

큰느타리 수확 후 배지 물 추출물의 토마토 풋마름병 억제

곽아민¹ · 이상엽⁴ · 강희완^{1,2,3*}

¹한경대학교미래융합기술대학원, ²한경대학교 원예생명과학과, ³한경대학교 유전공학연구소, ⁴국립농업과학원 농업미생물과

Suppressive Effect of Water Extract from Spent Mushroom Substrate of *Pleurotus eryngii* against Tomato Bacterial Wilt Disease

A-Min Kwak¹, Sang-Yeop Lee⁴ and Hee-Wan Kang^{1,2,3*}

¹Graduate School of Future Convergence Technology, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

²Department of Horticultural Life Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

³Institute of Genetic Engineering, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

⁴Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT : Water extract from spent mushroom substrate (WESMS) of *Pleurotus eryngii* suppressed bacterial wilt disease of tomato caused by *Ralstonia solanacearum* by 70% without any direct antibacterial activity against the pathogen. WESMS-treated tomato had increased contents of free phenolic compounds (increased by 3%) and total salicylic acid (increased by 75%), and significantly enhanced plant height, leaf number, and fresh weight compared to those of a water-treated tomato sample. These results suggest that the treatment of tomato with WESMS can suppress bacterial wilt disease by enhancing plant defense factors and overall plant health.

KEYWORDS : *Pleurotus eryngii*, Spent mushroom substrate, Suppression, Tomato bacterial wilt disease

서론

국내의 식용버섯 생산량은 614,224 톤/년에 달하며 느타리버섯 (*Pleurotus ostreatus*), 큰느타리버섯 (*P. eryngii*), 팽이버섯 (*Flammulina velvipes*)이 주요 생산 버섯으로 생산량의 88%를 차지한다[1]. 버섯은 배양 중에 면역활성, 항암,

항염증, 항산화 등의 다양한 생리 활성 물질을 생산한다 [2]. 특히, 담자균류의 자실체 또는 균사체로부터 다양한 종류의 세균, 진균에 대해 항균활성물질이 분리 동정된 바 있으며 주로 인체, 또는 동물 관련 미생물을 대상으로 하고 있다[3]. 일반적으로 곰팡이로부터 항균활성물질의 대량생산을 위하여 고체배양법인 solid state fermentation (SSF)와 액체배양법인 submerged fermentation (SF)이 사용되고 있으며 농산 폐자원을 이용한 SSF 방법이 항균활성 물질 생산에 적용된 바 있다[4, 5]. 식용버섯은 선제적으로 인체에 무해하므로 친환경 농업 적용에 유용하나 적은 비용으로 생리 활성 물질을 대량생산 적용하는 것이 관건이다. 큰느타리버섯 (*Pleurotus eryngii*), 표고버섯 (*Lentinula edodes*), 잎새버섯 (*Grifola frondosa*), 버들송이버섯 (*Agrocybe cylindracea*) 민자조방망이 버섯 (*Clitocybe nuda*) 등 식용버섯의 균사배양체 배양여액을 이용한 식물 병원 진균 및 세균에 대한 항균활성이 탐색하고 고추역병에 대한 식물병 방제에 적용된 바 있다[6]. 그러나 균사체 배양은 별도의 대량배양 시스템과 고가의 추출장비 등이 필요하여 농업적으로 활용

Kor. J. Mycol. 2016 December, 44(4): 323-329
<https://doi.org/10.4489/KJM.2016.44.4.323>
 pISSN 0253-651X • eISSN 2383-5249
 © The Korean Society of Mycology

*Corresponding author

E-mail: kanghw2@hknu.ac.kr

Received November 14, 2016

Revised December 12, 2016

Accepted December 20, 2016

© 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.

하기에는 경제적 부담이 있다.

대체 원료로 버섯 수확 후 배지(spent mushroom substrate, SMS)를 고려할 수 있으며 이는 버섯을 수확하고 버려지는 자원으로 SSF와 유사한 특성을 가지고 있어 별도의 균 배양 단계 없이 추출 용매 첨가만으로 간단하게 추출물을 확보할 수 있어 저비용 고효율로 활용 가치가 높다.

버섯 생산에 사용되는 배지는 톱밥, 콘코브, 면실박 등 농산 잔여물을 가공하여 사용하고 있으며 종균이 접종되면 균사 성장 영양단계와 자실체 생산 생식 단계를 거치며 수확 후 배지 내에는 목질 분해 효소와 식물 생육 촉진 유효 성분, 항균물질, 병 저항성 유도체 등 다양한 생리 활성 물질을 생산한다[7]. SMS는 퇴비, 가축사료와 식물병 방제를 위한 부가치 재료로 활용된 바 있으며[7] 국내에서 SMS를 이용한 식물병 방제로 항균활성을 가지는 노루궁뎅이 버섯 SMS 물 추출물을 이용한 고추역병과 토마토 풋마름병 방제가 보고된 바 있다[8, 9]. 큰느타리버섯은 우리나라 주요 식용버섯으로 생산량이 급속히 증가되어 연간 4만 4천여 톤이 생산되고 있으며[1] 버섯 생산 kg당 5 kg의 배지가 사용되는 것을 감안할 때 20만 톤 이상의 큰느타리 SMS가 생산될 것으로 추정된다. 토마토 풋마름균(*Ralstonia solanacearum*)은 토양 병원균으로 뿌리나 기저부의 줄기에 생긴 상처를 통하여 침입하여 도관을 막아 푸른 채로 말라 죽게 하며 우리나라에는 다양한 생리형과 병원형균이 분포하고 있다[9-11]. 국내 토마토는 대부분 비닐하우스에서 재배되기 때문에 발병의 빈도가 높으며 토마토 풋마름병은 토양전염성으로 감염되면 고랑을 따라 급속하게 전이되어 치료가 거의 불가능하며 매년 피해 면적이 15~25%에 이르고 있다. 세균병의 방제 전문 농약은 항생제와 구리를 포함한 동제로 매우 제한적이고 고가의 수입 약제에 의존하며 토양 처리 시 약해, 약제 내성 및 환경오염 우려가 있다.

본 연구는 국내 주요 생산 버섯 큰느타리버섯의 수확 후 배지를 이용하여 토마토 풋마름균의 방제효과, 병 저항성 유도 및 식물 생육촉진 효과를 조사하여 큰느타리 수확 후 배지의 농업적 활용성을 제고하고자 한다.

재료 및 방법

버섯 수확 후 배지 물 추출

큰느타리 SMS는 큰느타리버섯 재배농가로부터 분양받아 사용하였다. 그 SMS로부터 유효성분을 추출하기 위하여 SMS:물(1:5 w/v) 비율로 하여 1시간 동안 90°C에서 열처리하였다. SMS 혼합액을 2겹의 미라크로스로 거르고 7,000 × g에서 10분 동안 원심 분리하여 상등액을 SMS 물 추출물(water extract from spent mushroom substrate, WESMS)로 하여 실험에 사용하였다.

토마토 풋마름병 검정

토마토(품종: 슈퍼도 네랑) 파종 후 20일 된 유묘를 사용

하였다. 처리 방법은 1차로 큰느타리 WESMS 30 mL를 토마토 모종에 관주하고 3일 후 토마토 풋마름균(*Ralstonia solanacearum*)을 접종하였다. 접종방법은 토마토 유묘 뿌리를 가위로 일부 상처를 준 후 토마토 풋마름균 2×10^6 세포 현탁액 5 mL를 뿌리 주변에 접종하였다. 접종 후 3일 후에 WESMS 30 mL를 2차 관주 처리하고 5일 후에 3차 추출물을 관주 처리하였으며 병 방제효과는 최종 처리 토마토 풋마름병 접종 후 15일 후에 관찰하였다. 양성 대조군 DL-3-aminobutylic acid (BABA) 0.5%와 음성대조군 물이 상기 방법에 준하여 처리되었다. 발병 정도(disease index)는 Kwak 등[9]이 제시한 1: 잎이 10~20%, 2: 20~50% 전체 식물체가 시듦, 3: 50~70% 식물체가 시듦, 4: 식물체가 70~100% 이상 시듦으로 표시하였으며 방제율은 Sunwoo 등[12]이 제시한 $100(1-x/y)$, x는 처리구 발병 정도, y는 비처리구 발병 정도)식으로 산출하였다.

토마토 식물체로부터 페놀성분 및 salicylic acid 함량분석

SMS 열수추출물 50 mL를 포트에 성장한 토마토 유묘(4주)에 관주 처리하여 96시간 경과 후 Hassan 등[13]에 의한 방법에 의하여 페놀 성분을 추출하였다. 처리별 토마토 잎 1 g을 액체질소에 마쇄하였으며 3 mL의 90% methanol로 혼합하고 원심분리하여 분배하였다. 상층 분배체를 감압농축기로 농축하여 잔여물을 5% trichloroacetic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 5 μ L와 99% methanol(w/v)의 혼합물을 첨가하여 녹이고 이어서 증류수 5 mL를 첨가하여 원심분리하여 상등액을 페놀 성분과 salicylic acid(SA) 함량 조사하는데 활용하였다. 토마토 페놀 추출물 600 μ L를 500 μ L, 7% Folin Ciocalteu reagent와 혼합하고 4% Na_2CO_3 500 μ L를 첨가하여 60분 후에 spectrophotometer로 720 nm에서 흡광도를 측정하였으며 garlic acid를 페놀 성분 standard로 하여 정량분석 하였다.

Salicylic acid 함량조사를 위하여 상기 추출물 500 μ L를 Liquid chromatograph Mass Spectrometer (LCMS8050; Shimadzu, Kyoto, Japan)로 제공된 사용지침에 따라 분석하였다. Column은 Kinetex c18 100 × 2.1 mm, 2.6 μ m (Phenomenex, Torrance, CA, USA)를 사용하였으며 retention time은 2.83, flow rate는 0.3 mL/min로 하였다.

식물생육 촉진 효과 검정

큰느타리 WESMS의 토마토 유묘 성장 효과를 조사하기 위하여 토마토 종자를 pot (직경 10 cm)에 파종하여 3주 경과 후 8엽기의 토마토 유묘를 사용하였다. WESMS 30 mL를 토마토 유묘 뿌리 주변에 관주 처리하고 15주 후에 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 줄기 및 뿌리 생체량을 측정하여 유묘 생육촉진 효과 여부를 조사하였다. 대조구로서는 큰느타리버섯 종균을 접종하지 않은 원배지(mushroom substrate, MS)로부터 동일한 방법으로 물 추출한 WESMS와 물을 사용하였다.

결과 및 고찰

큰느타리 수확 후 배지 물 추출물의 토마토 풋마름병 억제 효과

큰느타리 WESMS 처리에 따른 토마토 풋마름병 억제효과를 조사하였다. Fig. 1은 그 결과로 물처리구에서는 접종 7일 후부터 발병 정도가 1.0으로 병징이 나타나기 시작하여 13일 후에는 3.0, 15일 후에는 4.0으로 토마토 식물체가 완전히 고사하였다. 그러나 큰느타리 WESMS 처리구는 토마토 풋마름병균 접종 후 13일까지 발병 정도가 1.0 이하로 토마토 풋마름병 억제효과가 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 1A). Fig. 1B는 병원균 접종 후 15일 후에 큰느타리 WESMS 처리구와 물처리구를 비교한 사진으로 WESMS 처리구에서 토마토 풋마름병 억제효과를 관찰할 수 있다. 한편, 양성 대조구로 이용되었던 병 저항성 유도 물질로 알려진 BABA 처리구는 병원균 접종 후 10일까지 큰느타리 WESMS 처리구와 유사한 병 억제효과가 나타났으나 13일 후에는 병이 진전되기 시작하여 15일 후에는 발병 정도 3.0 이상의 토마토 풋마름병이 발생하였다. BABA는 직접적으로 항균활성이 없이 다양한 토마토를 가해하는 세균, 진균식물병원균에 대하여 식물체의 저항성을 유도하여 병 방어를 하는 것으로 알려져 있다[13]. 노루궁뎅이 WESMS가 토마토 풋마름병 억제효과가 보고된 바 있으며 항균 효과와 병 저항성 유전자 발현을 유도하는 복합기능성이 있는 것으로 나타났다[9]. 표고버섯 균사체 배양액이 *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*, *P. syringae* pv. *tabaci*, *Xanthomonas campestris* pv. *glycines*, *Erwinia amylovora*, *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* 등의 식물병원세균의 성장 억제효과가 있으며 토마토 세균성 시들음병 방제에 효과적인 것

으로 보고되었다[14, 15]. 본 연구의 큰느타리 WESMS는 토마토 풋마름병에 대하여 항균활성이 없어 항균활성에 의한 직접적인 병 억제를 하기보다는 토마토 식물체에 병 저항성 증대를 통한 병 억제효과 등 이외에 다른 요소가 있는 것으로 추정할 수 있었다.

오이에 발생하는 곰팡이병인 탄저병과 흰가루병, 그리고 *Pseudomonas syringae* pv. *lachrimans*에 의한 세균성 반점병에 대하여 큰느타리와 잿빛만가닥버섯(*Lyophyllum decaste*) SMS의 고압 열수추출물의 병 방제효과를 연구된 바 있다[16]. 이 고압 열수추출물은 식물병원균에 항균활성이 나타나지 않았으나 오이 식물체에 처리하였을 경우 억제효과가 있어 항균활성에 의한 직접적인 효과보다는 식물체의 병 저항성 유도기구인 systemic acquired resistance (SAR) 반응 유도에 기인하는 것으로 보고하였다. 큰느타리버섯 수확 후 배지의 성분분석이 수행된 바 있는데 대체적으로 종균 접종 전 배지와 비교하여 단백질함량이 낮고 cellulose 함량이 낮으며, 회분(Ash)은 5% 정도 증가하고 버섯 수확 후에 당 함량이 30~62% 소모되는 것으로 보고되었다[17]. 수확 후 배지는 영양, 생식과정을 거치며 다양한 대사 산물이 생산될 것으로 추측되며 또한 배지에 잔존하는 균사체로부터의 세포벽 추출물이 병 억제에 유효 기능을 할 수 있어 큰느타리 SMS 열수추출물 중에 어떠한 성분이 토마토 식물체의 저항성을 증대시키는 저항성 유도체(elicitor) 기능으로 작용하는지 향후 연구가 필요하다.

버섯 수확 후 배지 열수추출물(WESMS) 처리에 따른 토마토 폐늘 성분 함량 변화

식물의 병 저항성 반응의 생화학적 변화는 salicylic acid 등 신호물질 증가와 phytoalexin생합성물질 증가이며 이들

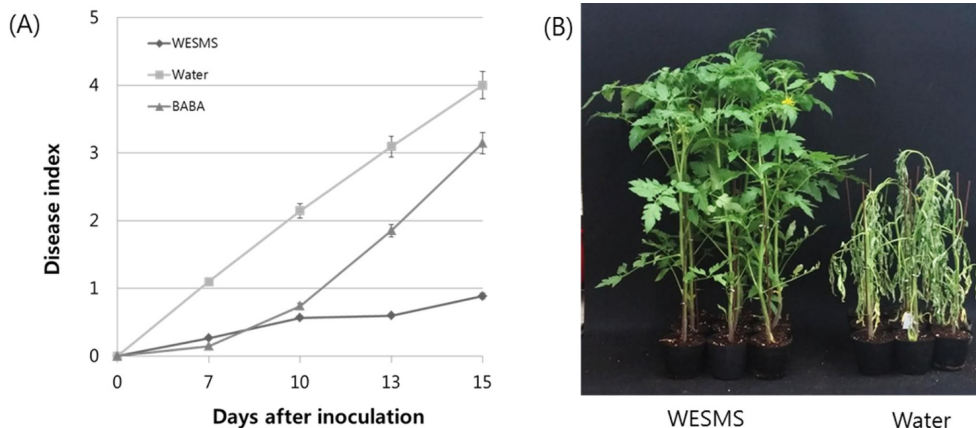


Fig. 1. Suppressive effects against of bacterial wilt disease on tomato plants treated with water extract from spent mushroom substrate (WESMS) of *Pleurotus eryngii*. Tomato plants was treated with WESMS, DL-3-aminobutylic acid (BABA, 0.5%) and water and inoculated by *Ralstonia solanacearum* cells (5×10^6 cfu/mL). The disease severity was observed from 0 to 15 days after inoculation (A). The tomato was totally wilted after 15 days (B). Each point represents the mean disease index (\pm SE) for three independent experiments, each containing 10 plants per treatment. Disease index: 1, 10~20% wilted plant; 2, 20~50% wilted plant; 3, 50~70% wilted plant; 4, 70~100% wilted plant.

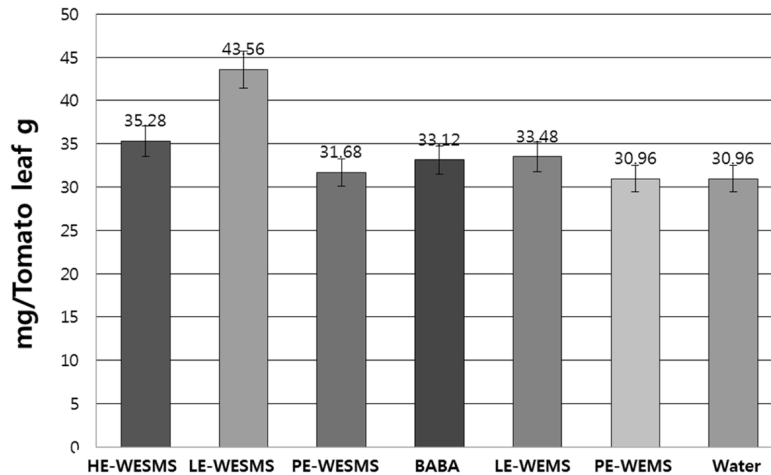


Fig. 2. Content of phenolic compound on tomato plant leaves treated with water extract (WESMS) from spent mushroom substrate. PE, HE and LE represent *Pleurotus eryngii*, *Hericium erinaceus* and *Lentinula edodes*. The WESMS indicates mushroom substrate, which was not inoculated with mushroom spawn. Water and DL-3-aminobutylic acid (BABA, 0.5%) was used as negative and positive controls.

은 페놀 성분으로 구성되어 있으며 페놀 성분증가는 저항성 유도과 관련이 있는 것으로 보고되었다[18]. 따라서, WESMS 처리에 따른 토마토의 페놀 함량 변화를 조사하였다. 노루궁뎅이 WESMS 처리구는 페놀함량이 35.28 mg/g로 물 처리구 30.96 mg/g보다 13%의 페놀 함량이 증가하였으며 표고 WESMS 처리구는 43.56 mg/g의 페놀 성분이 검출되어 물 처리구보다 30% 이상 증가되었다(Fig. 2). 식물의 병 저항성 유도체로 널리 알려져 있는 BABA 처리구는 33.12 mg/g의 페놀 함량이 나타났다. 큰느타리 WESMS 처리구는 31.68 mg/g으로 다른 WESMS 처리구에 비하여 낮은 페놀함량이 검출되었다.

식물체의 페놀 성분(phenolic compound)은 병원균과 기주 식물체 간의 상호작용에서 병 저항성에 중요한 역할을 한다. 페놀 성분은 병원균에 독성이 있으며 식물체 감염 후 축적된 페놀 성분은 병 저항성 유도에 관여하는 것으로 알려져 있으며 hydroxylbenzoic acid, coumaric acid, caffeic acid는 식물체 내에서 병원균의 포자 발아와 균사생장을 억제 또는 세포벽 분해 효소를 불활성화시킨다[18]. 특히, 병 저항성 유전자 산물인 peroxidase와 polyphenol oxidase는 lignin과 phenylalanine ammonia-lyase (PAL)이며 이들은 병 저항성 산물인 phytoalexin과 페놀 성분의 생합성에 포함된다.

큰느타리 WESMS 처리에 따른 salicylic acid 함량 변화

큰느타리 WESMS는 항균활성이 없었지만 토마토 풋마름병 억제효과가 관찰되었다. 이는 큰느타리 WESMS로 병 저항성 SAR 신호전달 물질인 salicylic acid (SA) 축적에 따른 저항성 유도 발현을 추정할 수 있었다. 따라서 버섯 WESMS 처리에 따른 토마토 잎의 SA 함량 여부를 조사하

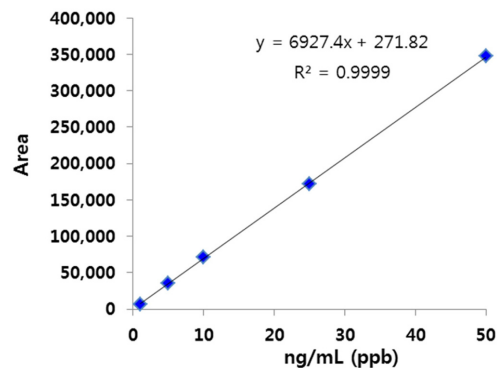


Fig. 3. Calibration curve of different salicylic acid concentrations on liquid chromatograph mass spectrometer. Correlation coefficient (R^2).

였다. 표준물질은 salicylic acid (Sigma-Aldrich)을 사용하였다. 표준 salicylic acid의 calibration curve는 10~50 ng/mL에서 correlation coefficient 값을 확인한 결과, 농도에 따라 좋은 직선성($R^2 > 0.9999$)을 보여 함량 측정 정확도를 확인하였다(Fig. 3).

버섯 수확 후 배지 WESMS 처리에 따른 토마토 잎의 SA 축적 여부를 조사하기 위하여 큰느타리, 노루궁뎅이, 표고 버섯 WESMS를 토마토 잎과 뿌리에 처리하고 96시간 경과 후 토마토잎의 SA 함량을 분석한 결과 큰느타리 WESMS 처리구 3.9 ng/mL와 물 처리구 3.6 ng/mL에 비하여 큰느타리 WESMS 처리구에서 15.6 ng/mL으로 SA함량이 4배 이상 검출되었다(Table 1). 다른 노루궁뎅이와 표고버섯 WESMS 처리 토마토 잎 시료는 SA 함량이 5.2 ng/mL, 9.8 ng/mL와 비교해 큰느타리 WESMS 처리구는 2.5배에서 1.5배 SA 함

Table 1. Content of salicylic acid on tomatoes treated with water extract from spent mushroom substrate (WESMS)

Treated	Area	ng/mL (ppb)
<i>Hericium erinaceus</i> WESMS	36,501	5.2
<i>Lentinula edodes</i> WESMS	68,145	9.8
<i>Pleurotus eryngii</i> WESMS	108,025	15.6
DL-3-aminobutylic acid (0.5%)	33,409	4.8
<i>Pleurotus eryngii</i> WEMS ^{a)}	27,520	3.9
Water	25,228	3.6

^{a)}The WEMS indicates mushroom substrate, which was not inoculated with mushroom spawn.

량이 증가되었다.

식물-식물병원균 상호작용 연구에서 병원균 균사체 세포벽의 oligosaccharide 등 당 성분이 유도체로 작용하여 병방어를 유도하는 것으로 알려지고 있다[19, 20]. 식물병 유도 저항은 전신 획득 저항(systemic acquired resistance, SAR)과 induced systemic resistance (ISR)이 있으며 SAR은 SA 의존적으로 PR-1a를 포함하는 pathogenesis-related (PR) 유전자의 발현을 유도한다[18]. ISR은 SA 대신해서 jasmonic acid (JA)와 ethylene (ET) 의존적인 신호전달체계로 plant defensin 1.2 (PDF 1.2)과 같은 다른 PR 유전자를 유도한다. 버섯으로부터의 식물병 저항성 유도체 연구는 표고버섯 자실체로부터 저 분자량의 단백질 성분이 elicitor로 작용하여 오이 탄저병을 억제하는 것으로 보고된 바 있다[21]. Parada 등[22]은 *Lyophyllum decaste*의 SMS 고압 열수 추출물을 이용한 오이 탄저병균의 병 발생 억제효과를 보고한 바 있는데 SMS 추출물은 chitinase와 β -1,3-glucanase 유전자를 발현하여 오이 식물체의 저항성을 증가시킨다고 하였다. 최근에는 노루궁뎅이버섯 수확 후 배지 열수 추출물의 토마토 풋마름병에 대한 방제효과를 보고한 바 있으며 추출물 처리로 SAR 식물병 방어 체제에 연관된 PR-1a과 β -1,3-glucanase 유전자 발현이 증가되는 것으로 나타났다[9]. 일반적으로 식물병원균의 저항성유도체는 균사체의 세포벽 성분에 포함되어 있는 β -glucan, peptide 성분이 방출되며 SAR 반응의 원인이 되는 것으로 알려져 있다[16]. 따라서, 버섯 수확 후 배지는 다량의 버섯균사체가 밀집해 있으며 열수추출 과정에서 균사체 세포벽물질이 방출되어 병 저항성 유도체로 작용할 수 있을 것으로 생각

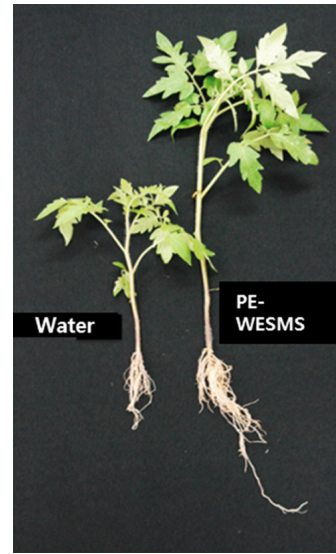


Fig. 4. Tomato plants after 15 days of treatment with water and water extract from spent mushroom substrate (WESMS) of *Pleurotus eryngii*.

된다. 특히 본 연구에서 큰노타리 SMS는 다른 버섯SMS보다 강력한 토마토 풋마름병 저항성 유도를 촉진하는 것으로 나타나 향후 병 저항성 유도체 성분의 정제 및 구조분석에 의한 기초자료가 확보되면 보다 체계화된 식물병원균의 방제제 개발에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 전망된다.

큰노타리 WESMS의 식물생장촉진 효과

큰노타리 수확 후 배지 열수추출액(WESMS)을 토마토 유묘에 관주 처리하고 20일 후에 초장, 엽장, 엽폭, 엽수와 생체량을 측정하여 생육 촉진 효과를 조사하였다. Table 2는 그 결과로써 큰노타리 WESMS 처리 토마토 유묘는 초장이 31.25 cm로서 물 처리 유묘 17.30 cm에 비하여 47% 이상의 초장이 증가되었다. 큰노타리 WESMS처리구와 비교하여도 초장이 22% 이상 증가되었다. WESMS 처리구는 물과 WESMS처리구에 비하여 엽장과 엽폭의 경우는 15~25%, 잎수는 30~40%가 증가하였다. 큰노타리 WESMS 처리구는 물 처리구보다 토마토 생체량이 85% 이상 증가되었으며 뿌리생체량도 70% 이상 증가되었다. Fig. 4는 큰노타리 WESMS 처리구와 물 처리구의 토마토생육상태를 비

Table 2. Growth promotion of tomato plants treated with water extract from spent mushroom substrate

Treated	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number	Fresh weight (g)	
					Shoot	Root
<i>Pleurotus eryngii</i> WESMS	31.25 ± 1.74b	5.63 ± 0.30a	2.94 ± 0.29a	51 ± 1.47a	1.66 ± 0.31	0.21 ± 0.04
<i>Pleurotus eryngii</i> WEMS	25.29 ± 2.17c	4.55 ± 0.24a	2.16 ± 0.30b	30 ± 2.08b	0.82 ± 0.23	0.11 ± 0.03
Water	17.30 ± 1.85d	3.69 ± 0.33a	1.73 ± 0.24c	28 ± 1.65c	0.30 ± 0.11	0.05 ± 0.02

The different letters are significantly ($p < 0.05$) different according to Duncan's multiple range test. The water extract of mushroom substrate (WEMS) and water was used as controls.

교한 사진으로 큰느타리 WESMS에서 뚜렷한 생육 촉진 효과를 관찰할 수 있다.

Pleurotus pulmonarius SMS를 이용한 나이지리아의 4종의 야채의 성장 촉진 효과 보고에 따르면 SMS처리구는 비처리구에 비하여 식물체의 초장이 2배 이상의 성장을 촉진시켰으며 잎수의 경우도 2배이상 증가되어 야채 식물의 수확량이 현저히 증가되었다고[23] 하여 본 연구결과와 유사하였다.

SMS는 버섯이 생산하는 강력한 목질 분해 효소활성으로 배지가 당화되고 균사체가 다양한 다당체를 생산하며 단백질, 회분, 질소, 인 양이 증가하고 지방, 섬유소, 리그닌, 셀룰로스가 감소함으로써 식물 성장촉진에 유용한 유기질 성분을 많이 포함하고 있다[7]. 이러한 유용한 성분은 식물체의 생육을 촉진하고 결국 식물체를 건강하게 함으로써 병저항성이 증가되는 효과가 있을 것으로 생각된다. 결론적으로 본 연구의 큰느타리 SMS의 토마토 풋마름병 억제효과는 병저항성 유도, 식물 성장촉진의 복합기능성에 기인되는 것으로 생각된다. 버섯 수확 후 배지는 버섯 대사과정에서 생산되는 다양한 생리 활성 물질과 버섯균사체를 포함하고 있으며 향후 토마토 풋마름병 억제인자를 탐색 발굴한다면 큰느타리버섯 수확 후 배지는 고부가가치 기능성 물질 생산을 위한 유용한 재료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

큰느타리버섯(*Pleurotus eryngii*) 수확 후 배지(spent mushroom substrate, SMS)의 물 추출액(WESMS)을 처리한 토마토 식물체는 토마토 풋마름병을 70% 이상 억제하였으며 페놀 성분(3%)과 salicylic acid 함량이 증가되었다. 또한 큰느타리 WESMS 처리 토마토는, 초장, 엽폭, 입장, 입수, 줄기와 뿌리 생체량 등에서 물 처리 및 큰느타리버섯 배지만을 사용한 대조군에 비하여 높은 생육 촉진 효과를 보였다. 이는 큰느타리 WESMS가 병 저항성유도와 생육촉진의 토마토 복합기능성으로 환경친화적 풋마름병 방제에 유용하게 활용될 수 있음을 나타낸다.

Acknowledgements

This work was supported by a grant from the Agenda Project (Grant No. Agenda project No. PJ009969) of the Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

REFERENCES

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Agriculture, forestry and livestock food statistics. Sejong: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2013.
2. Finimundy TC, Dillon AJ, Henriques JA, Ely MR. Review on general nutritional compounds and pharmacological properties of the *Lentinula edodes* mushroom. Food Nutr Sci 2014;5: 1095-105.
3. Alves MJ, Ferreira IC, Dias J, Teixeira V, Martins A, Pintado M. A review on antimicrobial activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. Planta Med 2012; 78:1707-18.
4. Subramaniyam R, Vimala R. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. Int J Sci Nat 2012;3:480-6.
5. Vikineswary S, Sanar Kumaran S, Ling SK, Dinesh N, Shim YL. Solid substrate fermentation of agroresidues for value added products: the Malaysian experience. In: Wise DL, editor. Global environmental biotechnology. New York: Elsevier;1997. p. 301-5.
6. Chen JT, Huang JW. Antimicrobial activity of edible mushroom culture filtrates on plant pathogens. Plant Pathol Bull 2010;19: 261-70.
7. Suess A, Curtis J. Report: Value-added strategies for spent mushroom substrate in BC. Victoria: British Columbia Ministry of Agriculture; 2006.
8. Kwak AM, Kang DS, Lee SY, Kang HW. Effect of spent mushroom substrates on *Phytophthora* blight disease and growth promotion of pepper. J Mushrooms 2015;13:16-20.
9. Kwak AM, Min KJ, Lee SY, Kang HW. Water extract from spent mushroom substrate of *Hericium erinaceus* suppresses bacterial wilt disease of tomato. Mycobiology 2015;43:311-8.
10. Hayward AC. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Ann Rev Phytopathol 1991; 29:65-87.
11. Denny TP. 2000. *Ralstonia solanacearum*: a plant pathogen in touch with its host. Trends Microbiol 2000;8:486-9.
12. Sunwoo JY, Lee YK, Hwang BK. Induced resistance against *Phytophthora capsici* in pepper plants in response to DL- β -amino-n-butyric acid. Eur J Plant Pathol 1996;102:663-70.
13. Hassan MA, Abo-Elyouser KA. Activation of tomato plant defence responses against bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* using DL-3-aminobutylic acid (BABA). Eur J Plant Pathol 2013;136:145-57.
14. Hatvani N. Antibacterial effect of the culture fluid of *Lentinula edodes* mycelium grown in submerged liquid culture. Int J Antimicrob Agents 2001;17:71-4.
15. Pacumbaba RP, Beyl CA, Pacumbaba RO. Shiitake mycelial leachate suppresses growth of some bacterial species and symptoms of bacterial wilt of tomato and limabean in vitro. Plant Dis 1999;83:20-23.
16. Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Otani H. Suppression of fungal and bacterial diseases of cucumber plants by using the spent mushroom substrate of *Lyophyllum decastes* and *Pleurotus eryngii*. J Phytopathol 2012;160:390-6.
17. Kim JH, Lee YH, Chi JH, Jang MJ. Comparison of the saccharide content of spent mushroom (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, and *Flammulina velutipes*) substrates under various pretreatment conditions. J Mushrooms 2016;14:70-4.
18. Mikulic-Petkovsek M, Schmitzer V, Jakopic J, Cunja V, Veberic R, Munda A, Stampar F. Phenolic compounds as defence response of pepper fruits to *Colletotrichum coccodes*. Physiol Mol Plant Pathol 2013;84:138-45.

19. Shibuya N, Minami E. Oligosaccharide signaling for defense responses in plant. *Physiol Mol Plant Pathol* 2001;59:223-33.
20. Minami T, Tanaka T, Takasaki S, Kawamura K. *In vivo* bioluminescence monitoring of defense gene expression in response to treatment with yeast cell wall extract. *Plant Biotechnol* 2011;28:481-4.
21. Di Piero RM, Wulff NA, Pascholati SF. Partial purification of elicitor from *Lentinula edodes* basidiocarps protecting cucumber seedlings against *Collectotrichum lagenarium*. *Braz J Microbiol* 2006;37:175-80.
22. Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Egusa M, Otani H. Autoclaved spent substrate of hatakesimeji mushroom (*Lycophyllum decastes* Sing.) and its water extract protect cucumber from anthracnose. *Crop Prot* 2011;30:443-50.
23. Jonathan SG, Lawal MM, Oyetunji OJ. Effect of spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius* on growth performance of four Nigerian vegetables. *Mycobiology* 2011;39:164-69.