

Bacillus toyonensis CAB12243-2 균주를 이용한 배추 무름병의 생물적 방제*

김병련** · 박명수*** · 한광섭**** · 함수상**** · 박인희**** · 송재경*****

Biological Control using *Bacillus toyonensis* Strain CAB12243-2 against Soft Rot on Chinese Cabbage

Kim, Byung-Ryun · Park, Myung-Soo · Han, Kwang-Seop ·
Hahm, Soo-Sang · Park, In-Hee · Song, Jae-Kyeong

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum* was found to be highly virulent to various vegetables, including Chinese cabbage. The antibacterial isolate CAB12243-2 was tested in a field bioassay for suppressing soft rot disease. The nucleotide sequencing of the 16S rRNA gene identified, the CAB12243-2 strain used in this study as *Bacillus toyonensis*. *B. toyonensis* CAB12243-2 inhibited the pectate lyase process by soft rot pathogens, and used trehalose and glucose as carbon sources. In field tests, the antibacterial isolate *B. toyonensis* CAB12243-2 suppressed soft rot disease with 73.0% control efficacy on the spring cultivar “Norangbom” and with 68.9% efficacy on the fall cultivar “Bulam 3”. These results suggest that *B. toyonensis* CAB12243-2 can be used as a biological control agent for the control of soft rot diseases on vegetables.

Key words : *Bacillus toyonensis*, biological control, Chinese cabbage, soft rot

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010825)의 지원에 의해 수행되었음.

** Corresponding author, 충청남도농업기술원 친환경농업과(brkim@korea.kr)

*** 서울대학교 생명과학부

**** 충청남도농업기술원 친환경농업과

***** 국립농업과학원 농업미생물과

I. 서 론

우리나라 배추 재배면적은 24,229 ha이며 연간 생산량은 1,764천 톤으로, 재배되는 채소류 중에서 고추 다음의 중요한 작물이다(MAFRA, 2016; Statistics Korea, 2017). 배추 무름병은 세균에 의한 병해로 고온다습 조건에서 발병이 잘 되고 발병되면 방제가 매우 어려운 병종의 하나인데, 최근 배추 생육기의 기상환경이 고온과 연속강우의 형태로 변화되어 발생이 늘고 있다. 작물에 무름병을 유발하는 여러 세균 중에서 배추 무름병균은 가장 넓은 기주범위를 갖고 있을 뿐만 아니라 세계적으로 광범위하게 분포하고 있으며(Toth, 2005; Tournas, 2005), 땅과 닿는 부분이나 지하부의 상처 부위에 수침상의 반점이 생겨서 포기 전체로 퍼지면서 연한 갈색으로 호물호물하게 썩으면서 심한 악취를 낸다(Kwon *et al.*, 2009).

배추 무름병에 관여하는 병원세균은 *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*으로 보고(KSPP, 2009)되어 있고, 경작지뿐만 아니라 비경작지 토양에도 광범위하게 분포하고 있으며(Kikumoto, 2000), pectate lyase라는 효소를 생산하여 식물체의 세포벽을 붕괴시키는 특성을 가지고 있다(Toth *et al.*, 2003). 배추 무름병의 평균 발병률은 전국적으로 8%에 달하고, 2014년 총 피해액은 640억원 이상에 달하는 것으로 추정되며(RDA, 2016), 2014년 강원도의 배추 재배 농가의 평균 무름병 발병주율은 17.3%로 조사되었다(Lee *et al.*, 2015). 배추 무름병 방제약제로 등록되어 있는 화학농약은 가스가마이신 액제 등 23종이 등록(KCPA, 2017)되어 있으나, 대부분이 농용항생제가 주성분으로 되어있다. 최근 농업환경에서 사용되는 항생제 내성의 문제점과 항생제 저항성 형질의 전이 위험성에 대하여 많은 연구가 수행되고 있다(McKenna, 2013; Chang *et al.*, 2015). 특히 *P. atrosepticum*과 *P. carotovorum* 그룹은 유전자 전이 요소의 영향으로 다양한 항생제 저항성을 획득하게 되고(Panda *et al.*, 2016), 무름병을 일으키는 *Pentobacterium*과 *Dickeya*속 균들은 세포 표면 구성물인 지질다당체 (lipopolysaccharides)를 변화시켜 항균성 펩타이드에 저항성을 발현하기 때문에(Pandin *et al.*, 2016) 배추 무름병 방제를 위하여 농용항생제를 장기적으로 사용할 경우 항생제 내성 문제가 발생할 가능성이 매우 크다.

즉 화학농약은 살포 초기에 효력이 빨리 나타나지만, 곧 내성을 가진 병원균의 발생으로 더 강력한 농약을 더 많이 사용해야 하며, 이는 농자재비용 증가로 인한 경제적 손실뿐만 아니라 농업환경 오염, 안전 농산물의 요구하는 소비자의 신뢰 저하 요인이 되고 있다. 또한 배추 무름병은 발생 이후에는 농약에 의한 방제 효과가 낮으며, 토양에서 식물 잔재물에서 월동을 하여 이듬해 전염원이 되고(Togashi *et al.*, 2001) 작물이나 잡초의 근권에 존재하며 장기간 생존하기 때문에(Kikumoto, 2000) 효과적인 방제체계가 확립되어 있지 않은 점이 농가에서 많은 애로를 느끼고 있는 부분이다(Choi *et al.*, 2010). 따라서 최근에는 배추 무름병에 대한 새로운 친환경 방제법 개발이 시급히 요구되고 있다.

배추 무름병 생물적 방제연구로는 *Lactobacillus* KLF01, *Lactococcus* KLC02 그리고

Paenibacillus KPB3균주 등 3종의 유용 세균을 이용한 생물적 방제연구(Shrestha *et al.*, 2009)로 55% 이상의 포장 방제 효과를 보여주었다. 일본에서는 박테리오신(bacteriocin)을 생성하는 비병원성 *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* 돌연변이 균주를 이용하여 화학 약제와 유사한 방제 효과를 확인하였다(Kyeremeh *et al.*, 2000). 우리나라에서도 비병원성 *E. carotovora* subsp. *carotovora*를 이용하여 60.9%의 포장 방제효과를 얻은 결과가 보고되었다(Chung *et al.*, 2003). 이외의 연구들로 배추 무름병균에 대한 길항미생물의 선발에 관하여 한 많은 연구들이 수행되어져 왔지만, 농가에서 실용화된 결과는 아직 보고되지 않았다.

따라서 본 연구는 배추 무름병 발병을 효과적으로 억제할 수 있는 미생물을 분리, 선발하여 특성을 검정하고 포장에서의 미생물 처리방법, 생물적 방제 효과 등에 대한 결과를 얻기 위하여 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 무름병 억제 미생물 분리 및 선발

무름병 억제 미생물의 분리를 위해 토양 시료는 야산 부엽토, 식물체의 근권토양 등을 채집하여 사용하였고, NA (nutrient agar) 배지에서 희석평판법에 의하여 분리하였으며 분리된 미생물은 배추 무름병균과 대치 배양에 의한 길항력 정도로 1차 선발하였다. 1차 선발된 미생물은 NB (nutrient broth)배지에서 약 48~72시간 배양한 후 원심분리하여 얻어진 배양여액을 membrane filter (pore size 0.2 μ m)로 여과하였다. 배양여액은 PYA (polygalacturonic acid 1%, yeast ext. 1%, phenol red 0.001%, agar 1.5%)배지에 200 μ l를 도말한 후 배지 중앙에 배추 무름병균을 흡착시킨 paper disc를 올려놓고 27°C에서 약 48~72시간 배양한 후 4N HCl로 배지를 세척하여 clear zone이 형성되지 않는 균주를 무름병 억제 미생물로 최종 선발하였다.

2. 선발 미생물의 동정 및 특성검정

선발 미생물을 계통분석을 하기 위해 27f와 149r primer (Frank 등, 2008)를 이용하여 rDNA 16S 유전자 영역을 증폭하였다. 분석된 염기서열(1,429 bp)은 National Center for Biotechnology Information (NCBI)의 BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)를 이용하여 염기서열을 비교 분석하였으며, *Bacillus* 속 다른 종의 염기서열과 함께 Tamura 등(2013)이 개발한 Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0 프로그램을 사용하여 phylogenetic tree를 작성하였다. 또한, Hildebrand 등(1988)의 방법으로 mineral salt agar에서 arabinose,

glucose, mannitol, pratinose, rhamnose, sucrose 및 trehalose 등에 대한 당 이용성을 조사하였다.

3. 생물적 방제 효과 시험

생물적 방제 효과를 검정하기 위하여 충청남도농업기술원 내 시설포장(330 m²)을 이용하였다. 정식 20일 된 배추의 중륵에 철브러쉬를 이용하여 3 cm 길이로 상처를 내고 NB 배지에서 72시간 배양한 배추 무름병균을 10⁸ cells/ml 농도로 멸균수와 함께 희석하여 5 ml 분무접종 하였다. 선발된 억제 미생물은 10⁷ cells/ml 농도로 희석하여 배추 1주당 200 ml씩 10 일 간격 3회 엽면 살포하였고, 억제미생물과 병원균 접종 전후처리의 간격은 24시간으로 하였다. 대조약제로는 옥솔린산 수화제(1,000 ppm)를 엽면살포 하였다. 배추의 정식 거리는 30×30 cm이며 3반복으로 반복 별 50주를 정식하고, 발병율은 병원균 접종 30일 후 발병주율로 조사하였다. 시험 품종은 봄배추 품종 ‘노랑봄’과 가을배추 품종 ‘불암 3호’를 이용하였고, 봄배추에서는 병원균 감염 전후 미생물 처리시기에 따른 방제 효과를, 가을배추에서는 봄배추에서 우수한 효과를 보인 처리방법을 선택하여 다시 한 번 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 무름병 억제 미생물 분리 및 선발

무름병 억제 미생물은 병원균에 대한 항세균 활성과 함께 무름병의 발병 기작을 억제할 수 있는 균주의 선발을 목표로 수행하였다. Pectate lyase는 식물 병원균이 체외로 분비하는 병원성 결정인자이며, 이 효소의 생산 여부와 양에 따라 병원성의 강약에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Zucker *et al.*, 1971; Chen *et al.*, 1998). 따라서 배추 무름병균의 pectate lyase 활성은 PYA 배지에서 배양하였을 때 clear zone 형성으로 확인 가능하기 때문에(Fig. 1A), 이 clear zone 형성을 억제하는 균주는 배추 무름병의 발병기작을 억제하는 것으로 판단하였다. 선발된 CAB12243-2 균주는 배양여액을 PYA 배지에 도말한 후 무름병균을 배양해도 pectin 분해 활성이 완전하게 억제되는 것을 확인하였고(Fig. 1B), 이 균주를 배추 무름병의 생물적 방제 효과 검정에 사용하였다.

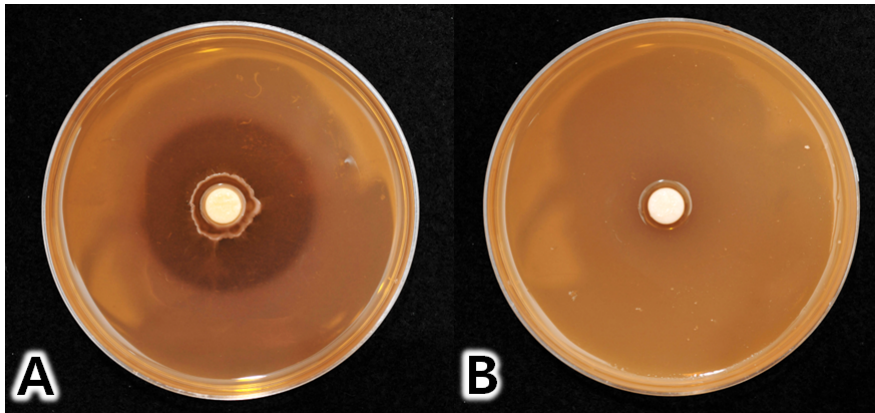


Fig. 1. Suppression activity of *Bacillus toyonensis* CAB12243-2 against soft rot bacteria on PYA. Degradation of pectin by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (A), and inhibition of pectate lyase process by *B. toyonensis* CAB12243-2 (B).

2. 선발 미생물의 동정 및 특성검정

선발된 CAB12243-2 균주의 16S rRNA gene 염기서열(1,429bp)은 NCBI의 GenBank에 등록(등록번호 MG256760)하였고, 계통학적 위치로 확인한 결과 *Bacillus toyonensis* (CP006863)의 16S rRNA 염기서열과 99% 상동성을 보였다. 이 균주는 특허출원 시 국립농업과학원 미생물은행(KACC)에 *Bacillus* sp. (기탁번호 KACC92027)로 기탁하였고, 배추 무름병 방제제 *Bacillus* sp.로 특허등록(제10-1765304) 하였으나 본 논문을 통하여 *B. toyonensis*로 명명하고자 한다(Fig. 2). *B. toyonensis*는 *Bacillus cereus* group에 속하는 균으로서 가축의 사료첨가생균제로 면역반응을 조절하여 백신의 효율을 높이는데 많이 이용되며(Jiménez *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2017) 어린 돼지의 장내 병원균 억제효과도 있는 것으로 보고되었다(Kantas *et al.*, 2015). 또한, 이 균은 lipase, cellulase, chitinase 활성이 있는 균주로 다양한 활용가치가 있는 균으로 평가되고 있지만(Tallur *et al.*, 2016) 식물 병 방제인자로 활용된 보고는 아직 없다. *B. toyonensis* CAB12243-2 균주의 탄소원으로서는 당 이용성은 arabinose, mannitol, pratinose, rhamnose, gucrose 등을 이용하지 못하였고, glucose와 trehalose를 이용하여 증식 가능하였다. 그리고 15~37°C 정도의 폭넓은 온도 범위에서 생육이 가능하며 최적 생육 온도는 25~30°C 이고, pH 5.0~7.5 범위에서 생육이 가능하였고 최적 pH는 5.5~6.5였다(Table 1). 이러한 생육 특성으로 선발 균주가 산업화를 위한 대량 배양 시 저렴한 비용으로 생산이 가능한 유리한 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

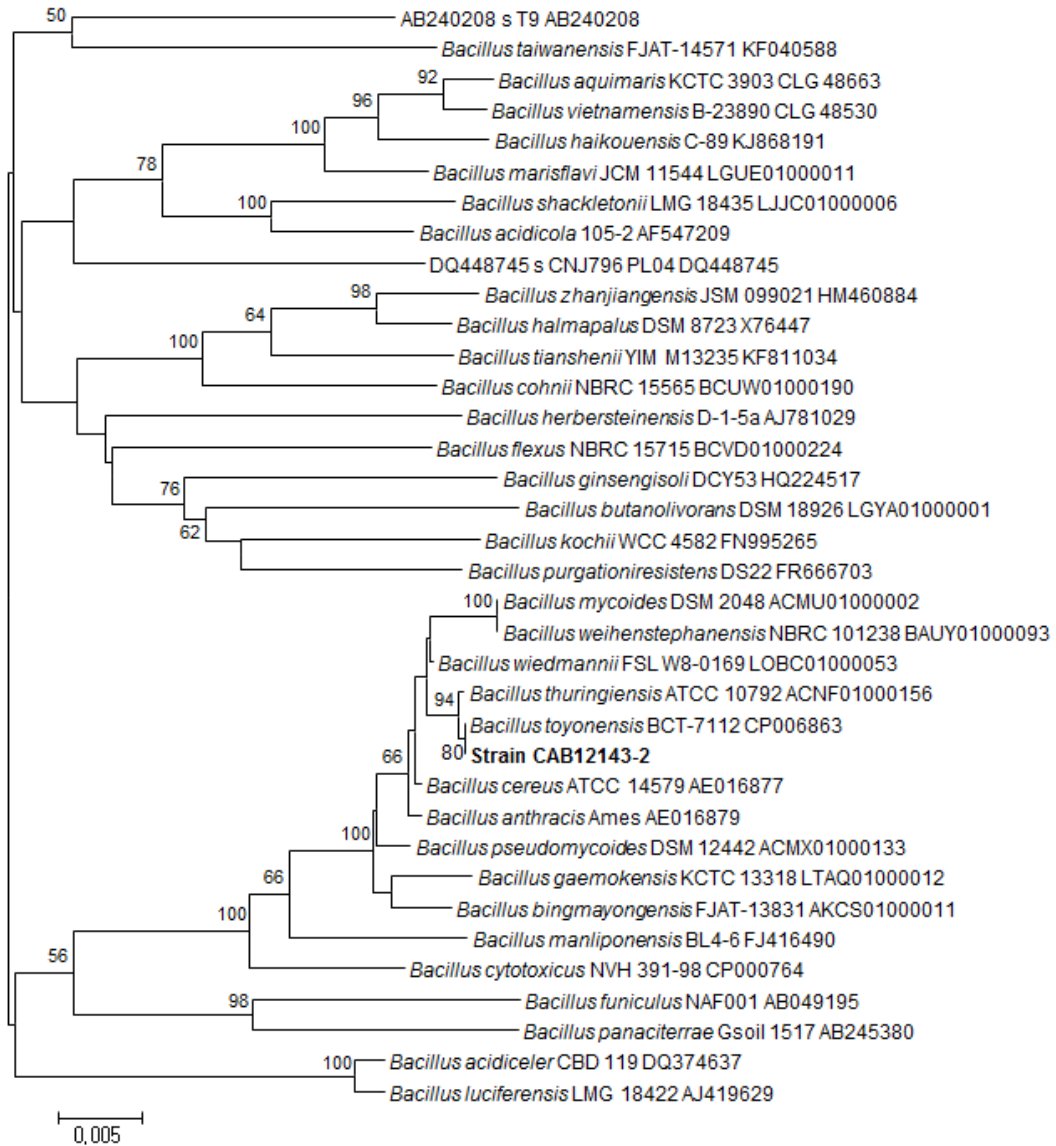


Fig. 2. Phylogenetic tree based on comparison of the 16S rRNA sequence indicating the position of *B. toyonensis* CAB12243-2.

The phylogenetic tree was generated using the neighbor-joining method. Bootstrap values, expressed as percentages of 1,000 replications, are given at branching points. Bar shows two nucleotide substitution per 1,000 nucleotides.

Table 1. Biological characters of *B. toyonensis* CAB12243-2

Medium	Sugar utilization		Temperature (°C) (optimum)	pH (optimum)
	Available	Unavailable		
Mineral salt agar	Trehalose Glucose	Arabinose Mannitol Sucrose Paratinose Rhamnose	15~37 (25~30)	5.0~7.5 (5.5~6.5)

3. 생물적 방제 효과 시험

무름병균을 노랑봄 배추와 불암3호 배추에 접종하면 증류 하단부터 무름증상이 나타나고 위쪽으로 진전된다(Fig 3A, 3B). 하지만 *B. toyonensis* CAB12243-2를 엽면 살포한 모든 처리구에서 무름병징은 억제되어 표면이 건조하게 되고 발병이 정지된 것을 확인하였다(Fig 3C). 노랑봄 배추와 불암 3호 배추에 무름병균을 노랑봄 배추에서는 병원균 접종 전후 처리 시 가장 높은 73%의 방제 효과를 보였으나 병원균 접종 후처리 시의 방제가 61.6%와 유의적인 차이가 없기 때문에 경제적으로 접종 후 처리가 병 방제에 유리할 것으로 판단되었다(Table 2). 가을배추인 불암 3호 배추 시험에서는 병원균 접종 후처리만으로 검정을 수행하였으며 이때의 방제 효과는 68.9%로 매우 우수하였다(Table 3). 배추 무름병의 생물적 방제 연구 결과로 Shrestha 등(2009)과 Tsuda 등(2016)은 *Lactobacillus* 균주를 선발하여 55~62%의 포장 방제효과를 확인하였다. 본 연구에서는 *B. toyonensis* CAB12243-2 균주가 최대 68.9~73%의 무름병 방제 효과를 보여주었는데, 이러한 방제 효과의 차이는 *Bacillus* 균주가 포자를 형성하기 때문에 배추 포장에 살포된 이후 환경 변화에 내성을 가지며 장기간 생존하며 적응하였기 때문인 것으로 생각된다. 또 다른 연구로 Kyeremeh 등(2000)은 비병원성 *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* 균주의 bacteriocin 활성을 이용하였고, Zhao 등(2013)도 비병원성 *E. carotovora* subsp. *carotovora*가 배추뿐만 아니라 고추와 여러 채소작물의 phenylalanine ammonia-lyase (PAL) 활성을 높여 무름병 발생을 낮추었다고 보고하였다. 하지만 포장에 직접 적용할 수 있는 단계의 연구는 이루어지지 않았다.

Table 2. Effect of treatment methods on the control of *B. toyonensis* CAB12243-2 against soft rot on Chinese cabbage 'Norangbom' in field

Treatment	Diseased plant (%)	Control efficacy (%) ^a
Pre-inoculation ^b	71.1 a ^c	20.0
Post-inoculation ^c	34.1 b	61.6
Pre-/Post- inoculation	24.0 b	73.0
Oxolinic acid WP ^d	21.0 b	76.4
Untreated	88.9 a	-

$$^a \text{Control efficacy (\%)} = 1 - \frac{\text{diseased plant of treated plot}}{\text{diseased plant of untreated plot}} \times 100$$

^b Spray with *B. toyonensis* CAB12243-2 on the Chinese cabbage leaves 3 times with 10 days interval before inoculating the *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*

^c Spray with *B. toyonensis* CAB12243-2 on the Chinese cabbage leaves 3 times with 10 days interval after inoculating the *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*

^d WP: Wettable powder

^e Values designated by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).

Table 3. Control efficacy of *B. toyonensis* CAB12243-2 against soft rot on Chinese cabbage 'Bulam 3' in field

Treatment	Diseased plant (%)	Control efficacy (%) ^a
<i>B. toyonensis</i> CAB12243-2	8.3 b ^c	68.9
Oxolinic acid WP ^b	6.1 b	77.2
Untreated	26.7 a	-

$$^a \text{Control efficacy (\%)} = 1 - \frac{\text{diseased plant of treated plot}}{\text{diseased plant of untreated plot}} \times 100$$

^b WP: Wettable powder

^c Values designated by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).

이번 연구의 결과는 앞으로 *B. toyonensis* CAB12243-2에 다양한 제형화 기술이 개발되었을 경우 배추의 생육기 중 엽면살포 뿐만 아니라 정식 전 토양혼화 처리 등 다양한 방법으로 배추 무름병의 방제 효과는 높아질 것으로 판단된다. 그리고 봄배추와 가을배추의 방제 효과 검증에서 무처리 발병율은 각각 88.9%와 26.7%로 매우 큰 차이가 있었다. 이것은 재배환경에 의한 것으로 봄배추 시기에는 낮은 외부 온도로 인하여 시설 내의 환기가 거의 이루어지지 않고, 배추의 빠른 생육을 목적으로 관수가 과하게 이루어져 효과적인 무름병

의 발병환경이 조성되었기 때문이다. 따라서 *B. toyonensis* CAB12243-2와 같은 길항미생물의 살포와 함께, 시기별 재배환경의 조절이 이루어지면 방제 효과는 향상될 것이며, 또한 *B. toyonensis* CAB12243-2 균주가 실용화 되었을 경우 유기농 배추 재배농가의 무름병 뿐만 아니라 저장 중 또는 유통 중에 발생하는 *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*에 의한 많은 채소류의 무름병 방제에도 광범위하게 적용되어 현재 화학농약만으로 형성된 배추 무름병 시장을 생물농약으로 대체할 수 있을 것으로 기대된다.



Fig. 3. Development of soft rot symptoms inoculated with *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* on Chinese cabbage 'Norangbom'(A), 'Bulam 3' (B), and suppressed symptom by the treatment of *B. toyonensis* CAB12243-2 in greenhouse test.

IV. 적 요

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum*은 배추를 포함한 대부분의 채소작물에 강한 병원성을 나타낸다. 포장 방제 효과 검정을 통하여 배추 무름병 억제인자로 선발된 CAB12243-2 균주는 16S rRNA gene의 염기서열 상동성 분석으로 *Bacillus toyonensis*로 확인되었다. *B. toyonensis* CAB12243-2 균주는 무름병균의 펙틴분해 작용을 억제하였고 탄소원으로 glucose와 trehalose를 이용하였다. 또한 이 균주는 '노랑봄' 품종으로 봄배추 재배 시 73%, '불암3호' 품종으로 가을배추 재배 시 68.9%의 포장 방제 효과를 보였다. 이러한 결과로 *B. toyonensis* CAB12243-2 균주는 채소류의 무름병에 대한 효과적인 생물적 방제제로 활용이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

References

1. Chang, Q., W. Wang, G. Regev-Yochay, M. Lipsitch, and W. P. Hanage. 2015. Antibiotics in agriculture and the risk to human health: how worried should we be?. *Evolutionary Applications* 8: 240-247.
2. Chen, W. C., H. J. Hsieh, and T. C. Tseng. 1998. Purification and characterization of a pectin lyase from *Pythium splendens* infected cucumber fruits. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 39: 181-186.
3. Choi, C., M. G. Kim, I. P. Ahn, S. R. Park, S. C. Bae, and D. J. Hwang. 2010. Selection of a susceptible line (susceptible to *Pectobacterium* 1, *Atstp1*) to soft-rot disease in T-DNA insertion mutants pool of *Arabidopsis*. *Res. Plant Dis.* 16: 312-315.
4. Chung, E. K., X. Z. Zhang, Y. R. Yeoung, and B. S. Kim. 2003. Screening of effective control agents against bacterial soft rot on Chinese cabbage in alpine area. *Korean J. Pesticide Science* 7: 32-37.
5. Frank, J. A., C. I. Reich, S. Sharma, J. S. Weisbaum, B. A. Wilson, and G. J. Olsen. 2008. Critical evaluation of two primers commonly used for amplification of bacterial 16S rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.* 74: 2461-2470.
6. Hildebrand, D. C., M. N. Schroth, and D. C. Sands. 1988. Identification Schemes: Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria 2nd edition, ed. by N. W. Schaad, APS Press, USA. p.61.
7. Jiménez, G., M. Urdiain, A. Cifuentes, A. López-López, A. R. Blanch, J. Tamames, P. Kämpfer, A. B. Kolstø, D. Ramón, J. F. Martínez, F. M. Codoñer, and R. Rosselló-Móra. 2013. Description of *Bacillus toyonensis* sp. nov., a novel species of the *Bacillus cereus* group, and pairwise genome comparisons of the species of the group by means of ANI calculations. *Sys. Appl. Microbiol.* 36: 383-391.
8. Kantas, D., V. G. Papatsiros, P. D. Tassis, I. Giavasis, P. Bouki, E. D. Tzika. 2015. A feed additive containing *Bacillus toyonensis* (Toyocerin®) protects against enteric pathogens in postweaning piglets. *J. Appl. Biol.* 118: 727-738.
9. Kikumoto, T. 2000. Ecology and biocontrol of soft rot of Chinese cabbage. *J. Gen. Plant Pathol.* 66: 275-277.
10. Korea Crop Protection Association (KCPA). 2017. 2017 Agrochemicals Use Guide Book. pp. 1531-1532.
11. Kwon Y. H., A. Y. Yoo, J. E. Yu, and H. Y. Kang. 2009. Isolation and characterization of plant pathogen that caused soft rot disease in Napa cabbage. *J. of Life Sci.* 19:

- 1177-1182.
12. Kyeremeh, A. G., T. Kikumoto, D. Y. Chuang, Y. Gunji, Y. Takahara, and Y. Ehara. 2000. Biological control of soft rot of chinese cabbage using single and mixed treatments of bacteriocin-producing avirulent mutants of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*. J. Gen. Plant Pathol. 66: 264-268.
 13. Lee, Y. K., E. H. Lee, I. S. Myung, H. W. Choi, Y. G. Lee, and H. S. Shim. 2015. Occurrence of soft rot on Chinese cabbage and characters of related phytopathogenic bacteria. Proceeding of Korean Society of Pesticide Science p. 176 (abstract).
 14. McKenna, M. 2013. Antibiotic resistance: The last resort. Nature 499: 394-396.
 15. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2016. The Numerical Statement of Agriculture, Food and Rural Affairs. pp. 308-309.
 16. Panda, P., B. R. Vanga, A. Lu, M. Fiers, P. C. Fineran, R. Butler, K. Armstrong, C. W. Ronson, and A. R. Pitman. 2016. *Pectobacterium atrosepticum* and *Pectobacterium carotovorum* harbor distinct, independently acquired integrative and conjugative elements encoding coronafacic acid that enhance virulence on potato stems. Frontiers in Microbiol. 7: 1-13.
 17. Pandin, C., M. Caroff, and G. Condeminea. 2016. Antimicrobial peptide resistance genes in the plant pathogen *Dickeya dadantii*. Appl. Environ. Microbiol. 82: 6423-6430.
 18. Rural Development Administration (RDA). 2016. Damage assessment for nine main crops by degree of outbreak in disease and insect. pp. 114-127.
 19. Santos, F. D. S., Y. A. Menegon, R. E. A. Piraine, P. R. C. Rodrigues, R. C. Cunha, and F. P. Leivas Leite. 2017. *Bacillus toyonensis* improves immune response in the mice vaccinated with recombinant antigen of bovine herpesvirus type 5. Beneficial Microbes doi.org/10.3920/BM2017.0021.
 20. Shrestha, A., E. C. Kim, C. K. Lim, S. Cho, H. H. Jang, and D. H. Park. 2009. Biological control of soft rot on chinese cabbage using beneficial bacterial agents in greenhouse and field. Korean J. Pesticide Sci. 13: 325-331.
 21. Statistics Korea. 2017. Crop Production in 2016. pp. 74-81.
 22. Tallur, P. N., D. B. Sajjan, S. I. Mulla, M. P. Talwar, A. Pragasam, V. M. Nayak, H. Z. Ninnekar, and S. S. Bhat. 2016. Characterization of antibiotic resistant and enzyme producing bacterial strains isolated from the Arabian Sea. 3 Biotech doi.org/10.1007/s13205-015-0332-3
 23. Tamura, K., G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski, and S. Kumar. 2013. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. Mol. Biol. Evol. 30: 2725-2729.
 24. The Korean Society of Plant Pathology (KSPP). 2009. List of Plant Disease in Korea. 5th

- ed. The Korean Society of Plant Pathology, Suwon, Korea. p. 106.
25. Togashi, J., K. Ueda, and T. Namai. 2001. Overwintering of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* in diseased tissues in soil and its role as inoculum for soft rot of Chinese cabbage (*Brassica campestris*, Pekinensis group). *J. Gen. Plant Pathol.* 67: 45-50
 26. Toth, I. K. and P. R. J. Birch. 2005. Rotting softly and stealthily", *Current Opinion in Plant Biol.* 8: 424-429.
 27. Toth, I. K., K. S. Bell, M. C. Holeva, and P. R. J. Birch. 2003. Soft rot erwiniae: from genes to genomes. *Mol. Plant Pathol.* 4: 17-30
 28. Tournas, V. H. 2005. Spoilage of vegetable crops by bacteria and fungi and related health hazard. *Critical Rev. in Microbiol.* 31: 33-44.
 29. Tsuda, K., G. Tsuji, M. Higashiyama, H. Ogiyama, K. Umemura, M. Mitomi, Y. Kubo, and Y. Kosaka. 2016. Biological control of bacterial soft rot in Chinese cabbage by *Lactobacillus plantarum* strain BY under field conditions. *Biological Control* 100: 63-69.
 30. Zhao, Y., P. Li, K. Huang, Y. Wang, H. Hu, and Y. Sun. 2013. Control of postharvest soft rot caused by *Erwinia carotovora* of vegetables by a strain of *Bacillus amyloliquefaciens* and its potential modes of action. *World J. Microbiol. Biotech.* 29: 411-420.
 31. Zucker, M. and L. Hankin. 1971. Inducible pectate lyase synthesis and phytopathogenicity of *Pseudomonas fluorescens*. *Canadian J. Microbiol.* 17: 1313-1318.