

줄버섯 피해 표고골목의 특성 및 표고균과의 대치배양

박원철^{1*} · 이봉훈¹ · 박영애¹ · 김현석²

¹국립산림과학원 산림미생물연구실, ²전남산림자원연구소

Characteristics of Bed-log of Shiitake Damaged by *Bjerkandera adusta* and Antagonism between These Two Fungi

Won-Chull Bak^{1*}, Bong-Hun Lee¹, Young-Ae Park¹ and Hyun-Seok Kim²

¹Lab. of Forest Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Jeonnam Forest Resource Research Institute, Naju 520-833, Korea

(Received 10, December 2010., Accepted 23, February 2011)

ABSTRACT : A harmful fungus occurred seriously in bed-log of shiitake(*Lentinula edodes*) in Jangheung-Gun, Korea. The fungus was identified as *Bjerkandera adusta* by its morphology and ITS(Internal Transcribed Spacer) analysis. The fungus was reported as causal agent of stem-rot of *Populus euramericana* in Korea, but not reported in bed-log of shiitake until this notification. Thus, studies were made to investigate inside condition of bed-log of shiitake damaged by *B. adusta*, physiological characteristics of *B. adusta* and antagonism between these two fungi. First of all, *B. adusta* is white-rotting fungus like shiitake and wood-rotting condition is similar to that of shiitake. But, there are a lot of small spots in damaged wood tissue under bark which are not seen in case of shiitake. Optimal temperature for mycelial growth of *B. adusta* is ca. 30°C while that of shiitake is ca. 25°C. When confrontation cultures were made between these two fungi under 15°C, 20°C, 25°C and 30°C, *B. adusta* has antagonistic ability against shiitake in all the temperatures. From the results of experiments, if the bed-logs of shiitake are exposed to high temperature, there should be mass propagation of *B. adusta*, and shiitake mycelia will be seriously injured by the fungus. Therefore, to prevent the damage by *B. adusta*, it is needed to grow the mycelia of shiitake fast in the bed-log, and to avoid exposure of the bed-log to high temperature in summer.

KEYWORDS : Antagonistic activity, Bed-log, *Bjerkandera adusta*, *Lentinula edodes*

서 론

표고(*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler)는 우리나라와 중국, 일본, 대만 등 주로 동북아시아에서 주로 많이 생산되고 소비되고 있는 식용버섯이다. 표고는 원목재배와 톱밥재배를 통해 생산이 가능한데, 국내에서는 아직까지 생산량의 대부분을 원목재배에 의존하고 있다. 그러나 원목재배는 자연환경에 일정부분 노출된 상태에서 이루어지는 방식이기 때문에 해균에 오염될 가능성이 높다. 특히, 종균 접종 이후 1년간 진행되는 배양기간 중에는 해균들의 활동이 가장 왕성한 시기인 여름도 거쳐야하기 때문에 골목의 관리 소홀은 자칫 치명적인 해균발생으로 연결될 수도 있다. 게다가 점차 온난화 되고 있는 우리나라의 기후변화는 현재까지 확인된 수십 종의 표고원목 해균들 이외에 더 많은 해균들이 추가될 가능성을 점차 높이고 있다. 그리고 이런 우려는 현실로 나타나 최근 들어서 남부지방을 중심으로 그동안 관찰이

거의 되지 않았던 줄버섯의 발생률이 높아지고 있다.

표고와 같은 백색부후균인 줄버섯은 표고재배에 있어서 경제적으로 피해를 입히는 것은 물론 임상에서는 사람에게 기관지 천식을 일으킬 수도 있기 때문에(Katayama *et al.*, 2008) 해로운 균으로 알려져 있다.

그러나 농업이나 공업 분야에서는 그 쓰임새가 다양해질 수 있는 것으로 밝혀지고 있다. 예를 들어, 줄버섯이 다른 담자균류와 달리 배양액 농도가 낮을 경우 배추와 무에 대한 생육 촉진효과가 있다는 것이 확인되었고, 공업용 염료 분해나 화학의 주재료인 nitrocellulose의 분해에 이용될 수 있음이 밝혀졌다(조 등, 1996; Heinfling *et al.*, 1998; Sundaram *et al.*, 1995). 또한 줄버섯은 높은 수준의 aryl-alcohol oxidase와 Mn²⁺-oxidizing peroxidase를 분비할 뿐만 아니라 디지털 저장장치인 콤팩트디스크(CD)의 홈(pits)과 표면(lands)를 파괴하는 것도 확인되었다(Pelez *et al.*, 1995; Romero *et al.*, 2007). 이밖에도 1990년대 말에는 줄버섯이 분비하는 lignin peroxidase (Lip), manganese peroxidase (MnP), laccase (Lac)와 같은 리그닌 분해효소들을 이용한 대규모의 리그닌

*Corresponding author <E-mail : wcbak@forest.go.kr>

분해, 펄프 표백, 독성오염물질 분해에 관한 작업 구상이 있었으며(Nakamura *et al.*, 1999), 최근에는 줄버섯이 고독성 환경오염물질 분해에 관련된 pentachlorophenol(PCP) 생분해 능력을 가지고 있을 뿐만 아니라(Rubilar *et al.*, 2007), 특이하게도 항암제인 daunomycin을 분해하는 능력도 가지고 있는 것이 확인되었다(Kornilowicz-Kowalska *et al.*, 2006).

이와 같이 줄버섯은 그 분포가 세계적으로 분포된 균류로서 조건만 갖추어진다면 표고재배에 충분히 심각한 피해를 불러 올 수 있음에도 불구하고 그와 관련된 연구 자료가 없다. 따라서 본 연구에서는 줄버섯에 오염된 표고골목의 상태를 육안 및 현미경 관찰하고 줄버섯의 배양온도, pH에 따른 균사배양 정도와 온도에 따른 표고와 대치배양 양상을 조사하여 표고골목의 해균방제에 유용한 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

시험균주 수집 및 순수분리

전라남도 장흥에 위치한 표고원목재배 농가를 방문해 표고균을 접종한 골목에서 오염된 골목 및 자실체를 수집 후 조직 분리하여 사용하였으며, 표고균주는 국립산림과학원에서 보존중인 KFRI 766(저온성품종), KFRI 1255(중온성품종), KFRI 773(고온성품종) 균주를 사용하였다.

균 동정 및 ITS (Internal Transcribed Spacer) 분석

채취하여 수집한 오염된 표고골목의 수피 내부 및 자실체를 육안 및 현미경 관찰하여 관련문헌과 비교하였고, 오염된 표고골목 및 자실체를 조직 분리하여 PDA (Potato Dextrose Agar) 배지에서 배양한 균사를 7 mm cork borer로 떼어 내어 다시 새로운 PDA 배지에 옮겨 배양하여 확보된 균사체를 ITS (Internal Transcribed Spacer) 유전분석을 통해 확인하였다. Gardes and Bruns (1993)의 실험방법을 참고하여 분자 실험을 수행하였다. 담자균의 특이적인 Primer ITS-1F와 ITS-4B를 이용하여 염기서열을 분석하였다.

줄버섯과 표고균의 균사배양 특성 비교

줄버섯균과 표고균의 적정 균사배양 온도를 조사하기 위하여 직경 87 mm petri-dish의 PDA(Potato Dextrose Agar) 배지에서 배양된 줄버섯균주 및 표고균주 3품종의 균사선단 부위를 7 mm cork borer로 떼어내어 PDA 배지에 접종한 후 온도 5~35°C까지 5°C 간격으로 설정된 항온기에서 9일간 배양하여 균사생장 길이를 조사하였다. 실험은 3반복으로 진행하였다.

또한 배지 pH 에 따른 줄버섯균주와 표고균주 3품종의 균사배양 정도를 비교하기 위하여 pH 4.0~9.5로 0.5간격으로 조절된 PDA 배지에 접종한 후 25°C의 항온기에서 9일간 배양하여 비교하였다. 3반복으로 실험을 진행하였다.

대치배양

표고균주의 길항력 조사를 위하여 생육 온도형이 다른 KFRI 766, KFRI 1255, KFRI 773 3품종의 표고 균주와 줄버섯과의 대치배양을 20일간 실시하였다. 대치배양은 15°C, 20°C, 25°C, 30°C에서 지속적으로 유지하는 조건과 20°C에 배양 후 두 균주의 선단이 닿을 때 30°C로 옮겨서 배양, 30°C에 배양 후 두 균주의 선단이 닿을 때 20°C로 옮겨서 배양하는 변온조건을 두었다. 실험은 3반복으로 진행하였다.

결과 및 고찰

균 동정 및 줄버섯 오염 골목 관찰

오염된 표고골목에 발생한 자실체 및 원목의 수피를 육안 및 현미경 관찰한 결과 줄버섯은 표고와 같은 백색부후균으로 골목 내부의 상태가 표고에 의해 부후된 것과 비슷하였으나 표고균에 의해 부후된 골목과 달리 수피 아래 목질 조직에 깨알 같은 점들이 많이 있는 특징을 보였다(Fig. 1B, 1C). ITS 분석한 결과 GenBank의 등록된 *Bjerkandera adusta* (등록번호 AY089741)의 ITS 염기서열과 99% 일치하여 구멍장이버섯과에 줄버섯으로 동정되었다 (Fig. 1A).

줄버섯과 표고균의 생리적 특성 비교

시험균주들의 생리적 특성을 비교하기 위하여 실험한 결과 다음과 같다. 온도실험은 표고 3균주 모두 25°C에서 균사생장량이 가장 우수하게 나타났고 줄버섯은 30°C에서 균사생장량이 가장 우수하였다. 줄버섯균주의 온도별 균사배양은 온도가 높을수록 균사생장이 증가하여 30°C에서 최고생장

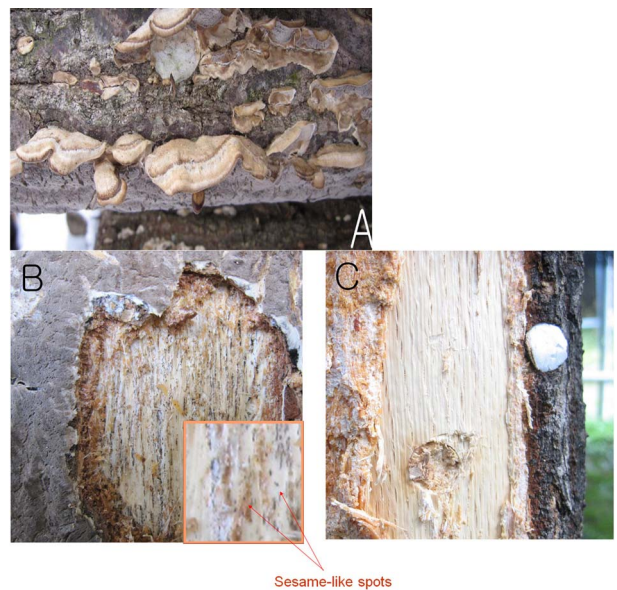


Fig. 1. Observation of bed-log of oak mushroom infected by *Bjerkandera adusta*.

A : fruit bodies of *Bjerkandera adusta*.

B : inner bark of bed-log infected by *Bjerkandera adusta*.

C : inner bark of bed-log of *Lentinula edodes*.

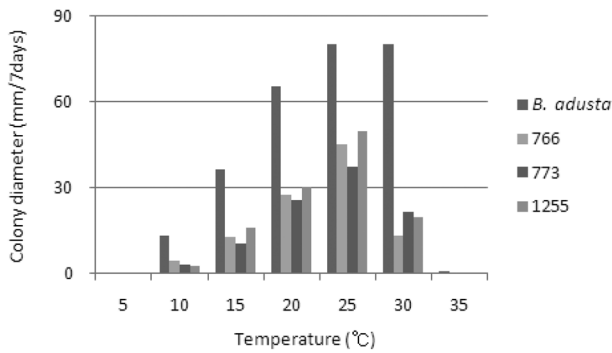


Fig. 2. Mycelial growth of *Bjerkandera adusta* and *Lentimula edodes*(766, 773, 1255) on PDA medium at different temperatures. 766(low-temperature strain), 773(high-temperature strain), 1255(medium-temperature strain).

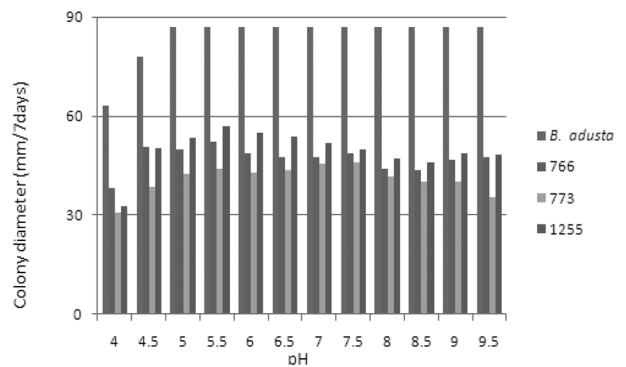


Fig. 3. Mycelial growth of *Bjerkandera adusta* and *Lentimula edodes* on PDA medium among different pH at 25°C. 766(low-temperature strain), 773(high-temperature strain), 1255(medium-temperature strain).

량을 보였으며, 35°C에서 생장이 급격하게 떨어지는 경향을 보였다(Fig. 2). 또한, 줄버섯균주를 4일 동안 배양하였을 경우 10°C에서는 다른 표고균사에 비해 약 2배 정도 균사생장속도가 저조하였으나 15°C에서는 약 2배, 25°C에서는 약 2.5배, 30°C에서는 무려 4.8배의 빠른 균사생장속도를 확인되었고 87 mm petri-dish가 만연되는 기간이 20°C에서 8일 25°C에서 6일 30°C에서 5일이 소요되었다(미발표). 따라서, 줄버섯균은 저온에서 균사활력이 저조함을 확인할 수 있었으며 이와 관련 줄버섯 해균에 강한 표고품종 개발의 기초자료가 될 것으로 사료된다. 이는 표고 재배시 표고 골목이 줄버섯 해균에 오염되었을 경우 고온의 환경에서 급속도로 번질 수 있음을 의미한다. pH실험에서는 KFRI 766와 KFRI 1255 모두 pH5.5에서 균사생장이 가장 양호한 것으로 나타났으며, 이는 표고의 균사배양 적정 pH는 5.5라 보고한 박 등(2008)의 결과와 일치하는 결과였다. KFRI 733은 pH7.5에서 균사생장량이 가장 양호한 것으로 나타났지만 pH 5.5와는 유의성이 없었다. 줄버섯균주는 pH5.0 이하에서 비록 생장력이 떨어지는 것으로 나타났지만, 생장에는 문제가 없었다(Fig. 3). 따라서 산도 조절을 통한 줄버섯 방제는 큰 효과를 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

표고균주와 대치배양 분석

줄버섯균은 표고균의 온도형에 관계없이 모든 실험온도 (15~30°C)에서 표고균에 대해 길항력을 보였다(Table 1, Fig. 4).

30°C 대치배양에서 가장 빠른 속도로 표고균을 점령하였고 다음은 20°C → 30°C 배양이 25°C 배양보다 점령 속도가 급속도로 빠른 것으로 관찰되었는데 이는 고온에서의 줄버섯균주의 균사생장량이 빠른 것에 기인한 것으로 판단된다.

줄버섯은 이태리포플러(*Populus euramericana*)에 줄기썩음병을 일으키는 병원균으로 보고되어 있으며(한국식물병리학회, 2009), 폴란드에서는 늦은 봄인 5월 서리로 인해 갈라진 8년생의 어린 참나무류(*Quercus rubra*, *Q. robur*)

Table 1. Effects of temperatures on the antagonism between *Lentimula edodes* and *Bjerkandera adusta* on PDA after 20 days incubation

KFRI No. ^a	Antagonism of <i>Bjerkandera adusta</i> ^b					
	15°C	20°C	25°C	30°C	20°C → 30°C	30°C → 20°C
766	+	+	+	c	++	+
773	+	+	++	c	+++	+
1255	+	+	++	c	+++	+

^a766(low-temperature strain), 773(high-temperature strain), 1255(medium-temperature strain)

^b+ : > 5 mm, ++ : > 8mm, +++ : 10 mm, c : covered with *Bjerkandera adusta*

^cPDA plate is moved to 30 condition when confrontation occurs between these two fungi at 20 condition.

^dPDA plate is moved to 20 condition when confrontation occurs between these two fungi at 30 condition.

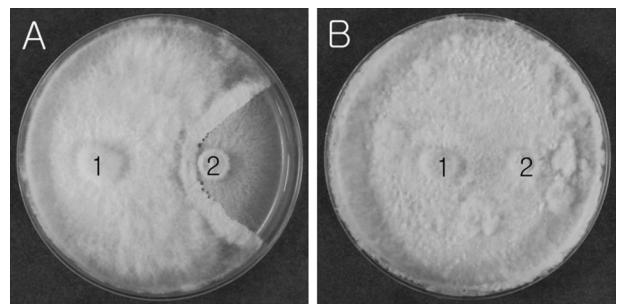


Fig. 4. Antagonism of *Bjerkandera adusta* against *Lentimula edodes* on PDA.

A : *Bjerkandera adusta*(1) invades into territory of *Lentimula edodes*(2).

B : *Lentimula edodes* was covered with *Bjerkandera adusta*.

수피를 통해 줄버섯이 변재부분에 자리 잡는다는 보고가 있다(Doma, 1982). 줄버섯의 이런 특성은 나무조직이 죽었을 때, 그리고 원목이 어느 정도 말라서 함수율이 떨어지

는 조건에서 균사생장력이 좋아지는 표고균에 비해 원목 내부로의 침투가 더 용이할 수도 있다는 것을 의미 한다. 따라서 줄버섯의 침입을 예방하기 위해서는, 줄버섯이 발생된 산림에서의 벌채에 주의를 기울이고, 알맞게 건조된 원목을 사용하며, 활력이 뛰어난 종균을 접종한 후, 표고 종균이 원목에 빠르게 만연될 수 있도록 배양 관리하면서, 골목이 고온에 노출되지 않게 주의해야 할 것으로 판단된다.

차후 활력이 떨어지는 종균과 줄버섯 발생률 상승 간의 상관관계 확인이 필요하며, 줄버섯에 특별히 감수성을 보이는 품종에 대한 연구와 줄버섯에 대한 길항균주 개발이 연구되어야 할 것으로 사료된다.

적요

전라남도 장흥군 일대에서 재배 중인 표고골목에 대량으로 발생한 해균을 육안과 현미경관찰 및 ITS (Internal Transcribed Spacers) 분석한 결과, 줄버섯(*Bjerkandera adusta*)인 것으로 확인되었다. 줄버섯이 표고골목에 대량 발생한 예는 아직까지 없기 때문에 이 해균에 대한 특성 또한 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 줄버섯에 의해 피해를 입은 골목 내부의 상태와 일부 생리적인 특성 및 표고균에 대한 길항력에 대해 시험을 진행했다. 먼저, 줄버섯은 표고와 같은 백색부후균이기 때문에 골목 내부의 상태가 표고에 의해 부후된 것과 비슷했다. 하지만 표고균에 의해 부후된 골목과 달리 수피 아래 목질 조직에 깨알 같은 점들이 많이 있는 특징을 보였다. 그리고 표고균의 최적균사생장 온도가 25°C 내외인 반면에 줄버섯균주는 30°C에서 최적의 성장을 보였다. 15°C, 20°C, 25°C, 30°C에서 표고균주와의 대치배양 결과, 모든 온도조건에서 표고균주보다 균사생장이 빨라 표고균사를 덮었다. 이런 시험결과는 표고골목이 고온에 노출될 경우, 줄버섯의 대량 번식 위험이 높을 뿐만 아니라 일단 줄버섯에 오염되면 표고균이 입을 피해가 크을 의미한다. 따라서 줄버섯에 의한 피해를 예방하기 위해서는 골목 내부에서 표고균이 빠르게 만연될 수 있도록 배양하면서 여름에는 골목이 고온에 노출되지 않게 관리해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

박원철, 윤감희, 김선철, 홍기성. 2008. 표고재배 신기술. 국립산림과학원, p.25.

조수목, 유승헌, 신관철. 1996. 목재부후성 담자균류 배양균사체의 생물학적 연구-항균활성, 식물생 장조절활성, 항암활성, 효소활성탐색. 한국균학회지 24(1):17-24.

한국식물병리학회. 2009. 한국 식물병명목록. p.44.

Doma, S. 1982. *Bjerkandera adusta* on young *Quercus rubra* and *Quercus robur* injured by late spring frosts in the Upper Silesia Industrial District of Poland. *Europ. J. For. Pathol.* 12(6):406-413.

Gardes, M. and Bruns, T. D. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes. application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology* 2:113-118.

Heinfling, A., Martinez, M. J., Martinez, A. T., Bergbauer, M. and Szewzyk, U. 1998. Transformation of industrial dyes by manganese peroxidases from *Bjerkandera adusta* and *Pleurotus eryngii* in manganese-independent reaction. *Appl. Environ. Microbiol.* 64(8):2788-2793.

Katayama, N., Fujimura, M., Yasui, M., Ogawa, H. and Nakao, S. 2008. Hypersensitivity pneumonitis and bronchial asthma attacks caused by environmental fungi. *Allergology international : official journal of the Japanese Society of Allergology* 57(3):277-280.

Kornilowicz-Kowalska, T., Wrzosek, M., Ginalska, G., Iglík, H. and Bancercz, R. 2006. Identification and application of a new fungal strain *Bjerkandera adusta* R59 in decolorization of daunomycin wastes. *Enzyme & Microbial Tech.* 38(5):583-590.

Nakamura, Y., Sungusia, M. G., Sawada, T. and Kuwahara, M. 1999. Lignin-degrading enzyme production by *Bjerkandera adusta* immobilized on polyurethane foam. *J. Biosci. & Bioengin.* 88(1): 41-47.

Pelez, F., Martinez, M. J. and Martinez, A. T. 1995. Screening of 68 species of basidiomycetes for enzymes involved in lignin degradation. *Mycol. Res.* 99(1):37-42.

Romero, E., Speranza, M., Garia-Guinea, J., Martinez, A. T. and Martinez, M. J. 2007. An anamorph of the white-rot fungus *Bjerkandera adusta* capable of colonizing and degrading compact disc components. *FEMS Microbiol Lett.* 275:122-129.

Rubilar, O., Feijoo, G., Diez, C., Lu-Chau, T. A., Moreira, M. T. and Lema, J. M. 2007. Biodegradation of pentachlorophenol in soil slurry cultures by *Bjerkandera adusta* and *Anthracophyllum discolor*. *Indust. & Engin. Chem. Res.* 46(21):6744-6751.

Sundaram, S. T., Zhang, Y. Z., Sharma, A., NG, K. and Brodman, B. W. 1995. Screening of mycelial fungi for nitrocellulose degradation. *J. Appl. Polym. Sci.* 58:2287-2291.