

국내 참나무시들음병 병원균에 대한 버섯 균주의 길항 특성

전성민¹ · 가강현^{1*} · 김경희²

¹국립산림과학원 바이오에너지연구과, ²국립산림과학원 산림병해충연구과

Antagonistic Properties of Mushroom Strains to Korean Oak Wilt Pathogen, *Raffaelea quercus-mongolicae*

Sung-Min Jeon¹, Kang-Hyeon Ka^{1*} and Kyung-Hee Kim²

¹Division of Bioenergy Research, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

²Division of Forest Insect Pests & Diseases, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

(Received June 20, 2010. Accepted June 23, 2010)

ABSTRACT: This study was performed to investigate the antagonistic properties of mushroom strains against Korean oak wilt pathogen (*Raffaelea quercus-mongolicae*) by assessing their predominance on potato dextrose agar plates after pairing culture. Among the total of 158 strains of mushroom tested, thirty-three strains showed no antagonistic activities against the pathogen in both the short term (6~7 days) and long term (27~31 days). Ninety-six strains of tested mushrooms had a weak or no long term antagonistic activity. The antagonistic activities of 29 strains were higher than those of other strains with the levels of $\geq R+$ and $\geq R+++$ for short and long term, respectively. We found that these strains with antagonistic activities against *R. quercus-mongolicae* belong to the species of mushrooms living on different host plants such as conifers, oaks and other broad-leaved trees. In order to use the trees damaged by Korean oak wilt as a resource (bed-log) for cultivating mushrooms, seven strains of antagonist 29 strains were selected as follows; *Laetiporus sulphureus* KFRI 654, *Laetiporus miniatus* KFRI 914, *Lentinula edodes* KFRI 269 and 764, *Pycnoporus coccineus* KFRI 588, *Schizophyllum commune* KFRI 832 and *Trametes versicolor* KFRI 100.

KEYWORDS : Antagonistic activity, Mushroom, Oak wilt, *Raffaelea quercus-mongolicae*

참나무시들음병(oak wilt)은 2004년 8월에 국내에서 처음으로 보고되었으며, 2006년 그 피해가 참나무류(2005년 기준 우리나라 산림면적의 26.1%를 차지)를 중심으로 급격히 증가하여 전국적으로 확산되었다(김, 2006; 김 등, 2008). 일본의 경우에는 1934년 큐슈 지방에서 참나무시들음병이 처음으로 발생하였으며(문, 2009), 1980년대 이후부터는 혼슈 지방을 중심으로 줄참나무와 물참나무의 집단 고사가 일어나고 있는 것으로 보고되었다(田慶 등, 2007). 1990년 이후에도 참나무류의 대량 고사가 지속적으로 발생하여 그 피해 면적이 증가하였으며(Kubono and Ito, 2002), 이에 일본 정부는 2004년부터 참나무시들음병 방제 관련법을 제정하여 관리하기 시작하였다(문, 2009). 참나무시들음병의 확산을 막기 위해 일본에서는 고사목을 벌채하여 소각하는 임업적 방제, 살충제를 살포하는 화학적 방제, 곤충병원성 사상균을 이용하여 매개충을 방제하는 생물적 방제 등이 이루어지고 있다(문, 2009). 국내에서도 병원균에 의한 피해가 심하지 않은 경우에는 지상약제 살포 등 다양한 방법을 통해 매개충을 방제하고 있으나, 피해가 심한 경우와 고사목이 된 경우에는

벌채하여 훈증하거나 소각 처리를 하고 있다(김 등, 2008).

최근에는 참나무시들음병 피해목의 활용 측면을 다각도로 검토하고 있는데, 중증의 감염목 또는 고사목인 경우에는 병원성이 매우 심하기 때문에 주로 목재칩이나 톱밥의 형태로 만들어 산업용재로 사용하거나 숯가마의 연료로 제공될 뿐 그 활용도는 극히 제한적이다. 또한 이와 같이 피해목을 목재칩이나 톱밥의 형태로 가공하여 사용할 경우에는 몇 가지 문제점이 있을 것으로 생각되는데, 병원균 발생지로부터 피해목을 반출하는 과정에서 *Raffaelea* sp.가 전파될 우려가 있고, 피해목을 운반하고 가공하기 위해 별도의 시간과 추가 비용이 발생할 가능성이 있다는 점이다.

따라서 산림 내 *Raffaelea* sp.의 확산을 막으면서 피해목보다 효율적으로 활용할 수 있는 방안 중의 하나는 참나무시들음병이 발생한 현장에서 원목 그대로의 형태로 피해목을 이용하는 것이다. 이에 근접한 방안으로 일본에서는 이미 *Raffaelea* sp.에 의해 피해를 입은 참나무 원목을 표고, 맛버섯, 개암버섯, 팽이버섯 등 인류에게 유용한 산림미생물 유전자원의 생산을 위한 자목으로 사용할 수 있는 방법을 연구하였다(小林과 野崎, 2001).

그러나 이와 같이 피해목을 이용하여 버섯을 재배할 경우

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

에는 몇 가지 고려해야 할 점들이 있다. 우선 피해목은 건전 목에 비해 수분과 양분 함량이 적어 버섯 생산량이 상대적으로 적을 수 있다. 따라서 이와 같은 영향 요인들을 제거하기 위해서는 버섯균 접종 전 활용할 피해목의 생리적 상태를 미리 점검하는 것이 필요하다. 또한 피해목이 원목 형태인 경우에는 *Raffaelea* sp.가 변재부까지 깊이 침입해 있는 상태이기 때문에 소독 후에도 심부에 *Raffaelea* sp. 병원균들이 생존해 있을 가능성이 있다. 이러한 경우 버섯 발생이 저해되거나 *Raffaelea* sp.의 병원균들이 재 확산되어 피해를 다시 오염시킬 수도 있으므로 피해목에 버섯균을 접종하기에 앞서 심부에 잔존할 수도 있는 *Raffaelea* sp.에 대해 길항력을 갖는 버섯 균주를 선발하는 작업이 선행되어야 한다. 이에 小林과 野崎(2001)는 위의 진술한 4 종류의 버섯균 각각을 일본의 졸참나무와 물참나무에 피해를 입히는 *Raffaelea* sp.와 실험실 내에서 대치배양하여 시험균 중 표고가 가장 길항력이 우수한 균중임을 보고한 바 있다.

국내 참나무시들음병 피해의 심각성은 일본과 크게 다르지 않음에도 불구하고 피해목을 버섯과 같은 산림미생물 유전자원의 생산이나 버섯의 기초 특성을 파악하기 위해 활용하는 예는 거의 없다. 또한 일본과는 참나무시들음병의 주된 피해수종, 매개충, 병원균 등이 서로 다르므로(홍 등, 2006; Kim et al., 2009) 국내에서 발생하는 참나무시들음병의 확산을 보다 효과적으로 제어하고 피해목을 버섯재배용 자목으로 유용하게 활용하기 위해서는 국내 참나무시들음병 병원균으로 밝혀진 *R. quercus-mongolicae*(Kim et al., 2009)에 대해 길항력을 가진 버섯 균주들을 실험실 내에서 우선적으로 선발해야 한다. 따라서 본 연구에서는 국내 참나무시들음병 피해목에 재배 가능한 우수길항 균주를 선발하고, 차후 생물방제제의 개발이나 국내의 식물병원균을 제어하는 연구에 유용한 정보를 제공하고자 상업 및 연구용으로 잠재적 활용 가치가 있다고 인정되는 국립산림과학원(KFRI) 보유의 다양한 버섯 균주들을 대상으로 *R. quercus-mongolicae*에 대한 길항 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

시험 균주의 활성화

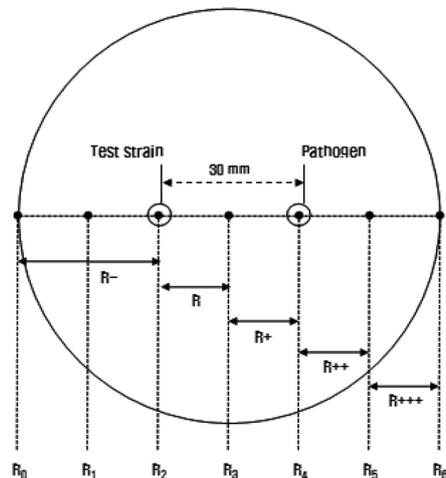
국내 참나무시들음병 병원균인 *Raffaelea quercus-mongolicae*는 국립산림과학원 산림병해충연구과 수목병리연구실로부터 분양받아 사용하였다. 또한 이에 대해 길항 특성을 나타내는 버섯 균주를 찾기 위해 국립산림과학원 산림미생물 연구실 시험에 앞서 모든 시험 균주는 potato dextrose agar(PDA) 배지 상에 미리 접종하여 25°C에서 최소 7일 이상 배양한 후, 균사체의 성장과 균주 활력을 확인한 후 사용하였다.

대치선 판독을 통한 길항 균주의 일차 선발

병원균과 버섯 균주의 균사체 선단부를 각각 cork borer를 이용하여 직경 5 mm의 원반 형태로 취한 후, 小林과 野崎(2001)가 수행했던 방법과 같이 두 균주 간의 거리가 30 mm 가 되도록 PDA 배지 상에 동시에 배치하였다. 25°C에서 대치배양하면서 대치선의 이동 경로를 단기간(6~7일) 및 장기간(27~31일) 관찰하여 병원균에 대한 각 버섯 균주의 길항력과 그 지속성을 조사하였다. 길항력의 판정은 Fig. 1과 같이 PDA 배지 상의 전체 영역($R_0 \sim R_6$)을 6개의 영역으로 세분한 후, 각 영역 내 대치선의 위치에 따른 길항력의 등급을 총 5개로 부여하여 이 기준에 따라 Fig. 2의 예 처럼 각 버섯 균주의 병원균에 대한 길항력을 결정하였다. 총 158개의 버섯 균주 중 단기간 관찰 시 R+이상, 장기간 관찰 시 R+++ 조건을 모두 만족하는 균주를 조사하여 *R. quercus-mongolicae*에 대한 길항 균주를 일차 선발하였다.

균사체 점유율에 의한 우수 길항 균주의 선발

대치선 판독을 통해 일차 선발된 길항 균주를 대상으로 *R. quercus-mongolicae*에 대해 우수한 길항력을 갖는 버섯 균주를 선발하였다. 길항 균주의 일차 선발 시와 동일한 방법으로 대치배양을 하되, 버섯 균주 간 또는 배양 기간(7, 14 및 30~33일)에 따른 길항력을 보다 정량화하기 위해 PDA 배지



- R-: no antagonistic activity, which means that the pathogen is dominant on PDA
- R: minimal antagonistic activity to the pathogen
- R+: low antagonistic activity to the pathogen
- R++: moderate antagonistic activity to the pathogen
- R+++: high antagonistic activity, which means that the test strain is dominant on PDA

Fig. 1. Schematic diagram for determining the levels of antagonistic activity between test strain and pathogen.

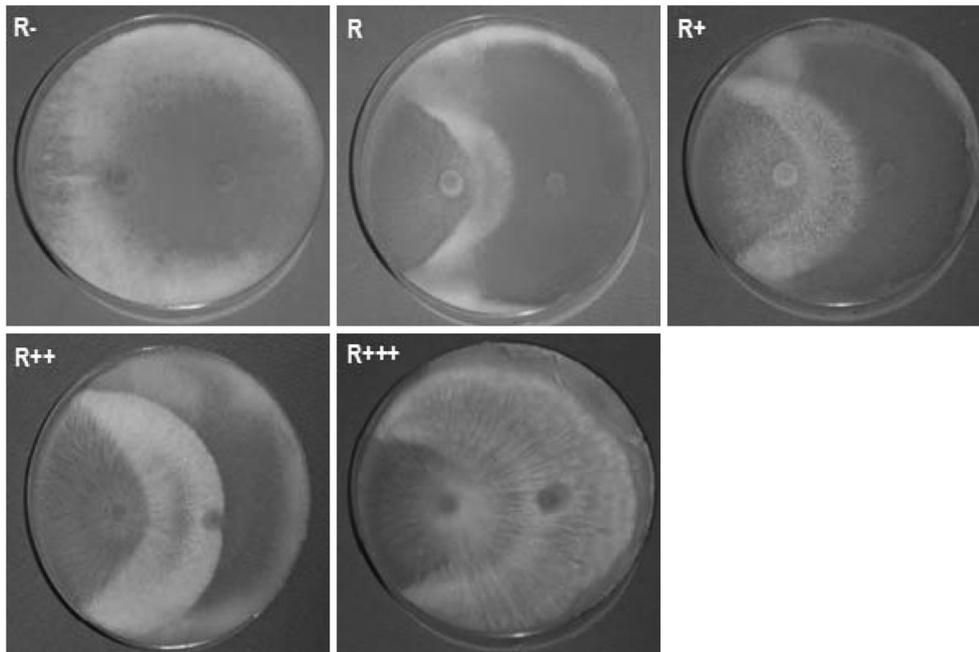


Fig. 2. Criterion examples of antagonistic activity between test strain (left disk) and *Raffaelea quercus-mongolicae* (right disk) on the basis of schematic diagram of Fig. 1.

R-: *Sparassis crispa* (KFRI 641), R: *Lentinula edodes* (KFRI 172), R+: *Piptoporus betulinus* (KFRI 1040), R++: *Phellinus linteus* (KFRI 318), R+++: *Laetiporus miniatus* (KFRI 654)

상의 버섯 균주와 병원균이 차지하고 있는 균사체의 점유 면적(cm^2)을 각각 측정 후, 아래에 제시된 식에 대입하여 그 값을 %로 표기하였다. 대치배양 7, 14 및 30~33일째의 길항력이 50% 이상인 조건을 모두 만족하는 균주를 조사하여 *R. quercus-mongolicae*에 대한 우수 길항 균주로 선발하였다.

$$\text{Antagonistic activity (\%)} = \left\{ \frac{A_t}{A_t + A_p} \right\} \times 100$$

A_t : Mycelial area of the test strain

A_p : Mycelial area of the pathogen *R. quercus-mongolicae*

결과 및 고찰

참나무시들병 병원균(*Raffaelea quercus-mongolicae*)에 대한 길항성 버섯 균주의 일차 선발

병원균과 버섯 균주를 대치배양 하여 단기간 관찰 시 R+이상 그리고 장기간 관찰 시 R+++ 조건을 모두 만족하는 균주를 조사한 결과, 총 158개의 버섯 균주 중 33균주는 단기간 및 장기간 관찰 시 모두 병원균에 대해 길항력이 전혀 없는 것으로 나타났다(Table 1). 대치 배양 6~7일째에 대치선은 R_0 ~ R_2 영역 내에 존재하여 병원균이 자신의 균사체 성장 영역을 넘어 버섯 균주의 영역을 이미 침범한 상태였으며, 27일 이상의 장기 관찰 시에도 R_0 ~ R_2 영역이 아닌 다른 영역으로의 대치선 이동은 관찰되지 않았다. 이는 이들 33개 균주들의 경우에는 일단 *R. quercus-mongolicae*의 침입을 받게 되면, 그 이후에는 자신의 고유 성장 영역을 다시 수복하거나

*R. quercus-mongolicae*에 대해 저항할 수 있는 새로운 능력을 획득할 가능성이 거의 없는 것으로 해석된다.

158개의 버섯 균주 중 꽃송이버섯(*Sparassis crispa* (Wulfen) Fr.) 7균주, 표고(*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) 6균주, 차가버섯(*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát) 3균주, 노루궁뎅이(*Hericium erinaceus* (Bull.) Pers.)가 포함된 산호침버섯과(Hericaceae)의 5균주 그리고 뽕나무버섯부치(*Armillaria tabescens* (Scop.) Emel) 2균주는 모두 단기간 및 장기간 관찰 시 병원균에 대한 길항력이 없었다. 또한 밤버섯(*Calocybe gambosa* (Fr.) Donk) KFRI 205를 비롯한 한입버섯(*Cryptoporus volvatus* (Peck) Shear) KFRI 831, 팽이버섯(*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer) KFRI 820, 잎새버섯(*Grifola frondosa* (Dicks.) Gray) KFRI 108, 잣빛만가닥버섯(*Lyophyllum decastes* (Fr.) Singer) KFRI 840, 잣버섯(*Neolentium lepideus* (Fr.) Redhead & Ginns) KFRI 920, 큰갓버섯(*Macrolepiota procera* (Scop.) Singer) KFRI 1000, 넓은술버섯(*Megacollybia platyphylla* (Pers.) Kotl. & Pouzar) KFRI 606, 목질진흙버섯(*Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng) KFRI 361, 복령(*Wolfiporia extensa* (Peck) Ginns) KFRI 913 등도 단기간 길항력과 장기간 길항력이 모두 없는 것으로 관찰되었다.

반면, 158개의 버섯 균주 중 자작나무버섯(*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst) 6균주, 표고(*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) 9균주, 덕다리버섯(*Laetiporus sulphureus* (Bull.) 이 포함된 잔나비버섯과 (Fomitopsidaceae)의 3균주, 복령

Table 1. Mushroom strains that showed no antagonistic properties to Korean oak wilt pathogen, *Raffaelea quercus-mongolicae*

Scientific name	KFRI* strain No.	Level of antagonistic activity	
		Short-term (6~7 days)	Long-term (27~31 days)
<i>Armillaria tabescens</i> (Scop.) Emel	567	R-	R-
<i>Armillaria tabescens</i> (Scop.) Emel	939	R-	R-
<i>Calocybe gambosa</i> (Fr.) Donk	205	R-	R-
<i>Cryptoporus volvatus</i> (Peck) Shear	831	R-	R-
<i>Flammulina velutipes</i> (Curtis) Singer	820	R-	R-
<i>Inonotus obliquus</i> (Ach. ex Pers.) Pilát	735	R-	R-
<i>Inonotus obliquus</i> (Ach. ex Pers.) Pilát	738	R-	R-
<i>Inonotus obliquus</i> (Ach. ex Pers.) Pilát	743	R-	R-
<i>Grifola frondosa</i> (Dicks.) Gray	108	R-	R-
<i>Hericium americanum</i> Ginns	715	R-	R-
<i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers.	509	R-	R-
<i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers.	582	R-	R-
<i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers.	842	R-	R-
<i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers.	845	R-	R-
<i>Lyophyllum decastes</i> (Fr.) Singer	840	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	151	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	681	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	767	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	797	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	955	R-	R-
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	970	R-	R-
<i>Neolentium lepideus</i> (Fr.) Redhead & Ginns	920	R-	R-
<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer	1000	R-	R-
<i>Megacollybia platyphylla</i> (Pers.) Kotl. & Pouzar	606	R-	R-
<i>Phellinus linteus</i> (Berk. & M.A. Curtis) Teng	361	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	245	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	641	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	690	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	691	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	692	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	721	R-	R-
<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	747	R-	R-
<i>Wolfiporia extensa</i> (Peck) Ginns	913	R-	R-

*KFRI: Lab. of Forest Microbiology, Division of Bioenergy Research, Korea Forest Research Institute, Korea.

(*Wolfiporia extensa* (Peck) Ginns) 2균주, 소나무잔나비버섯 (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.) 2균주는 단기간 관찰 시

Table 2. Primary selection of mushroom strains with antagonistic property against *Raffaelea quercus-mongolicae*

Scientific name	KFRI strain No.	Level of antagonistic activity	
		Short-term (6~7 days)	Long-term (27~31 days)
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	1008	R++	R+++
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	1028	R+	R+++
<i>Ganoderma neojaponicum</i> Imazeki	585	R++	R+++
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill	654	R++	R+++
<i>Laetiporus miniatus</i> (Jungh.) Overeem	824	R++	R+++
<i>Laetiporus miniatus</i> (Jungh.) Overeem	914	R++	R+++
<i>Omphalotus japonicus</i> (Kawam.) Kirchm. & O.K. Mill.	990	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	127	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	269	R++	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	297	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	464	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	483	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	683	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	764	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	904	R+	R+++
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	1044	R+	R+++
<i>Phellinus linteus</i> (Berk. & M.A. Curtis) Teng	318	R++	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	706	R+	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	707	R+	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	709	R+	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	1039	R+	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	1040	R+	R+++
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	1041	R+	R+++
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.	211	R+	R+++
<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	588	R++	R+++
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	832	R++	R+++
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	100	R++	R+++
<i>Wolfiporia extensa</i> (Peck) Ginns	85	R++	R+++
<i>Wolfiporia extensa</i> (Peck) Ginns	154	R+++	R+++

R+이상 그리고 장기간 관찰 시 R+++의 길항력을 나타냈었다 (Table 2). 또한 자흑색불로초(*Ganoderma neojaponicum* Imazeki) KFRI 585를 비롯해 화경버섯(*Omphalotus japonicus* (Kawam.) Kirchm. & O.K. Mill.) KFRI 990, 목질진흠버섯 (*Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng) KFRI 318, 느타리(*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) KFRI 211, 간버섯(*Pycnoporus coccineus* (Fr.) Bondartsev & Singer) KFRI 588, 치마버섯(*Schizophyllum commune* Fr.) KFRI 832,

구름버섯(*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) KFRI 100 등도 일차 선발 기준에 적합한 길항력을 나타냈다.

대치선 판독을 통해 총 158개의 버섯 균주 중 96개의 버섯 균주들은 일차 선발 조건 이하의 미약한 길항력을 나타내거나, 단기간의 길항력은 강하나 장기간의 길항력이 감소하거나 소실하는 등의 불안정한 양상을 나타냈다. 또한 33개의 균주는 단기간 및 장기간 관찰 시 모두 *R. quercus-mongolicae*에 대해 전혀 길항력이 없는 것으로 나타났다(Table 1). 반면, 29개의 균주는 단기간 및 장기간 관찰 시 일차 선발 조건을 모두 만족하는 것으로 조사되어 이를 *R. quercus-mongolicae*에 대한 일차 길항 버섯 균주로 선발하였다.

균사체 점유율에 의한 우수 길항 균주의 선발

본 연구에서 설정한 실험 조건과 같이 영양분과 서식 면적이 제한된 장소에 길항 시험균과 병원균이 동시에 존재하는 경우에는 자신의 생존에 필요한 일정 면적을 가능한 한 빨리 선점하는 쪽이 유리할 것으로 생각되었다. 또한 단기적으로 길항력이 우수하더라도 시간의 흐름에 따라 이들의 길항력이 감소된다면 병원균의 이차적인 침입에 효율적으로 대처하지 못하게 되어 참나무시들음병 피해목의 활용도 측면에서 제약이 따를 수 있다. 따라서 단기간 길항력에 비중을 두면서 장기적으로도 길항력이 지속되는 버섯 균주를 찾고자 길항 균주의 일차 선발 시와는 다르게 보다 정량적인 방법을 택하여 각 균주의 병원균에 대한 길항력을 조사하였다. 즉, 앞서 일차 선발된 29개의 균주를 병원균과 대치배양 후, PDA 상에서 두 균주가 차지하는 전체 균사체 점유율 중 버섯 균주의 균사체가 차지하는 점유율을 조사하여 이를 버섯 균주들 간에 비교함으로써 *R. quercus-mongolicae*에 대해 길항력이 보다 우수한 14개의 균주를 일차 선발하였다. 전반적으로 단기간 길항력은 균주마다 큰 차이를 보였으나, 소나무잔나비버섯(KFRI 1008)을 비롯한 13개의 균주(KFRI 585, 654, 914, 269, 764, 1039, 1040, 1041, 588, 832, 100, 85, 154)는 대치배양 7일째의 균사체 점유율이 50% 이상으로 나타나 병원균의 균사 성장을 초기에 억제하는 능력이 타 균주에 비해 우월함을 알 수 있었다. 단기간 관찰 시 최고 길항력을 보인 균주는 복령 KFRI 85로 균 점유율이 $99.6 \pm 0.4\%$ 에 달했으며, 이와 동일한 균종인 KFRI 154의 경우에도 $97.4 \pm 0.2\%$ 의 높은 균사체 점유율을 나타냈다. 표고 KFRI 269의 경우에도 $84.0 \pm 3.0\%$ 의 높은 균사체 점유율을 나타냈으나, 앞선 복령 KFRI 154보다는 유의하게 낮은 수치를 보였으며 ($P=0.00154$), 자흑색불로초 KFRI 585와는 유사한 수치를 나타냈다. 표고 KFRI 904는 29개의 균주 중 대치배양 7일째에 최저 균사체 점유율($15.7 \pm 0.2\%$)을 나타냈으나, 대치배양 14일째에는 $79 \pm 3.9\%$ 로 그 수치가 약 5배 정도 급격히 상승되었으며, 배양 30일째에는 대부분의 타 시험 균주와 유사하게 100%의 균사체 점유율을 보여주었다. KFRI 904와 같이 대치배양 7일째에 균사체 점유율이 50% 이하인 다른 균주들의 경우에도 대치배양 14일째에는 균사체 점유율이 급격히 상승하는 양상을 나타냈으며,

그 길항력이 배양 30일 후까지 유지되거나 더 높아지는 것을 알 수 있었다.

국내에서 발견되는 *R. quercus-mongolicae*는 주로 신갈 나무와 같은 참나무류와 서어나무에 시들음병을 유발하는 것으로 알려져 있다(김 등, 2006). 따라서 침엽수보다는 참나무류를 비롯한 활엽수에서 생장할 수 있고, 산업적으로도 재배 가치가 있는 균주를 이용하는 것이 적합할 것으로 생각되어 일차 선발된 29개의 길항 균주들이 속한 균종의 일반적인 발생 장소와 그들의 유용 가치, 그리고 일차 선발된 14개 균주의 길항력을 함께 평가하여 피해목 활용에 적합한 균주를 조사하였다. 소나무잔나비버섯과 자흑색불로초는 약용버섯으로서의 가치는 있으나 침엽수를 기주로 한다(박 등, 2009; 정 등, 2006). 느타리, 붉은덕다리버섯, 치마버섯, 구름버섯 등은 활엽수 또는 침엽수에서 선택적으로 발생하는데(고 등, 2009), 느타리의 경우 식용버섯으로서의 유용 가치가 있고(김과 한, 2009), 붉은덕다리버섯의 균사체는 혈전분해효소를 생산하기 때문에 혈행 개선제로 개발될 수 있으며(이 등, 2003), 치마버섯이나 구름버섯은 항바이러스나 항종양력이 있는 것으로 알려져 있다(Stamets, 2005). 복령 또한 항종양 효과가 있기는 하나(Kubo *et al.*, 2006) 소나무 뿌리(가와 구, 2009b)나 참나무 뿌리(Kubo *et al.*, 2006)와 같은 지하에서 균핵이 형성되는 특성이 있기 때문에 원목재배와 같은 환경 조건에는 적용하기 어려울 것으로 보인다. 덕다리버섯, 목질진흙버섯, 자작나무버섯, 간버섯, 화경버섯, 표고 등은 활엽수 고사목에서 주로 발생하는데(고 등, 2009; 김과 한, 2009), 덕다리버섯의 어린 자실체는 식용이 가능하다(박 등, 2009). 항암 활성이 있는 목질진흙버섯은 뽕나무에서 주로 발생하며, 재배 시에는 참나무류가 가장 많이 사용되고 있다(한 등, 2003). 자작나무버섯은 cellulase 활성과 가수분해효소 생산률이 높아 생물공학적인 이용 가치는 있으나(가 등, 2008; Valásková and Baldrian, 2006) 자작나무와 수중에 대한 기주 특이성이 높아 이들을 피해목에 재배하는 데에는 제약이 따를 수도 있다. 활엽수림 내 고사목(고 등, 2009)이나 참나무류 톱밥 배지에서 발생이 가능한 것으로 보고된(가 등, 2003) 간버섯은 균사체와 자실체가 적홍색의 색소를 띠기 때문에 염료로서의 이용 가치가 높고(가 등, 2003), 서어나무의 고사목과 참나무 등에서 발생하는 화경버섯(김과 한, 2009)은 독버섯이긴 하지만, 암세포의 생육을 억제하는 illudin S나 lampteroflavin과 같은 발광물질이 함유되어 있어(가와 구, 2009a) 항암제나 연구용 탐침 개발에 이용될 가능성이 있다. 참나무류를 주 기주로 하는 표고는(김과 한, 2009) 식용뿐만 아니라 면역증강과 관련된 다양한 약리 활성을 갖고 있다(Stamets, 2005). 또한 小林과 野崎(2001)가 보고한 자료에 의하면, 일본의 참나무시들음병 병원균과 버섯균을 실험실 내에서 대치배양한 결과, 표고가 개암버섯이나 팽이버섯보다 *Raffaella* sp.에 대한 길항력이 약 50% 정도 더 높은 것으로 나타났다.

소나무잔나비버섯, 자흑색불로초, 복령, 자작나무버섯 등은 발생 장소를 고려했을 때에 위의 다른 버섯 균종들에 비해

피해목에 재배하기 어려울 것으로 보인다. 또한 느타리, 목질 진흙버섯, 화경버섯 등은 발생 장소나 버섯의 유용 가치 면에서는 피해목에 재배가 가능할 것으로 생각되나, Table 3에서와 같이 이들 각 균종에 해당되는 KFRI 시험 균주들(KFRI

Table 3. Comparison of antagonistic activity within the primary selected twenty-nine mushroom strains

Antagonistic strains	KFRI strain No.	Antagonistic activity of mushroom strains (%)		
		7 days	14 days	30~33 days
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	1008	73.5±0.2	100±0.0	100±0.0
	1028	52.6±7.2	94.7±4.6	100±0.0
<i>Ganoderma neojaponicum</i> Imazeki	585	78.6±3.9	100±0.0	100±0.0
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill	654	56.6±0.5	100±0.0	100±0.0
<i>Laetiporus miniatus</i> (Jungh.) Overeem	824	42.1±1.5	96.8±3.6	100±0.0
	914	57.6±2.2	100±0.0	100±0.0
<i>Omphalotus japonicus</i> (Kawam.) Kirchm. & O.K. Mill.	990	43.1±13.8	70.3±7.6	80.7±17.4
	127	29.0±2.5	82.6±5.0	100±0.0
	269	84.0±3.0	96.1±6.7	100±0.0
	297	39.0±5.3	88.1±3.6	100±0.0
	464	19.7±1.3	82.9±1.9	96.0±7.0
	483	38.4±1.0	91.1±3.1	100±0.0
<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	683	28.7±3.9	90.0±4.6	100±0.0
	764	59.8±2.7	91.0±2.3	100±0.0
	904	15.7±0.2	79.0±3.9	100±0.0
	1044	31.2±1.4	84.6±4.9	100±0.0
<i>Phellinus linteus</i> (Berk. & M.A. Curtis) Teng	318	42.8±7.6	100±0.0	100±0.0
	706	45.6±0.9	100±0.0	97.1±5.1
	707	46.7±1.8	96.3±3.0	100±0.0
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P. Karst.	709	46.1±4.9	99.3±1.2	100±0.0
	1039	60.3±5.3	96.4±3.2	100±0.0
	1040	54.3±1.0	91.4±2.8	100±0.0
	1041	57.6±4.5	99.3±1.2	100±0.0
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.	211	35.0±1.4	100±0.0	94.6±9.4
<i>Pycnoporus coccineus</i> (Fr.) Bondartsev & Singer	588	60.1±6.4	76.9±0.6	100±0.0
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	832	69.5±0.3	87.4±5.3	97.8±3.8
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	100	65.8±3.5	90.7±8.5	89.2±9.5
<i>Wolfiporia extensa</i> (Peck) Ginns	85	99.6±0.4	100±0.0	100±0.0
	154	97.4±0.2	100±0.0	100±0.0

990, 318, 211)의 단기간 길항력이 모두 50% 이하로 나타나 *R. quercus-mongolicae*에 대한 제어력이 매우 안정적인 범위에 속해 있다고 볼 수 없다. 따라서 *R. quercus-mongolicae*에 대해 단기간, 중기간, 장기간의 길항력이 모두 50% 이상으로 나타나 보다 안정적인 길항력을 부여할 수 있는 14개의 이차 선발 길항 균주들 중 피해목에 재배가 어려울 것으로 예상되는 위의 4 균종 (소나무잔나비버섯, 자흑색불로초, 복령, 자작나무버섯)에 속하는 균주들을 제외하고, 참나무시들음병 피해목 활용에 적합한 총 7개의 균주(붉은덕다리버섯 KFRI 914, 치마버섯 KFRI 832, 구름버섯 KFRI 100, 덕다리버섯 KFRI 654, 간버섯 KFRI 588, 표고 KFRI 269와 KFRI 764)를 선발하였다.

이와 같이 참나무시들음병 피해목 활용에 적합한 균주를 선발함에 있어 참나무류나 서어나무만을 발생 기주로 하는 시험 균주만을 따로 선별하여 길항력을 시험하지 않고, 기주가 서로 다른 다양한 종류의 버섯 균주들을 대상으로 길항력을 시험한 이유는 *R. quercus-mongolicae*에 대한 길항 특성이 참나무나 서어나무만을 기주로 삼는 버섯균에만 국한되어 나타나지는 않을 것이라는 가정을 전제로 한 것이다. 이러한 맥락과 연관 지어 비록 버섯의 기주나 길항력의 차이로 참나무시들음병 피해목의 활용을 위해 선발되지는 않았지만 나머지 22개의 길항 균주도 차후 *Raffaella* 속과 근연 관계에 있거나 기타 국내의 식물병원균을 제어할 수 있는 생물방제제를 탐색하는 데에 유용한 후보 균주가 될 것으로 사료된다.

적요

국내 참나무시들음병 병원균인 *Raffaella quercus-mongolicae*에 대한 버섯 균주들의 길항 특성을 대치배양을 통해 조사하였다. 총 158개의 시험 균주 중 33개의 균주는 병원균에 대해 단기간 (6~7일) 및 장기간(27~31일) 길항력이 전혀 없었으며, 96개의 균주는 길항력이 미약하거나 길항력이 장기적으로 지속되지 못했다. 이와 달리 29개의 균주는 단기간 및 장기간 길항력이 각각 $\geq R+$ 와 $\geq R+++$ 로 타 시험 균주에 비해 높게 나타났으며, 이들과 같이 *R. quercus-mongolicae*에 대해 길항력을 갖는 균주들은 활엽수(참나무류 포함)나 침엽수 등 발생 기주가 서로 다른 다양한 서식지에서 살아가는 버섯 균주들의 균주임을 알 수 있었다. 참나무시들음병 피해목을 버섯 재배용 자원으로 활용하기 위해 이에 적합한 7개의 길항 균주를 다음과 같이 선발하였다; 붉은덕다리버섯(KFRI 914), 치마버섯(KFRI 832), 구름버섯(KFRI 100), 덕다리버섯(KFRI 654), 간버섯(KFRI 588), 표고(KFRI 269, 764).

감사의 글

본 연구는 2010년도 국립산림과학원 일반연구과제 “산림미생물 유전자원의 수집 및 증식·보존 기술 연구(FP 0801-2010-01)”의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 가강현, 구창덕. 2009a. 화경버섯. 월간산림 4월호. pp.102-103.
- 가강현, 구창덕. 2009b. 복령. 월간산림 5월호. p.90.
- 가강현, 유성열, 이봉훈, 윤갑희, 박원철. 2008. 물박달나무를 이용한 자작나무버섯의 원목재배. 한국균학회지 36(1):98-100.
- 가강현, 이정희, 허태철, 윤갑희, 박원철. 2003. 간버섯과 주걱간버섯의 배양특성. 한국균학회지 31(2):84-88.
- 고평열, 김찬수, 신용만, 서순자, 변광욱. 2009. 제주지역의 야생버섯. 연구자료 제366호. 국립산림과학원.
- 김경희, 이승규, 박일권, 이상현, 신상철. 2006. 참나무시들음병. 국립산림과학원 산림과학속보 06-08. p.7.
- 김경희, 서상태, 이상길, 오은성, 이상현, 최원일, 최광식, 박일권, 신상철, 신준환. 2008. 참나무시들음병. 국립산림과학원 산림과학속보 08-18. pp.13-22.
- 김양섭, 석순자, 원향연, 이강호, 김원규, 박정식. 2004. 한국의 버섯-식용버섯과 독버섯. 농촌진흥청 농업과학기술원.
- 김종찬. 2006. 제4차 전국산림자원조사(총괄). 산림과학정보 209:16-17.
- 김현중, 한상국. 2009. 우리 산에서 만나는 버섯 200가지. 국립수목원.
- 문일성. 2009. 국내의 산림과학동향-일본의 참나무시들음병 피해 및 방제연구 현황. 국립산림과학원 산림과학정보. 224:14-15.
- 박현, 가강현, 박원철. 2009. 홍릉수목원의 보물찾기 버섯 99선. 국립산림과학원 연구자료 제350호. 국립산림과학원.
- 이수연, 박인숙, 정은정, 서민정, 김지은, 김영희, 정경태, 주우홍, 정영기. 2003. 붉은덕다리버섯(*Laetiporus sulphureus*) 유래 혈행 개선제의 특성. 한국생명과학회 2003년도 제39회 학술심포지움 학술대회논문집 p.84.
- 정길록, 신현재, 차일석. 2006. 소나무 잔나비버섯의 아미노산, 비타민 및 무기물 분석. 생명과학회지 16(7):1123-1126.
- 한기원, 이수원, 한광수, 이대진, 이병의, 장원철. 2003. 목질진흙버섯 에탄올 추출물의 세포독성에 따른 항암활성. *Toxicol Res.* 19(2):147-152.
- 홍기정, 권영대, 박상욱, 류동표. 2006. 참나무시들음병을 매개하는 광릉긴나무좀(딱정벌레목; 긴나무좀과)에 대하여. 한국응용곤충학회지 45(2):113-117.
- 小林正秀, 野崎愛. 2001. カシノナガキクイムシ被害木によるきのこ栽培試験. 菌叢 10:16-22.
- 田慶子, 衣浦晴生, 高畑義啓, 大住克博. 2007. ナラ枯れの被害をどう減らすか:里山林を守るために. pp.1-3. 森林総合研究所西支所.
- Kim, K. H., Choi, Y. J., Seo, S. T. and Shin, H. D. 2009. *Raffaelea quercus-mongolicae* sp. nov. associated with *Platypus koryoensis* on oak in Korea. *Mycotaxon* 110:189-197.
- Kubo, T., Terabayashi, S., Takeda, S., Sasaki, H., Aburada, M. and Miyamoto, K. 2006. Indoor cultivation and cultural characteristics of *Wolfiporia cocos* sclerotia using mushroom culture bottles. *Biol. Pharm. Bull.* 29(6):1191-1196.
- Kubono, T. and Ito, S. 2002. *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). *Mycoscience* 43:255-260.
- Stamets, P. 2005. Mycelium Running: How mushrooms can help save the world. p.39-41. Ten Speed Press.
- Valášková V. and Baldrian, P. 2006. Degradation of cellulose and hemicelluloses by the brown rot fungus *Piptoporus betulinus*-production of extracellular enzymes and characterization of the major cellulases *Microbiology* 152:3613-3622.