

표고버섯의 톱밥재배에 있어 갈변과 관련된 효소작용

김영호 · 유창현¹ · 성재모² · 공원식*

농업과학기술원 응용미생물과, ¹산림버섯연구소, ²강원대학교

Enzymatic activities related mycelial browning of *Lentinula edodes* (Berkeley) Sing.

Young-Ho Kim, Chang-Hyun You¹, Jae-Mo Sung², Won-Sik Kong*

Applied Microbiology Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707.

¹Forest Mushroom Research Center, Yeosu 469-803.

²Department of Agricultural Biology, Kangwon National University, Chuncheon.200-701, Korea.

ABSTRACT : Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) is usually cultivated on the oak log. Log cultivation of this mushroom is getting difficult to get oak logs and has a weak point of its long cultivation period. Recently sawdust cultivation is getting increase. It is important to make mycelia browning on the substrate surface. This browned surface in sawdust cultivation plays an important role like as artificial bark of the oak log, which protects the other pests and suppresses water evaporation in the substrate. The period for mycelia browning is so long that the sawdust cultivation of Shiitake mushroom can not spread well into the mushroom farms. The development of methods for the rapid mycelia browning is quite required. In this article we would like to discuss about the enzymatic activities related mycelia browning and search the methods of cultivation period reduction.

KEYWORDS : enzymatic physiology, mycelial browning, *Lentinula edodes*, Sawdust cultivation, Shiitake mushroom

1. 서 론

표고(*Lentinula edodes* (Berk.) Sing.)는 봄, 가을에 활엽수의 그루터기나 썩은 나무에서 발생하는 백색부후균(Leatham and Kirk, 1983; Oki 등, 1981; Tokimoto 등, 1980)으로 한국, 일본(Imai, 1938; Kobayasi and Shimizu, 1951), 중국, 동남아를 비롯하여 파푸아뉴기니아 까지 광범위한 지역에서 발생하는 버섯이다. 중국, 한국 일본 대만 등 동남아 지역에서 오래 전부터 식용되어 온 버섯으로 수요와 생산량이 급격히 신장되고 있어 최근 세계적인 버섯사업으로 확대되는 추세에 있다. 표고는 주로 참나무원목을 이용하여 재배하며 원목 내에서 균사생장기간이 길어 첫 버섯을 수확하려면 1년 이상 소요되고, 재배기간이 최소한 5년이나 걸리고 재료에 대한 버섯으로의 회수율도 낮다. 또한 앞으로 표고 재배용 원목의 수요가 많고 참나무의 확보가 어려워 구득이 어려워지고 있다. 따라서 최근 톱밥을 이용한 표고 재배가 점차 증가하고 있는 경향이다 (Ando, 1974; Diehle and Royse, 1985; Royse, 1985).

톱밥을 이용한 표고버섯 재배에 있어서 균사가 완전히 성장하면 백색으로 되며 이 상태에서 버섯을 발생시키면 버섯수도 적고 푸른곰팡이병 등에 오염되어 많은 수량을 기대할

수 없게 된다. 따라서 배지표면에 나무의 표피와 같은 역할을 할 수 있는 인공피막이 형성되도록 갈변화시키는 것이 중요하다. 적갈색으로 갈변화된 것은 외부공기와 접촉시켜도 다른 균이 오염되지 않을 뿐 아니라 배지내 수분증발을 억제하고 버섯발생을 양호하게 한다. 그러나 표고의 톱밥재배에서 배지의 갈변을 위하여 100일에서 150일까지 배양되면서 완료되는 톱밥배지는 너무 긴 재배기간을 요구하며, 농가에서는 그로 인하여 시설비의 과다 투자와 배양실의 확보 등의 문제로 1990년 초부터 본격화된 톱밥재배연구에 비하여 아직까지도 전국적으로 농가의 확대는 미진한 편이다. 따라서 표고톱밥 재배시 배지의 갈변을 촉진시키거나 갈변이 빠른 균주를 조기에 선발할 수 있는 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 표고에서 광, 환기, 온도 등의 균사생장에 관여하는 환경을 인위적으로 조절하여 갈변을 촉진시키는 연구들은 많이 진행되어 있으나, 여기서는 표고재배의 변천과 함께 갈변과 관련된 효소작용을 검토하여 표고 톱밥재배를 안정적으로 실시하고 재배기간을 단축시킬 수 있는 방법을 모색하고자 하였다.

2. 표고의 재배

표고는 큐슈원주민들에 의해 야생에서 채집된 표고가 A. D. 199년 Chuai 황제에게 상납되었다는(Singer, 1961)

*Corresponding author: <wskong@rda.go.kr>

최초의 보고 후, 중국의 Sung 왕조시대(960~1127)에 Wu San Kwung에 의하여 최초로 재배된 기록이 있다(Chang 등, 1987). Wang Cheng(1313)은 「Book of Agriculture」에서 기본적인 표고재배에 대하여 기록된 후 중국에서 재배되었다(Chang & Miles, 1987). 그 후 이러한 재배기술은 1500년에서 1600년 사이에 일본으로 소개되어(Singer, 1961; Lou, 1981) 일본에서 급속도로 발전하게 되었다. 이 때의 재배기술은 포자를 이용하여 재배되었으므로 초기의 재배는 포자를 새로운 골목에 이식하는 방법이 사용되었다(Singer, 1961). 포자에 의한 접종은 유전적으로 불안하여 많은 재배자들이 수량이 높았던 골목의 조각을 새로운 골목에 이식하는 방법으로 문제를 해결하였다(Singer, 1961). Kitayama(1920)는 유전적으로 안정된 균사를 적정물질에 순수 배양한 종균을 개발하였으며, Mori(1943)는 살균된 나무췌기에 균사를 배양하는 종균제조법을 소개하였다(Mori 등, 1987). 췌기를 새로운 골목에 삽입시키는 방법은 높은 수량과 안정된 재배를 가능하게 하여 상업적 표고산업을 발전시켰고 급속하게 확대되는 계기를 마련하였다(Campbell 등, 1987). 원목을 이용한 재배방법은 일부 지역에서 원목의 부숙현상이 나타나자 표고재배를 위한 대체배지를 생각하게 되었는데 유리병에 살균된 배지를 넣어 표고를 생산하게 된 것이 최초의 톱밥을 이용한 재배방법이다(Passecker, 1933). 그 후 톱밥에 의한 재배는 표고의 유전적 특성을 조사하기 위해 균사를 검정하는 방법으로 이루어졌다(Nisikado and Miyawaki, 1943).

한국에서는 이조시대 정약용(1790)의 「산림경제」에 송이, 표고, 북령에 대한 기록이 있는 것으로 보아 이 시기 이전에 표고 등의 버섯이 소개되었을 것으로 생각된다(金 등, 1987). 표고에 대한 인공재배는 1905년 산도식 재배가 최초라고 볼 수 있으며(李 등, 1980), 그 후 표고톱밥종균의 순수배양은 경기도 임업시험장(1995)에서 성공하였고 1956년도부터 전국에 종균을 분양하여 오늘의 표고원목재배 기술이 정착되게 되었으며 표고종균배양과 재배기술을 정립하여 재배기술의 발전에 기여하였다(權, 1957). 우리나라의 표고톱밥 재배에 관한 연구는 1984년 농업기술연구소에서 최초의 연구가 시작되었으며 金 등(1987)은 4 kg 상자에서 참나무 톱밥과 포플러 톱밥을 혼합하여 미강과 상수리분말을 섞어 톱밥재배를 실시하였으며, 1989년에는 톱밥재배용 품종인 농기 3호 품종을 등록하게 되었다. 1991년도부터 임업연구원에서도 본격적인 재배기술의 연구가 시작되었고, 활엽수 톱밥배지를 이용한 표고 톱밥재배에 적합한 품종으로 산림 5호와 산림 6호가 개발되었다(閱, 1991; 1993; 1994). 표고의 생리적 특성은 포자가 18~28℃에서 발아하고, 균사발육 최저한계온도 5℃, 최고 한계온도 32℃, 균사발육 적온은 22~26℃라고 하였다(Tokimoto and Komatsu, 1978). Tokimoto와 Komatsu(1982)는 표고종균 9종에 대한 온도별 생장

량을 조사한 바, 25℃에서 가장 좋았고, 표고 원목을 침수할 때 물의 온도에 따른 버섯 발생량은 10℃의 수온이 저온처리의 효과가 컸으며, 발생기간 중의 온도에 따른 버섯 생산량은 15℃에서 좋았다. 버섯의 품질은 10~18℃가 좋은 것으로 알려져 있다(Ohira & Matsumoto, 1984). 균사의 생장은 자실체가 발생되기까지는 30일에서 12일 정도가 소요되며(Han 등, 1981; Miller and Jong 1986), 이 때 배양기간은 균주, 배지의 조성, 배지의 양, 종균의 량, 종균의 접종상태와 온도 등에 따라 영향을 받는다는 보고가 있다(Royse, 1985). 균사배양 기간을 길게 하였을 때 버섯의 발생수는 증가하지 않았으나 버섯의 크기와 수량이 증가하였다고 하였다(Han 등, 1981; Royse, 1985). 이는 균사체의 량, 배지 내에서의 높은 효소활성 또는 목재성분의 분해로 인한 양분의 증가에 기인된 것이라고 하였다(Royse, 1985). 균사가 다 자란 후에 배지는 완전히 흰색을 띄게 되고 톱밥의 형태는 보이지 않게 된다. 균사가 더욱 성숙하게 됨으로 균사의 용기가 일어나게 되며 이때의 용기는 균사덩어리의 일종이며 자실체의 원기로 발달되는 것이다(Royse, 1985). 용기가 형성되면 배지표면이 적갈색으로 착색이 되며 외부는 점점 단단하게 되어 균사의 갈색피막을 형성하게 되어 마치 원목의 껍질과 같게 된다. 균사피막의 기능은 원목의 껍질과 비슷하며, 수분의 손실을 방지하고 배지 내에 영양생장을 개선시키는 이산화탄소의 보유, 오염방지 등으로 배지의 갈변화는 중요하다고 할 수 있다(Chang 등, 1987).

표고를 톱밥으로 재배할 때 중국에서는 주재료로서 톱밥, 면실피, 옥수수속, 벼짚(혹은 밀짚), 고구마 가공 잔사 등이나 갈대類 등의 잡초(중국에서 菌草라고 함)를 사용하고 있으며, 보조재료로서 밀기울, 쌀겨, 탄산칼슘 등을 사용한다(黃, 1994). 일본에서는 톱밥과 영양제인 쌀겨(또는 밀기울)를 중량비 10 : 1로 섞는 것이 일반적이며(大森, 1993), 중국의 톱밥 : 쌀겨를 8 : 2로 섞는 것과 차이가 있고, 또 일본의 각 톱밥배지 생산회사에서는 자체적으로 개발한 각종 영양제 첨가배지를 농가에 보급하고 있으나 영양제의 제조 방법은 잘 알려져 있지 않다. 표고 톱밥재배 방법에 있어 일본의 경우는 각종 시설과 자재를 이용한 기술집약형의 재배가 이루어지고 있어서 많은 투자비가 드는 반면, 생산성이 높은 재배를 하고 있으나, 중국의 경우는 간이시설과 자연환경을 이용한 간이시설형 재배가 주류를 이루고 있어서 재배방식에 있어서도 차이가 크다. 표고톱밥 재배시 활엽수 대신 값싼 침엽수 톱밥을 이용하는 버섯재배도 시도되고 있다. 일본에서는 참나무류 톱밥과 삼나무 톱밥을 7 : 3 또는 5 : 5로 혼합한 후 고압, 고온 성형기에서 수분함량 8% 정도로 압축한 다음 이를 봉지에 넣고 물을 부어 톱밥배지를 만들면 일반 활엽수 톱밥배지에서와 같이 버섯을 발생시킬 수 있다고 하였으며(伊藤, 1995), 참나무류 톱밥에 20% 정도의 낙엽층 톱밥을 섞을 경우에도 버섯 발생량은 큰 차이가 없는 것으로 보고된 바

있다(龍과 南, 1995). 침엽수 톱밥을 이용하여 팽나무버섯을 병 재배한 톱밥배지를 즉시 사용하면 수량이 떨어지지만, 3개월 정도 야외에서 관수하면서 적치하였다가 이용하면 활엽수 톱밥을 이용하는 경우와 비슷한 수량의 버섯 수확을 할 수 있다고 하였다(Ohga 등, 1993). 톱밥배지에 목탄가루를 첨가할 경우 잡균 오염도 다소 줄어들고 버섯 발생량도 다소 늘어난다는 보고도 있으며(Togashi 등, 1995), 활엽수톱밥 8 kg에 밀기울 2 kg 혼합구에 비하여 톱밥 8 kg + 밀기울 0.8 kg + 증수제 B(일본에서 시판되는 특정회사의 제품) 1.2 kg을 섞은 배지는 262.3 g : 345.6 g으로 일부 증수제 처리의 효과가 있었다(龍과 南, 1995). Yoneyama 등(1993)은 3종의 표고 균주를 이용하여 공조재배시 암배양, 명배양, 버섯발생시의 온도를 각각 달리 처리한 결과 균주별로 생산량의 차이가 크게 나타나고 있으며, 생산성이 높았던 균주의 경우 암배양-명배양-버섯발생의 온도를 22°C-25°C-13°C로 하였을 경우 버섯 생산량이 가장 많았다고 하였다. 우리나라에서의 톱밥재배 연구들은 주로 표고의 배지조성을 달리하여 시험하거나 자실체의 발생환경에 대하여 시험하여 왔다. 근래 산림과학원을 중심으로 톱밥재배용 품종의 개발에 박차를 가하고 있으며(박 등, 2006), 주로 액체종균을 이용한 톱밥재배에 대한 연구가 있어왔다(이 등, 1998; 이 등, 2006).

3. 표고의 효소

표고는 목재를 부후하여 영양원으로 이용하는 백색부후균으로 목재다당류인 cellulose와 lignin을 주로 분해하는 것으로 알려져 있다. Cellulose의 분해에 관여하는 가수분해 효소는 exo-1,4- β -D-glucanase (exo-cellobiohydrolase), endo-1,4- β -D-glucanase (endo-cellobiohydrolase)와 β -D-glucosidase이며 이것은 균사생장 중 분비된다(Wood and McCrere, 1979). 이것은 cellulose만을 탄소원으로 이용하여 표고균사가 성장하기에는 어렵다고 하였으며 표고균사가 골목에서 균총을 형성하면서 자란 것이 골목내의 섬유소를 완전하게 간직한다고 하였다(Leatham, 1985b) 또한 백색부후균의 일부는 cellobiose 산화효소인 quinone oxidoreductase가 cellulose 분해에 관여한다고 하였으나(Eriksson, 1978; Wood and McCrere, 1979) *Pleurotus ostreatus* Fr.등은 이 효소가 본질적으로 존재하지 않으며, 표고 역시 존재하지 않는 것으로 존재하지 않는 것으로 보고되어 있다(Ander and Eriksson, 1977; Leatham, 1985b). 참나무 톱밥배지에서 균사생장 초기에는 hemicellulase와 pectinase가 주로 분비되고, 중기에는 laminarinas, β -D-glucosidase, β -D-mannosidase 등의 cellulose와 hemicellulose를 분해하는 효소가 많이 분비되었으며, 말기에는 endo-1,4- β -D-glucanase, β -D-glucosidase, β -N-acetyl-D-glucosaminidase, acid-phosphatase와 hemicellulase

의 효소활성이 높았다고 보고하였다(Leatham, 1985b). Glucoseamime의 함량은 표고균사가 만연된 골목에서 버섯수확량은 증가하였으나 계속되는 자실체의 발생은 glucoseamime의 함량을 낮춘다고 하였다(Tokimoto and Fukuda, 1981). 이는 축적된 glucoseamime이 세포벽에 원기와 자실체를 발생시키는 전구물질이나 polymer로 존재하기 때문인 것으로 알려져 있다(Madelin, 1956; Wessels, 1965). 표고 자실체의 발생시 참나무 골목내에서는 cellulase와 xylanase의 역가가 증가된다고 보고되었다(Tokimoto 등, 1977; Ishigawa 등, 1983). 이들 효소의 증가는 골목을 부분적으로 가수분해하여 골목내에 탄소원을 생성함으로써 자실체의 성장에 필요한 양분을 지원한다고 하였다(Tokimoto and Kawai, 1975).

백색부후균에 의한 lignin의 분해에 관여하는 효소는 미생물이 분비하는 세포외 효소인 lignin-peroxidase, Mn-peroxidase와 laccase의 3종으로 알려져 있으며 이들은 phenoloxidase라고도 한다(水野와 川畠, 1992). 표고는 이들 효소중 Mn-peroxidase와 laccase만이 분비되는 것으로 알려져 있다(Winkelmann, 1991). Leatham(1985a)은 표고 균사가 성장할 때 배지 내에서 리그닌의 분해는 접종 15일 후부터 일어나기 시작했으며 150일간의 배양에서 약 40%의 리그닌이 분해되었다고 하였으며 ligninolytic activity는 glucan의 분해가 최고로 될 때 리그닌의 분해도 최고로 이루어졌다고 하였다. Phenoloxidase에는 기질의 특이성과 저해제(inhibitors)의 사용에 따라 3종류로 나뉘어지며 이들은 모두 산소의존적(Oxygen-dependent)이며 구리가 결합(copper-containing)된 glycoprotein이다.

Tyrosinase는 생체내에서 분비되는 phenoloxidase의 일종이며 monophenol oxidase와 catechol oxidase의 활성을 갖는다. 그리고 공기중의 CO₂가스에 의해 그 활성이 저해된다고 하였다(Mason, 1957). Tyrosinase는 곤충의 표피를 단단하게 하고 색깔에 관계된 효소이다. 곤충의 표피형성동안 extracellular phenolic substrates는 o-quinone을 형성하기 위해 산화되며 단백질과 불용성의 교차 결합된 단백질복합체를 형성하는 quinone과 반응한다(Mason, 1955; Hackman, 1959). 고등식물의 이차세포벽의 형성과정에서도 앞의 곤충표피세포에서와 비슷한 기작으로 lignin이 분해된다고 보고하였다(Higuchi, 1959; Northcote, 1972).

4. 표고의 갈변

표고는 균사에서 갈변이 일어난다. 이와 같은 균사체의 갈변은 재배시기를 결정할 수 있을 뿐만 아니라 원목의 표피와 같이 배지내의 수분의 증발을 방지하고 병원균의 침투를 방지하여 표고톱밥재배에서는 상당히 중요한 일련의 과정이라 하겠다. 표고에서 균사의 갈변현상에 관한 연구는 미진한 실정이지만, 표고의 자실체에서 병원균의 감염

으로, 또는 노화되어 주름살의 갈변이 일어나는 것에 대하여는 많은 연구가 보고되어 있다(Gong 등, 1993; 1994). 時本(1985)은 표고균사와 *Trichoderma* 균을 한천배지에서 대치 배양하였을 때 주로 병원균의 침투시 접촉부분의 균사에서 갈색으로 변색이 일어나며 이때 갈변부의 polyphenoloxidase 효소의 활성이 급격히 높아 졌다가 낮아지면서 표고균사가 용균되는 현상을 나타내었다고 보고하였으며, 또한 골목 내에 표고 병원균인 *Trichoderma* 속 균이 침입하였을 때 균사는 갈색으로 띠를 형성하며 이때 역시 갈변을 촉진시키는 효소는 phenoloxidase라고 하였으며 어린 골목일수록 효소활성이 높았다고 하였다. 골목에서 병원균의 침투시 골목의 접촉부위에서부터 주로 병원균의 감염이 일어나고 침입부위의 균사는 죽거나, 표고 골목 특유의 황백색 또는 흑갈색의 변색을 나타낸다(小松, 1975; 松尾, 1980). 자실체의 저장 중 주름살의 갈변이 이루어지며 이때 갈변에 관여하는 효소는 phenoloxidase라 하였으며 ethyl alcohol에 의해 억제된다고 하였다(Gong 등, 1993). 생체내에서 분비되는 phenoloxidase효소는 tyrosinase, laccase와 peroxidase 등이며 이들은 과일, 채소류와 다른 음식들에서 갈변을 일으킨다고 보고되어 있다(Mayer and Harel, 1979, 1991; Vamos-Vigyazo, 1981; Mayer, 1987; Robinson, 1991). 이들 효소들은 버

섯 내에도 널리 존재하고 있으며(Kummar and Flurkey, 1992; Perry et al., 1993; Turner, 1974; Wood, 1980a; Vamos-Vigyazo, 1981) 이들 효소 중 tyrosinase가 균사의 갈변화에 관여한다는 보고(Yvonne 등, 1994)가 있다. 양송이에서 가장 풍부한 물질인 γ -glutanyl-hydroxybenzene에 tyrosinase작용의 결과로 양송이 자실체가 갈변현상을 나타내며 이 작용은 진한색갈을 띤 melanin을 형성한다(Yvonne 등, 1994). 멜라닌은 자연계에 널리 분포하는 페놀류의 생물고분자 물질로 검은 색소와 단백질의 복합체이다. 우리주변에서 멜라닌의 합성은 사과, 감자, 바나나의 잘린 표면이 공기 중에 노출되었을 때 발생하는 갈변이나, 동물의 외피, 깃털, 피부, 머리, 눈 등에서 관찰되며(Lerner and Fitzpatrick, 1950; Bell and Weeler, 1986), 식품에서는 채소, 과일, 생선 등의 질을 저하시키기도 한다(Chen 등, 1991). 멜라닌의 생합성은 주로 tyrosinase의 작용에 의하여 이루어지는 것으로 보고되어 있다(Korner & Pawelek, 1982). 멜라닌의 생성 및 tyrosinase에 의한 변색에 관여한 유전자에 관한 연구는 1980년대 유전자 재조합 기술이 도입된 이래 분자유전연구에서 커다란 진보를 해왔다. Kimura와 Takashi(1993)는 1, 8-dihydroxynaphtalene에서 흑색의 색소를 분비하는 사상균인 *Alternaria alternata* 균의 멜라닌 생합성에

표 1. 년도별 표고 수출입 현황'

년도	표고버섯(신선/냉장)				표고버섯(건조)			
	수입량(kg)	수입액(\$)	수출량(kg)	수출액(\$)	수입량(kg)	수입액(\$)	수출량(kg)	수출액(\$)
1990	-	-	3,616	28,970	333,370	524,466	1,000,062	22,961,620
1991	-	-	2,098	17,552	651,819	1,402,900	863,663	25,177,689
1992	35,163	75,422	3,616	29,168	1,204,820	3,750,626	704,031	18,309,274
1993	-	-	8,631	83,503	514,308	831,527	595,632	13,186,096
1994	55,980	96,972	51,344	492,265	866,124	1,538,129	415,451	11,117,270
1995	-	-	126,152	729,267	495,341	867,274	601,364	13,921,933
1996	2,706	147,041	30,792	682,690	836,846	2,314,658	324,782	8,731,639
1997	20,300	58,598	7,264	96,342	1,297,629	3,201,437	322,104	8,195,374
1998	3,200	7,006	6,195	34,689	1,135,716	2,024,324	367,077	8,605,391
1999	56,822	99,882	18,712	136,493	1,040,844	2,421,849	392,266	7,475,323
2000	58,751	95,086	267	702	1,079,030	2,638,685	226,099	4,997,190
2001	50,946	77,580	67,726	222,888	811,901	1,832,030	191,429	4,109,925
2002	7,740	15,601	36,506	136,523	905,383	2,344,744	254,560	4,168,998
2003	-	-	12,205	51,416	999,565	3,214,578	362,090	6,350,315
2004	114,639	213,531	610	1,385	1,254,196	3,843,191	234,644	4,581,775
2005	334,525	665,046	1,444	11,130	1,079,975	3,380,877	349,342	4,859,118
2006	639,009	1,667,000	476	9,000	892,912	3,719,000	197,262	3,390,000
2007	262,872	613,000	1,893	27,000	1,159,397	5,236,000	345,568	5,745,000

요구되는 유전자를 연갈색 색소생성 돌연변이에 정상색소 생성 균주(wild type)로부터 cDNA complementation 방법을 통해 분리 보고한 바 있다. Kupper(1989)는 붉은빵곰팡이균인 *Neurospora crassa*의 색소를 띤 균사로부터 제작된 cDNA library로부터 tyrosinase 유전자 특이 primer를 이용하여 tyrosinase 유전자를 분리하였다. 이외에 Fujita 등(1995)은 *Aspergillus oryzae* 세포 내에 분비되는 tyrosinase를 분리 정제하여 아미노산 염기서열을 분석하여 이를 토대로 PCR primer를 제작하여 protyrosine 유전자 *melO*를 분리하였다. 최근 Liang과 Pardee(1992)는 동물들의 life cycle에서 생물체내의 genome내에 박혀있는 수백만 개의 gene이 시기적으로 공간적으로 어떻게 생물체내의 조직이나 기관 선택적으로 mRNA와 단백질로 발현되는가 하여, 이와 같이 복잡한 regulatory circuitry에서의 불규칙성(abnormality)은 생리적인 변화 또는 이병상태와 같은 차이의 기초가 되는 원인의 하나라고 믿었다. 따라서 차이를 나타내어 발현되는 유전자의 분리과 특성검정은 이와 같이 중요한 생물학적 의문점을 이해하는데 첫 단계라 할 수 있어 mRNA를 분리하여 비교하는 방법으로 RNA differential display라는 기술이 사용되고 있다.

5. 결론 및 전망

우리나라의 표고 생산량으로 보면 총 표고생산액 1,959 억원, 생표고 생산량 23,592톤, 건표고 생산량 2,044톤의 국내 표고시장에서 표고톱밥재배는 아직까지 생산량 5% 내외만을 차지하고 있을 뿐이다 (산림청, 2007). 표고의 수출입현황을 보면 표 1과 같다. 건조표고의 수출입량이 비슷한데 비하여 생표고의 수출량은 수입량에 비하여 현저히 적은 것을 볼 수 있다. 앞으로 톱밥재배에 필수적인 갈변에 대한 효소적인 이해를 실제 재배에 접목시켜 톱밥재배 기간을 단축시키거나 생산성을 비약적으로 증대시키는 등 톱밥재배를 활성화시킨다면 품질이 높은 생표고를 낮은 가격으로 생산해 낼 수 있어 얼마든지 공격적인 수출이 가능하리라 생각된다.

참고문헌

Ander, P. and Eriksson, K. E. 1977. Selective degradation of wood components by white-rot fungi. *Physiol. Plant* 41 ; 239-248.
 Ando, M. 1974. Fruit-body formation on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. on artificial media. *Mushroom Sci.* IX(Part1) ; 415-422.
 Bell, A. A. and Weeler, M. H. 1986. Biosynthesis and function of Fungal melanin. *Ann. Rev. Phyto pathol.* 24 ; 411-451.
 Campbell, A. C. and Slee, R. W. 1987. Commercial

cultivation of shiitake in Taiwan and Japan. *Mush. J. Tropics.* 7 ; 127-134.
 hang, S. T. and Miles, P. G. 1987. Historical record of the early cultivation of *Lentinus* in China. *Mush. J. Tropics.* 7(1) ; 31 - 37.
 Chen, J. S., Wei, C., and Marshall, M. R. 1991. Inhibition mechanism of kojic acid on polyphenoloxidase. *J. Agric. Food Chem.* 39 ; 1897-1901.
 Diehle, D. A. and Royse, D. J. 1985. Shiitake cultivation on sawdust : evaluation of selected genotypes for biological efficiency and mushroom size. *Mycologia* 78 ; 929-933
 Eriksson, K. E. 1978. Enzyme mechanisms involved in cellulose hydrosis by the white rot fungus *Sprotrichum pulverulentum*. *Biotechnol. Bioeng. Symp.* 10 ; 317-332.
 Fujita Y., Uraga, Y., and Ichisima, E. 1995. Molecular cloning and nucleotide sequence of the protyrosinase gene, *melO*, from *Aspergillus oryzae* and expression of the gene in yeast cells. *Biochemica et Biophysica Acta* 1261 ; 151-154
 Gong, Y., Abe, K., and Chachin, K. 1993. Relation between endogeneous ethyl alcohol and browning in shiitake(*Lentinus edodes* Sing) mushroom during storage in polyethylene film bags. *Nipon Shokuhin Kogyo Gakkaishi.* 40 ; 708-712.
 Gong, Y., Ueda, Y., Abe, K., and Chachin, K. 1994. Study of phenol oxidase on browning of shiitake(*Lentinus edodes* Sing.) mushroom. *Nipon shokuhin Kogyo Gakkaishi.* 41 ; 606-610.
 Hackman, R. H. 1959. Biochemistry of the insect cuticle. *Proceeding of the 4th International Congress of Biochemistry, Vienna, 1958.* 14 ; 48-62.
 Han, Y. H., Yeng, W. T., Chen, L. C. and Chang, S. T. 1981. Physiology and ecology of *Lentinus edodes*(Berk.) Sing. *Mush. Sci.* 9(1) ; 477 - 487.
 Higuchi, T. 1959. Studies on the biosynthesis of lignin. *Proceeding of the 4th International Congress of Biochemistry, Vienna, 1958.* 2 ; 161-188.
 Imai, S. 1938. Studies on the Agaricaceae on Hokkaido. I. *J. Fac. Agric., Hokkaido Imp. Univ.* 43 ; 55-57.
 Ishigawa, H., Oki, T., and Senba, Y. 1983. Changes in the activities of extracellular enzymes during the fruiting of the mushroom *Lentinus edodes*(Berk.) Sing.. *Mokuzai Gakkaishi* 29 ; 280-287.
 Kerner, A. and Pawelek, J. 1982. Mammalian Tyrosinase catalases three reaction in biosynthesis of melanin. *Science* 217 ; 1163-1165.
 Kimura, N. and Takashi, T. 1993. Gene Cluster involved in Melanin biosynthesis of the filamentous fungus *Alternaria alternata*. *J. of Bacteriology.* 175(14) ; 4427-4435
 Kobayasi, Y. and Shimizu, D. 1951. Nomenclature, distribution and deformation of Shiitake. *J. Jpn. Bot.* 26 ; 29-31.
 Kupper, 1989. Isolation and characterization of the tyrosinase gene from *Neurospora crassa*. *J. Biol. Chem.* 264 ; 17250-17258
 Leatham, G. F. 1985a. Growth and development of *Lentinus*

- edodes* on a chemically defined medium. In the British Mycology Society Symposium Series - Developmental Biology of the *Agarics*, ed, Moore, D., Casslton, L. A., & Frankland, J. C. pp 403-427. Cambridge, England: Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Leatham, G. F. 1985b. Extracellular enzyme produced by the cultivated mushroom *Lentinus edodes* during degradation of a lignocellulosic medium. *Appl. Environ. Microbiol.* 50 ; 859-867.
- Leatham, G. F. and Kirk, T. K. 1983. Regulation of lignolytic activity by nutrient nitrogen in White rot basidiomycetes. *FEMS Microbiol. Lett* 16 ; 65-67.
- Lerner, A. B. and Fitzpatrick, I. B. 1950. Biochemistry of melanin formation. *Physiol., Rev.* 30 ; 91- 126.
- Liang, P. and Pardee, A. B. 1992. Differential display of eukaryotic messengers RNA by means of the polymerase chain reaction. *Science* 257 ; 967-971.
- Lou, Longhou. 1981. Production of *Black Mushroom (Lentinus edodes)*. Beijing Agricultural University. Popular Science Publishing House. Beijing, China.
- Madelin, M. F. 1956. Studies on the nutrition of *Coprinus lagopus* Fr., especially as affecting fruiting bodies. *Ann. Bot. (London)* N. S. 20 ;307-330.
- Mason, H. S. 1955. Comparative biochemistry of phenolase complex. *Advances in Enzymology* 16; 105-184.
- Mason, H. S. 1957. Mechanism of Oxygen metabolism. *Advances in Enzymology* 18; 79-233.
- Mayer, A. M. and Harel, E. 1979. Polyphenoloxidase in plants. *Phytochemistry* 18 ; 193-215.
- Mayer, A. M. and Harel, E. 1991. Polyphenoloxidase and their significance in fruit and vegetables. Ch 9, in *Food Ezymology*. P. F. Fox(ED). p373- 398. Elsevier Science Publisher, NY.
- Miller, M. W. and Jong, S. C. 1986. Commercial cultivation of shiitake in sawdust filled plastic bags. in *Cultivating Edible Fungi : Proceedings of the International Symposiums on Scientific and Technical Aspects of Cultivating Edible Fungi*, edited by Wuest, P. J., Royse, D. J., and Beelman, R. B. Elsevier Science Publisher, NY.
- Mori, K., Toyomasu, T., Nanba, H., and H. kuroda, 1987. Antitumor activity of fruit bodies of edible mushrooms orally administered to mice. *Mush. J. Tropics*, 7 ; 121-126.
- Nisikado, Y. and Y. Miyawaki, 1943. On the relationship of temperature and light to the development of sporophores in *Cortinellus berkeleyanus*. *Ber. Ohara Inst. Landw. Forsch.* 9 ; 230 - 238.
- Northcote, D. H. 1972. Chemistry of the plant cell wall. *Annual Review of Plant Physiology.* 23 ; 113-132.
- Ohira, I. and Matsumoto, T. 1984. Effects of temperatures on the yield and shape of *Lentinus edodes* fruit bodies. *Rept. Tottori Mycol. Inst. Japan*, 22 ; 76 - 77.
- Ohga, S., Yano, S., Kira, K. 1993. Availability of enokitake mushroom, *Flammulina velutipes* cultural waste for use as a substrate in the sawdust-based cultivation of shiitake, *Lentinus edodes* *Journal of the Japan Wood Research Society.* 39(12): 1443-1448
- Oki, T., Watanabe, H., and Ishikawa, H. 1981. The biodegradation of lignin by shiitake *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Mokuzai Gakkaishi* 27 ; 696-702.
- Passecker, F. 1933. Kulturversuche mit dem japanischen Shiitake oder Pasaniapilz. *Die Gartenbauwissenschaft* 8 ; 359 - 364.
- Royse, D. J. 1985. Effect of spawn run time and substrates nutrition on yield and size of the shiitake mushroom. *Mycologia.* 77(5) ; 756-762.
- Singer, R. 1961. *Mushrooms and Truffles : Botany, Cultivation and Utilization*. Interscience Publishers, New York.
- Togashi, I., Gisusi, S., Harada, A., and Kato, Y. 1995. Effect of adding charcoal powder to sawdust beds of shiitake, *Lentinus edodes*. *J. Hokkaido For. Prod. Res. Inst.* 9(5): 23-26.
- Tokimoto, K., Tsuboi, M., Ozaki, E., and Komatsu, M. 1980. Relation between rotted degree of bed-log and fruit body formation in *Lentinus edodes*(Berk.) Sing.. *Rep. Tottori Mycol. Inst. (Japan)* 18 ; 186-189.
- Tokimoto, K., and Fukuda, M. 1981. Relation between mycelium quantity and fruit-body yield in *Lentinus edodes* bed-logs. *Taiwan Mushrooms* 5 ; 1-5.
- Tokimoto, K., and Kawai, A. 1975. Nutritional aspects on fruit-body development in replacement cultures of *Lentinus edodes*(Berk) Sing.. *Rep. Tottori Mycol. Inst. (Japan)* 12 ; 25-30.
- Tokimoto, K., and Komatsu, M. 1978. Biological nature of *Lentinus edodes*. pp 445-459. In Chang, S. T., and Hayes, W. A. (ed), *The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms*. Academic Press, New york.
- Tokimoto, K., and Komatsu, M. 1982. Influence of temperature on mycelium growth and primordium for *Lentinus edodes*. *Trans. Mycol. Soc. Japan.* 23 ; 385-390.
- Tokimoto, K., Kawai, A., and Komatsu, M. 1977. Nutritional aspects of bed-logs of *Lentinus edodes*(Berk) Sing. during fruit body development. *Rep. Tottori Mycol. Inst. (Japan)* 15 ; 65-69.
- Vamos- Vigyazo, L. 1981. Polyphenoloxidase and Peroxidases in fruits and vegetables. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15 ; 49-127.
- Wessels, J. G. H. 1965. Biochemical processes in *Schizophyllum commune*. *Wentia* 13 ; 1-113.
- Winkelmann, G. 1991. *Microbial degradation of natural products*. VCH, New York, 161-192.
- Wood, T. M. and S. I. McCrere. 1979. Synergism between enzymes involved in the solubilization of native cellulose. *Adv. Chem.* 181 ; 181-209.
- Yoneyama, S. and Takizawa, N. 1993. Effect of temperature on sawdust cultivation of shiitake *Lentinus edodes*(Berk) Sing. in the controlled room . *J. Hokkaido Fro. prod. Res. Inst.* 7(6) ; 22-26.
- Yvonne A., Gerritsen, M., Chrystelle G., Chapelon, J., and Harry J. Wichers. 1994. The low-isoelectric point tyrosinase of *Agaricus bisporus* may be a glycoprotein. *Phytochemistry.* 35 ; 573-577.

- 權永大. 1957. 표고 種菌培養과 栽培에 對하여. 林試年報 6 ; 46-52.
- 金漢慶, 朴容煥, 車東烈, 鄭煥彩. 1987. 표고 톱밥 人工栽培에 關한 研究. 韓國菌學會誌 15(1) ; 42-47.
- 大森清壽. 1993. 菌床 シイタケ의 づくり方 ; 206pp. 農文協.
- 閔斗植. 1991. 참나무類 chips을 利用한 표고 栽培와 發殘渣의 沙 료화. 韓國林學會誌 80(4) ; 436-444.
- 閔斗植. 1993. 참나무類 chips을 利用한 표고 栽培. 韓國木材工學 會誌. 21(1) ; 7-13.
- 閔斗植. 1994. 落葉松 톱밥을 利用한 표고 栽培와 經濟性. 韓 國林學會誌 83(4) ; 512-520.
- 박원철, 윤갑희, 가강현, 박현, 이봉훈. 2006. 표고재배 및 병 해충 방제기술. 국립산림과학원 연구자료 제 258호.
- 산림청. 2007. 임업통계연보.
- 小松光雄. 1975. 九州地方においてシイタケほだ木に被害を えている 菌について. 菌 21(2) ; 2-13.
- 松尾芳徳. 1980. シイタケほだ木の黒腐病に關する研究. 大 分縣林試研報 9 ; 1-212.
- 水野卓, 川合正允. 1992. きのこの化學・生化學. 學會出版 セ ンター. 東京. pp. 183-196.
- 龍澤, 南海雄. 1995. 工造栽培. '96年版 きのこ年鑑 ; pp. 123- 128. 農村文化社.
- 伊 武. 1995. 固形培地 を 使つた栽培. '95年版 きのこ年鑑 ; ipp. 119-123. 農村文化社.
- 이봉훈, 박원철, 윤갑희. 2006. 톱밥중균, 성형중균 및 액체중 균을 사용한 표고톱밥배지에서의 생산성 비교. 한국균학회 지 34: 79-83.
- 李應來, 李俊三, 黃啓性. 1980. 표고의 各 系統別 發生量과 生 理的 및 形態的 特性에 關한 研究. 韓國菌學會誌 8 ; 33-48.
- 이태수, 조남석, 민두식. 1998. 액체중균 집중에 의한 표고톱 밥재배효과. 목재공학회지 26: 19-28.
- 黃年來. 1994. 中國香菇栽培學 : 477pp. 桑海科學技術文獻出 版社.