

표고버섯 수확 후 배지추출물의 인삼젓빛곰팡이 병 방제 효과

유혜린³ · 김재경¹ · 조진주¹ · 강희완^{1,2,3,*}¹한경대학교원예생명과학과²한경대학교유전공학연구소³한경대학교 미래융합기술대학원Protective effects of extracts from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes* on gray mold disease of ginsengHae-lin Lyu³, Jae-Kyong Kim¹, Jin-Joo Cho¹, and Hee-Wan Kang^{1,2,3,*}¹Department of Horticultural life Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea²Institute of Genetic Engineering, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea³Graduate School of Future Convergence Technology, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

ABSTRACT: This study aims to investigate the antifungal and protective effects of water- and 70% methyl alcohol-extracts from spent mushroom substrate (WESMS and MeOHSMS) of *Lentinula edodes*, on *Botrytis cinerea*- the causative agent for gray mold disease in ginseng. MeOHSMS inhibited mycelial growth and spore germination of *Botrytis cinerea*, by 75% and 95%, respectively. MeOHSMS could suppress gray mold disease of ginseng seedlings by 80% and effectively reduce the disease severity by 60%. Compared to the treatment of ginseng leaves with WESMS and DL- β -aminobutyric acid (BABA), the MeOHSMS treatment increased the phenolic compounds in the leaves by 36% and 18%, respectively. These results suggest that the SMS extracts suppress gray mold disease in ginseng via dual functions: antifungal activity and increase in a plant defense factor—phenolic compounds.

KEYWORDS: Extracts, *Lentinula edodes*, Ginseng, Grey mold disease, Spent mushroom substrate, Protective effect

서 론

버섯생산의 자동화가 급속도로 확충되면서 국내 주요 농산버섯인 팽이, 큰느타리, 느타리버섯으로 식용버섯의 병 재배가 주요 생산기술로 자리잡고 있으며 버섯 수확 후 배지(spent mushroom substrate, SMS)가 대량(약 200만톤)으로 방출되고 있다. 표고버섯은 연간 37,000톤 정

도가 생산되며 생산량증대를 위하여 원목재배에서 봉지재배로 급속히 전환되고 있어 얻어지는 부산물인 표고SMS가 환경오염 등 문제점으로 대두되고 있다(Kang *et al.*, 2017). SMS는 미생물고체 배양체와 같이 간단한 추출과정만으로 활용가능 하여 농업 폐자원을 저비용으로 고부가가치의 유용자원으로 전환시킬 수 있다는 점에서 주목할 만하다. Solid state fermentation(SSF)방법은 다양한 콘코브, 톱밥 등을 이용한 고체형배지를 이용하여 곰팡이류로부터 고효성항균물질 생산 할 때 사용하는 배양법이다(Subramaniam and Vimala, 2012). SMS는 SSF와 유사한 특성을 가지며 다양한 목질분해 효소와 식물생육촉진 유효성분, 항균물질, 병저항성 유도체 등의 다양한 이차대사산물이 포함되어 있는 것으로 알려져 있다(Hautzel and Anke, 1990; Lim *et al.*, 2012; Parada *et al.*, 2012; Suess, 2006). 담자균 204 종 317 균주를 이용하여 세균과 진균에 항균성 물질이 탐색된 바 있으며(Alves *et al.*, 2012; Suay *et al.*, 2000), 표고버섯 등 식용버섯 유래 배양여액이 세균식물병원균곰팡이와 식물병원세균 성장억제와 고추역병균 병 방제에 적용되어 농업적 활

J. Mushrooms 2018 September, 16(3):170-174
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.3.170>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author

E-mail : kanghw2@hknu.ac.kr

Tel : +82-31-670-5420, Fax : +82-31-676-2602

Received August 31, 2018

Revised September 17, 2018

Accepted September 17, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

용을 모색한 바 있다(Chen and Huang, 2010). 그러나 균사체 배양액을 포장에 적용을 위해서는 대량 균 배양 및 추출 시스템 등 부수적인 공정비용이 요구되어 경제적 효율이 문제점이 될 수 있다. 다양한 SMS를 이용한 오이 탄저병, 고추역병, 토마토 풋마름병 등 다양한 식물병 방제 연구가 수행된 바 있다(Kang *et al.*, 2017; Kwak *et al.*, 2016; Parada *et al.*, 2011; Parada *et al.*, 2012; Yohalem *et al.*, 1996). 최근, 표고버섯 SMS 물 추출물을 이용한 고추역병균 방제에 이용된 바 주요 항균활성 물질로 oxalic acid가 동정되었으며 병 저항성 유전자를 발현하는 성분이 SMS에 포함하는 것으로 보고되었다(Kang *et al.*, 2017).

인삼(*Panax ginseng*)은 1970년에 3,401 ha에 불가했던 것이 2009년 19,702 ha로 급속증가 하다가 2016년 현재 14,679 ha에 재배되고 있으며 생산액은 7,600억에 달하는 특용원예작물로 농가의 중요 소득원이다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016). 인삼은 특성상 4-6년의 장기재배를 하기 때문에 다양한 병충해로 인한 피해가 우려되고 있다. 특히 인삼 잿빛 곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea*는 인삼의 모든 부위를 가해하는 병원균으로 7월 중순부터 감염하기 시작하여 8월 중순에는 19.2%까지 상승하는 인삼의 주요 병원균으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2011). 인삼 잿빛 곰팡이병 방제는 농약을 이용한 화학적 방제 의존하고 있는 실정으로 환경오염과 인체유해성 문제가 야기 있다.

본 연구에서는 표고버섯 SMS 추출물의 인삼잿빛곰팡이병균에 대한 항균활성과 친환경적인 방제효과 검정을 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

표고버섯 SMS 추출물

표고버섯 SMS는 농가로부터 참아랑 재배 농가로부터 분양 받아 사용하였다. 표고 SMS 200 g을 분쇄하고 SMS : 물 또는 Methyl alcohol(1 : 5, v/v)을 첨가하고 2시간 동안 실온에서 진탕배양기에 150 rpm으로 하여 추출하였다. SMS 추출물을 2점의 미라크로스로 여과하고 10,000 rpm에서 10분 동안 원심분리 하여 SMS 잔여물을 제거하여 상등액을 SMS 추출물로 하여 실험에 사용하였다. 메탄올 추출물은 감압증발기로 메탄올성분을 증발시키고 물에 녹여 최종 추출량 1000 ml로 하여 실험에 사용하였다.

인삼 잿빛곰팡이병 방제

인삼묘삼 1년생을 인삼상토가 들어 있는 포트에 심고 생육 적온 20~24°C에서 차광환경을 만들어 2일에 한 번 표면을 적실 정도로 관수하였으며 40일 동안 성장시킨 인삼 묘묘를 실험에 사용하였다. 인삼 잿빛곰팡이병 발병유

도를 위하여 2×10^5 포자현탁액을 인삼 잎에 분무 살포 3일 후에 표고버섯 SMS 추출물을 3일 간격으로 3회 처리하였으며 방제효과는 최종 처리 7일 후에 조사하였다. 발병정도(disease index)는 1: 잎이 1~10% 감염, 2: 10~20% 감염, 3: 20~40% 감염, 4: 40~70%, 5: 70~100%감염으로 나타냈으며 방제율은 Sunwoo 등(1996)이 제시한 $100(1 - x/y)$, x는 처리구 발병 정도, y는 비 처리구 발병 정도로 산출하였다.

균사생장억제효과

잿빛곰팡이병균 균사체는 Potato dextrose Agar(PDA)에 접종하고 7일간 성장시킨 다음 접종원으로 사용하였다. 항균활성 측정배지는 표고버섯 SMS 물 추출액(WESMS)과 70% 메탄올 추출액(MeOHSMS)에 PDA배지를 혼합하여 고압멸균기에서 20분간 살균하여 항균활성배지를 조제하였다. 대조구는 PDA만을 포함한 것을 사용하였다. 균사체절편(5 mm × 5 mm)을 상기의 배지 중앙에 접종한 후 10일 동안 균사 성장율을 조사하였다.

잿빛곰팡이 포자발아 억제효과

잿빛곰팡이병균의 포자형성을 유도하기 위하여 PDA가 1/2 들어있는 배지에 접종하고 형광빛을 12시간 주기로 가하고 20일 후에 형성된 포자를 물로 현탁하여 수집하였다. 0.1%의 glucose용액에 2×10^5 포자현탁액을 만들어 표고버섯 SMS 추출액을 동량으로 혼합하고 홀이 있는 슬라이드에 50 μ l씩 접종하여 슬라이드글라스를 덮고 물로 적신 여지가 들어 있는 Petri dish에 올려놓고 밀봉하여 습도를 유지하여 24시간 후 포자 발아율을 400배의 광학현미경에서 조사하였다.

인삼 페놀성분 함량

시료는 인삼잎에 표고버섯 SMS추출물을 균일하게 분무살포하였고, 음성대조구는 물을 균일하게 분무살포 하였으며, 양성대조구는 병저항성 유도물질로 잘 알려진 0.5% BABA를 분무살포하였다. 96시간 후에 각각의 인삼잎을 취하여 액체질소에 급냉하고 마쇄하여 샘플을 전처리 하였다. 전처리된 각각의 시료 1 g을 액체질소에 마쇄하여 3 ml의 90% methanol에 혼합하여 원심분리 한 후 분배하여 시료를 준비하였다. 준비된 추출물 시료 600 μ L를 7% folin Ciocalteu reagent 500 μ L와 혼합하고 4% Na_2CO_3 500 μ L를 첨가하여 60분 후에 spectrophotometer를 이용하여 720 nm파장에서 흡광도를 측정하였다. 페놀성분의 standard 물질로는 Gallic acid를 사용하여 정량분석하였다.

결과 및 고찰

표고버섯 SMS의 인삼잿빛곰팡이 균사생장억제

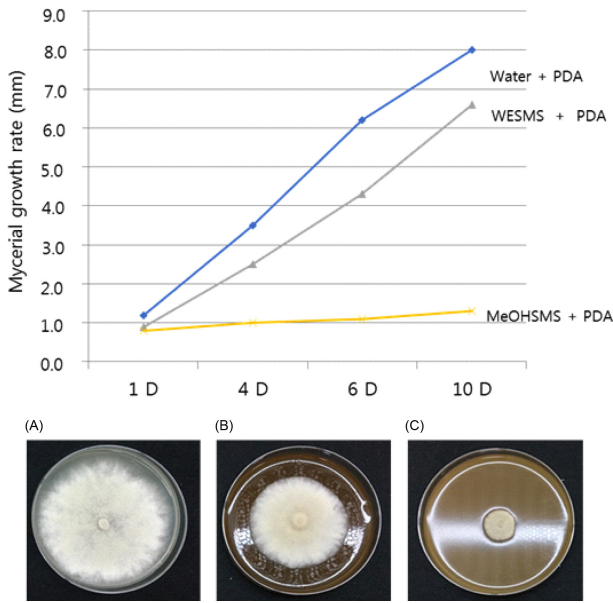


Fig. 1. Inhibition of mycelial growth of *Botrytis cinerea* on water extract from spent mushroom substrate (SMS) of *Lentinula edodes*. The mycelial plugs were inoculated on potato dextrose agar (PDA) media containing water extracts (WE) and 70% Methyl alcohol (MeOH) from spent mushroom substrate (SMS) of *L. edodes*. Mycelial inhibition on Water + PDA (A), WESMS + PDA (B) and MeOHSMS + PDA (C) media after 10 days of inoculation.

표고버섯 SMS 물추출물과 70% MeOH 추출물을 PDA와 혼합하여 제조한 배지상에 인삼젓빛곰팡이 균사체를 접종하여 1일에서 10일 사이의 균사 성장율을 조사하였다. 70% MeOHSMS + PDA는 접종 후부터 10일에 균사생장이 1.2 cm로 PDA에 배양한 대조구에 비하여 균사생장억제가 78% 이상 억제되었으며 실온에서 물로 추출한 WESMS인듯 따라서 MeOHSMS는 높은 항균 활성이 있는 것으로 나타났다. 전 보고에서 고추역병균에 대한 표고버섯 물추출물의 항균활성을 조사한 바 있는데 고추역병균의 균사생장율을 65% 억제하는 것으로 보고되었으나 본 연구의 물 추출물은 인삼젓빛곰팡이병균에서 낮은 항균활성을 보였으나 MeOHSMS에서는 보다 높은 항균활성이 나타났다. 표고버섯 항균활성 물질로 oxalic acid가 보고된 바 있다. Oxalic acid는 물에 잘 녹는 유기산으로 70% 메탄올 보다 물로 추출하였을 때 더욱 많이 추출될 것으로 추정되어 메탄올 추출물에 인삼젓빛곰팡이병균에 활성이 있는 항균 물질이 포함될 가능성을 배제할 수 없었다. 향후 추출물을 분획하여 항균물질의 동정이 수행되어야 할 것으로 사료되었다.

표고버섯 SMSE의 인삼젓빛곰팡이 포자발아 억제

본 실험은 균사생장에 효과적으로 억제하였던 MeOHSMS 포자발아 억제효율을 조사하였다. MeOHSMS 처리구 (Fig. 2A)에서 99% 이상 포자발아 억제율이 관찰되었으

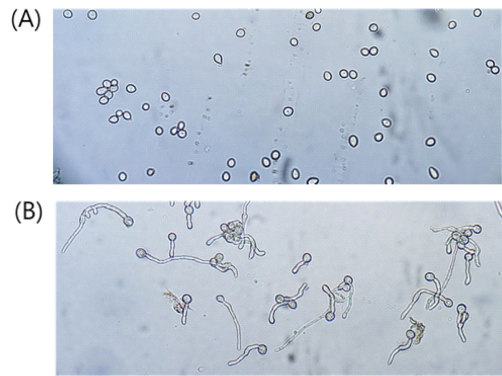


Fig. 2. Effect of 70% Methyl alcohol extract from spent mushroom substrate (MeOHSMS) of *L. edodes* on spore germination of *Botrytis cinerea*, a causal agent of grey mold disease. The zoospores of *Botrytis cinerea* were treated with MeOH (A), and water (B).

나 물처리구 (Fig. 2B)에서는 대부분의 포자가 정상적으로 발아되었다. Chu 등(2010)은 13종 27계통의 버섯균주의 배양여액의 식물병원 진균에 대한 포자 발아 억제율을 조사한 결과 *Alternaria brassicicola*, *Colletotrichum higginsianum*, *Phytophthora capsici*의 100%의 포자억제율이 있다고 하여 본 연구와 유사하였다. Fig. 3은 인삼 잎에 2×10^5 의 인삼젓빛곰팡이병균의 포자현탁액을 접종하고 MeOHSMS와 WESMS를 분무처리하여 7일 후에 감염여부를 조사한 것으로 MeOH처리구에서는 병반이

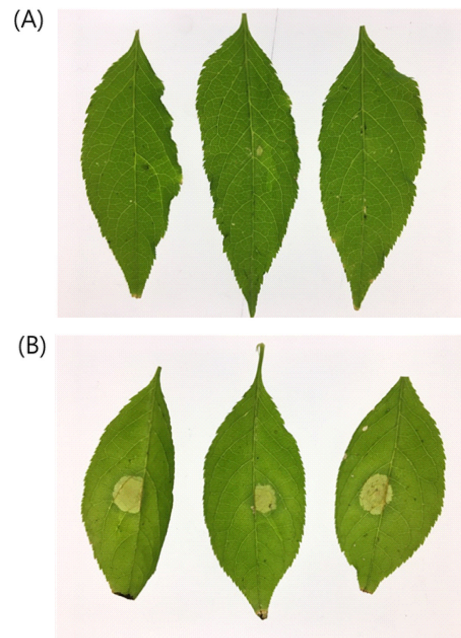


Fig. 3. Effect of 70% methyl alcohol extract from spent mushroom substrate (MeOHSMS) of *L. edodes* against *Botrytis cinerea* on ginseng leaves. Spore suspension (2×10^5) of *Botrytis cinerea* was inoculated on the leaves and then are treated with MeOHSMS (A) and control, sterile distilled water (B).

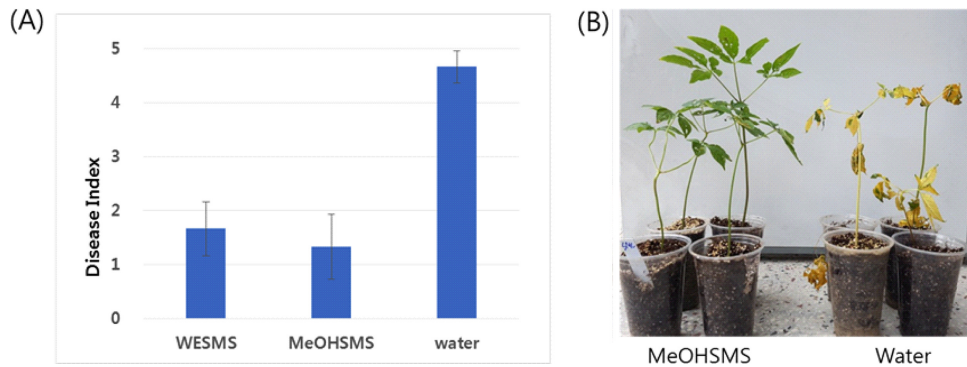


Fig. 4. Protective effect of 70% methyl alcohol extract from spent mushroom substrate (MeOHSMS) of *L. edodes*. *Phytophthora capsici* was inoculated on pepper and then treated with MeOHSMS. The disease index was checked on ginseng for 7 day after inoculation (A) and disease severity was observed after 7 days of inoculation (B). Value represents the mean disease index \pm standard deviations of three replicates for each treatment.

형성되지 않았으나 WESMS처리구에서는 접종부위를 중심으로 누런 환이 형성되면서 병반이 형성되었다. 이는 MeOHSMS와 MEOGMS를 혼용하였을 포자발아를 억제하여 발병되지 않았음을 간접적으로 시사하고 있다. 식물병원균은 일차적으로 포자가 식물기주 잎 등의 조직에 부착 발아하여 부착기를 형성하고 부착기로부터 침입균사가 형성되어 식물체세포 내 간극 또는 세포내로 침입 흡기를 통해 식물체세포내의 영양분을 취득하여 병을 유발하는 것으로 알려져있다(Agrios, 2005). 따라서 포자발아는 기주와 병원균간의 병 발병의 첫 번째 단계로 발병에 매우 중요한 과정이라 볼 수 있다.

표고버섯 SMSE의 인삼젯빛곰팡이 병 방제효과

위 실험에서 표고버섯 MEOHSMS 추출물의 균사생장 억제와 포자발아억제에 유효효과를 가진 것으로 결론되었다. 따라서 표고버섯 MEOHSMS를 처리하였을 때 실제적으로 인삼젯빛곰팡이병 방제효과를 조사하였다. 인삼젯빛곰팡이병균의 포자 현탁액을 잎을 포함한 인삼유묘 전반에 분무접종하고 포화습도의 암상태에서 3일 동안 유지한 후 MEOHSMS를 3일 간격으로 3회 분무처리 하여 7일 후 발병 유무를 관찰하였다. 물처리 대조구는 발병정도가 4.5인 반면에 WESMS처리 구는 병 발병정도가 1.8, MeOHSMS는 1.2로 낮은 병 발병정도를 나타냈다(Fig. 4A). 포자접종 후 5일에 인삼 잎 가장자리와 줄기에 병반이 형성 7일부터 잎이 말리고 고사되어 누렇게 변하여 자연 발생하는 인삼젯빛곰팡이병반과 유사한 병징이 관찰되었다(Fig. 4B). 결론적으로 표고버섯 수확 후 배지 추출물에 있어서 인삼젯빛곰팡이병 대한 65-80% 이상의 높은 방제효과를 확인할 수 있었다. 따라서 본 결과는 표고버섯 수확 후 배지가 인삼젯빛곰팡이병 방제를 위한 친환경 방제의 유용한 소재로 활용 가능할 것으로 사료되었다. 전 보고에서 Kang 등(2017)은 표고 SMS 물 추출물처리로 65% 이상의 방제효과를 보였다고 하였다. 고추 역병균의 경우 토양 전염성 균으로 병진전이 매우 빠르고 토

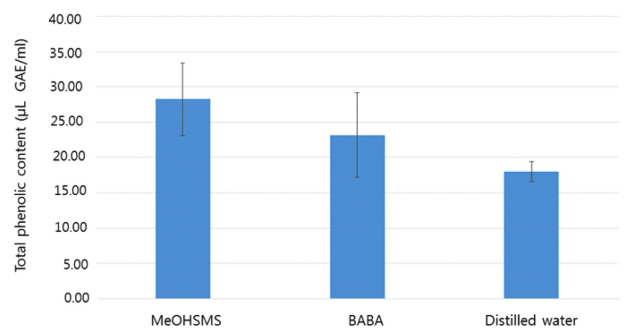


Fig. 5. Content of phenolic compound on ginseng plant leaves treated with from 70% methyl alcohol extract from spent mushroom substrate (MeOHSMS) of *L. edodes*. Distilled water and DL-3-aminobutylic acid (BABA, 0.5%) was used as negative and positive controls.

양관주에 의한 처리로 낮은 효과가 있었으나 인삼젯빛곰팡이 병은 지상부 식물체부위에 발생하므로 포자 발아를 억제하여 초기에 방 발생을 차단하여 높은 방제효과를 보인 것으로 사료되었다. 식물의 젯빛곰팡이병은 인삼이외에 딸기, 포도, 토마토 등 다양한 기주범위를 가지고 있으며 균주의 유묘, 꽃, 잎, 줄기 할 것 없이 다양한 부위에 감염하여 병을 일으킨다. 감염되면 발병진전이 빠르고 많은 포자를 형성하여 2차감염에 중요한 역할을 한다. 표고버섯 SMS 추출물은 다양한 기주에 감염하는 젯빛곰팡이병에 대한 방제연구가 추진된다면 저 비용 재료로 고 효율의 병 방제에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

표고버섯 수확 후배지 추출물처리에 따른 인삼 페놀함량변화

식물의 병 저항성 반응의 생화학적 변화는 salicylic acid 등 신호물질 증가와 phytoalexin생합성물질 증가이며 이들은 페놀 성분으로 구성되어 있으며 페놀 성분증가는 저항성 유도와 관련이 있는 것으로 보고되었다(Mikulic-Petkovsek et al., 2013). 따라서, MeOHSMS처리에 따른 인삼의 페놀 함량 변화를 조사하였다. MeOHSMS처리구

는 페놀함량이 28.0 mg GAE/100g로 물 처리구 18.0 mg GAE/100g 보다 36%의 페놀함량이 증가시켰다. 식물의 병 저항성 유도체로 널리 알려져 있는 BABA 처리구는 23 mg GAE/100g로 MeOHSMS처리 구 보다 페놀함량 18% 낮게 나타났다(Fig. 5).

병 저항성 유도에 관여하는 것으로 알려져 있는 페놀성분으로 hydroxybenzoic acid, coumaric acid, caffeic acid는 식물체 내에서 병원균의 포자 발아와 균사생장을 억제 또는 세포벽 분해 효소를 불활성화시킨다(Mikulic-Petkovsek *et al.*, 2013). 특히, 병 저항성 유전자 산물인 peroxidase와 polyphenol oxidase는 lignin과 phenylalanine ammonia-lyase(PAL)이며 이들은 병 저항성 산물인 phytoalexin과 페놀 성분의 생합성에 포함된다. 최근, 표고 SMS 물 추출물은 고추식물체에 전신헌득성 병 저항성(systemic acquired resistance, SAR)반응에 관여하는 *CaPR1* and *CaBGLU* 유전자를 발현시켰으며 salicylic acid 축적에 관여하는 것으로 보고되었다(Kang *et al.*, 2017). 따라서 본 연구의 MeOHSMS는 페놀성분을 증가에 관여함으로 인삼의 병 저항성 유도에 역할을 하는 것으로 예상되나 추후 유전자 발현 및 병 저항성 유도체로서의 주요성분과 기능이 연구되어야 할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 표고 수확 후 배지의 물추출물(WESMS)과 70% 메탄올 추출물(MeOHSMS)의 인삼젓빛곰팡이병원균에대한 항균활성과 병 방제효과를 조사하기 위하여 수행 되었다. WESMS와 MeOHSMS는 35%와 75%의 균사생장 억제율을 보였으며 MeOHSMS는 포자발아를 95% 이상 억제시켰다. WESMS와 MeOHSMS는 병 발병정도가 1.2와 0.7로서 대조구 4.5보다 현저히 낮게 나타났으며 80% 이상의 방제효과를 보였다. MeOHSMS 처리시 인삼 앞에서 페놀함량이 28.0 mg GAE/100 g로 물 처리구 18.0 mg GAE/100g과 BABA 처리구 23 mg GAE/100g 보다 페놀함량이 18%에서 35% 증가되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 재원으로 공동연구과제 Agenda Project(과제번호: PJ012633) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

Agrios GN. 2005. Plant Pathology. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA. pp 77-122.

- Alves MJ, Ferreira ICFR, Joana Dias J, Teixeira V, Martins A, Pintado M1A. 2012. Review on Antimicrobial Activity of Mushroom (Basidiomycetes) Extracts and Isolated Compounds. *Planta Med* 78:1707-1718.
- Chen JT, Huang JW. 2010. Antimicrobial activity of edible mushroom culture filtrates on plant pathogens. *Plant Pathol Bulletin* 19:261-270.
- Hautzel R, Anke T. 1990. Screening of basidiomycetes and ascomycetes for plant growth regulating substances. Introduction of the gibberellic acid induced de-novo synthesis of hydrolytic enzymes in embryoless seeds of *Triticum aestivum* as test system. *Z Naturforsch* 45:1093-1098.
- Kang DS, Min KJ, Kwak AM, Lee SY, Kang HW. 2017. Defense response and suppression of Phytophthora Blight disease of pepper by water extract from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes*. *Plant Pathol J* 33:264-275.
- Kwak AM, Lee SY, Kang, HW. 2016. Suppression of water extract from spent mushroom substrates of *Pleurotus eryngii* against tomato bacterial wilt disease. *Kor J Mycol* 44:123-329.
- Kim JH, Kim GH, Kim HT. 2011. Sensitive of Botrytis cinerea isolated from infected leaves of Ginseng to Tolyfluanid. *Kor J Pesticide Sci* 15:188-193.
- Lim SH, Lee YH, Kang HW. 2013. Optimal extraction and characteristics of lignocellulytic enzymes from various spent mushroom composts. *Mycobiology* 41:160-166.
- Mikulic-Petkovsek M, Schmitzer V, Jakopic J, Cunja V, Veberic R, Munda A, Stampar F. 2013. Phenolic compounds as defence response of pepper fruits to Colletotrichum coccodes. *Physiol Mol Plant Pathol* 84:138-145.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2016. A collection of ginseng statistics. pp 32. Korea
- Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Egusa M, Otani H. 2011. Autoclaved spent substrate of hatakeshimaji mushroom (*Lyophyllum decastes* Sing.) and its water extract protect cucumber from anthracnose. *Crop Protection* 443-450.
- Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Otani, H. 2012. Suppression of fungal and bacterial diseases of cucumber plants by using the spent mushroom substrate of *Lyophyllum decastes* and *Pleurotus eryngii*. *J Phytopathol* 160:390-396.
- Suay I, Arenal F, Asensio FJ, Basilio A, Cabello MA, Díez MT, García JB, Va AG, Gorrochategui J, Hernández P, Peláez F, Vicente MF. 2000. Screening of basidiomycetes for antimicrobial activities. *Antonie Leeuwenhoek* 78:129-139.
- Subramaniyam R, Vimala R. 2012. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int J Sci Nat* 3:480-486.
- Suess A, 2006. Report: Value-Added Strategies for Spent Mushroom Substrate in BC. British Columbia Ministry of Agriculture and Lands. pp 1-101.
- Sunwoo JY, Lee YK, Hwang BK. 1996. Induced resistance against *Phytophthora capsici* in pepper plants in response to DL-β-amino-n-butyric acid. *Eur J Plant Pathol* 102: 663-670.
- Yohalem DS, Nordheim EV, Andrews JH. 1996. The effect of water extracts of spent mushroom compost on apple scab in the field. *Phytopathology* 86:914-922.