

## *Lysobacter capsici* YS1215를 이용한 뿌리혹선충(Root-knot nematode)의 생물학적 방제

이용성<sup>1</sup> · 박윤석<sup>2</sup> · 김선배<sup>3</sup> · 김길용<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 농업생명과학대학, <sup>2</sup>(주)푸르네, <sup>3</sup>담양군농업기술센터

### Biological Control of Root-knot Nematode by *Lysobacter capsici* YS1215

Yong-Sung Lee<sup>1</sup>, Yun-Suk Park<sup>2</sup>, Sun-Bae Kim<sup>3</sup>, and Kil-Yong Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Applied Bioscience and Biotechnology, Institute of Environmentally-Friendly Agriculture (202), Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

<sup>2</sup>Purne Co., Ltd., Institute of Environmentally-Friendly Agriculture, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

<sup>3</sup>Damyang Agriculture Technical Center, Damyang 517-800, Korea

The experiments were carried out to investigate the biocontrol potential of *Lysobacter capsici* YS1215 on root-knot nematode and to characterize its lytic enzyme activities. *L. capsici* YS1215 showed chitinase and gelatinase activities on the medium containing 0.5% chitin or 0.5% gelatin as substrates. Cell growth of *L. capsici* YS1215 was highest at 6 days, and the highest activities of chitinase (4.0 unit ml<sup>-1</sup>) and gelatinase (7.43 unit ml<sup>-1</sup>) were observed on 3 and 5 days after incubation, respectively. To investigate the effect of *L. capsici* YS1215 on tomato growth and nematode infection, the plants in pot trial were treated with bacterial culture (BC), half of bacterial culture (HBC), only bacterial medium (BM), tap water (TW) and commercial nematicide (CN). HBC treated plants showed the higher shoot fresh weight and dry weight on 5<sup>th</sup> week after incubation while BM, HBC and BC had consistently higher values than TW at 9<sup>th</sup> week. HBC appeared to be the highest shoot fresh length at 9<sup>th</sup> week. Both CN and BC showed lower number of egg mass, root gall, and population of juveniles in soil compared to BC, HBC, BM and TW. These results suggest that *L. capsici* YS1215 with its strong ability of lytic enzyme production can be one of the most significant candidates for biocontrol agents against root-knot nematodes.

**Key words:** Biological control, *Lysobacter capsici* YS1215, Root-knot nematodes, Chitinase, Gelatinase

## 서 언

뿌리혹선충 (*Meloidogyne* sp.)은 식물 기생선충으로써 식물 기생선충류 중에 가장 경제적 손실을 많이 가져다주는 해충이다. 기주 식물은 잔디에서부터 나무에 이르기까지 2000여종에 이른다 (Kim and Kang et al., 2011; Oka et al., 2000; Sasser, 1980). 뿌리혹선충들 중 전 세계적으로 광범위하게 분포하고 있으며 피해를 주고 있는 종은 고구마뿌리혹선충 (*M. incognita*) 과 자바뿌리혹선충 (*M. javanica*), 땅콩뿌리혹선충 (*M. arenaria*), 당근뿌리혹선충 (*M. hapla*) 등이 있는데 우리나라의 경우도 시설재배에서의 연작으로 인해 이러한 뿌리혹선충 발생이 증가하고 있으며 피해액과 피해 대상작물이 점차 확대되고 있는 실정이다 (Lee, 2003; Lee et al., 2011).

뿌리혹선충은 식물체 뿌리에 2령 유충 시기에 침입하여 기생하며 영양분을 흡수하는 식물 내부 기생성선충으로써 식물 내부에서 3령, 4령을 거쳐 암수가 나뉘어지며 암컷은 뿌리 바깥쪽에 난낭을 만들어 500-600개의 알을 낳고, 수컷은 토양으로 나간다. 난낭에서 부화된 2령 유충은 재차 뿌리에 침입하여 세대를 반복한다. 이러한 뿌리혹선충은 주로 시설원예작물인 오이, 수박, 참외, 토마토, 멜론 등에 많은 피해를 주며 뿌리혹선충에 감염된 식물은 선충이 대부분의 식물 양분을 흡수함으로써 식물체 생육이 지연되거나 감소하여 쉽게 시들거나 고사하는 증상이 나타난다. 또한 각종 토양병해와의 상호 작용으로 2차 피해가 수반 된다 (Choi and La, 1982; Kwon et al., 1998).

지금까지 이러한 뿌리혹선충의 방제는 주로 화학적 방제에 의존하고 있다. 하지만 화학 살선충제는 고독성이며, 토양 잔류기간이 길며, 토양 미생물에 영향을 미쳐 토양생태계 불균형 뿐만 아니라 지하수 오염과 같은 환경문제를 야기 시키며, 살선충제의 남용으로 인하여 뿌리혹선충의 약제 저항성을 증가 시

접수 : 2013. 1. 3      수리 : 2013. 2. 28

\*연락처 : Phone: +82625302138

E-mail: kimkil@jnu.ac.kr

킬 수 있다 (Birch et al., 1993; Kim and Choi, 2001; Atkins et al., 2003). 그러므로 화학적 방제법을 대체할 방법으로 토양개량, 담수 온탕 처리 및 태양열 소독 등을 이용한 물리적인 방제를 적용할 수 있으나 비용이나 작기 중에는 불가능하다. 또한 윤작이나 전답윤환 등과 같은 경종적 방제법이 사용되고 있으나 (Kim and Han, 1988; Zhu et al., 2005) 재배시기 조절 및 인력과 시간 등의 제약으로 실질적 사용은 제한적이다 (Lim et al., 2004).

최근 친환경적인 방제에 관한 지속적인 연구와 관심이 높아지면서 곰팡이, 세균, 곤충, 포식성 선충 등 천적을 이용하여 생물학적으로 뿌리혹선충의 방제를 시도하고 있다. 대표적으로 미생물을 이용한 생물학적 선충방제에 *Pseudomonas* 속 (Abo-Elyousr et al., 2010), *Bacillus* 속, *Clostridium* 속, *Desulfovibrio* 속, *Serratia* 속, *Streptomyces* 속 등이 이용되어 지고 있다 (Siddiqui and Mahmood, 1999). 이러한 뿌리혹선충 방제에 사용되어지고 있는 대부분의 미생물들이 생산한 특정 효소나 살선충 물질 등이 뿌리혹 선충 표피 성분인 collagen, 난낭 성분인 gelatin, 알 껍질 성분인 chitin을 분해하여 유충 치사와 알 부화억제를 하는 것으로 보고되어지고 있다 (Tunlid et al., 1991; Park et al., 2001; Kim and Kang et al., 2011). *Bacillus cereus*가 생산한 단백질 분해효소인 protease는 *M. javanica* 유충의 표피를 분해했으며, *B. ambifaria*의 배양액 내의 protease와 chitin 분해효소인 chitinase에 의해 선충 유충치사와 알 부화가 억제되었다 (Li et al., 2002; Sela et al., 1998). 또한 Yoon et al. (2012)에 따르면 *Streptomyces cacaoi* GY525가 생성한 3-benzyl-1,4-diaza-2,5-dioxobicyclo [4,3,0]nonane가 *M. incognita*의 유충치사와 알 부화억제 활성을 보였다.

*Lysobacter* sp.는 대표적인 길항미생물로서 활주성을 가진 그람 음성 박테리아이며, 다양한 lytic enzymes와 항생물질을 분비하여 식물 병원성 곰팡이 및 식물 해충을 억제하고, 식물생장 호르몬을 생성하여 작물의 성장을 촉진시키는 것으로 알려져 있다 (Christensen and Cook, 1978; Kang et al., 2010). *L. antibioticus* HS12A는 다양한 2차 대사산물을 생성하며 *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopesci*, *Pythium aphanidermatum* 및 *Rhizoctonia solani*의 성장을 억제하였을 뿐만 아니라 배추 줄 나방의 유충의 치사 하였다. (Ko et al., 2009; Kang et al., 2010). Chen et al. (2006)에 따르면 *L. enzymogenes* strain C3는 *H. schachtii*의 알 부화를 억제시키고 유충을 치사하였다. 따라서 이러한 기능성 미생물을 이용한 친환경적인 선충방제제의 개발이 요구되어지고 있다.

본 연구는 게겍질이 풍부한 토양으로부터 분리한 *Lysobacter capsici* YS1215의 생육 및 효소 활성 특성과 식물체 실험을 통한 *L. capsici* YS1215 배양액 처리 시 식물 성장 촉진 및 선충방제 효과에 대한 검증을 수행하였다.

## 재료 및 방법

**뿌리혹선충 증식 및 분리** 2010년 전남 장성군의 뿌리혹선충 피해가 심한 농가에서 감염 토마토 뿌리를 가져와 토마토 (*Lycopersicon esculentum*) 모종에 감염증식 시켜 실험에 사용하였다. 선충 알 및 유충 분리는 선충에 감염된 토마토 뿌리를 흐르는 물에 잘 씻어서 1 cm 크기로 잘라 0.5% NaOCl이 들어있는 병에 넣고 진탕배양기 (140 rpm)에 15분간 교반한 뒤 45 µm 체와 25 µm 체에 부어 흐르는 물에 세척하며 알을 수거하였다. 또한, 변형된 Bearman법을 이용하여 분리한 알을 25 µm 체에 올린 후 알을 부화시켜 2령 유충을 수거하였다. 수거한 알과 유충을 실험에 사용하였다 (Yoon et al., 2012).

**YS1215의 효소 활성** *L. capsici* YS1215의 chitinase 및 gelatinase 활성을 측정하기 위해서 chitin agar 배지 (0.5% colloidal chitin, 0.2% Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.1% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.5% NaCl, 0.1% NH<sub>4</sub>Cl, 0.05% MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0.05% CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 0.05% yeast extract 및 2% agar) 및 gelatin agar 배지 (1.6% gelatin, 2.5% Tryptic soy broth 및 2% agar) 100 mL를 250 mL 삼각플라스크에 넣고 121°C에서 15분간 멸균한 후 각각 petri-dish에 분주하였다. 배지를 완전히 굳힌 후 YS1215를 각각의 배지에 획선(streaking)을 긋고 30°C에서 3일간 배양하였다. 배양 3일 뒤 chitinase 활성은 chitin agar 배지에 투명환이 형성 되었을 때 활성이 있는 것으로 간주하고, gelatinase 활성은 gelatin agar 배지에 30% trichloroacetic acid를 3 mL 첨가하여 투명환 형성으로 판단하였다.

**YS1215의 cell growth** *L. capsici* YS1215의 cell growth를 측정하기 위해 250 mL 삼각플라스크에 생육배지 (0.1% 게겍질 분말 (삼성키토산, 한국), 0.1% 젤라틴 분말 (젤텍, 한국), 0.3% 복합비료 (N:P:K; 21:17:17; 남해화학, 한국), 0.3% 설탕 (백설, 한국), 0.003% yeast extract 및 0.003% FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O)를 넣고 121°C에서 15분간 멸균한 후 YS1215를 접종하고 이를 24시간 간격으로 8일간 취하여 UV-spectrophotometer (Shimadzu)를 이용하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다.

**YS1215의 날짜별 효소활성** *L. capsici* YS1215의 배양 시간에 따른 chitinase 및 gelatinase 활성을 측정하기 위하여 YS1215를 생육 배지에서 8일간 배양하면서 24시간 간격으로 시료를 채취하여 원심 분리(12,000 rpm)한 배양 상등액을 사용하였다. Chitinase 활성 측정을 위해 원심 분리한 상등액에 0.5% colloidal chitin을 넣고 37°C에서 한 시간 반응시킨다. 반응 후 1N NaOH 가하고 반응을 정지시키고 12,000 rpm으로 원심 분리하여 얻은 상등액을 취하여 Schales' reagent로 발색시켜 420 nm에서 측정하였다 (Lingapa and Lockwood, 1962).

Gelatinase 활성 측정은 gelatin (sigma)을 기질로 사용하여 37°C에서 1시간 반응시킨 다음 반응 전 후의 free  $\alpha$ -amino group을 Ninhydrin법에 따라 570 nm에서 흡광도를 측정한 후 L-leucine에 대한 표준 검량선으로부터 구하였다 (Moore and Stein, 1948; Mandl et al., 1953).

**YS1215 배양액 처리가 식물생장에 미치는 영향** *L. capsici* YS1215 배양액의 식물생장 및 선충 감염 억제효과 조사를 위해 발아 후 4주된 토마토를 포트 (10 cm x 15 cm)에 옮겨 심고 대략 253마리의 유충과 199여개의 알을 접종하였다. 선충 접종 후 1주 간격으로 8주차까지 시험구에 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량 (미생물 배양액 : 물, 1 : 1), 배지액 및 살선충 농약을 각각 50 ml씩 처리하였다. 무처리구는 물만 50 ml 처리하였다. 이 때 농약 처리구는 테라노바 (abamectin 1.68%, 신젠타 코리아(주))를 물에 녹여 선충 감염 직후 1회 처리하였다. 처

리 5주 및 9주째, 각 처리구별로 식물 생장 조사항목인 지상부 길이, 지상부 생체중 및 건물중과 선충 억제 효과 조사 항목인 뿌리혹 수, 난낭 수, 토양 내 유충 수를 측정하였다.

**통계분석** 이 실험의 결과는 SAS 프로그램 9.1 버전 (2006)을 사용하여 5% 수준에서 Turkey's Studentized Range Test를 하였다.

**결과 및 고찰**

**YS1215의 효소 활성** *L. capsici* YS1215의 chitinase 및 gelatinase 활성을 측정하기 위해서 chitin agar 배지 및 gelatin agar 배지를 각각 사용하였다. 조사결과 chitinase 활성은 chitin agar 배지에서 투명한 이 각각 관찰됨으로 활성을 확인하였다 (Fig. 1a). Gelatinase 활성은 gelatin agar 배지에 30% trichloroacetic acid를 첨가한 후 투명한 이 관찰되어 gelatinase 활성을 확인하였다 (Fig. 1b). Park et al. (2008)에 따르면 *Lysobacter capsici* YC5194가 chitin 분해 활성이 있는 것으로 조사 되었다.

**YS1215의 cell growth 및 날짜별 효소활성** *L. capsici* YS1215의 cell growth를 측정하기 위해 생육배지를 이용하여 1일부터 8일 까지 조사하였다. 조사결과 1일째부터 6일째까지 증가 하다 7일째부터 서서히 감소하였다 (Fig. 2). YS1215의 배양 시간에 따른 chitinase 활성은 3일째 4.0 Unit/ml까지 급격히 증가하여 최고의 활성을 나타내며, 4일과 5일째는 약간 감소하며 6일째부터 2.5 Unit/ml까지 급격히 감소하였다. 또한 gelatinase 활성은 2일째까지 빠르게 증가하다, 3일부터 5일까지 조금씩 증가하여 5일째에 7.43 Unit/ml의 최고의 활성을 보였다. 6일째부터는 서서히 감소하였다 (Fig. 2). 이것으로 YS1215 균주는 배양액 내의 균체수가 어느정도 증가 할 때

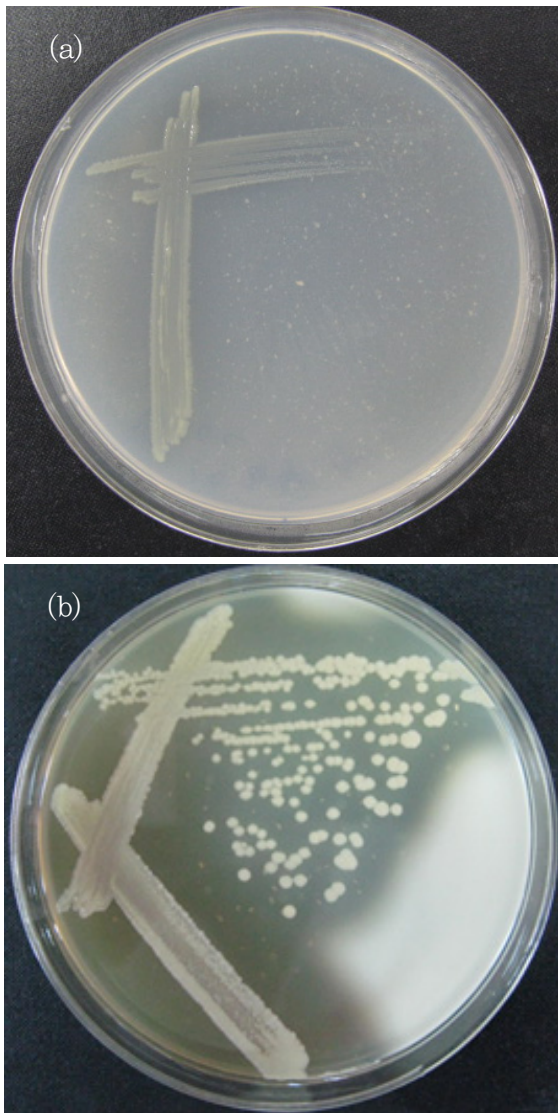


Fig. 1. Qualitative enzyme assay for *Lysobacter capsici* YS1215. a) Chitinase b) Gelatinase.

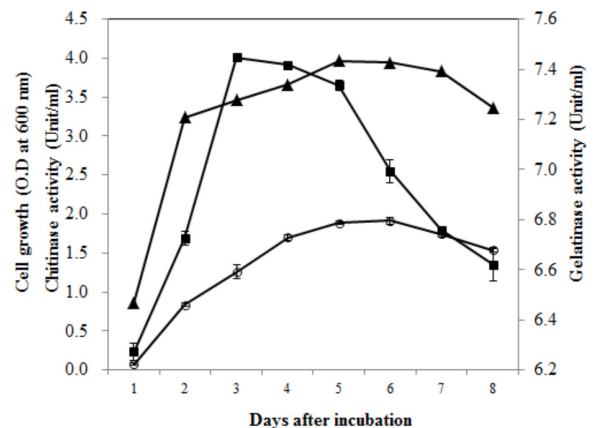
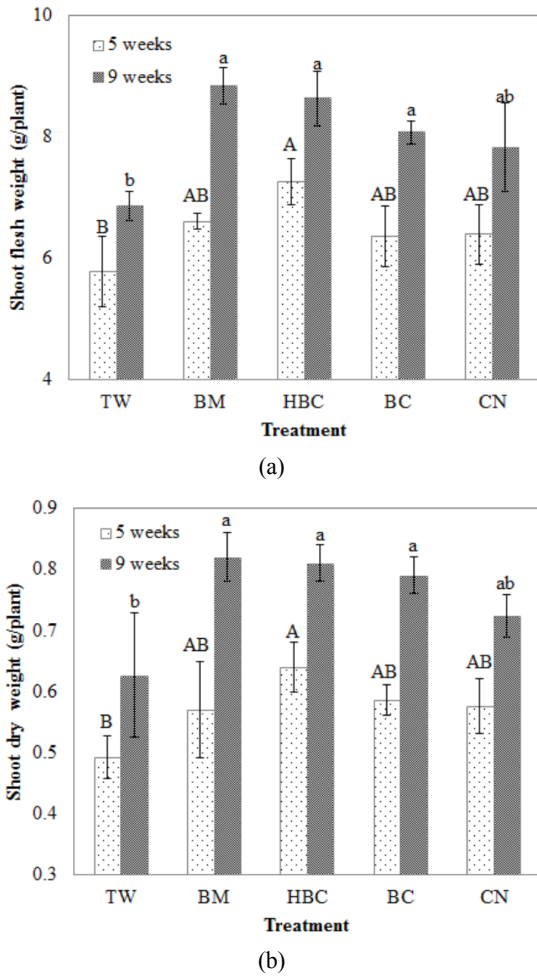


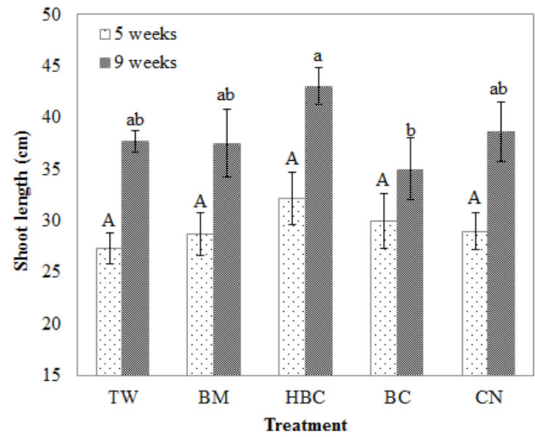
Fig. 2. *Lysobacter capsici* YS1215 growth curve and enzyme production; (-○-) growth, (-■-) chitinase, and (-▲-) gelatinase.



**Fig. 3.** Changes in shoot freshweight (a) and shoot dry weight (b) of tomato plants as influenced by Tap water (TW), Bacterial medium (BM), Half of bacterial culture (HBC), Bacterial culture (BC), and Commercial nematicide (CN) at 5 and 9 weeks after infection of root-knot nematodes. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  of Tukey's HSD multiple comparison test.

chitinase 활성이 증가하지만 일정 시간 후에는 균체의 수와 상관없이 chitinase 활성은 감소하는 것으로 보인다. 또한 gelatinase 활성은 균체가 증가함에 따라 gelatinase 활성도 증가하는 것으로 보인다.

**YS1215 배양액 처리가 식물생장에 미치는 영향** *L. capsici* YS1215 배양액의 식물생장 및 선충 감염 억제효과와 조사를 위해 발아 후 4주된 토마토를 이용하여 선충 접종 후 5주 및 9주째에 조사하였다. 정식 후 5주 및 9주째 지상부 생체중 (shoot fresh weight)과 지상부 건조중(shoot dry weight)을 조사한 결과 5주째 식물 지상부 생체중 및 건조중에서 미생물 배양액 반량구에서 가장 높게 나타났다. 9주째 생체중은 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구, 배지액, 물 및 농약처리구에서 각각 8.07 g, 8.62 g, 8.83 g, 6.85 g 및 7.82 g을 나타냈다 (Fig. 3a). 9주째 건조중은 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량

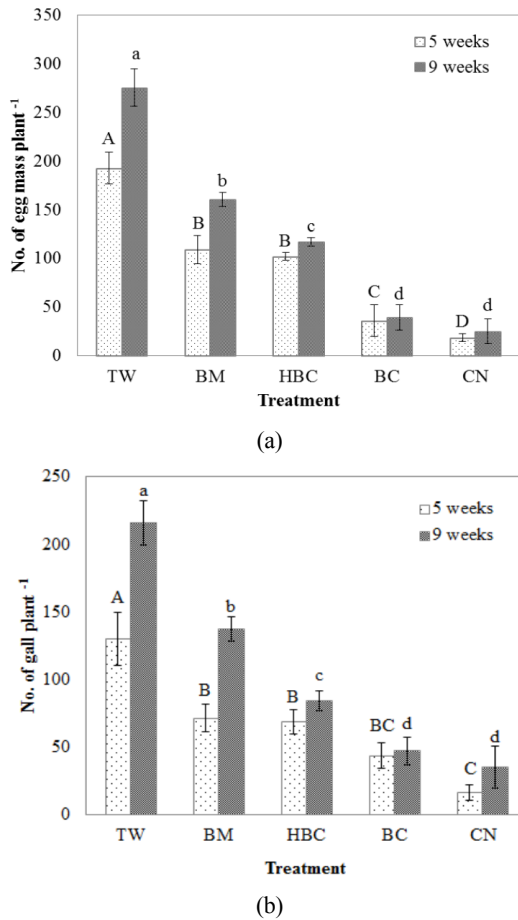


**Fig. 4.** Changes in fresh shoot length of tomato plants as influenced by Tap water (TW), Bacterial medium (BM), Half of bacterial culture (HBC), Bacterial culture (BC), and Commercial nematicide (CN) at 5 and 9 weeks after infection of root-knot nematodes. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  of Tukey's HSD multiple comparison test.

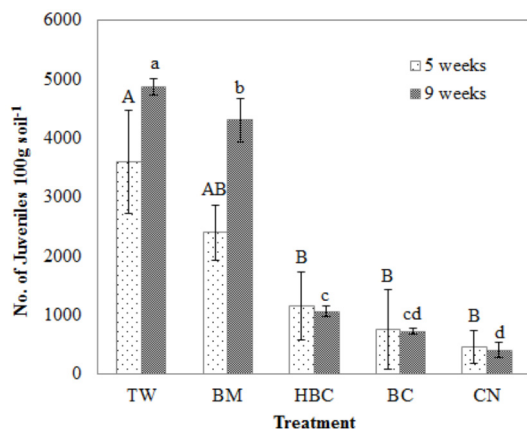
구, 배지액, 물 및 농약처리구에서 각각 0.79 g, 0.81 g, 0.62 g, 0.82 g 및 0.72 g을 나타냈다 (Fig. 3b). 하지만 생체중 및 건물중의 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구 및 배지액 처리구간의 유의적 차이는 나타나지 않았고, 미생물 배양액 처리구와 물 처리구간의 유의성은 나타났다. 9주째 지상부 길이 (shoot length)는 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구, 배지액, 물 및 농약처리구에서 각각 35.00 cm, 43.06 cm, 36.50 cm, 37.66 cm, 38.66 cm로 나타났다 (Fig. 4). 이러한 결과는 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구 및 배지액등이 비료로서의 효과는 비슷한 것으로 보인다. Broadbent et al. (1977)에 따르면 미생물 (*Bacillus* spp.)이 뿌리혹선충의 감염을 억제하였거나 생리활성 물질을 분비함으로써 식물이 성장하는 것으로 보고하였으나 본 실험결과와는 상반 되었다.

미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구, 배지액, 물 및 농약처리구에 대한 뿌리혹선충에 미치는 영향을 조사한 결과 각 처리구별 난상수는 39개, 116개, 160개, 275개, 24개로 나타났고 (Fig. 5a) 뿌리혹수는 47개, 84개, 137개, 216개, 35로 조사되었다 (Fig. 5b). 토양내 유충수는 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구, 배지액, 물 및 농약처리구에서 각각 731마리, 1063마리, 4314마리, 4879마리, 413마리로 조사되었다 (Fig. 6). 난상수, 뿌리혹수 및 토양내 유충수에 대한 조사결과 농약처리구가 가장 선충억제에 효과가 좋은 것으로 조사되었지만, 미생물 배양액 처리구와의 유의적 차이는 보이지 않았다. 반면에 미생물 배양액처리구와 미생물 배양액 반량구 처리구와 유의적 차이를 보였는데 이는 배양액을 희석하여 사용하면 효과 또한 감소하는 것으로 보여 진다. 미생물 배양액 및 반량구가 대조구인 배지액 처리구와 물처리구보다 난상수, 뿌리혹수 및 토양내 유충수에서 적게 나타났으며, 통계적 유의성에서도 차이를 나타





**Fig. 5.** Changes of egg mass number (a) and gall number (b) in tomato plants as influenced by Tap water (TW), Bacterial medium (BM), Half of bacterial culture (HBC), Bacterial culture (BC), and Commercial nematicide (CN) at 5 and 9 weeks after infection of root-knot nematodes. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  of Tukey's HSD multiple comparison test.



**Fig. 6.** Changes of Juveniles2 population in 100 g soil as influenced by Tap water (TW), Bacterial medium (BM), Half of bacterial culture (HBC), Bacterial culture (BC), and Commercial nematicide (CN) at 5 and 9 weeks after infection of root-knot nematodes. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  of Tukey's HSD multiple comparison test.

데, Devidas and Rehberger (1992)의 보고에 따르면 이러한 결과는 미생물 배양 시 배양액 속에 생성된 여러 2차 대사산물인 효소 및 항생물질이 선충 억제에 활성을 나타낸 것으로 보인다. 비슷한 예로는 *Bacillus subtilis* 배양액을 토마토에 처리하였을 때 *M. incognita*의 난낭 수와 뿌리혹 수가 감소된 것과 (Gautam et al., 1995), Dicklow et al. (1993)의 실험에서 나타난 *Streptomyces* sp. 배양액이 *M. incognita*의 뿌리혹 생성을 감소시킨 조사결과가 있다. *S. sampsonii* KK1024 배양액을 처리했을 때 토마토의 뿌리혹선충 감염 피해가 감소되었다는 보고 또한 있다 (Kim and Kang et al., 2011). 결과적으로 *L. capsici* YS1215를 이용한 뿌리혹선충의 생물학적 방제는 가능할 것으로 사료되며 미생물 배양액을 희석하지 않고 작물에 적용하였을 때 작물 생육저해를 일으키지 않고 높은 선충억제 효과를 보였으므로 선충 감염이 시작되는 작물 정식 초기 및 선충 번식이 활발한 작물 생육기에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

*Lysobacter capsici* YS215의 특성 및 뿌리혹선충 방제에 미치는 영향을 조사하였다. YS1215의 생육은 배양 6일째 최고였으며, 생육에 따른 chitinase와 gelatinase의 활성은 각각 3일째와 5일째에 가장 높은 활성을 보였다. YS1215 배양액이 선충 피해 방제와 식물 생장에 미치는 영향을 조사해 본 결과, 5주째 식물 지상부 생체중 및 건조중에서 배양액 반량구에서 가장 높게 나타났지만, 9주째에는 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구 및 배지액 처리구에서 차이를 보이지 않았다. 하지만 9주째 미생물 배양액, 미생물 배양액 반량구 및 배지액 처리구가 물처리구 보다 높게 나타났다. 지상부 길이에서는 미생물 배양액 반량구 처리구가 가장 높았다. 선충 피해 방제에 있어서 난낭수, 뿌리혹수 및 토양내 유충수에서 각각 농약 처리구에서 가장 낮게 나타났으나, 미생물 배양액 처리구와의 유의적 차이는 보이지 않았다. 미생물 배양액 처리구는 미생물 배양액 반량구 및 물 처리구와는 유의적 차이가 있는 것으로 조사되었다. 그러므로 다양한 분해효소를 생성하는 *L. capsici* YS1215의 뿌리혹선충방제에 대한 충분한 가능성과 가치가 있다고 사료된다.

## 사 사

이 논문은 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원 (IPET, 과제번호: 111154-3)의 지원에 의해 수행한 결과이다.

## 인 용 문 헌

Abo-Elyousr, K.A., Z. Khan, M.E. Award, and M.F. Abdel-Moneim. 2010. Evaluation of plant extracts and

- Pseudomonas* spp. for control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato. *Nematropica* 40(2):289-299.
- Atkins, S.D., L. Hidalgo-Diaz, H. Kalisz, T.H. Mauchline, P.R. Hirsch, and B.R. Kerry. 2003. Development of a new management strategy for the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in organic vegetable production. *Pest Manag Sci.* 59:183-189.
- Birch, A.N.E., W.M. Robertson, and L.E. Fellows. 1993. Plant products to control plant parasitic nematodes. *Pestic. Sci.* 39: 141-145.
- Broadbent, P., K.F. Baker, N. Franks, and J. Holland. 1977. Effect of *Bacillus* spp. on increased growth of seedling in steamed and in non treated soil. *Phytopathology* 67:1027-1034.
- Chen, J., W.H. Moore, G.Y., Yuen, D. Kobayashi, and E.P. Caswell-Chen. 2006. Influence of *Lysobacter enzymogenes* Strain C3 on Nematodes. *J Nematol* 38(2):233-239.
- Christensen, P. and D. Cook. 1978. *Lysobacter*, a new genus of non-fruiting, gliding bacteria with a high base ratio (soil and water organisms). *Int. J. Syst. Bacteriol.* 28:367-393.
- Choi, Y.E. and Y.J. La. 1982. Plant nematology. pp.58-68.
- Devidas, P. and L.A. Rehberger. 1992. The effects of exotoxin (thuringiensin) from *Bacillus thuringiensis* on *Meloidogyne incognita* and *Caenorhabditis elegans*. *Plant Soil* 145: 115-120.
- Dicklow, M.B., N. Acosta, and B.M. Zuchkerman. 1993. A novel *Streptomyces* species for controlling plant-parasitic nematodes. *J. Chem. Ecol.* 19:159-173.
- Gautam, A., Z.A. Siddiqui, and I. Mahmood. 1995. Integrated management of *Meloidogyne incognita* on tomato. *Nematologia Mediterranea* 23:245-247.
- Kang, S.J., Y.S. Lee, S.Y. Lee, G.Y. Yun, S.H. Hong, Y.S. Park, I.S. Kim, R.D. Park, and K.Y. Kim. 2010. Biological Control of Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L.) by *Lysobacter antibioticus* HS124. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):537-544 (2010)
- Kim, D.J. and K.J. Choi. 2001. Effects of incorporation method of nematicides on reproduction of *Meloidogyne arenaria*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 40:89-95.
- Kim, J.I. and S.C. Han. 1988. Effect of solarization for control of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) in vinyl house. *Kor. J. Appl. Entomol.* 27: 1-5.
- Kim, S.S., S.I. Kang, J.S. Kim, Y.S. Lee, S.H. Hong, W.N. Kyaw, and K.Y. Kim. 2011. Biological control of root-knot nematode by *Streptomyces sampsonii* KK1024. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1150-1157.
- Ko, H.S., R.D. Jin, B.H. Krishnan, S.B. Lee, and K.Y. Kim. 2009. Biocontrol Ability of *Lysobacter antibioticus* HS124 Against *Phytophthora* Blight Is Mediated by the Production of 4-Hydroxyphenylacetic Acid and Several Lytic Enzymes. *CurrMicrobiol* 59:608-615.
- Kwon, T.Y., K.C. Jung, S.D. Park, Y.G. Sim, and B.S. Choi. 1998. Cultural and chemical control of root-knot nematodes, *Meloidogyne* sp. on oriental melon in plastic film house. *RDA J. Crop Prot.* 40:96-101.
- Lee, J.G. 2003. Occurrence, ecology and control of root-knot nematodes under greenhouse cultivation system. Ph.D. Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Lee, J.S., H.Y. Choo, and D.W. Lee. 2011. Nematicidal Efficacy of Herbal Extracts against *Meloidogyne Hpala*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 50(4): 315-324.
- Lingapa, Y. and J.L. Lockwood. 1962. Chitin media for selected isolation and culture of *Actinomycetes*. *Phytopathology* 52:317-323.
- Li, W., D.P. Roberts, P.D. Derby, S.L.F. Meyer, S. Lohrke, R.D. Lumsden, and K.P. Hebbar. 2002. Broad spectrum anti-biotic activity and disease suppression by the potential biocontrol agent *Burkholderia ambifaria* BC-F. *Crop Prot.* 21:129-135.
- Lim, S.H., Y.Z. Zhu, M.S. Kim, Y.S. Lee, J.S. Son, D.S. Park, J.H. Hur, H.Y. Kim, H.J. Choi, K.H. Kim, and S.M. Kim. 2004. Nematicidal activity of Korean native plants against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Kor. J. Pestic. Sci.* 8:353-357.
- Mandl, I., J.D. MacLennan, E.L. Howes, R.H. DeBellis, and A. Sohler. 1953. Isolation and characterization of proteinase and collagenase from *Cl. histolyticum*. *J Clin Invest* 32:1323-1329.
- Moore, S. and W.H. Stein. 1948. Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids. *J. Biol. Chem.* 176:367-388
- Oka, Y., H. Koltai, M. Bar-Eyal, M. Mor, E. Sharon, I. Chet, and Y. Spiegel. 2000. New strategies for the control of plant-parasitic nematodes. *Pest Manag Sci* 56:983-988.
- Park, M.H., J.K. Kim, W.H. Choi, and M.H. Yoon. 2001. Nematicidal effect of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) by biological nematicide. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):228-235.
- Park, J.H., R. Kim, Z. Aslam, C.O. Jeon, and Y.R. Chung. 2008. *Lysobacter capsici* sp. nov., with antimicrobial activity, isolated from the rhizosphere of pepper, and emended description of the genus *Lysobacter*. *Int J Syst Evol Microbiol* 58:387-392.
- Sasser, J.N. 1980. Root-knot nematode: a global menace to crop production. *Plant Dis.* 64:36-41.
- Sela, S., H. Schickler, I. Chet, and Y. Spigel. 1998. Purification and characterization of *Bacillus cereus* collagenolytic/peptolytic enzyme and its effect on *Meloidogyne javanica* cuticular proteins. *Eur. J. Plant. Pathol.* 104:59-67.
- Siddiqui, Z.A. and I. Mahmood. 1999. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technol.* 69:167-179.
- Tunlid, A. and S. Janson. 1991. Proteases and their involvement in the infection and immobilization of nematode by the

- nematophagous fungus *Arthrobotrys oligospora*. App. Environ. Microbiol. 57:2868-2872.
- Yoon, G.Y., Y.S. Lee, S.Y. Lee, R.D. Park, H.N. Hyun, Y. Nam, and K.Y. Kim. 2012. Effects on *Meloidogyne incognita* of chitinase, glucanase and a secondary metabolite from *Streptomyces cacaoi* GY525. Nematology 14(2): 175-184.
- Zhu, Y.Z., D.S. Park, M.R. Cho, J.H. Hur, and C.K. Lim. 2005. Suppression of *Meloidogyne arenaria* by different treatments of *Pasteuria penetrans*. J. Pestic. Sci. 9(4):437-441.