키틴분해미생물을 이용한 인삼 잘록병 방제

Control of Ginseng Damping-Off Disease Using Chitinolytic Bacterial Mixtures

*Corresponding author

Tel: +82-61-750-3864

Fax: +82-61-750-3268

E-mail: parksk@sunchon.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-7661-7600>

김영철¹ · 정현채² · 배영석³ · 박서기^{4*}

¹전남대학교 응용생물학과, ²순천대학교 산림자원학과, ³국립원예특작과학원 인삼과,

⁴순천대학교 식물 의학과

Young Cheol Kim¹, Hyun Chae Chung², Yeoung Seuk Bae³, and Seur Kee Park^{4*}

¹Department of Applied Biology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

²Department of Forest Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

³Ginseng Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Eumseong 27709, Korea

⁴Department of Plant Medicine, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

An effective bioformulation of mixtures of chitin-degrading bacteria has been used successfully to control plant diseases and nematodes. In this study, the bioformulation approach was assessed to control damping-off disease of ginseng. In pot experiments with soils infested with damping-off pathogens of ginseng, root-drenchings of *Chromobacterium* sp. C-61, *Lysobacterium enzymogenes* C-3, and mixture of two bacterial strains grown in chitin minimal medium were significantly increased emergence of seeds and reduced damping-off disease incidence of seedlings. Efficacy of the bioformulated product depended on the dose and timing of application. In two-year-old ginseng field, the high control efficacies were achieved by soil drenching of two times with an undiluted product or three times with a 10-fold diluted product. In a To-jik nursery (self soil nursery), biocontrol efficacy of the undiluted product against damping-off disease were similar to that of a seed dressing with fungicide, Tolclofos-methyl WP. These results suggest that the bioformulated product containing *Chromobacterium* sp. C-61 and *L. enzymogenes* C-3 could be an effective approach to control of ginseng damping-off disease.

Keywords: Chitinolytic bacteria, *Chromobacterium* sp., Ginseng damping-off, *Lysobacter enzymogenes*

Received October 11, 2018

Revised October 24, 2018

Accepted October 24, 2018

건강식품인 인삼에 대한 농약 사용은 소비자들의 불신뿐만 아니라 수출에도 어려움이 있어 유기농 재배 면적이 늘어나고 있다(Lim 등, 2017). 인삼 묘삼 생산에 가장 문제가 되는 병해 중의 하나인 모잘록병은 *Rhizoctonia solani*와 *Pythium* spp.에 의해 발생하며, *R. solani*는 종자의 발아 직후 어린 줄기를 침입하여 출아를 못하게 하거나 출아 후 땅가 부위의 줄기를 침

입하여 잘록 병징의 원인이 되고, *Pythium ultimum*은 줄기를 물렁하게 썩게 하여 결주를 일으킨다(Lee 등, 2016). *R. solani*는 본포에서 2년생 이상의 인삼에도 병을 일으킬 뿐만 아니라 병 발생 부위에 잿빛곰팡이병균이 2차적으로 침입하여 피해가 커지고(Cho 등, 2004), *Pythium* spp.도 본포에서 단독 또는 복합적으로 작용하여 뿌리에 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Lee, 2004). 인삼 잘록병원균들은 토양에 많이 분포하고 있어(Shin 등, 2012), 종자의 개갑과정에서 빈번하게 오염될 수 있다(Reeleder와 Brammall, 1994). 따라서 멸균 상토를 이용한 공정 육묘, 양액 육묘 등이 시도되고 있으나(Park 등, 2017), 일반 농

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

업인들은 경영비 문제 때문에 토직 육묘를 선호하고 있다(Kim 등, 2010a).

기존에 본 연구팀에서 개발한 항균활성이 다른 *Chromobacterium* sp. C-61, *Lysobacter enzymogenes* C-3 및 *Serratia plymuthica* C-1을 키틴최소배지에서 대량생산 시스템을 확립하였다(Kim 등, 2008; Kim 등, 2017). 개발된 bioformulated product는 실제 포장에서 고추 역병(Kim 등, 2008), 고추 흰가루병(Seo 등, 2007), 오이 뿌리혹선충(Ha 등, 2014), 인삼 탄저병 및 점무늬병(Kim 등, 2010b) 방제에 이용되었다. 키틴 기반 bioformulated product의 작용기작은 영양분으로 이용된 키틴분해미생물의 주요 영양원으로써 미생물의 생존과 증식에 중요한 역할을 하고(Cretoiou 등, 2013), 그 분해 산물인 키틴 및 키토 올리고당들은 식물 병원균을 직접 억제할 뿐만 아니라 식물에 저항성을 유도한다(Sharp, 2013; Shibuya와 Minami, 2001). 또한, 키틴분해세균들은 식물병원균을 억제하는 다양한 분해효소와 항균물질들을 생산하고(Kim 등, 2017), 이들 세균을 키틴과 혼합처리하면 세균의 생존율이 증가할 뿐만 아니라 병 방제 효과도 증대되었다(Sharp, 2013).

이 연구에서는 인삼 잘록병을 연구팀에서 개발한 키틴분해 미생물의 대량 배양 기법을 이용하여 방제하기 위하여 처리방법과 시기 등을 *in vitro* pot 조건에서 확립하여 인삼 모포와 본포에서 활용하기 위해 처리시기를 확립하고자 하였다. 본 연구결과는 키틴분해 미생물 *Chromobacterium* sp. C-61와 *L. enzymogenes* C-3의 혼합 대량배양액을 이용하여 인삼 잘록병 방제의 친환경방제 방법으로 활용 가능성을 제시하였다.

키틴분해세균들의 인삼 잘록병 항균활성. 키틴분해세균은 기존에 보고된 *Chromobacterium* sp. strain C-61, *S.*

plymuthica strain C-1 및 *L. enzymogenes* strain C-3 (Kim 등, 2008)를 이용하였다. 인삼 모잘록병균인 *Rhizoctonia solani* KACC 40123는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원정보센터(Korean Agricultural Culture Collection (KACC), National Agrobiodiversity Center, Jeon-ju, Korea)에서 분양받았고, *Pythium ultimum*은 국립원예특작과학원 인삼과로부터 분양받았다.

각 병원균은 potato dextrose agar (PDA, Difco, Dittroit, MI, USA)에서 28°C, 5일간 배양 후 5 mm cork borer로 절단하여 PDA 중앙에 치상하고, 키틴분해세균들은 nutrient broth (NB, Difco)에서 28°C, 180 rpm으로 1일간 배양한 후 배양액 10 µl를 병원균으로부터 2.5 cm 떨어진 PDA 가장 자리에 접종하였다. 처리된 petri dish를 28°C에서 5일간 배양하여 키틴분해세균과 병원균 균사 사이에 형성된 억제대의 크기를 조사하였다.

인삼 잘록병균인 *R. solani*에 대한 억제력은 *Chromobacterium* sp. C-61과 *L. enzymogenes* C-3 균주에서 높은 반면에 *P. ultimum*에 대한 억제력은 *S. plymuthica* C-1 균주에서 높았다(Fig. 1A).

포트 조건에서 키틴분해미생물의 방제효과. 자연 감염된 토양은 전남 해남군 산이면 인삼포장의 토양을 사용했다. 일부 토양은 잘록병균은 *R. solani*와 *P. ultimum*을 접종하였다. 삼각플라스크(500 ml)에 40 g의 oatmeal (The Quaker Oats Co. Chicago, IL, USA)과 160 g의 토양을 넣고 고압멸균 후, PDA에서 7일간 배양된 각 병원균과 멸균수 50 ml를 넣고 waring blender에서 마쇄한 현탁액을 접종하였다. 이 후플라스크를 28°C에서 15일간 배양한 다음 접종원을 꺼내 0.25 mm 체로 걸러서 고압멸균된 토양에 50:1(토양:접종원, W:W)의 비율로 혼합

Fig. 1. Biocontrol efficacies of the selected chitinolytic bacteria against ginseng damping-off pathogens. (A) *In vitro* inhibitory activity of the chitin-degrading bacteria (*Serratia plymuthica* C-1, *Chromobacterium* sp. C-61; Ly, *Lysobacter enzymogenes* C-3) on PDA against damping-off pathogens of ginseng: Rh, *Rhizoctonia solani*; Py, *Pythium ultimum*. (B) *In pot* biocontrol efficacies of the selected chitin degrading bacterial cultures grown in a chitin minimal medium. Ginseng seedlings with damping-off disease infested soils in plastic pots were treated with bacterial cultures or sterile chitin minimal medium as control.

하였다. 접종된 토양에서 병원균이 증식하도록 비닐로 덮어서 상온 온실에서 7일 동안 보관 후 사용하였다.

키틴분해미생물 배양액은 200 ml의 키틴최소배지(Kim 등, 2008)가 들어있는 삼각후라스크(500 ml)에 키틴분해세균, *Chromobacterium* sp. C-61, *L. enzymogenes* C-3, *S. plymutica* C-1를 단독 또는 혼합 접종하여 28°C, 180 rpm, 10일간 배양하여 사용하였다.

자연 감염된 토양과 병원균 접종 토양을 플라스틱 박스 (43 cm×26 cm×15 cm)에 넣고 개갑된 인삼 종자(15–20립)를 파종 후 키틴분해미생물 배양액 200 ml씩을 토양 관주하였다. 자연 감염된 토양에는 각 균주의 단독 배양액을 처리하였고, *R. solani*와 *P. ultimum*의 혼합 접종 토양에는 선발 균주의 단독 혹은 혼합배양액을 처리하였다. 무처리하는 동량의 멸균한 키틴최소배지를 토양 관주하였다. 처리된 플라스틱 박스를 차광망이 설치된 순천대학교 온실에 두고 15일 후 출아율, 30일 후 발병주율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였다.

본 연구에서 모든 결과의 통계처리는 각 처리 평균간의 차이에 의한 유의성 검정은 통계분석은 SPSS 23.0 software (IBM Corporation, Somers, New York, USA)를 사용하여 일원배치 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. F 값이 유의한 경우에만 Duncan의 다중검정방법(Duncan's multiple range test)과 선형회귀분석으로 유의수준 0.05에서 통계적 유의성을 검정하였다.

대조구 처리에서 68.9%의 출아율과 17.8%의 병 발병주율을 나타낸 반면 *Chrobacterium* sp. C-61과 *L. enzymogenes* C-3 배양액은 각각 88.9%와 86.7%의 출아율, 4.5%와 3.4%의 발병률로 우수한 방제효과를 나타냈다(Table 1, Fig. 1B). *S. plymutica*

Table 1. Effect of chitinolytic bacterial cultures on emergence of seeds and damping-off incidence of seedlings in pots with natural infested soil

Treatment ^a	Emergence (%) ^b	Disease rate (%) ^b
<i>Chromobacterium</i> sp. C-61	88.9 a ^c	4.5 a ^c
<i>Lysobacter enzymogenes</i> C-3	86.7 a	3.4 a
<i>Serratia plymutica</i> C-1	0 c	—
Control	68.9 b	17.8 b

^a*Chrobacterium* sp. C-61, *Lyzobacter enzymogenes* C-1, or *Serratia plymutica* C-3 were cultivated for 10 days at 28°C in a chitin-containing medium (control), and were soil-drenched after sowing on soil of ginseng field.

^bEmergence and disease rate were investigated at 15 days and 30 days, respectively, after treatments.

^cMeans with the same letters on the same columns are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

C-1 배양액 처리구에서는 인삼이 출아하지 않았고(Fig. 1B), 인삼 앞에 살포하였을 때 일주일 이내에 많은 반점을 형성하였다(자료 미제시). *S. plymutica*는 오이와 고추에서는 약해와 병원성이 없었다(Ha 등, 2014; Kim 등, 2008). 인삼에서는 *Serratia liqfaciens*가 인삼의 잎에 반점을 일으키고 뿌리 썩음을 일으키는 것으로 보고되었다(Kim 등, 2004). 아마도 *S. plymutica* C-1 균도 인삼에 잎반점과 뿌리썩음을 일으킬 수 있는 병원균으로 작용할 것으로 추정하며 현재 이들의 병원성을 검정 중에 있다. 이 연구에서는 *S. plymutica* C-1 균주를 제외한 나머지 두 개 균주들을 인삼 모잘록병의 방제에 이용하였다.

*R. solani*와 *P. ultimum*을 인공접종한 토양에서는 인삼 출아를 억제하고 어린 묘에 잘록병이 발생하였다. 출아율에는 *P. ultimum* 인공접종 처리구, 잘록병 발생에는 *R. solani* 처리구에서 통계적으로 유의하게 영향을 미쳤고, 두 병원균을 동시 접종한 처리구에서 출아율과 잘록병 발생율이 높았다(Table 2). 멸균 토양에서도 3.3%의 병이 발생하였는데, 이것은 인삼 종자에

Table 2. Effects of chitinolytic bacterial cultures on emergence of seeds and damping-off incidence of seedlings in pots with pathogen-infested soils

Treatment ^a	Emergence (%) ^b	Disease rate (%) ^c
<i>R. solani</i> -infested soil		
<i>Chromobacterium</i> sp. C-61	86.7 ab	8.3 a
<i>L. enzymogenes</i> C-3	83.3 abc	10.0 a
Mixed cultures	90.0 a	6.7 a
Control	73.3 abc	25.0 bc
<i>P. ultimum</i> -infested soil		
<i>Chromobacterium</i> sp. C-61	76.7 abc	11.7 a
<i>L. enzymogenes</i> C-3	78.3 abc	10.0 a
Mixed cultures	80.0 abc	8.3 a
Control	66.7 bc	15.0 ab
<i>R. solani</i> and <i>P. ultimum</i> -infested soil		
<i>Chromobacterium</i> sp. C-61	81.7 abc	13.3 ab
<i>L. enzymogenes</i> C-3	80.0 abc	15.0 ab
Mixed cultures	85.0 ab	8.3 a
Control	63.3 c	31.7 c
Autoclaved soil	93.3 a	3.3 a

^a*Chrobacterium* sp. C-61, *Lysobacter enzymogenes* C-3, or mixture culture of the C61 and C-3 were cultivated for 10 days at 28°C in a chitin-containing medium, and were drenched after sowing on *R. solani*, *P. ultimum*, or *R. solani* and *P. ultimum*-infested soils.

^bEmergence and disease rate were investigated at 15 days and 30 days, respectively, after treatments.

^cMeans with the same letters on the same columns are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

존재한 병원균에 의해서 일어났을 것으로 판단된다.

키틴분해미생물 배양액은 *R. solani* 접종 토양에서 우수한 방제효과를 나타냈지만, *P. ultimum* 접종 토양에서는 방제능력이 낮았다(Table 2). 각 균주의 단독 배양액과 혼합배양액간의 생물적 방제능력에는 통계적 유의성은 없었다. 이러한 결과는 *Chromobacterium* sp. C-61과 *L. enzymogenes* C-3가 *R. solani*에 대해 *in vitro* 억제력이 큰 반면, *P. ultimum*에 대해서는 항균능력이 낮은 것에 기인한 것으로 추정된다(Fig. 1A). 진균(예, *R. solani*)과 난균류(예, *Pythium* spp., *Phytophthora* spp.)는 세포벽 구성성분과 단백질 합성경로 등이 서로 달라서 살균제도 각기 다른 것으로 알려져 있다(Williams-Woodward와 DeMott, 2014). 기존 보고에 의하면 *Chromobacterium* sp. C-61와 *L. enzymogenes* C-3는 *R. solani*에 높은 항균활성을 보였지만, 난균인 *Phytophthora capsici*에 대한 항균활성이 낮았다. 반대로 *S. plumutida* C-1 균주는 *P. capsici*에 높은 항균활성을 보였다(Kim 등, 2008). 따라서 이 연구에서 난균류를 크게 억제했던 *S. plumutida* C-1 균주가 인삼 병원균으로 추정되어 제외하였지만, 차후 난균에 항균활성이 높은 키틴분해미생물을 활용하여 다양한 키틴분해미생물을 혼합 배양하면 방제효과가 더 향상될 것으로 생각된다.

키틴분해미생물 배양액의 포장방제. 2010년 전남 해남군 산이면 인삼 포장에서 잘록병에 대한 *Chromobacterium* sp. C-61과 *L. enzymogenes* C-3 혼합배양액의 방제효과를 조사하였다. 혼합배양액은 키틴 함유배지가 들어 있는 대량배양기(500 L)에 NB에서 28°C, 180 rpm으로 1일간 배양한 두 균주의 100 ml씩을 접종하고 28°C에서 10일 동안 배양하여 사용하였다(Kim 등, 2008). 1년생 묘삼이 이식된 본포에는 혼합배양액의 원액과 10배 희석액을 출아기에 각각 1회(4월 15일), 2회(4월 15일, 4월 25일), 3회(4월 15일, 25일, 5월 5일) 토양 관주하고, 무처리구는 동량의 물을 관주하여 6월 5일에 모잘록병 발생을 조사하였다. 각 처리구당 각 200주 인삼에 3반복으로 완전임의배치법으로 수행하였다.

개갑 종자를 파종한 토직 모포에서는 배양원액을 종자침지, 종자침지+미생물 1회 토양관주, 종자침지+미생물 2회 토양관주하여 살균제의 분의 처리 효과와 비교하였다. 종자침지는 파종 직전(2009년 12월 10일) 배양원액에 1시간 침지 후 풍건하였다. 2010년 출아기에 1회(4월 15일) 또는 2회(4월 15일, 4월 25일) 실시되었다. 살균제는 파종 직전 종자 15 L당 톨클로포스 메틸수화제(리조렉스) 200 g을 분의 처리하였다. 키틴분해 미생물 배양액의 토양 관주시에는 살균제와 대조구로 동량의 멸균된 키틴최소배지를 토양관주하였다. 병 발생은 5월 25일에 조

Table 3. Control efficacy of a combined culture of *Chromobacterium* sp. C-61 and *Lysobacter enzymogenes* C-3 on damping-off disease in two-year-old ginseng field

Treatment	Treated dates ^a	Disease rate (%) ^b	Control value (%)
Undiluted culture	Apr. 15, 25, May 5	0.7 a	90.3
10 x diluted culture	Apr. 15, 25, May 5	1.5 b	79.2
Control	Apr. 15, 25, May 5	7.2 c	—

^aMassive culture (500 L) of two chitin degrading bacteria was prepared by cultivating for 10 days at 28°C on a chitin minimal medium in a fermenter. Undiluted or 10-fold diluted of bacterial culture or sterilized water as control were treated at defined days.

^bDisease incidence of damping-off was investigated on June 5, 2010 and means with the same letters on the same column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

Table 4. Control efficacy of a combined culture of *Chromobacterium* sp. C-61 and *Lysobacter enzymogenes* C-3, and a fungicide on damping-off disease in ginseng nursery

Treatment	Treated dates ^a	Disease rate (%) ^b	Control value (%)
Bacterial culture ^a	Dec. 10, Apr. 15	17.5 a	71.4
	Dec. 10, Apr. 15, 25	10.1 a	83.5
Fungicide ^b	Dec. 10	16.0 a	74.9
Control	Dec. 10, Apr. 15, 25	61.2 b	—

^aMassive culture (500 L) of two chitin degrading bacteria was prepared by cultivating for 10 days at 28°C on a chitin minimal medium in a fermenter. Undiluted or sterile chitin minimal medium were treated as a seed dipping before sowing at Dec. 10 in 2009, and 5 folds diluted bacterial cultures or 5 folds diltured sterile chitin minimal medium with sterile water were drenched twice to ginseng nursery filed in emergency periods at Apr. 15 and Apr. 25 in 2010.

^bChemical fungicide (Tolclofos-methyl WP) was treated as a seed dressing before sowing at Dec. 10 in 2009.

^cDisease incidence of damping-off was investigated on May 5, 2010 and means with the same letters on the same column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

사하였고, 모든 실험은 3반복(400주/반복)으로 실시하였고, 방제가는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{방제가}(\%) = [(1 - (\text{처리구의 발병주율} / \text{무처리구의 발병주율})) \times 100]$$

포장에서 10배 희석액 처리구의 인삼 잘록병 방제효능은 원액 처리구에 비하여 통계적으로 유의하게 낮았다(Table 3). 그러나 10배 희석액도 3회 처리구에서는 79.2%의 방제효과를 나

타냈고, 원액 처리구에서는 3회 처리는 90.3% 방제가를 보였으나(Table 3). 하지만 원액 1회 처리구와 2회 처리는 각각 55%와 81.9%의 방제가를 나타냈다(자료 미제시).

토직 모포에서는 파종 전 살균제의 종자분의 처리가 74.9%의 방제효과를 나타낸 반면에 배양원액의 종자 침지 처리는 26.8%의 낮은 방제효과를 나타냈다. 그러나 배양원액의 종자 침지 처리 후 이듬해 봄 출아기에 5배 희석액을 1회 토양관주하였을 경우에는 71.4%, 2회 토양관주하였을 경우에는 83.5%의 방제가를 나타냈다(Table 4). 특히, 무처리의 병 발생이 매우 심했음에도 배양원액의 종자침지+5배 희석액의 2회 토양관주는 살균제보다 더 우수한 방제효과를 보였다.

키틴분해미생물 배양액 단독 처리구는 살균제수준의 방제효과에 미치지 못하지만, 처리횟수를 증가시키면 친환경적으로 인삼 잘록병을 살균제 처리구와 비슷한 수준으로 방제할 수 있는 가능성을 보였으며, 특히 토직 모포에서도 종자침지+출아기의 1, 2회 토양관주에 의해서 친환경 묘삼의 생산이 가능할 것으로 추정된다. 키틴분해미생물은 농가에서 1대의 배양기를 이용하여 대량배양(500 L; Kim 등, 2017)함으로써 5배 희석해서 사용하면 1,650 m² 정도의 면적(5 L/3.3 m²)에 처리되기 때문에 친환경 묘삼을 생산하는 모포에서는 사용해 볼 가치가 있다고 생각된다. 동일한 방법으로 조제한 키틴분해미생물 배양액은 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제에 활용되었다(Kim 등, 2010b). 이 연구에서 기존에 개발된 키틴분해미생물의 혼합체를 이용하여 인삼의 모잘록병의 친환경방제 매뉴얼을 제시하였다. 인삼에 병원성을 보인 *S. plymuthica*를 대체할 난균류에 항균활성이 높은 키틴분해미생물 선발하여 항균활성이 스펙트럼이 다른 키틴분해미생물의 혼합대량배양을 이용하여 종합적으로 작물 병해를 방제하는 추가 연구를 진행 중이다.

요 약

본 연구팀에서 개발한 키틴분해미생물 대량배양 bioformulated product는 다양한 작물의 병과 선충의 생물적 방제에 성공적으로 이용되어 왔다. 이 연구에서는 개발된 키틴분해미생물 대량배양 기술을 활용하여 인삼 모잘록병의 생물적 방제법을 확립하고자 수행하였다. 인삼 잘록병 오염 토양을 이용한 포트에서 키틴최소배지에서 배양한 키틴분해미생물 *Chrobacterium* sp.와 *L. enzymogenes* 혼합배양액 처리구에는 인삼의 출아율과 인삼 잘록병율이 통계적으로 유의하게 감소하였다. 개발된 키틴분해미생물 배양액의 생물적 방제 능력은 희석여부와 처리시기에 따라 차이를 보였다. 인삼 포장에서 혼합배양액을 파종 전 종자침지하고 출아기에는 토양관주하였

을 때, 본포의 2년생 인삼에서 배양원액은 2회 토양관주, 10배 희석액은 3회 토양관주에서 높은 방제효과를 나타냈다. 토직 본포의 경우 배양 원액의 종자 침지에 의한 방제효과는 낮았지만, 종자침지 후 1회 또는 2회 토양관주는 살균제인 톨클로로포스메틸수화제의 종자분의소독과 비슷한 수준의 방제효과를 보였다. 이러한 결과는 *Chromobacterium* sp. C-61와 *L. enzymogenes* C-3의 혼합배양액을 이용하여 인삼 잘록병 방제에 화학적 살균제를 대신할 수 있을 효과적인 대안이 될 수 있을 것이다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgement

This paper was supported by Suncheon National University Research Fund in 2018.

References

- Cho, D.-H., Kang, J. Y. and Yu, Y.-H. 2004. Anastomosis group, pathogenicity and growth characteristics of *Rhizoctonia solani* causing damping-off on *Panax ginseng*. *J. Ginseng Res.* 28: 183-190.
- Cretoiu, M. S., Korthals, G. W., Visser, J. H. M. and van Elsas, J. D. 2013. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the actinobacterial and oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. *Appl. Environ. Microbiol.* 79: 5291-5301.
- Ha, W. J., Kim, Y. C., Jung, H. and Park, S. K. 2014. Control of the root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) on cucumber by a liquid bio-formulation containing chitinolytic bacteria, chitin and their products. *Res. Plant Dis.* 20: 112-118. (In Korean)
- Kim, D. G., Lee, S. G., Lee, Y. K., Lee, J. P. and Jung, K. C. 2004. Root rot of *Panax ginseng* caused by *Serratia liquefaciens*. *Res. Plant Dis.* 10: 8-12. (In Korean)
- Kim, D. W., Kim, H. J., Park, J. S., Kim, D. H., Cheong, S. S. and Ryu, J. 2010a. Selection of suitable organic matter for To-jik nursery in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 18: 74-78.
- Kim, Y. C., Jung, H., Kim, K. Y. and Park, S. K. 2008. An effective bio-control bioformulation against *Phytophthora* blight of pepper using growth mixtures of combined chitinolytic bacteria under different field conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 120: 373-382.
- Kim, Y. C., Lee, J. H., Bae, Y. S., Sohn, B. K. and Park, S. K. 2010b. Development of effective environmentally-friendly approaches to

- control Alternaria blight and anthracnose diseases of Korean ginseng. *Eur. J. Plant Pathol.* 127: 443-450.
- Kim, Y. C., Kang, B. R., Kim, Y. H. and Park, S. K. 2017. An effective and practical strategy for biocontrol of plant diseases using on-site mass cultivation of chitin-degrading bacteria. *Res. Plant Dis.* 23: 19-34. (In Korean)
- Lee, S.-G. 2004. *Fusarium* species associated with ginseng (*Panax ginseng*) and their role in the root-rot of ginseng plant. *Res. Plant Dis.* 10: 248-259.
- Lee, S. Y., Song, J., Park, K. H., Weon, H. Y., Kim, J. J. and Han, J. H. 2016. Biocontrol of ginseng damping-off by *Bacillus velezensis* CC112. *Kor. J. Mycol.* 44: 176-183.
- Lim, J.-S., Park, K.-C., Yun, E.-J. and Choi, D.-C. 2017. Analysis of economic effects for organic cultivation in *Panax ginseng* C.A. Meyer. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 29: 160-171.
- Park, H. W., Song, J. H., Kwon, K. B., Lee, U. H. and Son, H. J. 2017. Growth characteristics of ginseng seedling transplanting by self soil nursery, nursery or hydroponic culture on main field. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 25: 238-243.
- Reeleder, R. D. and Brammall, R. A. 1994. Pathogenicity of *Pythium* species, *Cylindrocarpon destructans*, and *Rhizoctonia solani* to ginseng seedlings in Ontario. *Can. J. Plant Pathol.* 16: 311-316.
- Seo, C. C., Jung, H. C. and Park, S. K. 2007. Control of powdery mildew of pepper using culture solutions of chitinolytic bacteria, *Chromobacterium* sp. and *Lysobacter enzymogenes*. *Res. Plant Dis.* 13: 40-44. (In Korean)
- Sharp, R. G. 2013. A review of the applications of chitin and its derivatives in agriculture to modify plant-microbial interactions and improve crop yields. *Agronomy* 3: 757-793.
- Shibuya, N. and Minami, E. 2001. Oligosaccharide signalling for defence responses in plant. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 59: 223-233.
- Shin, J.-H., Yun, B.-D., Kim, H.-J., Kim, S.-J. and Chung, D.-Y. 2012. Soil environment and soil-borne plant pathogen causing root rot disease of ginseng. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45: 370-376. (In Korean)
- Williams-Woodward, J. L. and DeMott, M. E. 2014. Fungicide resistance in *Pythium* and *Phytophthora* from ornamentals in Georgia. *Acta Hort.* 1055: 453-456.