에서는 *Corynespora cassicola*를 제외한 *Botrytis cinerea* 및 *Fusarium oxysorum*에서만 항균활성을 유지하였다. 이상의 결과로 *B. licheniformis* KJ-9가 생산한 항균물질은 산성영역보다는 중성 및 알칼리 영역에서 더욱 안정성을 유지하는 것으로 판단되었다. *B. subtilis* HS 25가 생산한 항균물질의 경우 *S. aureus* 및 *V. parahaemolyticus* 등의 식품유해미생물에 대하여 pH 4.5 및 5.0의 산성 측에서는 거의 항균활성을 나타내지 않지만, pH 7.4 이상의 약알칼리 및 pH 11의 강알칼리 영역에서는 매우 안정된 항균활성을 유지하였다는 Park 등[15]의 연구결과와 매우 유사하였다.

항균성 발효퇴비

톱밥우분에 항균미생물인 *B. licheniformis* KJ-9를 정기적으로 접종하여 발효시킨 BLC를 퇴비 품질검사에 준하여 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 대조구로는 균주를 접종하지 않고 제조한 CC를 사용하였다. 2종류의 퇴비 모두 공정규격에

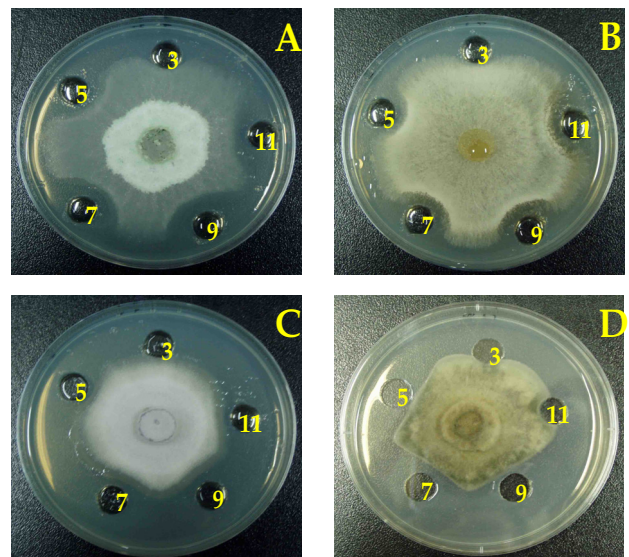


Fig. 3. pH stability of the culture supernatant *B. licheniformis* KJ-9. The remain activity was checked with four phytopathogenic fungi. The 3, 5, 7, 9 and 11 were culture supernatants of *B. licheniformis* KJ-9 adjusted with pH 3, 5, 7, 9 and 11. A, *Botrytis cinerea*; B, *Rhizoctonia solani*; C, *Fusarium oxysorum*; D, *Corynespora cassicola*.

Table 1. Analysis of antifungal compost containing *B. licheniformis* KJ-9

Analysis items	Antifungal compost	Commercial compost	Standard
O · M ¹⁾ (%)	34.68	26.34	25 above
O · M / N (C/N) ²⁾	20.89	16.67	50 below
T-N ³⁾ (%)	1.66	1.58	-
Pb (mg/kg)	3.00	3.21	150 below
Cd (mg/kg)	0.24	0.23	5 below
Cu (mg/kg)	24.47	53.77	300 below
Cr (mg/kg)	3.73	13.73	300 below
As (mg/kg)	1.89	3.79	50 below
Hg (mg/kg)	Trace	Trace	2 below
Zn (mg/kg)	71.13	213.69	900 below
Ni (mg/kg)	2.78	21.82	50 below
Salt (%)	0.36	0.71	1 below
Moisture (%)	28.41	34.29	-

¹⁾Organic matter, ²⁾Ratio of carbon source to nitrogen source, ³⁾Total nitrogen

는 적합하였으나 퇴비를 제조하는 과정에 있어서 BLC의 경우는 우분의 냄새가 확실히 줄어드는 것을 느낄 수 있었으며 또한 퇴비의 발효시간도 3일 정도 단축되었다. BLC와 CC의 C/N율은 각각 20.89와 16.67로 약 1.5배 이상 BLC에서 높게 나타났으며, 그 외의 금속이온들은 CC에서 대체적으로 높은 값을 나타내었다. 특히 Cu 및 염분은 2배, Zn은 3배, Ni은 8배 정도 BLC보다 CC에서 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 *B. licheniformis* KJ-9가 톱밥을 효율적으로 발효시킨 결과 C/N율이 높고 금속이온의 함량이 대체로 낮은 것으로 사료된다. Min 등[14]은 톱밥돈분발효퇴비, 톱밥계분발효퇴비 및 톱밥우분발효퇴비의 성분을 검토한 결과 총질소함량은 각각 1.4, 12. 및 0.7%이었으며, C/N율은 22.9, 29.9 및 40 정도인 것으로 보고하여 본 연구의 결과와 유사하였다.

고추의 pot실험

본 연구에서 제조한 BLC가 고추생장 및 자연적으로 발생하는 질병 등에 미치는 영향을 검토하기 위하여 pot실험한 결과를 Fig. 4, Fig. 5 및 Table 2에 나타내었다. Fig. 4의 A~C사진은 고추의 이식을 위한 퇴비의 혼합 및 고추의 성장과정을 나타낸 것이며, Fig. 4의 D사진과 Table 2는 재배 60일 이후 고추의 대, 줄기 및 뿌리 등의 성장상태를 검토한 결과이다. 일반 발 흙 시험구(a), 일반 발흙과 CC를 혼합한 시험구(b), 일반 발 흙에 BLC를 혼합한 시험구(c)로 나누고 고추의 묘목을 60일 정도 재배하였을 때 고추의 성장정도는 현저한 차이를 나타내었다(Fig. 4C, 4D). 이 각 시험구 고추의 뿌리 및 줄기(고추 대) 등의 성장을 비교 검토한 결과 a 시험구에서는 뿌리 및 고추대의 성장 길이가 각각 13 cm와 20 cm 이었으나, b 시험구에서는 각각 18 cm와 33 cm이었다. 그러나 c 시험구에

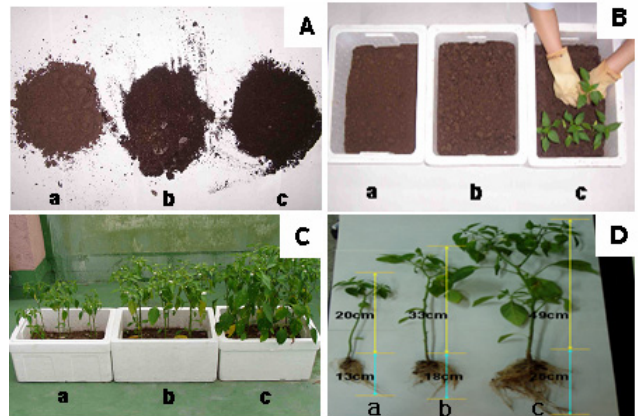


Fig. 4. Breeding of red peppers with the antifungal composts. A, Soil and soil containing compost (soil:compost=9:1 (v/v)); B, Transplanting of red pepper; C, Growth of red pepper; D, Comparison of the growth of red peppers; a, Soil; b, Soil containing commercial compost; c, Soil containing antifungal compost.

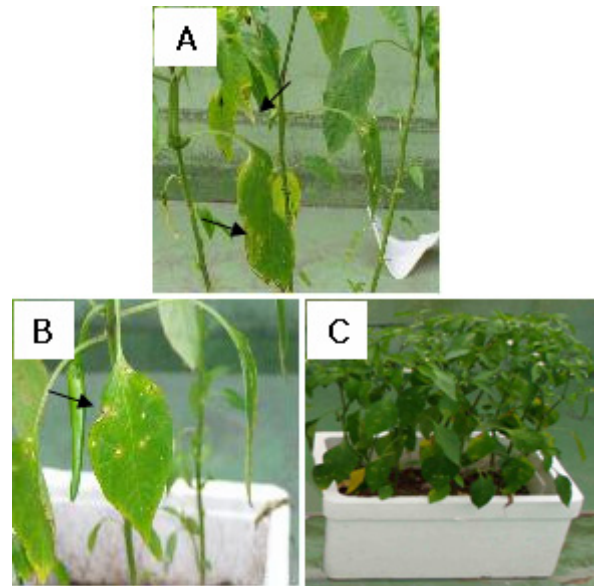


Fig. 5. Comparison of pathogenic damage of peppers after growing on the several composts. A, Soil; B, Soil containing commercial compost; C, Soil containing antifungal compost.

서는 각각 25 cm와 49 cm로 고추 대 뿐만 아니라 뿌리의 성장이 다른 시험구에 비하여 월등하게 양호함을 알 수 있었다. 또한 잎의 수에 있어서도 a는 17매, b는 29매 이었지만 c는 40매로 BLC를 사용한 c시험구가 a 및 b시험구보다 월등하게 많았으며, 대의 굵기에 있어서도 a, b 및 c시험구가 각각 0.2, 0.4 및 0.6 cm로 BLC를 사용한 시험구에서 3~1.5배 정도 굵은 것으로 나타났다. 그리고 고추의 성장과정 중에 자연적으로 발생하는 질병을 육안으로 관찰한 결과를 Fig. 5에 나타내었

Table 2. Effect of commercial and antifungal composts on the growth of red peppers

Sample	a ¹⁾	b ²⁾	c ³⁾
Leaf number (No.)	17±5	29±4	40±8
Plant length (cm)	20±5	33±3	49±3
Root length (cm)	13±2	18±3	25±4
Stem diameter (cm)	0.2±0.05	0.4±0.05	0.6±0.03

¹⁾soil, ²⁾soil containing commercial compost, ³⁾soil containing antifungal compost

다. 고추의 역병 및 탄저병 등의 발생은 모든 시험구에서 관찰되지 않았으나 a 및 b 시험구에서는 고추 잎이 마르고 약간의 황색반점이 발생하면서 잎이 전체적으로 약간 노란색을 나타낸 반면 c 시험구에서는 잎이 푸르고 줄기가 튼튼하며 병충해에 전혀 영향을 받지 않은 것으로 관찰되었다. 이상의 결과로 본 연구에서 제조한 항균성 톱밥발효퇴비는 고추의 병충해 방제뿐만 아니라 생육에도 매우 효과적인 것으로 판단되었다. Hwang 등[5]은 가축퇴비(계분)를 사용한 고추나무의 생육상황을 검토한 결과 가축퇴비의 10%를 사용하였을 때 가장 양호한 결과를 나타내었다고 보고하였으며, Yun 등[19]은 자연계로부터 분리·동정한 *Chryseomonas luteola* 5042 균주의 배양용액을 직접 고추역병균인 *Phytophthora capsici*에 처리하여 효과적으로 병원성균주의 생육을 억제하였다고 보고한 결과를 보면 *B. licheniformis* KJ-9을 이용한 미생물제제 개발을 위한 연구도 필요한 것으로 판단된다.

항균퇴비의 현장적용

본 연구에서 제조한 항균퇴비의 현장적용 시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. A는 늦가을에 마늘을 심어 재배한 사진이고, B는 마늘을 수확한 후 들깨를 심어 재배한 사진이다. a 시험구는 CC, b 시험구는 BLC를 사용하여 마늘과 들깨를 재배하였다. 그 결과 두 작물 모두 병충해는 관찰되지 않았으나 CC를 사용한 a 시험구 보다 BLC를 사용한 b 시험구에서 마늘 및 들깨의 발아율 및 식물의 생장이 월등하게 우수함을 확인할

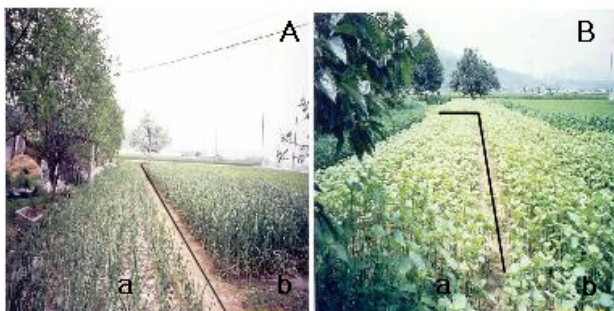


Fig. 6. Field application of *B. licheniformis* KJ-9. A, Garlic; B, *Perilla japonica*; a, treated with commercial compost; b, treated with antifungal compost.

수 있었다. 특히 기온이 낮은 겨울철에 성장하는 마늘의 경우는 성장속도 및 마늘의 크기에 있어서도 현저한 차이를 나타내었으며, 봄에 씨앗을 뿌린 들깨의 경우는 BLC를 사용한 시험구에서 약 3일 정도 빠르게 싹이 돋아남을 관찰 할 수 있었다. Chang 등[2]은 농·축·수산폐기물의 재활용을 모색하여 농업적 활용 가능성을 조사하기 위하여 고속 발효시킨 퇴비로 무 및 상추 등의 발아율 등을 검토한 결과 생육초기에는 퇴비의 미부숙이나 염류에 의해 식물체에 생리적인 장애를 일으켜 발아와 생육을 억제하였으나 생육후반기로 갈수록 퇴비를 많이 사용한 시험구가 양호한 생육을 나타내었다고 보고하였다. 이상의 결과로 *B. licheniformis* KJ-9를 분무하여 제조한 항균퇴비는 식물의 발아에 전혀 나쁜 영향을 미치지 않고 식물의 병충해 방제뿐만 아니라 생육을 촉진시키는 우수한 퇴비로 사료되기 때문에 이후의 연구는 상기의 이유를 명확하게 밝히기 위한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년 진주산업대학교 학술연구구성비의 지원과 신안위탁퇴비공장의 협조로 수행된 연구결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

References

1. Baker, R. 1968. Mechanism of biological control of soilborne plant pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* **6**, 263-294.
2. Chang, K. W., J. J. Lee, and J. E. Lee. 2002. Evaluation of safety and fertilizer effect of composts according to rapid fermentation composting of agro·livestock·marine organic waste. *J. of Kowrec.* **10**, 305-311.
3. Han, K. H., C. U. Lee, and S. D. Kim. 1999. Antagonistic role of chitinase and antibiotic produced by *Promicromonospora* sp. KH-28 toward *F. oxysporum*. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **27**, 349-353.
4. Han, K. H. and S. D. Kim. 1999. Selection and identification of *Promicromonospora* sp. KH-28 producing chitinase and antifungal antibiotic. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **27**, 191-196.
5. Hwang, K. S., B. J. Yoo, and Y. C. Kim. 2006. Growth change of ficus benjamiana affected by application of fowl manure. *Korean J. Environ. Agriculture* **25**, 170-173.
6. Kharbanda, P. D., J. Yang, P. Beatty, S. Jensen, and J. P. Tewari. 1997. Potential of a *Bacillus* sp., to control blackleg and other disease of canola. *Phytopathology* **87**, 51-55.
7. Kim, H. J., G. J. Park, S. G. Lee, Y. L. Jeong, and J. H. Lee. 1984. Biological control of Finseng root-rot. *Korean Ginseng Research Institute.*
8. Kim, Y. S., J. K. Son, D. C. Moon, and S. D. Kim. 1997. Isolation and structure determination of antifungal from *Bacillus subtilis* YB-70, a powerful agent. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **25**, 62-67.

9. Ko, J. A., D. C. Seo, S. W. Gal, and S. W. Lee. 2010. Characterization of *Bacillus licheniformis* KJ-9 isolated from soil. *J. Life Sci.* **20**, 403-410.
10. Korean association of agrochemical industry. 1993. Reduction by pest and pathogen in non-agrochemical cultivation. *Agrochemicals Information* **14**, 13-15.
11. Kwak, M. S., S. G. Lee, S. C. Jeong, S. H. Suh, J. H. Lee, Y. J. Jeon, Y. H. Kim, and M. H. Sung. 1999. Screening and Taxonomic characterization of D-amino acid amino-transferase producing thermophiles. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **27**, 184-190.
12. Liu, Y. Q. W., Y. P. Pan, and Z. L. Chen. 1994. Identification of antagonistic strain TG26 and purification of its antifungal protein BI. *Acta Botanica Sinica.* **36**, 197-203.
13. Lorito, M., G. E. Harman, C. K. Hayes, R. M. Broadway, A. Tronno, S. L. Woo and D. A. Pietro. 1993. Chitinolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum*: antifungal activity of purified endochitinase and chitobiosidase. *Phytopathology* **83**, 302-307.
14. Min, K. B. and S. D. Hong. 1996. Effect of different fermented manure-sawdust composts application on chinese cabbage yield. *J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l. Univ.* **13**, 3-11.
15. Park, S. K., H. S. Ryu, and S. W. Lee. 2008. Characterization of an antibacterial substance produced by *Bacillus subtilis* HS 25 isolated from fermented soybean foods. *Korean J. Food Preserv.* **15**, 300-305.
16. Piva, A. and D. R. Hedadon. 1994. Pediocin A, a bacteriocin produced by *Pediococcus pentosaceus* FBB61. *Microbiology* **140**, 697-702.
17. Siegel, M. and H. D. Sisker. 1977. Antifungal compounds, pp. 227-236, Vol 2. *Interactions in Ecological System.*
18. Yu, G. Y. and J. B. Sinclair. 1997. Purification and identification of an antifungal protein produced by a potential bio-control agent *Bacillus amyloliquefaciens* B94. *Phytopathology* **87**, 107-112.
19. Yun, G. H., E. T. Lee, and S. D. Kim. 2001. Identification and antifungal antagonism of *Chryseomonas luteola* 5042 against *Phytophthora capsici*. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **29**, 186-193.

초록 : *Bacillus licheniformis* KJ-9를 이용한 향균발효퇴비의 생산

서동철¹ · 고정애 · 이상원*

(진주산업대학교 미생물공학과, ¹경상대학교 농업생명과학원)

환경친화적인 향균발효퇴비를 생산할 목적으로 식물병원성 균주에 대하여 향균활성이 우수한 *B. licheniformis* KJ-9를 톱밥우분에 접종하여 고품질의 향균발효퇴비(*B. licheniformis* KJ 9 fermented compost, BLC)의 개발을 행하였다. *B. licheniformis* KJ-9가 생산한 물질의 온도 안정성은 100°C, 10분간 열처리하여도 약 60% 이상의 향균활성을 유지하였으며, pH 안정성은 산성보다는 pH 7.0 이상의 중성 및 알칼리성 영역에서 높은 향균활성을 유지하였다. 퇴비를 제조하는 과정에서 BLC의 경우는 우분 냄새가 확실히 줄어들었으며 또한 퇴비의 발효시간도 3일 정도 단축되었다. 고추의 pot실험 결과 BLC를 첨가한 시험구 이외의 다른 시험구에서는 고추 잎이 마르고 약간의 황색반점이 발생하였다. 그리고 BLC를 이용한 시험구는 발 흙만을 사용한 시험구 및 발 흙에 기존의 판매퇴비 (commercial available compost, CC)를 혼합한 시험구보다 잎의 수가 많고(1.5~2배), 줄기 및 뿌리의 성장이 빠르며, 줄기가 굵은(1.5~3배) 것으로 나타났다. 마늘 및 들깨를 재배한 현장적용 실험결과 두 시험구 모두 자연발생적인 병충해의 피해는 없었지만 BLC를 사용한 밭에서 마늘 및 들깨의 생육이 현저하게 빠른 것을 관찰할 수 있었다.