

## 느타리버섯 봉지재배시 배지 살균 조건에 따른 균사생장 및 자실체 생육 비교

이운해\* · 조운정 · 지정현

경기도 농업기술원 광주버섯시험장

### Comparison in Mycelial Growth and Fruit Body Development According to Sterilization Condition of Substrate in Pot Cultivation of *Pleurotus ostreatus*

Yun-Hae Lee\*, Yun-Jeong Cho and Jeong-Hyun Chi

Kwangju Mushrooms Experiment Station, Kyonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Kwangju, 464-870, Korea  
(Received February 20, 2002)

**ABSTRACT:** The suitable sterilization conditions in pot cultivation of varieties of Chunchunutari-2-ho and Suhannutari-1-ho *Pleurotus ostreatus* were investigated. The substrate formulations for the cultivation consisted of 40% poplar sawdust, 40% waste cotton and 20% beet pulp (PWB), and 40% poplar sawdust, 40% cotton seed hull and 20% beet pulp (PCB). The increase in the sterilization temperature caused decrease in the pH of the substrate. The moisture content of PWB substrate increased by 1.8%, but that of PCB substrate decreased by 4.1% after low temperature sterilization (12 hr at 60°C). However, a little change in the sterilization at higher temperature (6hr at 100°C and 90 min at 121°C) did not alter the moisture content of both substrate appreciably. The duration of mycelial growth was longest and its density was lowest in low temperature sterilization (12 hr at 60°C). The high pressure sterilization (90 min at 121°C) of PCB substrate produced high yield (236.6 g/pot) and the highest biological efficiency (96.6%) for Chunchunutari-2-ho. On the contrary the high temperatures sterilization (6 hr at 100°C) of PCB substrate resulted in the yield of 259.1 g/pot with the biological efficiency 94.9% for Suhannutari-2-ho.

**KEYWORDS:** *Pleurotus ostreatus*, Pot cultivation, Sterilization condition

## 서 론

볏짚 및 폐면을 이용한 균상 재배에서의 배지살균은 저온 살균법으로 야외발효과정을 거친 배지를 재배사내에 입상하여 60°C에서 6~7시간 유지한 후 50~55°C에서 3~4일간 후발효하며, 병재배에서는 121°C의 고온에서 90분간 유지하는 고압 살균법을 이용하고(차 등, 1989), 볏짚 배지의 살균은 120°C 보다 60°C로 처리하는 것이 푸른곰팡이병원균(*Trichoderma* spp.)의 균사생장이 억제되며(고 등, 1979), 전 등(2000)은 볏짚배지의 살균에서 온도를 높이거나 시간을 길게 하면 경제적으로 부담이 될 뿐 아니라, 24시간 이상의 지나친 살균은 느타리 버섯 균사생장을 저해하고, 해균의 생장을 억제하는 유익한 균까지 사멸시킬 수 있으므로 배지의 살균온도 60°C에서 8~12시간이 적당하다고 보고하였다. 또한 톱밥을 배지로 사용하는 표고버섯 재배에서 98~100°C에서 4시간 살균하는 상압 살균을 할 경우 세균 등 해로운 미생물이 쉽게 사멸하지 않아, 고압 살균보다는 장시간의 살균시간을 요하지만 톱밥, 쌀겨, 기타 첨가물 등의 연화상태가 좋아 표고 균사 생장이 양호하며, 고압 살균은 100°C에서 잘 죽

지 않는 해로운 미생물을 사멸시킬 수 있다(임업연구원, 2000). 또한, 야외 발효한 폐면을 배지로 이용한 상자 재배에서 60°C에서 6시간 살균한 처리에서 균사생장 및 수량이 상압 살균 및 고압 살균보다 우수하였다(조 등, 1995).

이와 같이 재배 버섯, 배지종류, 재배방법 등에 따른 살균온도 및 시간이 다양하므로 느타리버섯 봉지 재배시 살균 온도 및 시간에 따른 배지의 이화학적 특성변화, 균사생장, 자실체 생육을 비교하여 보다 효율적인 살균조건 개발을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험품종

본 시험에 사용한 품종은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 분양받은 춘추느타리 2호(Chunchunutari-2-ho)와 농민버섯연구소에서 분양받은 수한느타리 1호(Suhannutari-1-ho)를 사용하였다.

### 종균제조

미루나무톱밥과 미강을 4:1(v/v)로 혼합하고 수분을 65% 내외로 조절하여 250 ml Erlenmeyer flask에 150 g

\*Corresponding author <E-mail: pdyma@daum.net>

다져 담아 121°C에서 40분간 살균하였다. 상온까지 식힌 후 PDA 평판배지에서 배양완료된(25±1°C) 균사체를 접종 한 후 20°C에서 25일 배양하였다. 같은 톱밥배지를 850 ml polypropylene병에 배지량 540±10 g으로 입병하여 121°C에서 90분간 살균하였다. 상온까지 냉각시킨 후 Erlenmeyer flask에서 배양 완료된 균사체를 접종(10~13 g/병)하여 20±1°C에서 20~25일 배양하여 종균으로 사용하였다.

#### 배지혼합 및 담기

본 시험에 사용한 배지는 폐면 혼합배지와 면실피 혼합배지로 두 종류이며, 먼저 폐면혼합배지 조성은 생체 부피비로 미루나무톱밥(Poplar sawdust) 40%, 폐면(Waste cotton) 40%, 비트펄프(Beet pulp)를 20%이고, 면실피 혼합배지는 미루나무톱밥 40%, 면실피(Cotton seed hull) 40%, 비트펄프를 20% 비율로 혼합하였으며 폐면은 3회 야외뒤집기를 한 후, 면실피와 비트펄프는 하루 밤 물에 담가 충분히 불린 후 사용하였다. 배지수분은 70~75% 정도로 조절한 후 직경 12 cm인 봉지에 배지량은 1 kg/봉지씩 담아 배지 중앙부위에 직경 3 cm 정도의 구멍을 배지 밑에서 3 cm 정도 위까지 뚫었고, 처리별 20봉지씩 3회 실시하였다.

#### 배지살균 및 접종

저온살균은 배지를 봉지에 담은 후 스템보일러를 사용하여 60°C에서 12시간 처리한 후 5°C씩 온도를 낮추어 50°C에서 3일 동안 후발효하였고, 환기는 강제 환풍으로 10분마다 2분씩 작동하였으며 배지의 상태에 따라 조절하였다. 상압 살균은 100°C에서 6시간, 고압 살균은 121°C에서 90분 살균한 후 상온까지 냉각시킨 후 배양 완료된 균사체를 접종(10~13 g/병) 하였다. 또한 저온 살균은 가스제거를 위해 마개를 닫지 않고, 상압 살균과 고압 살균은 마개를 닫고 살균하였다.

#### 배지분석

수분함량, pH, 총탄소량, 총질소량은 배지 살균 후 상온까지 식힌 후 시료로 사용하였고 탄소량을 제외한 모든 조사는 3반복으로 측정하였다. 수분함량은 80°C에서 24시간 건조하여 무게변화량을 조사하였고, pH는 건조시료 5 g에 증류수 100 ml을 첨가 후 1시간 방치하여 거름종이로 걸러 pH meter로 측정하였다. 총탄소량은 600°C 연소법으로, 총질소량은 Kjeldahl법으로 조사하였다. 가비중은 건배지량을 배지부피로 나누었고, 배지 경도는 균사배양 완료 후 배지를 상, 중, 하로 3등분하여 위치별로 길이 50 mm 직경 55 mm 코아로 각각 시료를 채취하여, 물성 분석기(Sun Rheo Meter COMPAC-100 CR-100D)로 측정하였다.

#### 배양 및 생육조사

봉지 바닥까지 균사가 배양되면 뚜껑을 벗기고 온도 16±1°C 습도 90~95%로 조절하여 버섯 발생을 유도하고 주기별 생육조사 하였다. 배양일수는 접종일로부터 봉지바닥까지 균사가 자란 봉지가 전체의 80%일 때까지의 소요일수를 조사하였고, 뚜껑을 제거하여 입상 후 자실체 원기가 형성된 봉지가 70%일 때의 일수는 초발이소요일수, 초발이소요일수부터 첫수확일까지의 일수를 자실체 생육일수로 조사하였다. 수량은 버섯의 갓직경이 5.0 cm 내외이고 피기전에 생체중을 조사하였다. 또한 생물학적효율(Biological efficiency)은 봉지당 건배지량에 대한 자실체 생체중을 백분율로 환산하였다.

### 결과 및 고찰

#### 살균조건에 따른 배지의 이화학적 특성

살균온도 및 시간에 따른 살균과정 중 배지의 수분함량, pH, C/N율의 변화를 조사한 결과(Table 1) 수분함량은 폐면 혼합배지에서는 저온 살균은 1.8% 증가하였으나, 고압

Table 1. Changes in chemical characteristics and bulk density of substrate during sterilization

Sterilization temp. and time	Substrate <sup>a</sup>	Moisture content (%)	pH	T-C <sup>b</sup> (%)	T-N <sup>c</sup> (%)	C/N	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
Initial	PWB	73.9	7.7	51.8	1.20	43	0.16
	PCB	74.4	6.4	53.9	0.90	60	0.13
12 hr at 60°C	PWB	75.7	7.9	52.2	0.95	55	0.15
	PCB	70.3	6.4	53.6	1.13	47	0.15
6 hr at 100°C	PWB	73.9	5.9	52.2	1.03	51	0.16
	PCB	74.1	5.4	53.5	0.92	58	0.13
90 min at 121°C	PWB	73.2	5.4	52.2	1.00	52	0.16
	PCB	74.3	5.0	53.6	0.96	56	0.13

<sup>a</sup>PWB : Poplar sawdust (40%), Waste cotton (40%) and Beet pulp (20%). PCB : Poplar sawdust (40%), Cotton seed hull (40%) and Beet pulp (20%) (The same notations are used in subsequent tables and figures).

<sup>b</sup>Total carbon content.

<sup>c</sup>Total nitrogen content.

살균은 0.7% 감소하였고 상압 살균은 변화가 없었다. 반면 면실피 혼합배지에서는 상압 살균과 고압 살균에서는 거의 변화가 없었으나 저온 살균에서 4.1%로 크게 감소하였다. 이는 면실피는 폐면보다 슴 함량이 적어 수분 보유력이 낮아 저온살균시 봉지 마개를 열고 장시간 처리시 수분 증발이 비교적 쉽게 이루어진 것으로 추측된다. 느타리버섯 배지의 적정 수분함량은 벧짚배지는 71.2% (홍, 1978) 애느타리버섯 비송톱밥 + 면실피 + 비트펄프 (50 : 30 : 20%, v/v) 배지의 병재배지는 70%(박, 1996), 톱밥과 미강 배지는 63~65%(山中 등, 1991) 등으로 배지 및 재배 방법에 따라 다소 차이가 있으며, 폐면 혼합배지의 저온 살균 후 수분함량은 75.7%로 가장 높았다. 살균 과정 중의 pH 변화는 저온 살균처리는 변화가 없었으며 상압 살균처리는 폐면 혼합배지 1.8, 면실피 혼합배지 2.3 감소하였고, 고압 살균처리는 폐면 혼합배지 2.3, 면실피 혼합배지 2.7 감소하였어, 살균 후 배지의 pH의 변화는 살균 온도가 높을수록 살균 후 pH의 감소량이 많았는데 이와 같은 결과는 표고 톱밥배지에서 상압 살균 시간이 길수록 pH가 감소하였고(임업연구원, 2000), 벧짚을 4~8 시간 침수 후 살균 후 pH가 감소하는 결과와 일치하였다(전 등, 2000). 일반적으로 저온 살균시 고온성 세균은 pH 7-8, 고온성 방선균은 pH 8-9, 버섯균은 pH 6-8 에서 각각 최적 생장을 하여 살균 전의 배지의 pH 7 정도가 적합하므로(심, 2001), 면실피 혼합배지의 살균전 pH가 6.4로 다소 낮아 살균 과정 중 충분한 발효가 이루어지지 않을 가능성이 높았고, 야외발효 후 폐면의 pH는 9.4로(이·김, 2000) 폐면 혼합배지가 면실피 혼합배지보다 살균전 배지 pH가 높은 것을 알수 있었다. 심(2001)은 저온살균과정에서 배지의 질소농도가 낮으면 영양분의 부족으로 버섯 수량이 감소하고 질소농도가 너무 높으면 암모니아성 질소 때문에 수량이 감소하여 전질소함량이 1.08%일 때 수량이 가장 높았다고 보고하여, 살균전 초기 총질소함량은 폐면 혼합배지 1.20%, 면실피 혼합배지 0.90%로 적합한 범위에 속하였다. 살균과정 중의 총탄소함량과 총질소함량의 변화는 거의 없어 C/N율이 47~58로 처리별 큰 차이 없었으며, 느타리버섯 배지의 C/N율이 아주 낮거나 높으면 자실체 수량이 감소하여 30:1 정도가 적합하다고 홍은(1978) 보고하였고, 애느타리버섯 병재배시 미송톱밥 + 비트펄프 + 면실피(50 : 30 : 20, v/v) 배지의 C/N 율은 36.6으로 본 시험의 모든 처리의 C/N율은 균사생장 및 자실체 생육에 크게 지장을 주는 범위는 아니었다. 또한, 가비중은 면실피 혼합배지의 저온 살균 처리에서 수분의 감소로 0.02 증가하였고 다른 처리는 변화가 없어 살균온도 및 시간에 따른 보다 세밀한 화학성 및 물리성의 변화에 대한 연구가 요구되었다.

균사 배양 완료 후 배지의 경도를 측정된 결과(Fig. 1), 배지 경도는 12.8~13.8 kg/cm<sup>2</sup>로 저온살균에서 가장 낮았고, 상압 살균시 춘추느타리 2호는 배지에 따른 큰 차이

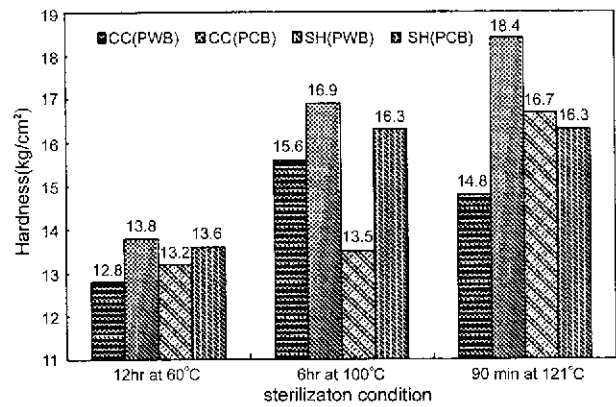


Fig. 1. The substrate hardness of *Pleurotus ostreatus* according to sterilization condition after mycelial growth. CC : Chumchnutari-2-ho, SH : Suhannutari-1-ho.

없이 15.6~16.9 kg/cm<sup>2</sup>로 높았으나, 수한느타리 1호의 경우는 폐면 혼합배지에서 13.5 kg/cm<sup>2</sup>로 낮았으나 면실피 혼합배지는 16.3 kg/cm<sup>2</sup>로 높아 배지에 따른 차이가 있었다.

고압 살균에서 춘추느타리 2호는 폐면 혼합배지 14.8 kg/cm<sup>2</sup>, 면실피 혼합배지 18.4 kg/cm<sup>2</sup>로 배지에 따라 차이가 있었고, 수한느타리 1호는 폐면 혼합배지 16.7 kg/cm<sup>2</sup>, 면실피 혼합배지 16.3 kg/cm<sup>2</sup>로 배지에 따른 차이가 없었다. 또한 폐면 혼합배지 보다는 면실피 혼합배지가 다소 경도가 높은 것은 목화씨껍질 함량이 폐면 보다는 면실피가 비교적 많은 것에 기인한 것으로 사료되며, 상압 살균과 고압 살균 후의 배지의 수분함량, pH, C/N, 가비중 등은 Table 1에서 보는 바와 같이 큰 차이 없으나 균사 배양 후 배지종류 및 품종에 따라 배지의 경도에는 다소 차이가 있었다.

#### 살균조건에 따른 균사 생장 및 자실체 생육 특성

살균조건에 따른 균사생장 및 자실체 생육의 소요일수를 조사한 결과(Table 2), 저온 살균 배지에서 균사 밀도가 가장 낮았으며, 균사 배양 일수도 춘추느타리 2호 36~39일, 수한 느타리 1호 37~40일로 가장 길었고, 폐면 혼합배지의 고압 살균 처리에서 춘추느타리 2호 27일, 수한느타리 1호 28일로 가장 짧았다. 이는 폐면은 비교적 미생물이 분해하기 쉬운 셀룰로오스 성분이 풍부하고 톱밥은 상대적으로 분해되기 어려운 헤미셀룰로오스나 리그닌 성분이 많아 톱밥 성분이 증가할수록 중온성 미생물과 고온성 미생물이 생장이 부진하고 발효에 관여하는 미생물이 이용할 수 있는 영양분의 부족하여 살균과정에서 배지내의 고온성 세균, 고온성 방선균, 중온성 사상균으로의 변화가 원활히 이루어지지 않아 발효가 충분히 이루어지기 어렵다(심, 2001)는 보고와 같이 배지 중 톱밥의 함량이 40%로 많아 저온 살균 처리에서 충분한 발효가 이루어지지 않아 균사밀도도 낮고 배양일수도 가장 길었으며

**Table 2.** Influence of sterilization condition on the mycelial density and duration of *Pleurotus ostreatus*

Sterilization temp. and time	Substrate	Mycelial density <sup>a</sup>		Mycelial growth (days)		Pinhead formation (days)		Fruit body development (days)		Fruit body harvest <sup>c</sup> (days)		Total (days)	
		CC <sup>b</sup>	SH	CC	SH	CC	SH	CC	SH	CC	SH	CC	SH
12 hr at 60°C	PWB	+	+	39	40	4	4	5	5	16	14	64	63
	PCB	+	+	36	37	3	3	4	4	19	17	62	61
6 hr at 100°C	PWB	+++	+++	29	30	3	3	5	5	19	20	56	58
	PCB	+++	+++	32	31	3	3	4	5	19	19	58	58
90 min at 121°C	PWB	+++	+++	27	28	3	3	5	5	22	24	57	60
	PCB	+++	+++	35	34	3	3	5	5	19	21	62	63

<sup>a</sup>+ : poor, ++ : good, +++ : very good.

<sup>b</sup>CC : Chumchnutari-2-ho, SH : Suhannutari-1-ho.

<sup>c</sup>1st-2nd flush.

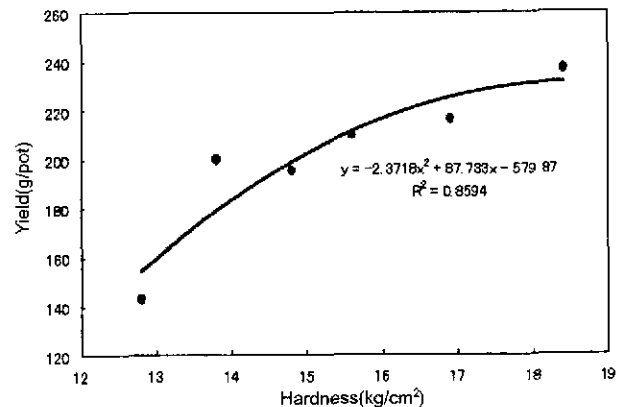
균사생장이 충실히 이루어지지 않아 배지 경도도 낮은 것으로 사료되었다. 초발이소요일수와 자실체 생육일수는 3~5일로 배지 종류 및 품종에 따른 차이 없었으며, 1주기에서 2주기까지의 수확일수는 폐면 혼합배지의 저온 살균 처리에서 춘추느타리 2호 16일, 수한느타리 1호 14일로 가장 짧았고, 폐면 혼합배지의 고압 살균 처리에서 춘추느타리 2호 22일, 수한느타리 1호 24일로 가장 길었다. 접종에서 2주기까지의 총 재배 일수는 폐면 혼합배지의 저온 살균 처리에서 춘추느타리 2호 64일, 수한느타리 1호 63일로 가장 길어 균사 배양일수에 따라 총재배일수가 지연됨을 알 수 있었다.

2주기까지의 수량과 생물학적 효율은(Table 3) 폐면 혼합배지의 저온 살균처리에서 두 품종 모두 수량과 생물학적 효율이 가장 낮았으며, 춘추느타리 2호의 수량은 폐면 혼합배지의 저온 살균처리이외의 다른 처리간 통계적 유의성은 없었으나 고압 살균처리의 면실피 혼합배지에서 생물학적 효율이 96.6%로 가장 높았다. 수한느타리 1호는 상압 살균처리의 면실피 혼합배지에서 수량 259.1 g/pot, 생물학적 효율 94.9%로 가장 높았다.

Fig. 2와 3은 배양완료 후 배지 경도와 2주기까지의 수량과의 상관관계를 나타낸 것으로 춘추느타리 2호는 결정

계수가 0.86으로 배지경도가 높으면 수량도 증가하는 고도의 정의 상관관계이며 수한느타리 1호의 경우는 결정계수가 0.68로 배지 경도가 지나치게 낮거나 높으면 수량이 감소하는 상관관계가 있어 품종에 따른 차이가 있었다.

이상과 같이 살균 온도 및 시간에 따른 배지의 pH와 수분함량 변화, 균사 성장과 자실체 생육특성 등을 비교하여 볼 때, 저온 살균은 균사 성장 및 자실체 수량이 저조



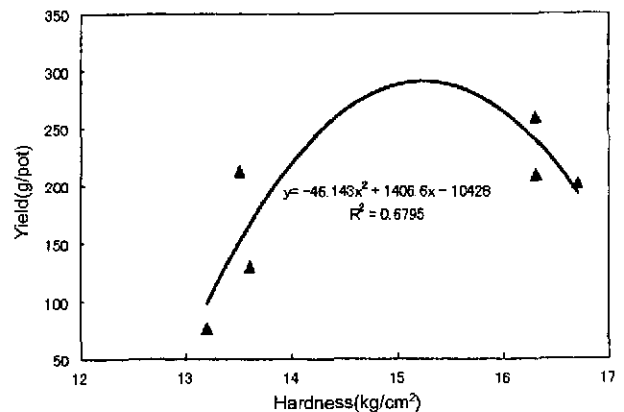
**Fig. 2.** Relationship between substrate hardness and yield of Chumchnutari-2-ho.

**Table 3.** Yield and biological efficiency of *Pleurotus ostreatus* according to sterilization condition

Sterilization temp. and time	Substrate	Yield (g/pot)		Biological efficiency (%)	
		CC <sup>a</sup>	SH	CC	SH
24 hr at 60°C	PWB	143.0c <sup>b</sup>	76.5d	57.4	30.7
	PCB	200.1b	129.9c	67.4	43.7
6 hr at 100°C	PWB	209.9ab	212.2b	82.0	82.9
	PCB	216.2ab	259.1a	79.2	94.9
90 min at 121°C	PWB	195.4b	201.1b	74.3	76.5
	PCB	236.6a	208.7b	96.6	85.2

<sup>a</sup>CC : Chumchnutari-2-ho, SH : Suhannutari-1-ho.

<sup>b</sup>Values followed by the same letter do not differ significantly at p = 0.05 according to Duncan's multiple range test.



**Fig. 3.** Relationship between substrate hardness and yield of Suhannutari-1-ho.

하여 느타리 붕지 재배에는 적합하지 않았으며, 재배 일수, 수량 및 생물학적 효율 등을 종합하여 볼 때, 춘추느타리 2호는 상압 살균과 고압 살균에서 큰 차이 없었으며, 수한느타리 1호는 상압 살균처리에서 재배일수도 짧고 수량 및 생물학적 효율이 높아 춘추느타리 2호가 수한느타리 1호 보다는 배지 살균 조건에 따른 영향을 덜 받음을 알 수 있었다.

앞으로 보다 다양한 범위의 살균온도 및 시간에 따른 배지내의 영양원 및 미생물상의 변화와 균사 생장 및 자실체 생육과의 관계에 대한 보다 깊이 있는 연구가 이루어져 보다 효율적인 살균 방법 개발이 요구되었다.

## 적 요

느타리버섯 붕지재배시 살균 온도 및 시간에 따른 배지의 pH와 수분함량 변화, 균사생장 및 자실체 생육 등을 비교한 결과를 보고하고자 한다. 본 시험의 품종은 춘추느타리 2호와 수한느타리 1호이고 시험배지는 미루나무톱밥 + 폐면 + 비트펄프(40:40:20%, v/v)와 미루나무톱밥 + 면실피 + 비트펄프(40:40:20%, v/v)를 사용하였다. 살균 후 배지의 수분함량은 폐면 혼합배지는 저온 살균에서는 1.8% 증가한 반면 면실피 혼합배지는 저온 살균에서 4.1% 감소하였고, 상압 살균과 고압 살균처리는 거의 변화가 없었다. pH는 살균온도가 높을수록 감소량이 많아 저온 살균(60°C, 12시간)에서는 거의 변화가 없었으나 상압 살균(100°C, 6시간) 보다 고압 살균(121°C, 90분)에서 감소량이 많았다. 균사배양 및 자실체 생육일수는 저온 살균에서 균사밀도는 가장 낮았으며 배양일수도 가장 길었다. 2주기까지의 수량은 춘추느타리 2호는 폐면 혼합배

지의 저온 살균처리에서 가장 낮았으며 그 밖의 처리는 통계적 유의성은 없었고, 생물학적 효율은 면실피 혼합배지를 고압 살균했을 때 96.6%로 가장 높았다. 수한느타리 1호는 면실피 혼합배지의 상압 살균 처리에서 각각 수량 259.1 g/pot, 생물학적 효율 94.9%로 가장 높았다. 또한 춘추느타리 2호는 균사 배양 완료 후 배지 경도와 수량과는 고도의 정의 상관관계이며 수한느타리 1호는 배지경도가 지나치게 낮거나 높으면 수량이 감소하는 경향이였다.

## 참고문헌

- 고승주, 박용환, 차동열. 1979. 느타리버섯 벗짚 조제 방법 개선에 관한 시험. 농촌진흥청 농업기술연구소 시험보고서 pp 122-133.
- 박우길. 1996. 비트펄프와 면실피를 이용한 애느타리(*Pleurotus ostreatus* Jacq. ex Fr Kummer) 병재배에 관한 연구. 석사학위논문. 강원대학교.
- 심문수. 2001. 버섯재배의 핵심, 배지발효와 미생물. 머쉬월드. 별책1호 pp 31-36.
- 이윤혜, 김성철. 2000. 느타리붕지 재배 주배지 재료 선별. 한국균학회소식 12(2): 41.
- 임업연구원. 2000. 새로운 표고재배기술 pp 196-201.
- 전창성, 신동훈, 박정식, 오세종. 2000. 벗짚배지의 살균조건이 느타리버섯균의 균사생장에 미치는 영향. 한국균학회지 28(2): 103-108.
- 조성산, 박우길, 이윤혜. 1995. 느타리버섯 상자재배법 개발시험. 경기도 농촌진흥원 농사시험보고서 pp 639-643.
- 차동열, 유창현, 김광포. 1989. 최신버섯재배기술. 상록사 pp 118-119
- 홍재식. 1978. 느타리버섯의 생화학적 성질 및 재배에 관한 연구. 한국농화학회지 21(3): 150-184.
- 山中等差, 柿本陽一. 1991.きのこ生育論斷(ヒラタケ,エノキタケ篇).農村文化史 pp 13-66.