

말굽버섯균의 생리적 특성과 부후특성

김유이¹⁾ · 채정기^{1)*}

¹⁾ 전남대학교 임학과

The physiological and degradational characteristics of *Fomes fomentarius*

Yu-I Kim¹⁾ and Jyung-Ki Chai^{1)*}

¹⁾Department of Forestry Graduate School Chonnam National University

ABSTRACT : The optimal temperature for mycelial growth the *F. fomentarius* was 30°C and the range of the temperature for mycelial growth was about 10~30. The optimal pH for the growth was 4.0. The percentage of weight loss was 17.4%. The percentage of WEC extractives was increased to 2.24%. The observation of micromorphological showed that the detected cell wall were erosive and thinning as typical degradation pattern of white-rot fungi.

KEYWORDS : Mycelial growth, Weight loss, WEC, White-rot fungi

말굽버섯(*Fomes Fomentarius*)은 민주름버섯목, 구멍장이버섯과에 속하며, 기원전 8000년 중석기 시대 유적에서 발굴됨으로써 가장 오래된 버섯으로 전해지고 있다. 말굽버섯은 봄부터 가을에 걸쳐 활엽수의 고목, 생목 위에 발생하는 다년생이며, 목재를 대리석상으로 백색부후 시키는 버섯이다. 한국, 일본, 중국, 북아메리카, 필리핀, 인도네시아 등에 분포한다.

자실체는 대소 두 가지 형이 있으며, 갓은 너비 5~30(50)cm, 두께 3~20cm로 말굽형에서 종형까지의 형태를 보인다. 표면은 회갈색-회황갈색 바탕에 동심상의 환문과 환구가 있고, 각피가 있으며, 조직은 황갈색이며 가죽질이다. 자실층인 회백색의 관공은 여러 층이며, 관공구는 원형이고 1mm에 3개가 있다. 포자는 16~18×5~6μm로 장타원형이고, 표면은 평활하고, 포자문은 백색이다.

국내에서는 성분 중 단백질 분해효소인 프로타아제에 관한 연구와 위와 같이 조사된 생태적·형태적 특징만이 조사되었다.

본 연구는 말굽버섯 균사의 영양생장에 적합한 조건을 생리적 특징과 목재부후 특성을 조사하여, 인공재배에 기초 자료로 제공 될 뿐 아니라 균사의 대량증식으로 인한 산업화에 활용하고자 한다.

재료 및 방법

공시균주

본 연구에서 사용된 말굽버섯(*Fomes fomentarius* (L.ex Fr.) Kickx) 균주는 전남대학교 산림자원미생물학

실험실에서 보관중인 CNU-7호를 사용하였다. 보관중인 모균주를 PDA(potato dextrose agar; Difco)에 접종한 후 25±1°C에서 약 2주간 배양 후 접종원으로 이용하였다.

말굽버섯의 생리적 특성

배지조성이 각기 다른 합성배지를 제조하고, 121°C (1.2kg/cm²)에서 15분간 가압살균 후 멸균된 Petri-dish(직경 87mm)에 20ml씩 분주하여 배지를 조제하였으며, PDA(Difco)배지에서 배양된 접종원의 균총 선단을 내경 7mm(3호)인 cork borer로 절취하여 조제된 Petri-dish(직경 87mm)배지의 중앙에 접종하여, 암배양하였다. 배지조성이 각기 다른 액체배지를 조제하여, 100ml 삼각 플라스크에 50ml씩 분주하여, 121°C (1.2kg/cm²)에서 20분간 가압살균하여 배지를 조제하였으며, PDA(Difco)배지에서 배양된 접종원의 균총 선단을 내경 4mm(1호)인 cork borer로 절취하여 접종하여, 18일간 암배양하였다. 수종이 다른 톱밥을 10~20mesh 채로 친 후, 배지수분을 65%로 조절하여, 2.0×20.0cm인 test tube에 일정량(50g)을 충전하여, 121°C (1.2kg/cm²)에서 20분간 가압살균하여 배지를 조제하였다. PDA(Difco)배지에서 배양된 접종원의 균총 선단을 내경 1.1mm(7호)인 cork borer로 절취하여 접종하여, 20일간 암배양하였다.

합성한천배지가 분주된 petri-dish에서 일정기간 배양 후, 접종된 균사절편의 중심을 직교하는 수직·수평선을 petri-dish의 밑면에 그린 다음 각각의 직경을 평균하여 균총의 신장직경을 조사하였으며, mm/일로 나타내었다. 삼각플라스크에 배양된 배양액을 여과지(whatman No.2)

Table 1. Composition of various synthetic liquid media

Nutrition reagents	Medium and Composition(g/ ℓ)						
	Czapek Dox	Glucose pepton	Synthetic	MCM	Hennergerg	Lilly	Glucose Tryptone
Surose	30.0						
KCl	0.5		0.01				
KNO ₃					2.0		
K ₂ HPO ₄	1.0		0.003				
KH ₂ PO ₄	1.0		1.0	0.05	1.0	1.0	
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.5		0.5	0.05	0.5	0.5	
MnSO ₄ · 5H ₂ O			0.03				
ZnSO ₄ · 7H ₂ O							
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.01						
CuSO ₄ · 5H ₂ O			0.001				
(NH ₄) ₂ HPO ₄							
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄			0.001				
CaCl ₂ · 2H ₂ O					0.1		
CaCl ₃							
NaNO ₃	3.0				2.0		
Glucose		10.0	20.0		50.0		5.0
Maltose						10.0	
Thiamine-HCl				2.0			
DL-asparagine			0.01				
peptone					2.0	2.0	
Malt extract		10.0	5.0	0.2			
Yeast extract		15.0					
Tryptone		10.0		0.2			3.0

Table 2. Composition of various synthetic solid media

Nutrition reagent	Medium and Composition(g/ ℓ)									
	MCM	MYPA	PDA	ME	YM	YMPG	YMG	PPA	HA	Lilly
Potato			20.0					20.0		
K ₂ HPO ₄	1.0									
KH ₂ PO ₄	0.46					2.0		1.0		1.0
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.5					1.0		0.5		0.5
Glucose	20.0				10.0	10.0	4.0			
Maltose										10.0
Dextrose			20.0					20.0	20.0	
Thiamine HCl						1.0				
DL-Asparagine						1.0				2.0
Peptone	2.0	1.0		5.0	5.0	2.0		1.0		
Malt extract		30.0		20.0	3.0	10.0	10.0			
Yeast extract	2.0	2.0			3.0	2.0	4.0		2.0	
Agar	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	15.0	20.0	20.0	20.0

로 균사체와 배양액을 분리하여 건조기(105℃)에서 항량·건조하여 균사체의 건조중량을 측정하였다. 톱밥배지가 조제된 Test-tube에서 일정기간 배양 중 접종된 접종원으로부터의 균사신장을 조사하였으며, mm/일로 나타내었다. 말굽버섯균의 최적 배지를 선발하기 위하여 Czapek Dox배지를 포함한 7종류의 액체배지와 ME배지를 포함한 9종류의 고체한천배지를 Table 1.과 Table 2.의 배지 조성표와 같이 조제하여, 접종·배양 후 균사 생육을 조사하였다.

공시균주의 균사생육과 온도와의 관계를 조사하기 위하여, Potato dextrose broth(Difco) 배지에 접종원을 접종하여, 15~35 까지 5 간격으로 조절된 항온기에서 균총의 신장 직경을 조사하였다.

공시균주의 균사생육과 pH와의 관계를 조사하기 위하여, Potato dextrose broth 배지에 1N-HCl과 1N-NaOH를 첨가하여 배지를 pH4.0~7.0까지 1.0 간격으로 pH를 조절하여 배지를 조제하였으며, 공시균주를 접종, 배양하여 균사체의 건조중량을 조사하였다.

공시균주의 균사생육과 탄소원·질소원의 첨가와의 관계를 조사하기 위하여, 상기실험으로 얻은 결과로 적정배지와 pH를 최적의 조건으로 조절하고, 탄소원과 질소원을 첨가하여 조제하였으며 공시균주를 값으로 적정배지를 적정 pH로 조절하고, 탄소원과 질소원의 첨가하여 배지를 조제하였다. 첨가된 탄소원은 Dextrose 외 5종을 0.1% (w/v), Ammonium tartrate 외 5종을 0.04(w/v)%씩 첨가하였다. 공시균주를 접종, 배양하여 균사체의 건조중량을 조사하였다.

공시균주의 균사생육과 톱밥 수종과의 관계를 조사하기 위하여, 미송(*Pseudotsuga menziesii*), 리기다소나무(*Pinus rigida*), 은백양(*Populus alba*), 졸참나무(*Quercus serrata*), 아카시나무(*Robinia pseudo-acacia*), 상수리나무(*Quercus acutissima*) 6수종을 이용하여 배지를 조제하였다. 공시균주를 접종, 배양하여 균사생장 속도를 측정하였다.

말굽버섯균의 부후특성

졸참나무 변재를 3×0.5×0.5cm로 조제하여 전건량을 측정하고, 증류수에 6시간 이상 침전 시켜, 침전된 시편을 121℃(1.2kg/cm²)에서 30분간 살균한 후, 공시균이 배양된 PDA 배지에서 40일간 배양한다. 접종된 배지는 25±1℃로 조절된 배양실에서 40일간 배양 후 건조중량을 측정하여 중량감소율을 측정하였다.

중량감소율 L(%)은 다음 식에 의하여 산출 하였다.

$$L(\%) = (S - W / S) \times 100\%$$

*S: 배양 전 전건무게(g), W: 배양 후 전건무게(g)

졸참나무 톱밥과 미강을 4:1(w/w)로 혼합하여 배지를 조제 한 배지와, 상기와 같이 조제된 배지를 살균, 냉각하

여, 공시균을 접종하여 40일간 배양된 배지의 pH를 측정 비교하였다.

pH측정(ORION Model 290A)은 각각의 배지 5g씩을 증류수 50ml에 3시간 침전시킨 후 추출된 용액의 pH를 측정하였다.

졸참나무 톱밥과 미강을 4:1(w/w)로 혼합하여 배지를 조제 한 배지와, 상기와 같이 조제된 배지를 살균, 냉각하여, 공시균을 접종하여 40일간 배양된 배지의 추출물을 비교하였다. 추출은 온수추출법을 이용 했으며 방법은 각 시료 2g을 200ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 100ml를 가한 다음 플라스크에 환류냉각기를 부착시켜 3시간동안 비등수조에서 처리하였다. 그 후 미리 측정된 glass filter(1 G3)으로 내용물을 흡인 여과시키고 열수로 세척하여 105±3℃에서 항량이 될 때 까지 건조하여 칭량한다.

온수추출물의 양 H(%)는 다음 식에 의해서 산출하였다.

$$H(\%) = (S - W/S) \times 100\%$$

*S: 시료의 전건무게(g), W: 추출잔유물의 중량(g)

공시균주의 초미시적 특성을 관찰하기 위하여 PDA배지에서 완전히 배양된 말굽버섯균에 졸참나무의 심재부위를 0.5mm×0.5mm×2cm로 조제하여 40일간 배양하였다.

배양된 목편의 부후형태와 분해정도를 관찰하기 위해 시료를 2% glutaraldehyde (GA) + 2% paraformaldehyde (PA) 혼합고정액 (in 0.05M cacodylate buffer, pH 7.2)으로 처리한 후 동일 buffer로 세척한 다음 ethyl alcohol 계열로 탈수시킨다.

그리고 ethyl alcohol과 xylene의 1:1 혼합액과 100% xylene으로 각각 처리하고 xylene과 paraffin의 1:1 혼합액에 처리 후 paraffin 원액으로 치환시킨 다음 paraffin 블록을 만들어 microtome을 사용하여 15~20μm 두께의 절편을 제작한다. 절편은 1% safranin과 2% astra blue로 이중염색한 다음 광학현미경 관찰을 실시한다. 염색하지 않은 절편은 편광현미경 관찰에 사용한다. 주사형전자현미경의 경우 2% GA + 2% PA 혼합고정액으로 고정시킨 톱밥시료를 ethyl alcohol 계열 탈수를 실시한 다음 -20℃에서 1시간 냉동시킨 후 100% t-butyl alcohol로 치환한 다음 동결건조 시킨다. 이 시편을 ion sputter를 사용하여 gold coating하여 주사형전자현미경 (Hitachi S-4000 SEM)을 사용하여 관찰한다. 투과형 전자현미경 관찰(TEM)은 LRW에 포매된 시편을 조제하여 diamond knife를 사용하여 70~90nm (초박절편 두께의 색깔: gold silver) 두께의 초박절편을 제작한다. 이 절편을 1% KMnO₄(in sodium citrate)로 10분간 염색한 시편을 투과형 전자현미경으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

말굽버섯균의 생리적 특성

공시균주의 균사생육과 온도와의 균사생육에 적합한 배지

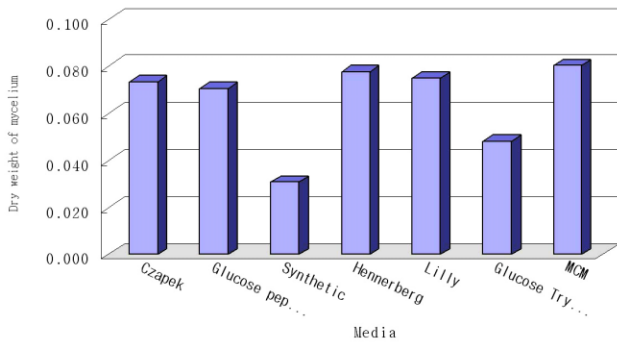


Fig. 1. Effect of various synthetic media on the mycelial growth of *Fomes fomentarius*.

를 선별하기 위하여 Table 1과 같이 7종의 공시배지를 이용하여 균사생육을 조사하였으며, 결과는 Fig. 1과 같다.

Czapek dox 배지에서 0.0803mg/50ml로 균사생육이 가장 우수하였으며, Hennergers, Lilly, Glucose peptone, Glucose tryptone 배지 순으로 양호한 균사생육을 보였다. Semisynthetic과 MCM 배지는 균사생육이 저조하였다.

공시균주의 배지 성분에 따른 균사생육을 비교한 결과, 특정 성분에 의한 균사생육의 양호함이나 부진함이 관찰되지 않아, 말굽버섯균사의 생육은 특정 성분 영양원에 영향을 받지 않고, 전체적인 배지성분의 조합이 균사생육에 영향을 주는 것으로 사료된다.

Glucose peptone 배지에서 잣버섯(김한경 등, 2002)이 균사생육에 적합하다고 보고되었으며, 풍뎡이 동충하초(*Cordyceps scarabaeicola*)는 MCM 배지에서 우수한 균사생육을 보이고, 장수버섯(*Fomitella fraxinea*)은 CDA(Dried compost 배지)에서, 개암버섯(*Naematoloma sublateritium*)은 Semisynthetic(김한경 등, 2002) 배지에서, 마른진흙버섯(*Phellinus gilvus*)과 낙엽진흙버섯(*Phellinus pini*)은 PDA(류영현 등 2000) 배지에서 우수한 균사생육을 보였다.

이와 같이 같은 속의 버섯, 마른진흙버섯과 낙엽진흙버섯은 같은 배지에서 우수한 균사생육을 보이기도 한다,

공시균주의 균사생육과 배양온도와와의 관계를 조사하기

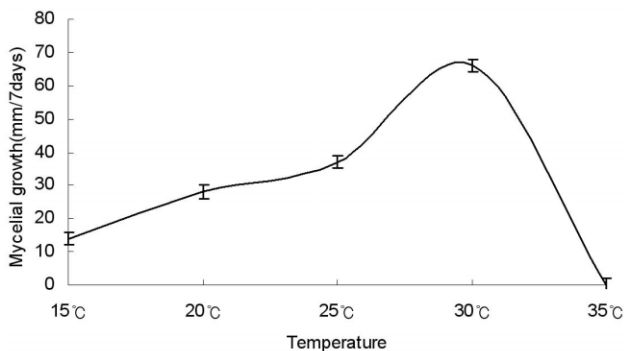


Fig. 2. Effect of temperature on the mycelial growth of *Fomes fomentarius*

위하여, 각기 다른 온도에서 균사생육을 조사한 결과 15, 20, 25, 30, 35°C의 배양온도 중 15~30°C에서 균사생육을 보였으며, 35°C에서는 생육이 정지하였다. 25°C(5.3mm/day)에서 30°C(9.4mm/day) 사이가 배양적응으로 나타났다.

홍과 이(1990)에 의하면 복령의 균사생육 적온은 25~29°C이며, 23°C이하와 29°C이상의 배양온도에서는 균사생육이 저조함을 보고하였다. 개암버섯, 큰느타리버섯, 풍뎡이동충하초등 대부분의 버섯의 균사생육적온이 25°C인데 비하여, 말굽버섯은 이보다 약간 높은 온도에서 적온을 보였다.

공시균주의 균사생육과 배지 pH와의 관계를 조사하기 위하여, 각기 다른 pH 배지에서 균사생육을 조사한 결과 Fig 3.에서와 같이 pH 4.0에서 균체량이 0.135mg/18days으로 가장 우수한 균사생육을 보였으며, 배지의 산도가 중성에 가까워지면서 균사생육이 저조하였다. 민주름버섯목의 경우 pH 4.0~8.0까지 전 부분에 걸쳐 고른 생장을 보이며, 최적 pH는 6.0~7.0으로 중성을 선호한다는 이동훈 등(1996)의 보고와 다르게 나타났다.

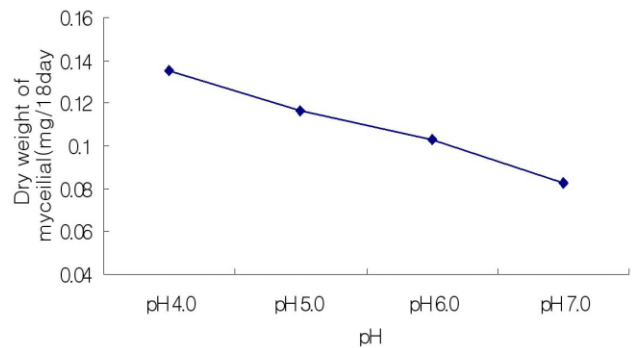


Fig. 3. Effect of initial pH on the mycelial yield of *Fomes fomentarius*.

복령과 잣버섯(김한경 등, 1994)은 말굽버섯과 같은 pH4.0의 배지에서 균사생육이 양호하였다. 개암버섯(강안석 등, 2001)의 적정 배지 산도는 pH5.0~6.5, 큰느타리버섯은 pH5.0~6.0, 즉 약산성의 배지에서 우수한 균사생육을 보였다. 풍뎡이동충하초는 pH 7.5~9인 염기성인 배지에서 생육이 우수하였다. 이와 같이 버섯의 종류에 따라 상이한 적정 pH를 보임을 알 수 있다.

공시균주의 균사생육과 탄소원과 질소원의 첨가와와의 관계를 조사하기 위하여, 각기 다른 탄소원을 첨가한 배지에서 균사생육은 Fig 5.에서와 같이, lactose 첨가 배지에서 0.225mg/50ml, galactose 첨가배지에서 0.213mg/50ml의 균체량으로 우수한 균사생육을 보였으며, inulin의 3종의 탄소원을 첨가한 배지에서는 유사한 생육을 보였다.

질소원을 첨가한 배지에서는 첨가한 질소원들에 대해서 균사생육에 대한 적응성을 보였으며, glutamic acid를 첨가한 경우 0.208mg/50ml의 균체량으로 가장 우수한

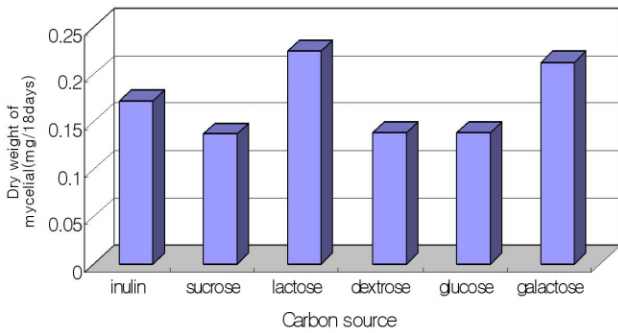


Fig. 4. Effect of various carbon sources on the mycelial growth of *Fomes fomentarius*.

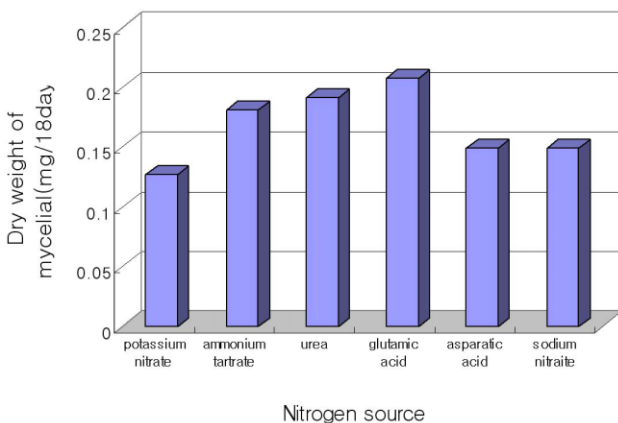


Fig. 5. Effect of various nitrogen sources on the mycelial growth of *Fomes fomentarius*.

균사생육을 보였다. 유사한 균사생육을 보이긴 했으나, 버섯의 균사생장에는 유기 질소원이나 암모늄의 질소원이 효과적이라는 보고와 일치한다.

공시균주의 균사생육과 톱밥수종과의 관계를 조사하기 위하여 각기 다른 수종의 톱밥배지에서 균사생육을 조사한 결과 상수리나무 톱밥배지와 아카시나무톱밥에서 양호한 균사생육을 보였다.

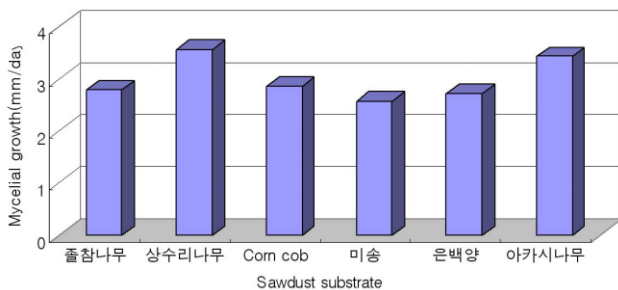


Fig. 6. Mycelial growth of various *Fomes fomentarius* strains on different sawdust substrates.

말굽버섯균의 부후특성

공시균주의 부후에 따른 중량감소율을 조사한 결과는 Table 와 같이 17.4%의 중량감소율을 보였다. 목재의 부

후 정도를 측정하는 전통적인 방법으로 *Corirolellus palustris*와 *Coriolus versicolor*, 2종류의 균주를 이용하여, 도입수종 13종의 중량감소율을 이용하여 내후성을 조사하였다.

Table 3. Growth of *Fomes fomentariu* on the *Q. serrata* (measured by weight loss)

	부후 전 (mg)	부후 후 (mg)	감소량 (mg)	감소율 (%)
<i>Quercus serrata</i>	2,012	1,661	351	17.4

공시균주의 부후 전후 배지의 pH 변화를 조사한 결과 부후전 pH6.07의 배지산도가 부후가 완료된 후 pH5.43으로 산성화되었다. 이는 버섯균에 의해 배지가 분해됨에 따라 배지내에 유기산이 축적되어 배지의 pH가 감소하였다는 보고와 일치한다. 말굽버섯균의 경우 배지 pH 감소량이 적으며, 이는 배지분해의 정도가 미세한 것으로 추정된다.

Table 4. Potential of Hydrogen in decayed of *Fomes fomentariu* on the *Q. serrata*

*Sawdust Substrate	Sawdust	<i>F. fomentariu</i> on the Sawdust
pH	6.07	5.43

공시균주의 부후 전후 배지의 WEC를 조사한 결과 부후전에 12.98%의 추출을 보이고, 부후후에는 15.216%의 추출물을 얻었다. 이는 말굽버섯균이 톱밥과 미강이 있는 탄수화물, 탄닌, 배당체등을 이용한 양보다 말굽버섯균이 이러한 양보다 말굽버섯균이 이러한 양분을 이용하여 생성한 또 다른 물질이 많은 것으로 추정된다.

Table 5. Hot water extractives of *Fomes fomentariu* on the *Q. serrata*

*Sawdust Substrate	extractives(%)
Sawdust	12.98
<i>F. fomentariu</i> on the Sawdust	15,216

말굽버섯균에 의한 졸참나무 변재의 부후 형태는 목섬유 세포벽의 침식과 박벽화가 관찰 되었다 (Fig. 7, 8). 균사의 밀도는 방사조직에 높게 나타났고, 일부 목섬유에서도 높게 나타났다(Fig. 9). 축방향유세포와 도관의 벽공이 심하게 부후되었고 (Fig. 10), 목섬유의 세포벽에 침식 및 박벽화가 관찰되었다 (Fig. 10, 11).

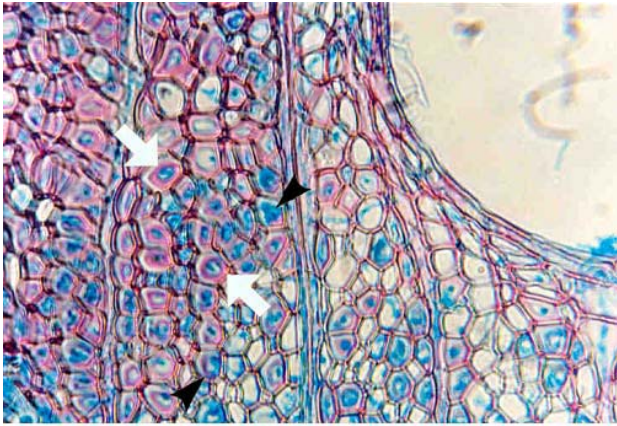


Fig. 7. 말굽버섯균에 의한 줄참나무 변재의 분해. 목섬유의 박벽화(arrow)와 침식(arrow head).

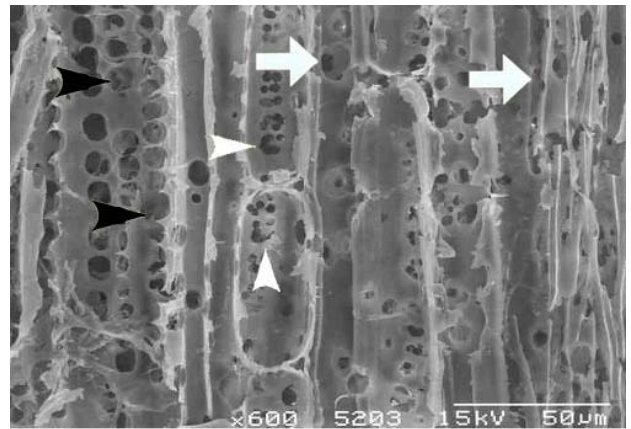


Fig. 10. 말굽버섯균에 의한 줄참나무의 분해. 목섬유 벽의 침식(arrow), 도관 벽공(black arrow head) 및 측방향유세포의 분해(white arrow head) (SEM 사진).

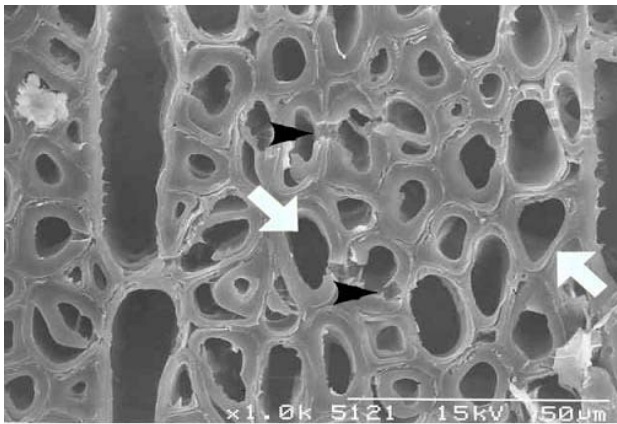


Fig. 8. 말굽버섯균에 의한 줄참나무 변재의 박벽화(arrow) 및 침식(arrow head) (SEM 사진).

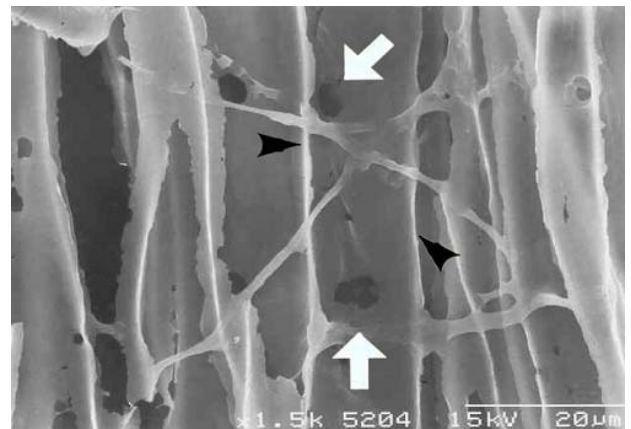


Fig. 11. 말굽버섯균에 의한 줄참나무 목섬유의 침식(arrow) 및 박벽화(arrow head).



Fig. 9. 말굽버섯균사의 줄참나무 변재 내 분포.

적 요

말굽버섯의 기초적인 자료를 연구함으로써 앞으로 있을 인공재배 및 균사체 대량증식법 등의 연구에 있어서 기초

가 되고자 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 사용한 말굽버섯균은 Czapek dox 배지에서 0.0803mg/50ml로 균사생육이 가장 우수하였으며, Hennergiers, Lilly, Glucose peptone, Glucose tryptone 배지 순으로 양호한 균사생육을 보였다. Semisynthetic과 MCM 배지는 균사생육이 저조하였다.
2. 균사생육 적정온도 선발 실험에서, 배양온도 중 15~30℃에서 균사생육을 보였으며, 35℃에서는 생육이 정지하였다. 25℃(5.3mm/day)에서 30℃(9.4mm/day) 사이가 배양적온으로 나타났다.
3. 배지 산도가 pH 4.0에서 균체량이 0.135mg/18days으로 가장 우수한 균사생육을 보였으며, 배지의 산도가 중성에 가까워지면서 균사생육이 저조하였다.
4. 영양원 첨가에 따른 균사생육 실험에서, lactose 첨가 배지에서 0.225mg/50ml, galactose 첨가배지에서 0.213mg/50ml의 균체량으로 우수한 균사생육을 보였

- 으며, 질소원의 경우 glutamic acid를 첨가한 경우 0.208mg/50ml의 균체량으로 가장 우수한 군사생육을 보였다.
5. 톱밥수중 선발 실험에서 상수리나무 톱밥배지와 아카시나무톱밥에서 양호한 군사생육을 보였다.
 6. 부후 전·후의 건중량을 비교한 결과, 17.4%의 중량 감소율을 보였다.
 7. 부후 전·후 배지의 pH 변화를 조사한 결과 부후전 pH6.07의 배지산도가 부후가 완료된 후 pH5.43으로 산성화되었다.
 8. 부후 전·후 배지의 WEC를 조사한 결과 부후전에 12.98%의 추출을 보이고, 부후후에는 15.216%의 추출물을 얻었다.
 9. Bavendamm 반응에서 배지의 재색이 암갈색으로 변하는 양성 반응을 보여 백색부후균임이 확인되었다.

10. 목섬유 세포벽의 침식과 박벽화가 관찰 되었다. 군사의 밀도는 방사조직에 높게 나타났고, 일부 목섬유에서도 높게 나타났다. 축방향유세포와 도관의 벽공이 심하게 부후되었다.

참고문헌

- 김한경, 박정식, 김양섭, 차동렬. 잣버섯 군사배양 및 인공 재배에 관한 연구. 2002. 농촌진흥청농업기술연구소 균이과.
- 김한경, 박정식, 김양섭, 차동렬, 박용환, 1994. 잣버섯 인공 재배에 관한 연구(Ⅰ)-군사 배양 조건에 관하여. 한국균학회지 22(2):145-152.
- 류영현, 조우식, 정기채, 윤재탁, 최부술, 2000. Phelinus gilvuss의 배양적 특성과 자실체 형성. 한국균학회지. 28(1)6-10.
- 이동훈, 김창진, 신광수. 1996. 한국산 고등 담자균류의 배양적 특성. 대전대학교 기초과학 연구소 논문집. 7(2). 39-46.