THE KOREAN JOURNAL OF MYCOLOGY
Vo. 31, No 1, p22-27 April 2003
Copyright © 2003 by The Korean Society of Mycology
Printed in S. KOREA

느타리 · 팽나무버섯 재배에서 액체종균 배양 및 접종시스템 적용방법의 구명

홍성준 · 이원호 · 신범수[1] · 성재모*

강원대학교 농업생명과학대학 생물환경학부, [1]농업공학부

Production of *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes* Using Liquid Spawn Inoculation System

Sung-Jun Hong, Won-Ho Lee, Beom-Soo Shin[1] and Jae-Mo Sung*

Division of Environmental Biology, and [1]Division of Agriculture Engineering, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
(Received February 19, 2003)

ABSTRACT: This research aimed at developing the efficient method and device applicable to the inoculation of mushroom using (spawn was intended to utilize) liquid spawn for the stable production of mushroom. For the mass production of liquid culture, optimal inoculum volume and cultural period were 5~6% and 4 days for *Flammulina velutipes* and 4% and 5 days for *Pleurotus ostreatus*. Fruit body weight in 850 *ml* polythene bottle was highest at 6% or 15 *ml* liquid inoculum for *P. ostreatus* and 4~6% or 10~15 *ml* for *F. velutipes*. Weight of fruit body by the application of liquid spawn inoculation system increased up to 33.7% for *P. ostreatus* and 32.8% for *F. velutipes*, respectively, compared to conventional spawn making system. The system of liquid spawn inoculation was successfully operated without malfunction in opening or closing the lid, and it took 26 min to inoculate 1200 bottles.

KEYWORDS: ***Flammulina velutipes*, Liquid spawn inoculation system, Mushroom spawn, *Pleurotus ostreatus***

버섯의 병 재배는 재배역사가 짧고 생산량도 비교적 적지만 기계화를 통한 생력화 및 자본 · 기술 집약적 농업으로 연중 계획생산을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 병재배 버섯으로는 팽나무버섯, 애느타리, 버들송이, 만가닥버섯, 목이, 잎새버섯, 노루궁뎅이, 영지버섯 등의 재배법이 개발되어 있으나 현재는 팽나무버섯이 주종을 이루고 있다(차, 1995). 팽나무버섯의 인공적인 재배는 1899년 일본에서 감나무 원목을 이용하여 재배가 시작된 이래, 포자접종방법, 톱밥을 이용한 상자재배법 등을 거쳐 1960년 이후부터는 실내에서 톱밥과 미강을 기질로 하여 polypropylene bottle로 재배를 실시하였다(Chang *et al.*, 1989).

느타리버섯의 인공재배 방식은 Flack(1917)에 의해 원목재배로 시작되었으며, Block 등(1958)에 의해 톱밥재배가 시도되었다. 국내에서 느타리는 볏짚과 폐면을 이용한 재배방법이 개발되어(유, 1990) 현재 널리 보편화되어 생산이 되고 있으나 자동화 및 오염의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 polypropylene bottle이나 bag을 이용하여 재배함으로써 오염을 극소화시킴과 동시에 자동화시스템을 이용한 재배를 가능하게 되었다.

식용버섯의 인공재배를 위해서는 종균, 배지재료, 재배시설, 재배기술이 필수적으로 요구되지만(Zadrazil, 1974), 그 중에서도 유전적으로 형질이 안정하며, 잡균에 대한 저항성이 강한 우량종균의 확보는 최우선적으로 갖추어야 한다(Goltapeh *et al.*, 1989). 이러한 필요조건을 충족시킬 수 있는 새로운 형태의 종균으로 균사체 현탁액인 액체종균(liquid spawn)을 이용하여 버섯을 재배할 할 수 있음을 제안하였다(Humfeld, 1984; Shiio *et al.*, 1974).

버섯재배에 영향을 미치는 여러 가지 환경요인 중 종균의 활력은 중요한 문제임으로 현재 사용되고 있는 고체종균보다 액체종균이 우수하다는 것을 보고하였다(성, 1997; 성 등, 1998). 현재 가장 많이 사용되는 톱밥종균은 일반재배농가에 보편화되어 있으나 종균의 활력검증과 버섯의 발생 및 생산 예측이 불투명하여 실제 재배농가에서 어려움을 많이 겪고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 최근 느타리와 팽나무버섯에 대하여 액체종균을 이용한 버섯 재배가 시도되고 있다(Ryu *et al.*, 1998; Sung *et al.*, 1999). 현재 액체종균을 이용한 버섯 재배가 점차 증가하는 추세이나 접종할 수 있는 기계적 자동화에 대한 연구가 미흡하여 작업능률의 단축 효과를 기대할 수 없었다. 따라서 접종방법의 기계화로 적은 접종량으로도 균일한 배양과 잡균의 오염을 감소시킬 수 있고, 이로 인해 버섯생산성이 향상될 수 있는 접종방법의 개선이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 병재배 버섯 안정생산을 위한 우량종균 확보 방법으로서 액체종균을 활용하고자 하였다.

*Corresponding author <E-mail: jmsung@kangwon.ac.kr>

또한 본 연구는 병버섯 재배 방식이 기존의 톱밥종균과 같은 고체종균에서 액체종균을 이용하는 방식으로 변화하는 시점에서 액체종균을 버섯재배에 효율적으로 사용할 수 있는 접종방식 및 접종기를 이용하여 버섯생산의 실효성 및 생산성 향상을 확인하고자 하였으며, 정량의 액체종균을 배지에 균일하게 접종할 수 있는 접종시스템에 적용시킬 수 있는 배양기와 액체종균 대량배양방법 및 자실체 생산에 관한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시균주

본 실험에 사용한 균주는 농촌진흥청에서 품종을 육종·보급하여 농가에서 재배되고 있는 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)[농기 2-1(P-001)] 1품종과 팽나무버섯(*Flammulina velutipes*)[팽이 2호(F-002)] 1품종을 공시균주로 사용하였다. 공시균주는 Potato Dextrose Agar(PDA) 배지에 접종하여 15일 마다 계대배양하면서 접종원으로 사용하였다.

자동접종시스템 및 액체종균 배양장치

균사와 함께 배양액이 분사방식으로 접종되도록 하기 위해 적정 구경의 노즐을 선발하고 병 재배방식에 적합한 자동화 시스템 장치를 만들었다(Fig. 1). 배양기내로 주입되는 공기압이 매우 높기 때문에 배양용기의 소재 및 배양기와 연결된 기본라인은 고압에 의한 물리적 충격을 이겨낼 수 있는 소재를 사용하였으며 이와 동시에 배양기의 무균성 확보를 위해 고온증기 살균에 견딜 수 있도록 발효조를 제작하였다.

자동접종시스템과 액체종균 배양장치는 접종부와 배양병 이송부로 나눌 수 있고 접종부는 배양병을 고정하는 장치, 뚜껑을 고정하는 장치와 뚜껑을 여는 장치, 노즐 이송장치로 구성되어 있는 액체종균 접종시스템을 제작하였다(Fig. 2). 이 기계는 종균배양탱크와 교반기, 분사노즐, 솔레노이드 밸브, 공기압축기, 기체 압력조절기, 유체 압력조절기 등으로 구성되어 있으며, 각종 조작기는 PLC

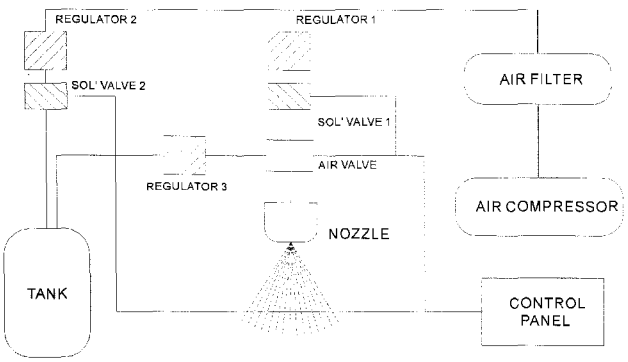

Fig. 1. Schematic liquid spawn inoculation system using single-fluid nozzle system.

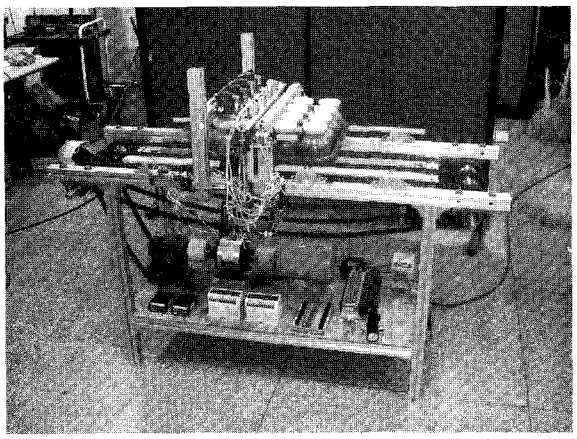

Fig. 2. Outer structure of liquid spawn inoculation system.

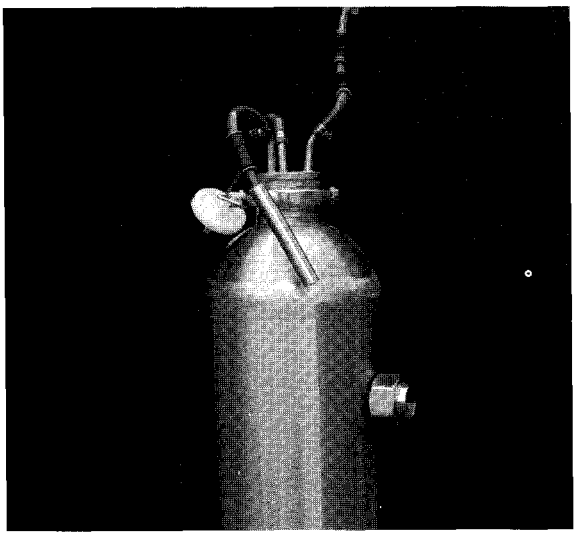

Fig. 3. Outer structure of 12 *l* steel air-lift fermenter.

(Master-10s, LG, KOREA)로 제어될 수 있게 되어있다.

기포탑형 발효조(airlift fermenter)를 폭 : 높이(W/H)가 1 : 4인 12 *l* 용기 steel airlift fermenter 제작하여 각 공시균주의 대량배양에 이용하였다(Fig. 3). 액체종균 접종에 적용할 수 있는 배양라인으로 air line은 8 mm air hose를 종균접종 line은 12 mm air hose를 사용하였다(Fig. 3).

접종조건 및 균체량 변화

자동접종장치를 이용하여 분사시간(초) 및 액체 분사압(kgf/cm^2)의 조절에 의한 분사량 및 균체량조사를 위해 분사시간은 0.3, 0.6, 0.9(초) 그리고 분사압은 0.4, 0.6, 0.8, 1.0(kgf/cm^2)으로 조절하였으며 사용된 액체종균은 배양액에 대한 원균 접종량(v/v)은 1%, 2%, 3% 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%로 접종 후 배양하여 사용하였다. 또한 분사량에 의한 균체량 조사를 위해 일류체 노즐을 통해 분사된 종균을 채취하여 filter paper(Whatman No. 2)에 여과시킨 후 80°C의 dry oven에서 함량·건조하여 균체량

을 측정하였다.

액체종균의 배양조건

배지를 액체종균 자동접종시스템 배양장치에서 121°C, 15 psi에서 90분간 가압 살균하였다. 대량 배양의 접종원은 직경 5 mm 균사절편을 5개 접종하여 느타리버섯은 25°C, 125 rpm, 그리고 팽나무버섯의 경우는 21°C, 125 rpm으로 7일 동안 배양하였으며, 균사체의 생육형이 pellet 형태를 나타내기 때문에 homogenizer를 이용하여 균질화를 시켜 대량배양의 접종원으로 사용하였다. 접종 후 air-filter를 통해 제균된 공기로 통기를 실시하였으며, 온도 23±2°C인 배양실에서 배양하였다. 대량배양에서의 생육측정은 배양된 배양액을 100 mesh의 체로 균사체와 배양액을 분리하였으며, 80°C의 dry oven에서 함량·건조하여 건조중량을 측정하였다.

접종량에 따른 생산성 및 작업 효율성

자동접종시스템에 적합한 배지로 느타리버섯은 Poplar 톱밥에 미강을 20% 첨가하였고, 팽나무버섯의 경우는 미송에 미강을 20% 첨가하여 내열성 850 *ml* 프라스틱병에 수분 65%가 되게 자동입병기로 입병, 충진 후 121°C, 15 psi 고압살균기에서 90분간 살균 후 예냉실에서 냉각시켜 접종준비를 하였으며, 액체종균의 배양은 원균 접종량을 기준으로 2%, 4%, 6%, 8%, 10%로 접종을 한 후 4일간 23±2°C에서 배양하여 자동접종장치의 액체종균으로 사용하였다. 접종실(무균실)에서 액체종균이 들어있는 배양기를 자동접종장치에 연결하고 분사압과 분사시간을 제어하여 850 *ml* 프라스틱병 톱밥배지에 접종하였다. 프라스틱병에서의 균사배양 및 자실체의 생산은 관행재배에 따라 실시하여 균사생장 및 자실체를 조사하였다. 자실체 수량 조사는 병당 생산되어진 총 무게(g), 경장(mm), 갓경(mm), 유효경수(개)를 조사하였다. 액체종균 자동접종시스템과 고체종균 자동시스템의 자실체 생산 비교 실증시험은 4×4배열의 병 재배용 tray를 자동접종장치에 적용하여 사용하였다. 고체종균의 경우는 10~15 g씩 접종을 하였다. 두 가지 시스템의 자실체 수량조사는 1 tray에서 수확되는 전체량을 기준으로 수량을 조사하였다. 유효경수는 1병을 기준량으로 하여 평균을 내었고, 갓경과 경장은 한 개체를 기준으로 하여 평균을 내었으며, 자실체의 총무게는 1 tray를 기준으로 수량조사를 실시하였다. 느타리 및 팽나무버섯의 자실체 수량조사시 1주기에 형성된 자실체만을 수확하여 수량조사를 실시하였다.

결과 및 고찰

분사량별 분사조건 및 균체량

액체종균 자동접종장치 분사량에 따른 균체량을 조사한 결과 분사량 증가에 따라 균체량도 일정하게 증가하는 것을 확인할 수가 있었다. 또한 액체종균 배양기내의 배양액과 균사체가 균일하게 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 분사량의 제어를 통해 접종되는 균체량을 조절할 수가 있었다. 본 실험에서 요구되는 분사량은 10 *ml*, 15 *ml*, 20 *ml*, 25 *ml*, 30 *ml*와 같이 정확한 수치화를 필요로 하기 때문에 각각의 분사량에 따른 분사압과 분사시간 그리고 균체량을 조사하였다(Table 1).

Table 1. Optimum injection pressure, time of injection and corresponding mycelial dry weight of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* for different quantities of injection

Injection volume (*ml*)	Injection pressure (kgf/cm^2)		Injection time (Second)		Dry wt. of mycelium (g)	
	FV[a]	PO[b]	FV	PO	FV	PO
10	0.45	0.4	0.23	0.43	0.043	0.045
15	0.55	0.5	0.34	0.5	0.065	0.068
20	0.45	0.6	0.55	0.68	0.087	0.090
25	0.65	0.75	0.56	0.56	0.109	0.113
30	0.75	0.65	0.63	0.74	0.131	0.135

[a]FV = *F. velutipes*, [b]PO = *P. ostreatus*.

액체종균 배양조건

대량배양시 접종량에 따른 영향을 알아보기 위하여 공시균주의 생육을 확인하였다. 접종량을 1~10%(v/v)으로 조절하고 조사한 결과 팽이 2호(F-002)는 접종부피 5%와 6%(v/v) 일 때 균사체 생산이 가장 우수하게 나타났다. 농기 2-1호(P-001)의 경우는 접종부피 4%(v/v) 일 때 균체량이 우수하게 나타났는데 접종량 4% 이상에서 더 이상의 균체량 증가는 나타나지 않았다(Fig. 4). 접종량의 비율이 증가하여도 어느 한계점 이상의 균사체 생육증가는 나타나지 않았으며 자실체 생산에서도 이와 비슷한 경향을 확인 할 수가 있었다. 또한 Jeong(1996)은 느타리버섯의 액체배양시 균사체 생산은 5~10%(v/v) 정도의 접종비와 27.5~30°C 정도의 범위에서 최적의 균사체 생산을 나타내었다고 하여 약간의 차이를 확인할 수가 있었는데 이

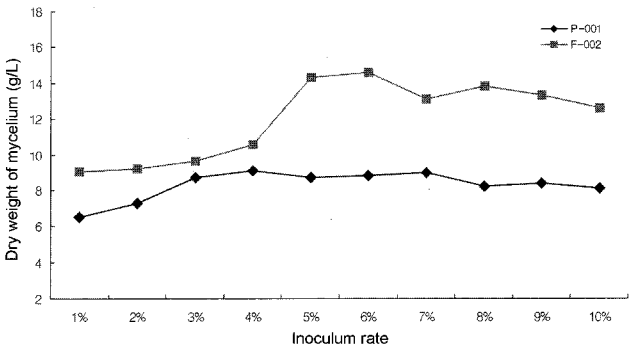

Fig. 4. Effect of inoculum rate on the mycelial growth of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* at the mass culture, incubated at 21°C, 1.0 vvm and incubated at 25°C, 0.5 vvm for 5 days, respectively.

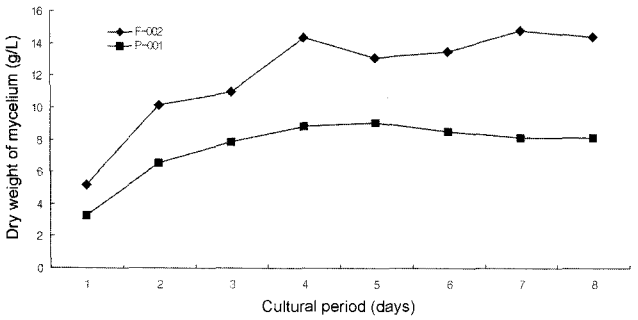

Fig. 5. Time course of mycelial growth of *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* at the mass culture.

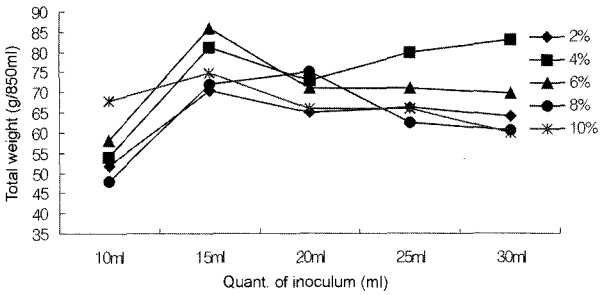

Fig. 6. Effects of inoculum size on yield of *Pleurotus ostreatus* (P-001) using liquid spawn inoculation system.

생각되어진다.

배양기간에 따른 대량배양의 조사를 위해 접종량 5%, 통기량 1 vvm(F-002), 0.5 vvm(P-001)으로 1일에서 8일까지 생육을 조사해 본 결과, 농기 2-1호(P-001)의 경우 배양 5일 이후부터는 균체량의 증가가 크게 나타나지 않았고, 팽이 2호(F-002)는 배양 4일 만에 stationary phase에 도달됨을 확인할 수 있었다(Fig. 5). 느타리 및 팽나무버섯의 액체종균 대량배양시 4일에서 5일 정도 배양하는 것이 적정할 것으로 사료되어진다.

적정 접종량에 의한 자실체 형성

느타리버섯: 자실체형성 실험에서는 농기 2-1호(P-001)를 접종부피 6%(v/v)에서 15 *ml*를 접종하였을 때 850㎖ 프라스틱병당 자실체 형성이 우수한 것으로 나타났다(Fig. 6). 느타리버섯의 자동접종시스템에 적용될 최적의 접종조건은 배양부피(v/v) 4~6%로 15~20 *ml*를 접종하였을 때 최상의 균사생육 및 자실체 형성을 유도해 낼 수 있었다.

팽나무버섯: 자실체 생산이 우수한 접종조건은 접종량 6%로 10~15 *ml*를 접종하였을 때 자실체 형성이 가장 우수하였다. 위의 결과로 팽나무버섯의 자동접종시스템에 적용될 최적의 접종조건은 접종량 4~6%로 10~15 *ml*를 접종하였을 때 최상의 균사생장 및 자실체 형성을 유도해 낼 수 있었다(Table 2). 정(1999)은 팽나무버섯의 액체종균의 적정 접종량을 10 *ml*/850 *ml*으로 제시하였는데 본 실험과 유사한 결과를 확인할 수가 있었다.

실증시험

농가에서 액체종균 자동접종시스템과 고체종균 접종시스템을 이용하여 각 공시균을 접종하고 동일한 조건에서 재배하여 액체종균 자동접종시스템의 실효성에 대하여 실증 실험을 실시하였다. 고체종균의 접종량은 10 g에서 15 g 사이이며 액체종균의 접종은 느타리버섯은 접종량 6% 즉 15 *ml*, 팽나무버섯은 접종량 4% 즉 10 *ml*로 실시하였다. 우선 자실체 생산 비교 실증 결과 팽나무버섯의 경우 고체종균을 이용하여 재배한 자실체 수량(1.92 kg/tray)에 비해 액체종균 자동접종장치를 이용하여 재배한 자실체 수량이 2.55 kg/port로 자실체 무게 수량 비교 32.8% 증수되었다(Table 3). 또한 유효경수 및 경장이 고체종균 접종시스템보다 생장이 우수하여 경제성이 뛰어난 것으로 확인되었다(Fig. 7). 이런 결과는 Ryu 등(1998)이 미강추출액 액체종균으로 접종했을 때 톱밥종균에 비해 배양일수와 소요일수는 비슷하였고, 수량성은 3%(배지수분 55%, 15 *ml* 접종)에서 38%(배지수분 55%, 50 *ml* 접종)까지 증가하였다고 보고한 것과 비슷하였으며 접종량이 50 *ml*에서 자실체 수량이 높다고 보고하였는데 본 실험에서는 접종량 20 *ml* 이상에서는 자실체 수량의 증가를 확인할 수가 없었다.

느타리버섯(농기 2-1호)은 고체종균 자동접종장치를 이용한 자실체 수량(0.74 kg/port)에 비해 액체종균 자동접종장치로 재배한 자실체 수량이 0.99 kg/port로 자실체 무

Table 2. Effects of liquid spawn inoculation system to relative yield of *Flammulina velutipes*

Quant. of inoculum (*ml*/bottle)	Pileus[a] (mm)		Stipes (mm)		Number (body)		Weight (g/850 *ml*)	
	IR[b] (4%)	IR (6%)	IR (4%)	IR (6%)	IR (4%)	IR (6%)	IR (4%)	IR (6%)
10	15.1	13.7	121.5	108.2	158	180	159.13	161.15
15	14.2	14.7	108.1	126.4	173	183	159.27	177.0
20	13.1	13.7	118.2	108.1	157	205	110.38	145.54
25	12.2	14.7	117.2	114.2	143	109	113.58	93.69
30	13.1	12.2	118.1	107.1	176	178	131.03	122.19

[a]Pileus : Diameter of pileus, Stipes : Length of stipes, Number : Number of the fruit bodies formed (longer than 50 mm), Weight : weight of the fruit bodies formed in 850 *ml* plastic. bottle.
[b]IR : Inoculum rate.

Table 3. Effect of inoculation system type on fruiting of *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes*

Inoculation system	Pileus (mm)[a]		Stipes (mm)		Number (body)		Weight (kg/port)	
	PO[b]	FV[c]	PO	FV	PO	FV	PO	FV
Liquid spawn	42.7	13.1	31.2	121.5	19	168	0.99	2.55
Traditional sawdust spawn	38.5	10.8	32.6	116.0	21	159	0.74	1.92

[a]Pileus : Diameter of pileus. Stipes : Length of Stipes. Number : Number of the fruit bodies formed. Weight : Weight of the fruit bodies formed in 4×4 bottle port.
[b]PO = *P. ostreatus* Sawdust spawn (Quantity of Inoculum: 10~15 g/bottle). Liquid spawn (Inoculum volume: 15 *ml*, Inoculum rate : 6%).
[c]FV = *F. velutipes* Sawdust spawn (Quantity of Inoculum: 10~15 g/bottle). Liquid spawn (Inoculum volume: 10 *ml*, Inoculum rate : 4%).

게 수량 비교 33.7% 증수되었다(Table 3). 이것은 박(1998)이 느타리버섯의 액체종균과 톱밥종균을 동일한 조건에서 볏집다발재배를 실시하여 수량을 조사한 결과 자실체 수량비교 27% 증수되었다는 보고와는 유사한 경향을 보였다. 수량조사 뿐만 아니라 작업성능의 평가를 위해 접종시간 및 오동작 횟수를 조사해보았다. 고체종균을 이용한 접종기의 경우는 접종할 때 수시로 고체종균을 교체해야 하며, 또한 교체시간도 오래 걸리고 이런 이유로 잡균에 의한 오염이 발생 할 수도 있게 된다. 하지만 액체종균 자동접종시스템은 배양기의 scale 및 배양액량에 따라 종균 교체시기를 조절할 수가 있고, 교체시간도 수초 이내에 가능하기 때문에 종균교체에 따른 오염율이 적고 작업시간(접종시간)도 단축할 수 가 있다. 고체종균을 이용한 접종장치의 경우 1000병에서 1200병을 접종하려면 4~6번 정도 종균을 교체해 주어야 하며 접종시간도 30~40분이 소요된다. 이에 반해 본 연구에서 제작한 12 *l* airlift fermenter로 배양하여 자동접종장치로 팽나무버섯균을 접종할 경우 하나의 배양기에서 1000병(4×4배열의 병 재배용 port로 62 port) 내지 1200병(4×4배열의 병 재배용 port로 75 port)을 접종할 수가 있었으며, 접종시간은 21분에서 26분이 소요되었다. 또한 분사가 안 되는 경우, 병의 뚜껑을 제대로 열고 닫지 못하는 경우 등의 오동작은 발생하지가 않았다.

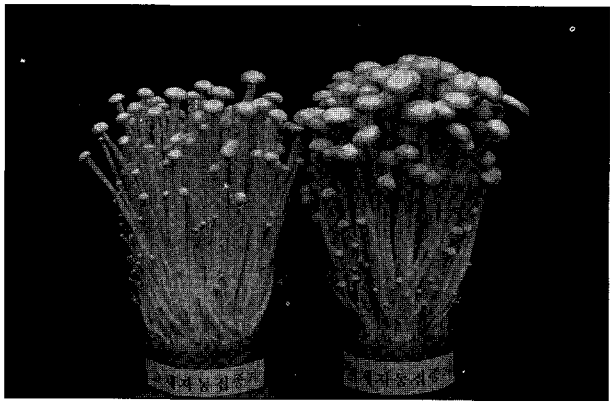

Fig. 7. Effect of spawn type on fruiting of *Flammulina velutipes*. left, traditional sawdust spawn; right, liquid inoculation system.

요 약

본 연구에서는 병 재배 버섯 안정생산을 위한 우량종균 확보 방법으로서 액체종균을 활용하고자 하였으며 액체종균을 버섯재배에 효율적으로 사용할 수 있는 접종방식 및 접종장치를 개발하였다. 느타리 및 팽나무버섯의 대량 액체배양의 조건은 팽나무버섯은 접종량 5~6%, 배양기간 4일 일 때, 그리고 느타리버섯은 접종량 4%, 배양기간 5일에서 최대 균사생장을 확인할 수 가 있었다. 자동접종시스템을 이용하여 균사생장 및 자실체 생산에 대한 조사를 실시한 결과, 느타리버섯의 경우 자실체 생산에서는 접종량 6%, 즉 15 *ml*에서 수량이 높게 나타났다. 팽나무버섯은 접종량 4~6%, 즉 10~15 *ml*에서 자실체 수량이 다른 조건에 비해 우수하게 나타났다. 액체종균 자동접종시스템을 이용하는 것이 고체종균 접종시스템보다 느타리버섯은 33.7%, 팽나무버섯은 32.8% 증수효과를 확인할 수 가 있었다. 작업성능의 평가를 위해 4×4배열의 병 재배용 tray 75개를 이용하여 병의 뚜껑을 제대로 열고 닫지 못하는 경우, 분사가 안 되는 경우 등의 오동작 횟수를 측정하고 작업시간을 체크하였다. 75 tray 1200병을 작동시킨 결과 오동작은 없었고 작업시간은 26분으로 단축되었다.

감사의 말씀

이 연구는 2001년도 농림부 농림기술개발사업(현장애로기술개발과제)연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

박동수. 1998. 원형느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)의 액체종균의 배양적 특성 및 인공재배에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문.
성재모. 1997. 느타리버섯 액체종균을 이용한 느타리버섯 생산에 관한 연구. pp 1-136. 농림부.
성재모, 유영복, 차동열. 버섯학. 1998. pp 614. 교학사.
유재복. 1990. 증보 실용 버섯재배. 선진문화사. 102.
차동열. 1995. 병버섯 첨단재배현황과 발전방향. 「병버섯 첨단재배기술 및 시설현대화 방안에 관한 심포지움」. 경상남도농촌진흥원. pp. 17-31.
Block, S. S., Tsao, G. and Han, L. 1958. Production of mush-

rooms from sawdust. *J. Agric. Food. Chem.* **6**: 923-927.

Byun, T. G. 2000. Effects of bioreactor type on 1-octen-3-ol production in the cultures of *Agaricus bisporus* 705 mycelia. 건양논총. 2000(8): 127-133.

Chang, S. T. and Miles, P. G. 1989. Edible mushrooms and their cultivation. pp. 255-275. *CRC press*. Hong Kong.

Falck, R. 1917. Uber die Waldkultur des Austernpilzes (*Agaricus ostreatus*) anf Laubholzstubben. *Z. Forest-Jagdwes* **49**: 159-165.

Goltapeh, E. M. and Kapoor, J. M. 1989. New substrates for spawn production of button mushroom *Agaricus bisporus* (Lange) Singer. *Mushroom Sci.* **12**(1): 281-285.

Humfeld, H. 1948. The production of mushroom mycelium (*Agaricus compestris*) in submerged culture. *Mushroom Sci.* **107**: 373.

Jeong, J. H. 1996. Optimization of Mycelia production from *Pleurotus ostreatus* by response surface methodology. 忠北農業大學校 論文集 **31**(2): 601-614.

Ryu, Y. H., Yoon, Y. S., Jo, W. S., Park, S. D., Choi, B. S. and Kim, J. K. 1998. Effect of Liquid spawn on *Flammulina velutipes* Cultivation. *Kor. J. Mycol.* **26**(1): 20-24.

Shiio, T., Okunishi, M. and Okumura, S. 1974. Fundamental studies on the large-scale cultivation of edible fungi. *Mushroom Sci.* **9**(1): 799-808.

Sung, J. M., Moon, H. W. and Park, D. S. 1999. Growth condition of liquid culture by *Pleurotus ostreatus*. *Kor. J. Mycol.* **27**(1): 1-9.

Zadrazil, F. 1974. The ecology on industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae*, and *Pleurotus eryngii*. *Mushroom Sci.* **9**(1): 621-652.