

질소원이 증진된 수확후배지를 이용한 느타리버섯 수량 특성

백일선* · 김정한 · 이용선 · 신복음 · 이윤혜 · 이영순

경기도농업기술원 버섯연구소

Yield characteristics of *Pleurotus ostreatus* according to the use of spent mushroom substrate with high nitrogen content

Il-Sun Baek*, Jeong-Han Kim, Yong-Seon Lee, Bok-Eum Shin, Yun-Hae Lee, and Young-Soon Lee

Mushroom Research Institute, Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Gwangju 12805, Korea

ABSTRACT: The aim of this study was to re-use spent mushroom substrate (SMS) with increased total nitrogen (T-N) and amino acid content and reduce the amount of cottonseed meal used as nutrient supplement in *Pleurotus ostreatus* cultivation. Bacteria used for improvement of the T-N content were GM20-4(*Bacillus* sp.) and *Rhodobacter sphaeroides* (RS). GM20-4 was isolated from the SMS of *P. ostreatus* and RS was obtained from Gwangjusi agricultural technology center. SMS in T1, T2, and T3 was re-used as substrate after drying and the T-N content of dried SMS (D-SMS) was increased by 0.34% by treatment with the bacteria. T1 with 8% D-SMS and T2 with 18% D-SMS had higher rates of primordia formation compared with T3 and the control. The biological efficiency of the control and of treatment with 8%, 18%, and 26% D-SMS was 110%, 114%, 112%, and 79%, respectively. Considering the economic cost, yield, and biological efficiency, T2 with 18% D-SMS as the culture substrate for *P. ostreatus* was shown to be the most effective for cultivation.

KEYWORDS: Dried spent mushroom substrate (D-SMS), *Pleurotus ostreatus*, Spent mushroom substrate (SMS), Total nitrogen (T-N)

서 론

느타리버섯은 생산면적 대비 생산량은 재배기술 발달로 지속적으로 증가하고 있으며 인건비 상승 및 배지 원자재 단가 상승, 버섯 가격의 불안정화에 따라 버섯농가의 어려움이 많은 실정이다. 이러한 어려움을 극복하고자 수확후배지 이용, 염가배지 개발 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 또한 버섯수확후배지는 균사체가 분비한 여러 생리활성물질이 남아 있어 재활용 가치가 큰 부존자원으로

(Williams *et al.*, 2001) 수확후배지를 버섯 배지 원료로 재활용함으로써 배지원료 절감 뿐 아니라 자원순환에 기여해 환경오염을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 느타리 수확후배지를 10~30% 수준으로 느타리배지에 첨가 사용 시 수량이 안정적이다(Cheong JC *et al.*, 2012)고 보고하였고, 산느타리 수확후배지 재활용을 위한 첨가량은 20%가 적정하였으며(Lee *et al.*, 2015), 풀버섯 배지에 느타리 수확후 배지를 50% 첨가 시 수량이 기본배지와 동등하다고 하였다(Lee *et al.*, 2011).

느타리버섯의 수확후배지는 톱밥 함량이 높아 팽이, 큰느타리의 수확후배지처럼 가축사료화 등으로 재활용이 어려우며 기온이 높은 여름철에는 높은 수분함량으로 부패가 쉬워 침출수로 인해 환경오염의 원인이 되기도 한다(Kwak *et al.*, 2008). 수확후배지는 완전히 분해되지 않는 리그로셀룰로오스가 주이며 톱밥에 비해 높은 유기물을 함유하고 있다. 또한 농산부산물 중에서 가공되지 않은 상태여서 버섯 배지로 재활용하기에 유용하다. 따라서 수확후배지를 안전하게 자원화하기 위해서는 수분함량을 최소화하는 과정이 필요하며, 수분함량을 20% 이하로 낮추면 톱밥을 대체하여 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 수확후배지의 C/N비가 톱밥보다 낮아 영양원의 첨가

J. Mushrooms 2018 December, 16(4):257-262
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.4.257>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : bisun@gg.go.kr
 Tel : +82-31-229-6123

Received November 30, 2018
 Revised December 18, 2018
 Accepted December 20, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

량을 줄여 사용할 수 있으며, 그에 따라 배지 구입비용을 절감 할 수 있을 것으로 기대한다.

느타리 재배에 영양원으로 가장 많이 사용되고 있는 면실박은 전량 수입되고 있으며, 수입의존적인 배지 원재료를 대체할 수 있는 국내 생산 원료 탐색에 대한 연구가 필요한 실정이다. 더군다나 수입된 일부의 면실박은 유해성분이 검출되기도 해 문제시 되고 있다. 따라서 느타리 재배에서 면실박을 대체하기 위한 배지 원료 선발로 아자박, 코코넛박을 활용시 수량이 관행과 비슷하며(Kim *et al.*, 2005), 만가닥버섯 수확후배지를 느타리 봉지재배 배지에 활용시 12~25% 첨가했을 때 수량 감소에 영향이 없다고 보고하였다(Wang *et al.*, 2015). 면실박의 50%를 홍삼박으로 대체시 자실체 수량 감소는 없었으며(Lee *et al.*, 2011), 면실박 50% 대체 케이폭박 사용시 수량이 대조와 비슷하였고(Kim *et al.*, 2011), 음식물부산물 건조박(Chang HY *et al.*, 2008) 등 다양한 농업부산물 배지화 연구가 수행되어 왔다. 큰느타리에서는 영양원을 대체하는 배지개발에 미강을 대체하기 위하여 은행잎박 10% 첨가시 균사생장은 느리지만 수량은 11% 증수된다고 보고하였다(Kim HK *et al.*, 2009). 농업 부산물 활용에 대한 배지개발 및 수확후배지 활용에 대한 연구는 이처럼 꾸준히 수행되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 느타리버섯 수확후배지의 총질소 함량을 증가시키는 미생물 2종을 활용해 T-N 함량 및 아미노산 함량이 증가된다고 보고한(Baek *et al.*, 2018) 결과를 활용해 면실박 사용량을 줄인 적합배지개발에 대한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

배지 원재료 및 배지분석을 위한 전처리

본 연구에 사용한 배지원료는 미루나무톱밥, 비트펄프, 면실박, 수확후배지를 사용하였으며, 수확후배지는 높은 수분을 함유하고 있어 2일 동안 자연건조 후 시험에 사용하였다. 분석을 위한 샘플은 121°C에서 20분간 고압 멸균 하였고 살균 후 80°C에서 2일간 열풍 건조하여 분쇄기로 분쇄 후 분석 시료로 사용하였다.

수확후배지 적용 시험균주 배양조건

배지 원재료에 혼합한 미생물은 느타리 수확후배지로부터 분리한 균주 *Bacillus* sp. GM20-4와 경기도 광주시농업기술센터로부터 분양받은 *Rhodobacter sphaeroides* (RS)를 사용하였다. GM20-4는 LB(Luria-Bertani) 또는 TSB(Tryptic soy broth)배지를 이용하여 30°C, 24시간 배양하였고 RS는 LB배지, 32°C에서 48시간 배양하였으며, pH6~7, 약 0.5vvm의 aeration과 500Lux의 광을 사용하여 배양하였다. 생균수 측정을 위해서 희석평판법으로 도달하여 살아있는 균수를 측정하여 각각 GM20-4 10⁸ cfu/

ml, RS는 10⁹ cfu/ml의 농도로 사용하였다.

배지원재료의 특성분석

시험에 사용한 미루나무톱밥, 비트펄프, 면실박, 느타리 수확후배지의 T-C, T-N, pH를 분석하였다. 수분함량은 건조 후 건조중량법으로 측정하였으며, pH는 건조배지 : 증류수를 1:10의 무게비로 혼합 후 1시간동안 정치한 후 pH meter(Mettler toledo)로 측정하였다. 배지의 T-N, T-C 분석을 위해 80°C에서 2일간 건조 후 분쇄기로 분쇄한 후 3 mg씩 정확하게 무게를 측정하여 CN elemental analyzer (Elementar) 자동분석기를 이용해 C와 N함량 및 조단백 함량을 정량 분석하였다.

수확후배지 미생물 처리조건

오염되지 않은 수확후배지를 건조 후 무게의 30%의 농도로 각각 GM20-4와 RS를 혼합 처리하였으며 혼합 후 밀봉하여 상온(25±2°C)에서 5일간 배양하였다. 수확후배지 내 미생물의 증식을 위하여 당밀을 무게비의 3% 농도로 혼합 첨가하였다.

수확후배지 아미노산 분석

미생물 처리된 느타리 수확후배지의 아미노산 함량 분석을 위해 아미노산 자동분석기(Hitachi, L-8800)로 아미노산 함량을 구하였다(Daniel *et al.*, 1993). 건조시료 0.1 g를 6N HCl 용액 25 mL를 가한 후 시험관은 밀봉해 110°C에서 24시간 가수분해 시켰다. 가수분해로 얻은 여액을 원심분리 후 상등액에 증류수 10 mL를 가하여 60°C에서 20 mM HCl을 사용하여 25 mL로 정용하였다. 정용한 여액을 0.2 um membrane filter로 여과 후 여액을 취하여 구성아미노산 분석에 사용하였다.

미생물이 처리된 수확후배지 첨가혼합비율

느타리버섯 배양 및 생육특성 미루나무톱밥:비트펄프:면실박(5:3:2. v/v, 75:19:19 w/w)을 대조로하여 수확후배지를 혼합한 비율은 Table 4와 같다.

공시품종, 균사배양 및 생육특성 조사

시험품종으로는 경기도농업기술원에서 육성한 ‘흑타리’를 사용하였다. 느타리버섯 배양 및 생육특성 조사는 농촌진흥청 표준조사법(2012)에 준하여 수행하였으며, 완전 임의 배치하여 처리구별로 400병씩 입병하여 3회 반복시험을 수행하였다. 배지는 1,100 mL 병에 입병 후 121°C에서 90분간 고압 멸균 과정을 거쳐 배지 내 온도가 18°C 이하로 되게 냉각시킨 후 톱밥 중균을 접종하였다. 접종 후 배양은 20±1°C에서 30~35일간 배양하였고 균굽기 후 생육실로 옮겨 생육온도 22±1°C, 상대습도 85~99%, CO₂ 농도 800~4,000 ppm에서 생육하였다. 발이와 자실체 발생 유도를 위해 CO₂ 농도 및 상대습도는 높였으며, 발이

Table 1. Chemical properties of material used in this study

Material	T-C (%)	T-N (%)	C/N	Crude protein (%)	pH (10:1)	Moisture (%)
Poplar Sawdust	47.0	0.09	516.5	0.6	6.7	45
Beet pulp	43.0	1.39	30.9	8.6	4.6	11.7
Cottonseed meal	42.1	5.07	8.3	31.7	6.3	10.8
D-SMS ^x	43.0	1.16	37.2	7.1	4.7	66.5

^x Dried spent mushroom substrate of *Pleurotus ostretus*

Table 2. Cultivation condition of the two bacteria used in this study

Bacteria ^x	Temperature (°C)	pH	Growth times (hr)	Media	Aeration (vvm/l/min)	Light	Living cell numbers (cfu/ml)
GM20-4	28~32	7	18~24	LB, TSB	0~0.2	-	10 ⁸
RS	30~35	6~7	48~60	LB	0.5	3~6um (300~680lux)	10 ⁹

^x GM20-4 : *Bacillus* sp., RS : *Rhodobacter sphaeroides*.

- : do not needed.

가 완료되면 자실체 생육에 따라 CO₂ 농도와 상대습도는 점차 낮춰주었다. 수확 적기가 되면 수확 후 자실체 무게, 갓 직경, 대 길이 등을 측정하였으며, 자실체의 물리적 특성과 색차계 CM-2600d, Konika minota)를 이용하여 명도 및 색도를 측정하였다.

수확후배지 첨가량에 따른 생육배지 경제성 분석

수확후배지 재활용으로 배지 원재료 절감에 따른 경제성을 분석을 위하여 경기도 소재의 느타리 재배 세 농가의 배지원재료 구입단가를 평균하여 사용하였다(Table 8).

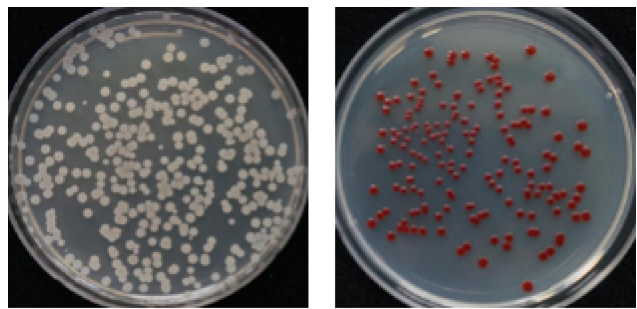
결과 및 고찰

배지 원재료의 이화학적 특성 분석

느타리버섯 배지원료 3종과 수확후배지 1종의 T-C, T-N, C/N비, 조단백, pH 및 수분함량을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 톱밥의 T-N 함량이 0.09%로 가장 낮았으며 면실박은 5.07%, 비트펄프와 수확후배지(SMS)는 각각 1.39%, 1.16%를 함유하고 있었다. 조단백 함량은 T-N 함량이 높은 면실박에서 31.7%, 비트펄프는 8.6%로 조사되었다. 수분함량은 수확후배지가 66.5%로 가장 높았으며, 면실박과 비트펄프는 11~12%, 톱밥은 45%로 조사되었다.

수확후배지 적용 시험균주 배양조건

GM20-4는 수확후배지로부터 분리된 균주로 *Bacillus* sp.이며, 온도 30°C, pH7, 적합배지로는 LB 또는 TSB 배지에서 24시간 배양이 적합하며 위의 배양조건으로 약 10⁸ cfu/ml의 생균수를 얻었다. RS(*Rhodobacter sphaeroides*)는 32°C, pH6~7, LB배지에서 약 0.5vvm의 aeration과



Bacillus sp. GM20-4 *Rhodobacter sphaeroides*

Fig. 1. Colony morphology of the bacteria used in this study

500Lux의 광을 사용하여 48시간 배양으로 10⁹ cfu/ml의 생균수를 얻었다(Table 2). 두 미생물의 colony 형태는 Fig. 1.과 같다.

수확후배지 미생물 처리에 따른 T-N 및 아미노산 함량 변화

건조된 수확후배지에 미생물 처리에 의한 질소원 증진 효과는 처리구에서 1.65%로 무처리구 1.31%보다 0.34% 증가하였으며, 그에 따라 C/N비 미생물 무처리구 33.2, 처리구 25.7로 조사되어 C/N비는 23% 감소하였다(Table 3). 건조된 수확후배지에 GM20-4와 RS처리에 의해 아미노산 함량이 전반적으로 증진되었으며, glutamic acid 함량 증진이 36%로 가장 컸고, valine 34%, aspartic acid 31%, lysine 31%, Isoleucin 28%, leucine 26% 순으로 증가되었다. GM20-4와 RS 처리에 의한 T-N 함량 증가는 아미노산 함량 증가에 기인한 것으로 보인다(Fig. 2).

Table 3. Change of T-N according to the treatment of bacteria in dried spent mushroom substrates(D-SMS)

Treatment ^x	T-N (%)	T-C (%)	C/N
C	1.31	43.5	33.2
T	1.65	42.4	25.7

^x C : D-SMS + molasses 3%, T : D-SMS + GM20-4 30% + RS 30% + molasses 3%

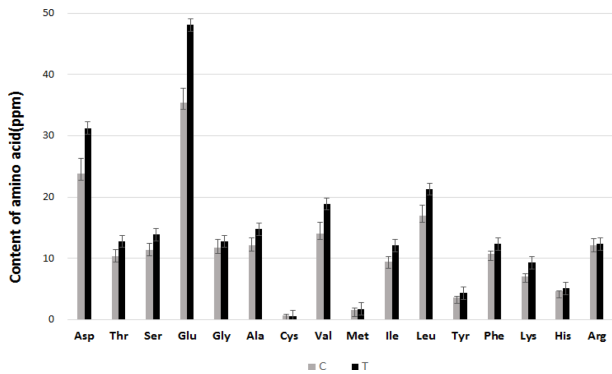


Fig. 2. Analysis of amino acid content according to the treatment of GM20-4 and RS in D-SMS

C : D-SMS + molasses 3%, T : D-SMS + GM20-4 30% + RS 30% + molasses 3%

미생물 처리된 수확후배지 사용에 따른 배지 혼합비 및 이화학적 특성

미생물 처리로 T-N함량이 증진된 건조 수확후배지를 사용하여 세 처리로 Table 4와 같이 배지조성비를 작성하였으며 그에 따른 이화학적 특성은 Table 5와 같다. 대조 배지로는 경기도에서 개발한 미루나무톱밥:비트펄프:면실박 (75:19:19, w/w)배지를 사용하였으며, 수확후배지는 오염이 없는 배지를 건조하여 사용하였다. 수확후배지는 수분 함량 감소에 따라 무게비가 1/3로 줄어 T1 처리구의 8 kg의 건조 수확후배지는 건조 전 수확후배지의 무게로 보면 약 24 kg에 해당되며 T2 처리구의 18kg 건조 수확후배지는 건조 전 수확후배지 54 kg으로 T2에서 사용된 미루나무톱밥 사용량 52 kg과 비슷한 양으로 톱밥 사용량의 약 1/2을 수확후배지로 대체한 셈이다. 처리별 C/N비는

Table 4. Mix ratio of materials according to the treatment

Treatment	Materials			
	D-SMS ^x	Poplar sawdust	Beet pulp	Cottonseed meal
Control	-	75	19	19
T1	8	60	17	15
T2	18	52	18	12
T3	26	40	18	10

^x dried spent mushroom substrate treated by bacteria(GM20-4 and RS)
- : do not added

Table 5. Chemical properties according to the substrates composition

Treatment ^x	T-N (%)	T-C (%)	C/N	pH	Moisture of substrate (%)
Control	1.80	46.4	25.9	5.1	66
T1	1.92	45.3	23.5	5.1	66
T2	1.78	45.3	24.7	4.9	68
T3	2.04	45.9	22.5	4.5	67

^x T1 ~ T3 : treatment of bacteria in SMS for 5days at 25±2°C

23~25 사이로 적절한 범위 내에 포함되는 것으로 조사되었으며, pH는 수확후배지 첨가량이 많아질수록 낮아지는 경향이였다(Table 5).

자실체 특성과 배지 경제성 분석

수확후배지 8%가 첨가된 T1과 18%가 첨가된 T2 처리구의 배양기간은 34~35일로 조사되었고 초발이요소일수 및 총재배기간도 42~43일로 대조와 차이가 없었다. 발이율은 대조 81%, T1 처리구 99%, T2 처리구 97%로 대조보다 높았으며, T3 처리구의 배양기간은 대조보다 5일 짧아 총재배기간은 39일로 대조보다 4일 짧았지만 초발이소요일수는 5일로 대조보다 1일 길었고 발이율이 64%로 매우 낮아 건조 수확후배지 26% 첨가는 배지 재활용에 적합하지 않은 것으로 판단되었다(Table 6). 자실체 특성을 조사한 결과는 건조 수확후배지 8%가 함유된 T1 처리구가 병당 수량 230 g으로 대조보다 11% 높았으며, 건조 수확후배지 18%가 함유된 T2 처리구는 202 g으로 대조와 비슷하였다. 수확후배지 첨가량이 26%인 T3 처리구의 병당 수량은 156 g으로 매우 낮았다. 느타리버섯 생육 최적 pH가 5.0~6.5라고 보고된 (Zadrazil *et al.*, 1974) 내용과 같이 T3 처리구의 pH가 4.5로 수량 감소에 영향을 준 것으로 보여진다. 하지만 생물학적 효율을 조사한 결과 T1, T2, 대조 간에 큰 차이가 없는 것으로 조사되어 T1과 T2 처리구에 사용한 8~18% 범위의 건조 수확후배지 사용이 적합한 것으로 보였으며, 건조 전 배지량으로 환산한다면 24~54%를 사용한 것으로 이는 느타리버섯 수확후배지 10~30% 재활용시 수량이 안정적이었다 (Cheong *et al.*, 2012)는 보고와 산느타리버섯 수확후배지 재활용시 20% 첨가가 적합하다고(Lee *et al.*, 2015) 보고한 연구 결과와 차이가 있는 것으로 미생물에 의한 수확후배지의 아미노산 변화(Fig. 2.)가 버섯균에 유리하게 작용한 것으로 판단된다. 그에 따른 처리별 자실체 생육은 Fig. 3.과 같다.

자실체 수량이 높았던 처리구 T1과 T2의 배지 경제적 비용 분석 결과 1만병 규모로 재배할 경우 대조배지의 원료비는 773,500원이며, 건조 수확후배지가 8% 첨가된 T1 처리구의 배지원료비는 632,250원, 건조 수확후배지가 18% 첨가된 T2처리구의 원재료 비용은 565,750원으로

Table 6. Cultural properties in *Pleurotus ostreatus* according to the substrate composition

Treatment ^x	Cultivation period (day)				Rate of primordia ^y (%)
	Mycelial growth	Formation of Primordia	Fruit body growth	Total cultivation	
Control	35	4	4	43	81 ^b
T1	35	4	4	43	99 ^a
T2	34	4	4	42	97 ^a
T3	30	5	4	39	64 ^c

^x Reference of Table 8

^y Values with different letters are significantly different at p<0.05 by DMRT.

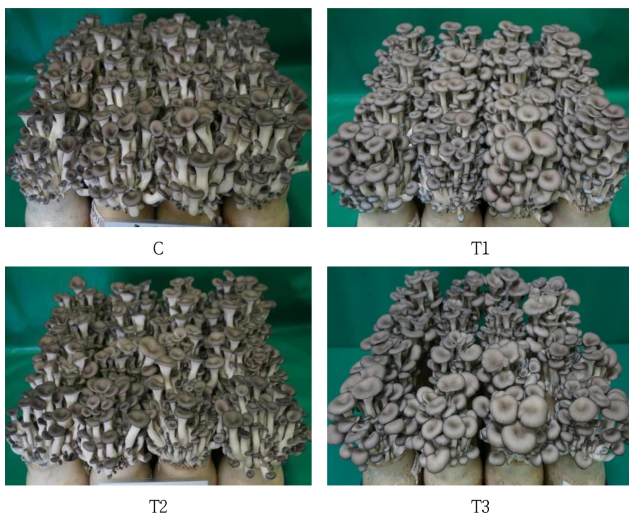


Fig. 3. Fruit body in *Pleurotus ostreatus* according to substrate composition

T1배지 사용시 대조 배지보다 약 14만원 절감되며, T2 배지 사용으로 대조 배지보다 약 20만원 절감되어 연간 300일을 재배한다면 약 6,200만원의 배지 비용 절감이 예상된다. Table 7의 생물학적 효율과 Table 8의 수확후배지 재활용에 따른 배지원재료의 경제적 비용 절감을 고려해볼 때 T2 배지 비율로 느타리 수확후배지를 활용한다면 수량에 감소 없이 배지 구입비용을 절감하여 농가소득에

Table 8. Analysis of economical costs and according to the substrate composition of treatment

(1 million bottle)

Treatment	Volume of material(kg)				Costs (won) ^x
	D-SMS	Poplar sawdust	Beet pulp	Cottonseed meal	
C	-	1,875	475	475	773,500
T1	200	1,500	425	375	632,250
T2	450	1,300	450	300	565,750
T3	650	1,000	450	250	479,000

^x unit cost of materials(won/kg) : poplar sawdust 220, beet pulp 345, cottonseed meal 415

기여할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 아미노산과 질소원이 증진된 수확후배지를 재사용하고, 느타리에서 영양원으로 사용되는 면실박의 사용을 줄이기 위해 수행되었다.

수확후배지의 질소원 증진을 위해 두 가지의 세균이 사용 되었으며, GM20-4는 느타리버섯의 수확후배지부터 분리되었고, *Rhodobacter sphaeroides*는 광주시농업기술센터로부터 분양받았다. 처리구에 사용된 수확후배지는 건조 후 사용했으며, 위의 2가지의 미생물 처리에 의해 수확후배지의 총질소 함량은 0.34% 증가되었다. 8% D-SMS 가진 T1처리구와 18% D-SMS가 첨가된 T2가 대조와 T3처리구보다 발이율이 높았으며, 생물학적 효율은 대조 110%, T1이 114%, T2가 112%, T3가 79%로 조사되었다. 경제성, 수량 및 생물학적 효율을 고려해볼 때 18% 건조 수확후배지를 사용한 T2가 느타리 재배배지로 가장 효율적인 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 지역특화작목과제(PJ011846)의 지원에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

Table 7. Fruit body characteristics in *Pleurotus ostreatus* according to substrate composition

Treatment	Pileus diameter (mm)	Stipe length (mm)	Stipe diameter (mm)	Number of available (ea/ bottle)	Yield ^x (g/bottle)	Efficiency of biology ^y (%)	Chromaticity of pileus ^z		
							L	a	b
Control	26	95	9.8	52	208 ^b	110 ^a	40	4.5	9.8
T1	30	93	8.8	53	230 ^a	114 ^a	46	4.1	10.8
T2	27	91	9.7	50	202 ^b	112 ^a	44	4.7	11.3
T3	30	83	9.3	38	156 ^c	79 ^b	47	3.9	10.9

^{xy} Values with different letters are significantly different at p<0.05 by DMRT

^z Chromaticity of pileus : L(light, 0~100); a(green~red, -128~127); b(blue~yellow, -128~127)

REFERENCES

- Baek IS, Kim JH, Lee YS, Shin BE, Lee YS. 2018. Improvement effect of total nitrogen and amino acids in spent mushroom substrates(SMS) by bacteria treatment. *J Mushrooms Sci Prod* 16: 225-230.
- Chang HY, Park HS, Yoon JS. 2008. Substitute cheap supplements development for *Pleurotus ostreatus* cultivation using food by-product dried wastes. *J Mushrooms Sci Prod* 6: 126-130.
- Cheong JC, Lee CJ, Shin PG, Suh JS. 2012. Recycling Post-harvest Medium from Bottle Cultivation for Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *J Mushrooms Sci Prod* 10: 167-173.
- Daniel JS, Steven AC. 1993. Sensitive analysis of cystine/cysteine using 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidy carbamate(AQC) derivatives. *Tech in protein Chem* 4: 299-306.
- Kim HK, Kim YG, Lee BJ, Lee BC, Yang ES, Kwon KH, Kim HG. 2009. Studies on the development of mushroom mediums of *Pleurotus eryngii* using ginko leaf pomace. *J Mushrooms Sci Prod* 7: 105-109.
- Kim JH, Ha TM, Ju YC. 2005. Selection of substitute medium of cotton seed pomace on the oyster mushroom for bottle cultivation. *J Mushrooms Sci Prod* 3: 105-108.
- Kim JH, Lee YH, Choi JI, Moon YW, Ju YC. 2011. Screening of optimum nutrient supplement of corncob as a main substrate for bottle culture of Oyster mushrooms. *J Mushrooms Sci Prod* 9: 166-196.
- Kwak WS, Jung SH, Kim YI. 2008. Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrate. *Biores Technol* 99: 2947-2955.
- Lee CJ, Han HS, Jhune CS, Cheong JC, Oh JA, Kong WS, Park GC, Park CG, Shin YS. 2011. Development of new substrate using redginseng marc for bottle culture of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *J Mushrooms Sci Prod* 9: 139-144.
- Lee HB, Jang MJ, Lee YH, Ju YC. 2011. Development of medium for *Volvariella volvacea* cultivation using spent oyster mushroom medium. *J Mushrooms Sci Prod* 9: 44-47.
- Lee NG, Lee JH, Mun YG, Jeong TS, Kwon SB. 2015. Yield characteristics according to use of post-harvest substrate of *pleurotus pulmonarius*. *J Mushrooms Sci Prod* 13: 310-313.
- Wang S, Xu F, Li S, Shao S, Song s, Rong C, Geng S, Liu yu. 2015. The spent mushroom substrates of *Hipsizigus marmoreus* can be an effective component for growing the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Scientia Horticulturae* 186: 217-222.
- Williams BC, McMullan JT, McCahey S. 2001. An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Biores Technol* 79: 227-230.
- Zadrazil, F. 1974. The ecology on industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae* and *Pleurotus eryngii*. *Mushroom Sci* 9: 621-652.