

노란달걀버섯 균주의 여러 환경 조건에 따른 균사 생장 특성

강정아^{1,3} · 기강현² · 김준영^{1,3} · 윤성탁⁴ · 김성환^{1,3*}¹단국대학교 미생물학과²국립산림과학원 산림소득자원연구과³단국대학교 생물다양성 연구소⁴단국대학교 식량생명공학과Mycelial growth properties of an *Amanita javanica* strain under various culture conditionsJung-A Kang^{1,3}, Kang-Hyeon Ka², Jun Young Kim^{1,3}, Seong-Tak Yoon⁴, and Seong Hwan Kim^{1,3*}¹Department of Microbiology, College of Natural Science, Dankook University, Cheonan 31116, Korea²Special Forest Products Division, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea³Institute of Biodiversity, Dankook University, Cheonan 31116, Korea⁴Department of Crop Science and Biotechnology, Dankook University, Cheonan 31116, Korea

ABSTRACT: The edible ectomycorrhizal mushroom *Amanita javanica* is a valuable species protected by forest law in Korea. However, basic characterization data on its use as an important forest resource has been limited. This study was performed to determine mycelia growth characteristics of the domestically isolated *Amanita javanica* strain NIFoS 1267 on potato dextrose agar media under diverse culture conditions. Physical factors temperature, pH, and light, as well as chemical factors salts, heavy metals, and pesticides were examined for their effects on the growth of the mushroom strain. The mycelia of *A. javanica* strain exhibited optimal growth when cultured in dark at 30°C in media with a pH of 5–6. Normal levels of growth were observed in media containing up to 2% saline. At a heavy metal ion content of 50 ppm, mycelial growth was not affected by arsenic ion but was affected by cadmium and lead ions. In the tests performed with two pesticides used in Korean forests, the growth of the mushroom strain was not affected by the presence of abamectin, but was inhibited in media containing acetamiprid, emamectin benzoate, or thiacloprid. These results are expected to facilitate artificial cultivation of *A. javanica* as a new commercial product.

KEYWORDS: *Amanita javanica*, Mycelial growth characteristics, Various culture conditions

서 론

균근균(mycorrhizal fungi)은 식물이 성장하는 기간 동안

안 뿌리의 피층을 점유하여 식물과 다양한 공생적 협력관계를 가지는 균류로서 육상식물 중 80% 이상의 식물과 공생관계를 갖고 있다. 식물 뿌리에 균류가 침입한 형태에 따라 균근균은 크게 외생균근(ectomycorrhizae)과 수지상내생균근(arbuscular endomycorrhizae)으로 분류된다(Sylvia *et al.*, 2005). *Leccinum* 및 *Suillus*와 같은 외생균근류는 하나의 특정 속의 식물과 공생하는 반면 *Amanita*와 같은 여러 외생균근류는 일반적으로 다양한 식물과 함께 균근을 형성한다(den Bakker *et al.*, 2004). 균류균 중 상업적인 버섯으로 알려진 것들이 있는데 국내에서는 알려진 버섯 중 약 35% 정도가 외생균근성 버섯으로 알려져 있다. 이에 속하는 것의 예로는 짜리버섯류(*Ramaria* spp.), 그물버섯류(*Boletus* spp.), 젓버섯류(*Lactarius* spp.), 달걀버섯(*Amanita hemibapha*) 등을 들 수 있다(Ka *et al.*, 2011; Jeon and Ka, 2015).

J. Mushrooms 2019 December, 17(4):191-196
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2019.17.4.191>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : piceae@dankook.ac.kr
 Tel : +82-41-550-3454

Received December 1, 2019
 Revised December 20, 2019
 Accepted December 23, 2019

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.

산림에서 발생하는 야생의 식용 또는 약용 버섯은 전세계적으로 중요한 임산물로 주목 받고 있다(Boa, 2004). 국내에 자생하는 것으로 보고된 총 1,900여 종의 버섯 중 식용 가능한 것으로 알려진 것은 약 400종이지만 이들 중에서 성공적으로 인공재배가 가능한 버섯과 현재 상업적으로 재배되는 버섯은 몇 개의 종에 지나지 않는다(An *et al.*, 2019). 식용가능한 다양한 야생버섯의 인공 재배를 위해서는 많은 과학적 정보가 요구되는데 특히 다양한 환경 조건에서 균사체 성장 및 발달에 대한 연구 정보가 반드시 필요하다. 노란달갈버섯은 분류학상으로 독버섯 종이 많이 포함되는 *Amanita* 속에 속하며 종명은 *javanica*이다. 이 속에 속하는 버섯으로서 식용 가치가 높은 달갈버섯처럼 노란달갈버섯도 동일한 특성을 갖는 식용버섯이자 외생균근균이다(Oda *et al.*, 1999). 이 버섯은 기후변화, 산림재해, 인위적 산림훼손 등에 특히 취약하거나 산림생태계 안정 및 경제적·문화적·학술적으로 가치가 높아 우선적인 보호가 필요한 산림자원을 ‘산림보호법’ 제 18조의 2에 따라 지정한 특별산림보호대상종 53 종 중 하나이다. 그러나 아직 이 버섯의 보존과 이용 가능성에 대한 과학적 연구 자료는 매우 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구는 국내에서 자생하는 노란달갈버섯의 자실체에서 분리한 균주를 대상으로 다양한 물리적(온도, pH, 광), 화학적(살충제, 중금속, 염) 환경조건에서 배양하여 균사체의 성장 특성을 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시 균주 및 배지 제작법

본 연구에 사용된 균주 NIFoS 1267는 국립산림과학원에서 제공 받았다. 이 균주는 강원도 고성 내 산림에서 자생한 노란달갈버섯의 자실체 조직으로부터 순수 분리한 균주이다. 분양 받은 균주의 진위 여부를 확인하고자 Potato Dextrose Agar (PDA, BD Diagnostics, Sparks, MD, USA)에 셀로판을 깔고 배양한 후 균사를 수거하여 순수한 genomic DNA를 추출하였다(Kim *et al.*, 1999). 추출한 DNA를 주형으로 internal transcribed spacer (ITS) region을 PCR을 수행하여 증폭하였고 증폭된 염기서열 분석은 마크로젠(Macrogen, Seoul, Korea)에 의뢰하였다. 분석된 염기서열은 미국의 National Center for Biotechnology Information (NCBI)의 GenBank DNA database에서 염기서열 유사도를 확인하였다. 분석된 염기서열은 DNA database에 존재하는 *Amanita javanica* (accession no. LC056766)와 100% 상동성을 나타내어 분자생물학적으로 동종임을 확인하고 본 실험에 사용하였다. 분석된 ITS region 염기서열은 GenBank에 등록번호 MF421101로 등록하였다.

노란달갈버섯 균사체의 증식 및 배양 실험은 PDA 배지를 외생균근균의 최적 pH로 알려진 pH 6으로 조정하여

지름이 90 mm인 Petri dish에 25 mL씩 정량 분주한 배지를 사용하였다. 또한 접종에 이용할 균사체의 균총 가장자리 부분을 직경 6 mm cork borer를 사용해 절단하여 얻어진 agar plug를 접종원으로 사용하였다. 다양한 환경 조건에서 처리된 생장 비교 시험은 모두 25°C에서 6주간 배양하여 자라난 균사길이를 측정하였다. 균사 생장 정도는 digimatic caliper (Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 사용하여 Petri dish 뒷면에 보여지는 균총의 가로와 세로 길이를 측정하였다. 배양 후 균총의 가로와 세로길이에서 처음 접종하였던 접종원의 길이(6 mm)를 측정값에서 제외한 값을 평균을 계산하여 균사생장 값을 최종적으로 얻었으며 모든 실험은 5 반복으로 수행하였다.

다양한 환경요인 처리 조건

노란달갈버섯 균사체의 물리적 요인에 의한 성장 특성을 알아보고자 온도, pH, 광/암 조건에서 배양하여 균사생장을 측정하여 비교하였다. 온도 조건은 배양기 내부가 10, 15, 20, 25, 30°C 조건이 되도록 설정하였고, pH 조건 배지는 pH 측정기(Istek, Seoul, Korea)를 이용해 PDA 배지의 pH가 4, 5, 6, 7, 8 조건이 되도록 1 N-Hydrogen chloride standard solution (Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea)과 1 N-Sodium hydroxide standard solution (Daejung Chemicals & Metals)을 넣어 조절하였다. 광/암 조건은 형광등이 장착된 배양기(DS-11BL; Dasol Scientific Co., Hwaseong, Korea)를 사용하여 25°C 온도, 1,300 lux 광 처리를 하였고 암조건은 동일한 환경에서 배지 전체를 호일로 감싸서 빛을 차단하여 암조건으로 배양하였다. 각각 처리한 물리적 요인에 따른 최적의 균사생장 조건을 확인하고 화학적 요인에서의 성장 특성 실험에 적용하여 수행하였다.

화학적 환경 요인의 조건 설정은 산림 토양에 존재할 가능성이 있는 염분, 중금속, 농약을 배지를 제작할 때 첨가하였고 노란달갈버섯 균사체를 접종하여 균사생장을 측정하였다. 이 실험은 PDA 배지, pH 6, 25°C, 암조건을

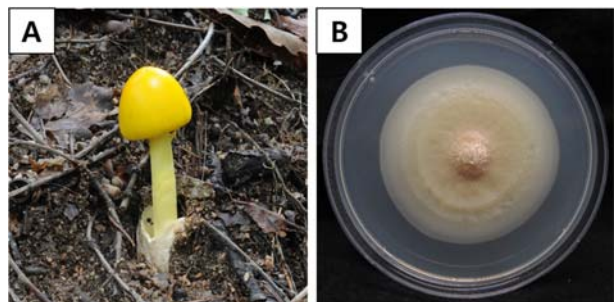


Fig. 1. Photos of the *Amanita javanica* fruiting body(A) collected in Korea and colony morphology(B) of the culture *A. javanica* NIFoS 1267 isolated from the fruiting body. The culture was grown on PDA medium at pH 6 and 25°C for 6 weeks.

기본 배양 조건으로 설정하였다. 염분 조건은 최종농도가 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%가 되도록 Sodium chloride (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 배지에 첨가하여 수행하였다. 중금속 조건은 5가지 중금속 이온인 비소(As), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn) 1,000 ppm 표준용액(Kanto Chemical, Tokyo, Japan)을 최종 농도가 50 ppm이 되도록 PDA 배지에 첨가하여 제작하였다. 또한 농약 조건도 현재 소나무재선충의 예방과 방제에 등록되어 사용되는 Acetamiprid 8% (Mospilan; Kyungnong, Seoul, Korea), Abamectin 1.8% (Romectin; YouWon EcoScience, Yongin, Korea), Emamectin benzoate 2.15% (Eipam; Syngenta Korea, Seoul, Korea), Thiocloprid 10% (Calypso; Bayer Crop Science, Seoul, Korea) 4가지의 농약을 각각의 농약 회사에서 사용시 권장하고 있는 희석농도가 되도록 배지에 첨가하여 제작하였다. 배양 후 물리적 요인 실험과 같은 방법으로 균사 길이(mm)를 재어 각각의 농약에 대한 내성 정도를 판단하였다.

세포외효소 활성 능력 조사

식물체 성분을 분해하는데 관여하는 효소인 avicelase, amylase, β -glucosidase, CM-cellulase, xylanase, pectinase, protease 등 7가지 종류의 효소를 대상으로 활성을 조사하였다. 효소의 세포외 분비 활성이 나타나면 눈으로 색 변화를 쉽게 확인할 수 있는 chromogenic plate assay 법으로 조사하였다(Kwon *et al.*, 2007). 배지 제작과 기질의 질소원 및 탄소원은 chromogenic plate assay 법에 기술된 내용에 따라 동일한 기질을 같은 구입처에서 구입하여 사용하였다. 질소원인 yeast nitrogen base without amino acid 은 0.1% 농도로 탄소원인 avicel, D-cellobiose, carboxymethylcellulose sodium salt, polygalacturonic acid, xylan 등은 0.5% 농도로 각각 사용하였다. 염색기질인 congo red는 0.5% 농도로 사용하였고 단백질 기질인 skim milk는 10% 농도로 사용하였다. 활성 검정은 제작한 효소 기질 배지의 가운데 노란달갈버섯 균주를 접종한 후 25°C에서 6주 간 배양 한 다음 배지 전체 혹은 균총 주변에 투명환(clear zone)이 존재하면 세포외효소 활성이 있는 것으로 판단하였다.

자료 통계 처리

조사 자료의 통계 처리는 IBM SPSS Statistics 20 program (Wisplnhoff *et al.*, 2004)을 이용하였다. 무처리구인 대조군과 각 환경 요인 조건에 따른 생장 길이 결과 자료는 One-way ANOVA 분석으로 각각의 조건 결과 간의 비교를 수행한 후 사후분석으로 Duncan 검정을 이용하였다. 결과는 95% 유의 수준에서 동일성 검증을 수행하여 별도 결과의 그룹과는 쉽게 비교할 수 있도록 위 첨자를 입력해 grouping 하였다.

결과 및 고찰

노란달갈버섯은 원래 인도네시아 자바(Java)에서 분리된 이후 아시아에서 한국 이외에도 일본, 중국, 태국 등에서 존재하는 것으로 알려졌다(Sanmee *et al.*, 2015). 이 버섯은 식용이 가능하다고 알려져 있으나 분류학적 특성 연구 외에 인공적으로 재배하여 생산하고자 하는 연구 보고는 아직 없는 실정이다. 이 버섯의 속에 속하는 종들은 형태적으로 유사한 구조를 가지기 때문에 잘못 알아보는 경우가 많아 중독 위험이 항상 존재해왔다. 그러다가 ITS rDNA region 염기서열 기반으로 분자적 계통분류 연구가 이루어지면서 좀 더 명확하게 종 구분을 할 수 있는 기반이 제시되었다(Oda *et al.*, 1999). 본 연구에서도 공시 균주로 사용된 노란달갈버섯 균주의 ITS 염기서열 분석 결과 GenBank DNA database 에 등록된 국외의 노란달갈버섯 균주와 염기서열이 일치함을 확인함으로써 분양 받은 균주에 대한 확증과 더불어 염기서열 정보를 확보하였다. 이는 향후에도 균주 분양에 따른 확증이 필요할 때 적절히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

어느 물리적 환경에서 노란달갈버섯 균주가 최적 균사 생육을 하는지 조사한 결과 온도 조건에서는 10°C에서 5.3 ± 0.3 mm 로 제일 느리게 생장하였고 30°C에서 가장 생장이 좋았다(Fig 2, Table 1). *Amanita* spp. 균사는 일반적으로 20~25°C의 온도환경이 최적배양 환경으로 알려져 있지만 *A. javanica*와 *A. melleiceps*는 예외인 것으로 보고 되었다(Ka *et al.*, 2014). 특히 온도 조건이 고온으로 올라갈수록 생장이 활발한 것으로 나타났는데, 이는 대중적인 외생균근성 버섯인 송이류 균사가 25°C에서는 가장 최적 생장을 보이나 30°C에서는 균이 사멸되는 양상이 나타난 연구 결과(Kang *et al.*, 2018)와 비교해 볼 때 본 연구에 사용된 노란달갈버섯 균주는 고온성의 성향을 가진

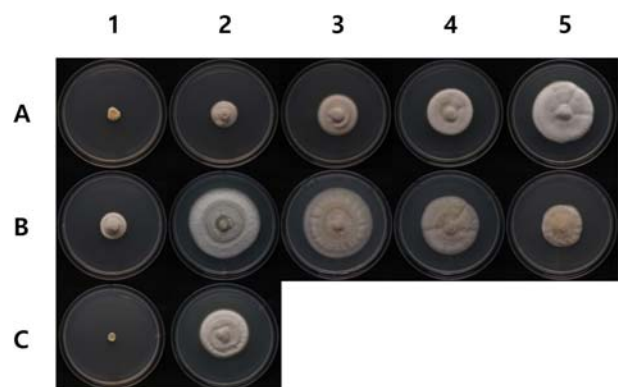


Fig. 2. Colony morphology of *Amanita javanica* NIFoS 1267 grown on PDA at different physical environmental conditions for six weeks. Temperature conditions, A-1: 10°C, A-2: 15°C, A-3: 20°C, A-4: 25°C, A-5: 30°C; B. pH conditions, B-1: pH 4, B-2: pH 5, B-3: pH 6, B-4: pH 7, B-5: pH 8; C. Light and dark conditions, C-1: Light, C-2: Dark).

Table 1. Mycelial growth of *Amanita javanica* on PDA at different physical environmental conditions for six weeks

Conditions Treatment		Mycelial growth (mm)
Temperature (°C)	10	5.3 ± 0.3 ^c
	15	16.4 ± 0.1 ^d
	20	31.3 ± 0.4 ^c
	25	37.4 ± 0.4 ^b
	30	47.7 ± 0.3 ^a
pH	4	13.7 ± 3.5 ^d
	5	52.2 ± 1.5 ^a
	6	52.6 ± 0.8 ^a
	7	42.3 ± 1.4 ^b
Light / dark	Light	NG ^a
	dark	42.1 ± 1.5 ^b

NG: no growth (0.0 ± 0.0), Mycelia length = mm.
 *: The results are different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 30°C에서 가장 최적 성장을 보였던 달갈버섯의 연구(Han and Ham, 1999; Ka et al., 2014) 결과와 유사하다. 따라서 달갈버섯류와 같은 버섯들은 온난화로 점차 더워지는 환경에서 키울 수 있기 때문에 그 가치가 높아질 것으로 여겨진다. 또한 균사의 생장 길이뿐만 아니라 균총 형태에도 배양 온도에 따라 차이가 나타났다. 처리 온도가 높아질수록 흰색의 균사가 뾰뾰하게 생장한 균총의 모양도 확인할 수가 있었다(Fig. 2A).

한편 pH 조건에서는 pH 4 에서는 13.7 ± 3.5 mm로 생장이 제일 느렸고 pH 5 에서는 52.2 ± 1.5 mm, pH 6 에서는 52.6 ± 0.8 mm로 균사생장을 하였고 Duncan 분석 결과 pH 5 와 pH 6은 유의미하게 가장 좋은 성장을 나타냈다. 이런 결과는 버섯 발생지의 토양의 산도가 pH 5 였던 달갈버섯 연구(Sou et al., 2011)와 비슷한 결과로 나타났다. 균총의 형태는 pH가 4-5 조건의 환경에서는 흰색 색상에 균사의 모양이 실과 같은 형태, pH 6-8의 경우는 상아색 색상에 균사의 형태가 고슴도치 가시와 같이 사방으로 뾰족하게 솟아오른 두꺼운 바늘모양과 같은 모양이 관찰되었다(Fig. 2B). 이러한 모습은 달갈버섯의 균사가 나타내는 두 가지 형태 즉 길면서 매끈한 사상형과 둥글고 비교적 크기가 큰 유구형 등과 비슷하였다(Sou et al., 2009).

많은 버섯이 음식 생물이지만 광은 버섯의 생장이나 대사에 매우 중요한 영향을 미치기 때문에 영양원인 배지 이외에 버섯을 재배하기 위한 외적 환경 조건으로서 매우 중요한 생육인자로 보고되었다(Eger, 1962; Esser et al., 1971; Jang et al., 2015). 노란달갈버섯 균주의 균사는 광이 없는 환경에서 42.1 ± 1.5 mm 로 생장하였지만 놀랍

게도 1,300 lux 광 조건의 환경에서는 전혀 성장하지 못하였다(Fig. 2C). 따라서 달갈버섯 균사는 광에 상당히 민감하니 균사 생육을 위해서는 암배양이 필수적인 것으로 사료된다. 이상의 결과로 볼 때 노란달갈버섯의 최적 균사생장을 위한 물리적 환경은 온도는 30°C, pH는 5-6, 광은 없는 조건으로 파악되었다

다양한 화학적 환경조건 중 염분의 농도에 따른 노란달갈버섯 균주의 균사 생육은 농도가 높아짐에 따라 균사 생육이 저해됨이 관찰되었다(Fig. 3, Table 2). 무처리구(염분농도 0%)에서 57.4 ± 0.5 mm의 균사 생장을 보였으며 염분농도 2.0% 농도까지는 느리고 미약하지만 균사의 생육은 4.1 ± 0.3 mm로 가능하였다. 이러한 결과로 볼 때 해안가 근처 염분이 있는 환경에서는 노란달갈버섯의 발생이 힘든 조건으로 여겨진다. 균총의 형태 또한 염분이 없는 조건에서와는 달리 염분이 있는 환경에서는 주름짐이 심해지는 현상과 자라나는 모양이 정원의 형태가 아닌 불규칙한 원의 형태로 성장하였다(Fig. 3A). 이는 염분 조건이 노란달갈버섯 생육에 스트레스 조건임을 시사한다.

중금속 조건 환경에서는 각 금속이온 환경 조건마다 균사 생육 결과가 달리 나타났다. 비소(As) 이온 환경 조건의 경우 균사 생육은 60.4 ± 2.0 mm 로서 무처리구 균사 생육 57.3 ± 0.7 mm 와 차이가 없는 것으로 볼 때 비소는 균사 생육에는 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다(Fig. 3, Table 2). 구리(Cu)와 아연(Zn) 이온 조건 결과는 각각 41.2 ± 1.4 mm와 49.4 ± 1.3 mm로서 그 영향은 크지는 않지만 생육에 방해 요인으로 작용하고 있음이 확인되었다. 특히 카드뮴(Cd)과 납(Pb) 이온 조건에서는 균사가 전혀 생장을 하지 못하였다. 현재 식품공정 내 버섯류

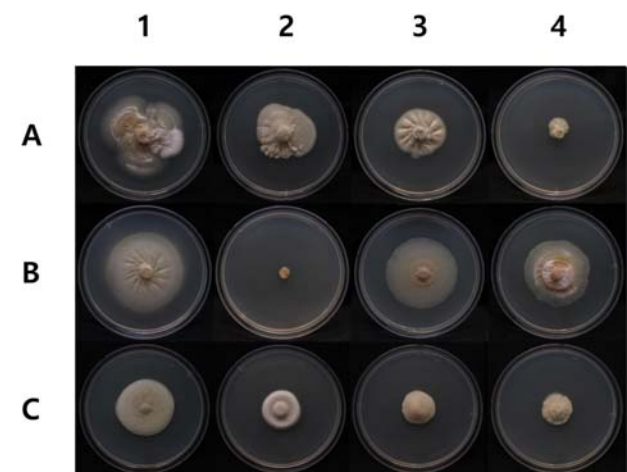


Fig. 3. Colony morphology of *Amanita javanica* NIFoS 1267 grown at 25°C for six weeks on potato dextrose agars that contained NaCl(A), heavy metals(B), and pesticides(C). NaCl salinity concentration, A-1: 0.5%, A-2: 1.0%, A-3: 1.5%, A-4: 2.0%. Heavy metals, B-1: As, B-2: Cd, B-3: Cu, B-4: Zn. Pesticides, C-1: Abamectin, C-2: Acetamiprid, C-3: Emamectin benzoate, C-4: Thiachloprid.

Table 2. Mycelial growth of *Amanita javanica* on PDA supplemented with different chemical factors at pH 6 and 25°C for 6 weeks

Chemical factors Treatment	Mycelial growth (mm)	
NaCl salinity condition (%)	Control (0)	57.4 ± 0.5 ^{a*}
	0.5	41.8 ± 2.2 ^b
	1.0	30.1 ± 1.3 ^c
	1.5	19.4 ± 0.8 ^d
	2.0	4.1 ± 0.3 ^e
	2.5	NG ^f
	3.0	NG ^f
Heavy metal ions	Control	57.3 ± 0.7 ^a
	[As]	60.4 ± 2.0 ^a
	[Cd]	NG ^d
	[Cu]	41.2 ± 1.4 ^b
	[Pb]	NG ^d
	[Zn]	49.4 ± 1.3 ^c
Pesticides	Control	52.6 ± 0.8 ^a
	Abamectin	49.6 ± 1.9 ^a
	Acetamiprid	25.0 ± 1.3 ^c
	Emamectin benzoate	33.2 ± 1.3 ^b
	Thiacloprid	29.9 ± 2.0 ^c

NG: no growth (0.0 ± 0.0), Mycelia length = mm.
 *: The results are different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

의 중금속 검사 기준이 납과 카드뮴에만 한정적으로 적용되고 있다. 그러나 본 연구에서 다른 중금속 이온의 경우 고농도의 조건에서도 노란달갈버섯 균주의 균사가 생장하기 때문에 향후 자실체 내에서 다른 중금속이 어느 정도 축적되는지 검사를 통해 그 위험성을 사전에 평가할 필요성이 있다고 사료된다.

농약 조건 환경에서는 Abamectin을 첨가한 경우 노란달갈버섯의 균사생장은 49.6 ± 1.9 mm로서 무처리 조건에서의 균사생장 52.6 ± 0.8 mm와 별 다른 차이가 없었다. 반면 균층은 형태적으로 균사의 밀도가 뽁뽁하며 생장 방향이 양 옆이 아니라 위쪽으로 많이 치우치게 자랐다(Fig. 3C, Table 2). 다른 3종의 농약 조건에서는 무처리구에 비해 모든 균층의 직경이 절반 정도로 자라 생장이 크게 저하되었다. 이는 살충제 중 일부가 해충 이외에 비특이적으로 미생물에 끼치는 보고(Walter *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2009)와 같은 결과로 여겨진다. 이 같은 결과로 볼 때 현재 국내 산림에서 사용되는 해충방제 약제들은 그 종류에 따라 노란달갈버섯의 생장을 저해할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이러한 약제들을 지속적으로 사용할 경우 산림에서 버섯의 자연발생을 저해하는 요인으로 작용할 것으로 사료된다.

발색반응법인 Chromogenic media assay 를 이용하여 avicelase, amylase, β-glucosidase, CM-cellulase, xylanase, pectinase, protease 등의 세포외효소 활성을 조사한 결과 노란달갈버섯 균주는 시험한 조건에서 어떤 효소 활성도 나타내지 않았다. 이로 볼 때 목질성 기질을 분해하여 이용하는 능력은 낮은 것으로 사료된다. PDA 배지 조건에서 버섯 오염성 진균인 4종의 *Trichoderma atroviride*, *T. citrinoviride*, *T. harzianum*, *T. longibrachianum*와 각각 대치 배양 하였을 때 노란달갈버섯 균주의 균사는 모두 이들 4종의 진균에 뒤덮여 생육이 억제되었다(data not shown). 따라서 인공배양 시 이들 균류의 오염에 주의하여야 함을 알 수 있었다.

본 연구는 노란달갈버섯 균주를 사용하여 물리적 배양 환경에 따른 최적 생장 조건 및 화학적 환경 요인에 대한 내성을 *in vitro* 상에서 조사하였고 균사가 어느 환경 조건에서 크게 생장저해 되거나 사멸되는지를 파악하였다. 이는 기존에 수행되었던 다른 버섯 균주를 이용한 결과(Kang *et al.*, 2018)와 차이가 있음을 확인할 수가 있었으며 이를 토대로 향후 균사체 배양 및 자실체 발달 연구에 도움이 될 것으로 여겨진다.

적 요

노란달갈버섯은(*Amanita javanica*) 국내에서 산림법으로 보호받고 있는 식용 가능한 외생균근성 버섯이나, 중요한 산림자원으로서 활용하기 위한 기초적인 특성 연구에 대한 자료는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 국내 채집 야생버섯 자실체로부터 분리한 노란달갈버섯 NIFoS 1267 균주를 이용하여 PDA 배지 상에서 물리적 요인(온도, pH, 광)과 화학적인 요인(염분, 중금속, 농약)에 따른 균사생장 특성을 조사하였다. 최적의 물리적 환경은 온도가 30°C, pH가 5-6, 암조건으로 배양이었을 때 노란달갈버섯 균주의 균사생장이 가장 좋은 것으로 나타났다. 화학적 요인으로서 염분은 2.0% 농도 조건까지 버섯균주의 균사 생장이 가능하였다. 50 ppm 농도의 중금속 이온 환경에서 비소(As) 이온은 노란달갈버섯 균주의 균사생장에 영향을 주지 않았으나 카드뮴(Cd)와 납(Pb) 이온은 균사생장이 불가능하게 하였다. 국내 산림에 사용되고 있는 2가지 농약의 경우, Abamectin 첨가 배지에서는 노란달갈버섯 균주의 균사 생장에 영향이 없었으나 Acetamiprid, Emamectin benzoate, Thiacloprid가 첨가된 배지 환경에서는 균사 생장이 모두 다 저해 되었다. 본 연구 결과는 향후 상업적 생산을 위한 새로운 자원으로서 노란달갈버섯의 인공재배 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ012619022019,

PJ01328102) 및 국립산림과학원(FP0801-2010-01-2018)의 지원에 의해 수행하였습니다.

REFERENCES

- An GH, Han JG, Cho JH. 2019. Antioxidant activities and β -glucan contents of wild mushrooms in Korea. *J Mushrooms* 17: 144-151.
- Boa E. 2004. Wild edible fungi: A global overview of their use and importance to people. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- den Bakker HC, Zuccarello GC, Kuyper THW, Noordeloos ME. 2004. Evolution and host specificity in the ectomycorrhizal genus *Leccinum*. *New Phytol* 163: 201-215.
- Eger G. 1962. Untersuchungen zur Fruchtkörperbildung des Kulturchampignons. *Mushroom Science* 5: 314-320.
- Esser K, Meinhardt F. 1971. A common genetic control of dikaryotic and monokaryotic fruiting in basidiomycetes *Agrocybe aserita*. *Mycologia* 62: 136.
- Han YH, Ham JH. 1999. Optimization of culture condition for enhanced mycelial growth of *Amanita hemibapha* subsp. *hemibapha* DGUM 28001. *Dongguk Journal: Natural Sciences* 38: 273-286.
- Jang MJ, Lee YH, Cho YK, Koo HM, Oh TS. 2015. Growth properties of *Neolentinula lepideus* according to the light environment. *J Mushrooms* 13: 125-128.
- Jeon SM, Ka KH. 2015. Cultural characteristics of Korean ectomycorrhizal fungi. *Kor J Mycol* 43: 1-12.
- Ka KH, Jeon SM, Ryoo R, Bak WC, Kang JA, Kim MG, Jeon HS, Jeong YS. 2014. Basic culture characteristics of ectomycorrhizal mushrooms. *Korea Forest Research Institute, Research Report* 575.
- Ka KH, Jeon SM, Ryoo R, Ryu SH, Kim MK, Bak WC, Park JW, Koo CD, Eom AH. 2011. Management of genetic resource of forest microorganisms. *Korea Forest Research Institute, Research Report* 434.
- Kang JA, Ka KH, Kim JY, Kim SH. 2018. Mycelial growth properties of domestically collected ectomycorrhizal *Tricholoma* mushrooms in various culture conditions. *Kor J Mycol* 46: 271-280.
- Kim SH, Uzunovic A, Breuil C. 1999. Rapid detection of *Ophiostoma piceae* and *O. quercus* in stained wood using PCR. *Appl Environ Microbiol* 65: 287-90.
- Kwon HW, Yoon JH, Kim SH, Hong SB, Cheon Y, Ko SJ. 2007. Detection of extracellular enzyme activities in various *Fusarium* spp. *Mycobiology* 35: 162-165.
- Oda T, Tanaka C, Tsuda M. 1999. Molecular phylogeny of Japanese *Amanita* species based on nucleotide sequences of the internal transcribed spacer region of nuclear ribosomal DNA. *Mycoscience* 40: 57-64.
- Sanmee R, Dell B, Lumyong P, Izumori K, Lumyong S. 2003. Nutritive value of popular wild edible mushrooms from northern Thailand. *Food Chem* 82: 527-532.
- Sou HD, Hur TC, Jung SC, Joo SH, Park H. 2011. Analysis of environmental characteristics in habitat of *Amanita hemibapha*. *Kor J Mycol* 39: 164-170.
- Sou HD, Hur TC, Joo SH. 2009. Morphological and physiological characteristics of *Amanita hemibapha* subsp. *hemibapha* (Berk. & Broome) Sacc. *Kor J Mycol* 37: 41-48.
- Sylvia DM, Fuhrmann JJ, Hartel PG, Zuberer DA. 2005. Principles and applications of soil microbiology (2nd Edition). Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Walter M, Frampton CM, Boyd-Wilson KSH, Harris-Virgin P, Waipara W. 2007. Agrichemical impact on growth and survival of non-target apple phyllosphere microorganisms. *Can J Microbiol* 53: 45-55.
- Wisplinghoff H, Bischoff T, Tallent SM, Serfert H, Wenzel RP, Edmond MB. 2004. Nosocomial bloodstream infections in US hospitals: analysis of 24,179 cases from a prospective nationwide surveillance study. *Clin Infect Dis* 39: 309-331.
- Zhang B, Bai Z, Hoefel D, Tang L, Wang X, Li B, Li Z, Zhuang G. 2009. The impacts of cypermethrin pesticide application on the non-target microbial community of the pepper plant phyllosphere. *Sci Total Environ* 407: 1915-1922.