과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
느타리류 신품종 육성 및 재배기술 개발		버섯	'96~	농업기술원 친환경미생물 연구소	이채영
톱밥대체용 배지자원 실용화 연구		버섯	'24~'25	농업기술원 친환경미생물 연구소	**이채영**
색인용어	느타리, 톱밥 대체자원, 옥대펠렛, 콘코브, 병재배				

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the feasibility of corn stalk pellet as an alternative substrate for oyster mushroom bottle cultivation in order to reduce dependence on sawdust and establish a stable supply base for substrate materials. The chemical and physical properties, productivity, and post-cultivation utilization potential of stalk pellet were investigated.

Corn stalk pellet showed higher total nitrogen content and a lower C/N ratio than hardwood sawdust. In addition, it exhibited favorable physical properties for bottle cultivation substrate, including high bulk density, expansion rate, and water absorption capacity.

In the productivity test, no differences were observed among treatments in the days required for primordia formation or fruiting body growth in either 「Heuktari」 or 「Suhan-1ho」. However, yield differed depending on the substrate treatment: 「Heuktari」 showed a 3.7% higher yield in the T3 treatment (corn cob + corn stalk pellet), whereas 「Suhan-1ho」 showed a 6.1% higher yield and a 5 %p higher recovery rate in the T1 treatment (corn stalk pellet) than in the control. These results suggest that the effect of alternative sawdust resources may vary depending on the cultivar and substrate combination.

Overall, corn stalk pellet was considered a promising alternative substrate for oyster mushroom bottle cultivation, and the optimal substrate composition may differ according to cultivar characteristics.

Key words: Oyster mushroom, Sawdust substitute, Corn stalk pellet, Corn cob, Bottle cultivation

1. 연구목표

느타리는 국내 농산버섯 총생산량 152,662톤 중 58,115톤을 차지하는 주요 품목으로, 전체 농산버섯 가운데 가장 높은 생산량을 나타내고 있다(농림축산식품부, 2024). 특히 느타리 병재배는 경기도의 주력 재배 형태로, 초기에는 톱밥과 미강을 주원료로 한 배지 조성이 이용되어 병당 수량이 80 g 미만 수준에 머물렀으나, 1995년 경기도농업기술원에서 비트펄프와 면실박을 활용한 병재배 기술이 개발되면서 병당 150 g 이상으로 증수되었고(박우길, 1996), 최근에는 재배 조건과 품종에 따라 200 g 내외의 수량도 보고되고 있다(이 등, 2024)

그러나 느타리 배지의 주요 원료인 비트펄프, 면실박 등은 수입 의존도가 높고 품질 변동이 커 재배 안정성을 저해하는 요인으로 작용하고 있으며(조 등, 2024), 지속적인 재배 확대에 따라 톱밥 수요 증가와 자원 부족 문제가 심화되고 있다(장 등, 2010). 이에 따라 톱밥을 대체할 수 있는 다양한 자원의 발굴과 활용이 요구되고 있으며, 기존 연구에서도 콘코브, 코코피트, 농산부산물 등 다양한 대체재료의 적용 가능성이 보고된 바 있다(장 등, 2010; 김 등, 2020). 또한 느타리 수확후배지는 버섯 생산량 대비 약 2배 이상 발생하며, 셀룰로오스 및 단백질이 잔존하여 반추가축 사료로서 활용 가능성이 높은 자원으로 평가되고 있다(김 등, 2020).

따라서 본 연구에서는 느타리 병재배용 포플러류 톱밥 대체자원으로서 옥대펠렛, 콘코브 및 수확후배지 등의 활용 가능성을 검토하고, 이들 자원의 화학적·물리적 특성과 목질성분 조성을 구명하고자 하였다. 아울러 품종별 병재배 생산성을 비교하여 적합한 혼합배지 조성을 선발하고, 수확후배지의 성분 특성을 분석하여 사료적 활용 가능성을 평가함으로써, 느타리 병재배용 톱밥 대체 배지의 실용화 기반을 마련하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

〈시험 1〉 톱밥 대체자원 탄소원 적합성 평가

1) 시험재료 및 분석방법

본 시험은 원예 부산물을 활용한 포플러류 톱밥 대체 탄소원의 활용 가능성을 검토하기 위하여 수행하였다. 시험에 사용된 원예 부산물은 고추대, 코이어배지(토마토 재배 후), 옥대펠렛, 느타리 수확후배지, 표고 수확후배지, 발효 느타리 수확후배지다. 수집한 부산물은 하우스에서 1차 풍건한 후 80 ℃ 건조기에서 48시간 건조하여 수분을 제거하고 분쇄하여 배지 재료로 사용하였다. 배지의 화학적 특성을 파악하기 위하여 수분함량, pH, 총탄소(T-C) 및 총질소(T-N)를 분석하였다. 재료들에 대한 목질분석은 Van Soest 등(1991)의 방법에 준하여 Neutral detergent fiber(NDF), Acid detergent

fiber(ADF), Lignin을 측정하였다. Cellulose는 NDF에서 ADF를 뺀 값으로 구하고, Lignin은 산세제용액 처리 후 72% 농축황산을 처리하여 회화과정을 통해 분석하였고, Cellulose는 ADF에서 Lignin을 뺀 값으로 구하였다.

입경 분포는 건조 및 분쇄된 시료를 대상으로 표준 체(sieve)를 이용하여 분석하였다. 즉, 입경 크기별(8 ㎜이상, 8~5.6 ㎜, 5.6~4.0 ㎜, 4.0~2.0 ㎜, 2.0~1.0 ㎜, 1.0 ㎜ 미만) 체를 순차적으로 이용하여 진탕 체질한 후, 각 입경 구간별 시료의 중량을 측정하여 백분율(%, w/w)로 나타내었다.

2) 종균 제조

재배시험에 사용된 종균은 「흑타리」로 포플러류 톱밥과 밀기울을 8:2(부피비)로 혼합한 배지를 이용하여 제조하였다. 배지는 수분함량을 약 65%로 조절한 후 1,100 cc 폴리프로필렌(PP)병에 약 730 g씩 충진하고 121 ℃에서 90분간 고압살균하였다. 살균 후 접종실 온도 20 ℃에서 병당 약 15 g의 종균을 접종하였으며 온도 20 ℃, 상대습도 70%, CO_2 농도 6,000 ppm 이하의 암조건에서 배양하였다. 배양 완료 후 종균은 4 ℃에서 저장하였다가 접종 전에 상온에 일정시간 방치하여 사용하였다.

3) 재배시험 및 생육관리

수집된 포플러류 톱밥 대체재료에 대하여 재배시험을 실시하였다. 배지는 선발된 부산물과 영양원을 혼합하여 제조하였으며 재배용기는 1,100 cc PP병을 사용하였다. 배지는 수분함량을 약 65%로 조절하여 병당 약 730 g을 충진하고 121 ℃에서 90분간 살균하였다. 접종 후 온도 20 ℃, 상대습도 70%, CO_2 농도 5,000 ppm 이하의 암조건에서 배양하였다. 배양 완료 후 균긁기를 실시하고 20 ℃에서 발이를 유도하였으며 생육 단계에서는 온도를 20 ℃에서 시작하여 14 ℃까지 단계적으로 낮추고 CO_2 농도를 5,000 ppm에서 1,500 ppm 수준으로 조절하였다. 상대습도는 약 95% 수준으로 유지하였다. 버섯의 갓이 약 70% 개산하였을 때 수확하여 자실체 형태 및 수량을 조사하였다.

〈시험 2〉 톱밥 대체자원 활용 배지 생산성 검정

1) 시험재료

본 시험은 선발된 포플러류 톱밥 대체자원의 재배 적용 가능성과 생산성을 검토하기 「흑타리」와 「수한1호」를 대상으로 시험을 수행하였다. <시험1>에서 톱밥 대체자원으로 유망한 재료인 고춧대, 폐코이어배지와 버섯 수확후배지 3종(느타리 수확후배지, 표고 수확후배지, 발효 느타리 수확후배지)를 추가하여 시험에 사용하였다.

2) 배지 제조 및 배양

배지 제조는 대조구로 톱밥, <시험 1> 결과에 따라 전량 옥대펠렛, 콘코브로 대체 및 옥대펠렛과 콘코브를 부피비 50:50으로 처리구를 설정하였다. 배지는 처리별 배합비에 따라 혼합한 후 수분함량을 약 65%로 조절하여 1,100 cc PP병에 충진하여, 121 ℃에서 90분간 고압살균하였다. 살균 후 냉각된 배지에서 수분함량, pH, 총탄소(T-C), 총질소(T-N) 분석을 위한 시료를 준비하였다. 접종 후 배양은 온도 20 ℃, 상대습도 70%, CO_2 농도 6,000 ppm 이하의 암조건에서 실시하였다.

3) 자실체 생육 및 수량 조사

배양 완료 후 균긁기를 실시하고 20 ℃에서 발이를 유도하였으며 발이 단계에서는 온도 약 20 ℃, 환기를 하지 않았다. 자실체 생육 단계에서는 온도를 20 ℃에서 14 ℃까지 단계적으로 낮추고 CO_2 농도를 약 1,500 ppm 수준으로 조절하였다. 버섯의 갓이 약 70% 개산하였을 때 수확하였으며 자실체 형태, 생육 특성 및 수량을 조사하였다.

<시험 3> 톱밥 대체자원 선발 배지 농가실증

선발된 포플러류 톱밥 대체자원의 현장 적용성을 검토하기 위하여 경기도 내 느타리 재배 농가 2개소를 선정하여 농가 실증시험을 수행하였다. 시험 품종은 「흑타리」와 「수한1호」를 사용하였으며 시험 배지 조성은 <시험 2>의 생산성 검정 시험 결과를 바탕으로 옥대펠렛으로 전량 대체하여 시험하였다. 농가 실증시험은 병재배 방식으로 수행하였으며 배지 제조 및 재배 환경조건은 농가의 일반 재배방법을 기준으로 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 톱밥 대체자원 탄소원 적합성 평가

포플러류 톱밥 대체자원의 화학적 특성을 분석한 결과(표 1), 톱밥은 수분함량 29.4%, pH 4.9, 총질소(T-N) 0.17%, 총탄소(T-C) 48.2%, C/N 281로 나타났다. 탄소함량은 느타리 수확후배지(SMSPO)가 47.3%로 활엽수 톱밥과 비슷하고 나머지 재료들은 42.1%~45.9%로 다소 낮았다. 이에 비해 모든 대체자원은 상대적으로 높은 질소함량과 낮은 C/N을 보였다. 대체자원의 질소함량은 SMSF 2.46%, SMSPO 2.15%, SMSLE 1.19, 고춧대 1.18, 옥대펠렛, 폐코이어배지는 0.83%로 조사되었다.

표 1. 톱밥 대체자원 화학성

대체자원	수분함량 (%)	pH (1:20)	T-C (%)	T-N (%)	C/N
포플러류 톱밥(대조)	29.4	4.9	48.2	0.17	281
고춧대(건조,분쇄)	9.2	6.0	45.9	1.18	39
폐코이어배지	86.2	4.7	42.2	0.83	51
옥대펠렛	7.3	6.0	42.1	0.83	51
SMSPO♩	59.5	5.2	47.3	2.15	22
SMSLE♪(건조, 분쇄)	45.3	4.4	45.2	1.19	38
SMSF♪	39.5	6.6	43.8	2.46	18

♩「흑타리」 수확후배지(미발효), ♪표고 수확후배지(3주기 이상 수확), ♪발효 느타리 수확후배지

포플러류 톱밥 대체자원의 목질 성분을 분석한 결과(표 2), 톱밥은 Cellulose 51.4%, Hemicellulose 12.1%, lignin 26.2%로 나타났다. 고춧대(Cellulose 47.7%, Lignin 24.1%)와 SMSPO(cellulose 44%, Hemicellulose 12.1%, Lignin 24.3%)는 톱밥 대체자원 중 활엽수톱밥과 가장 비슷한 목질조성을 보였다. SMSLE와 옥대펠렛은 톱밥대체 자원 중 Hemicellulose 함량이 각각 26.4%, 21.7%로 가장 높은 재료로 나타났고, 폐코이어배지는 Lignin함량이 46.2%로 가장 높았다.

버섯 재배용 배지는 기본적으로 Cellulose, Hemicellulose, Lignin으로 구성된 lignocellulosic biomass이며, 이들 성분의 상대적 비율은 균사 생장, 효소 활성, 기질 분해성 및 최종 수량에 직접적인 영향을 미친다고 알려져 있다(Philippoussis 등, 2009). 일반적으로 Cellulose는 자실체 형성을 위한 주요 탄소원으로 작용하고, Hemicellulose는 Cellulose보다 분해가 쉬워 초기 균사 활착과 생장에 유리하며, Lignin은 백색부후균 계열 버섯이 분해할 수는 있으나 분해에 장기간 소요되는 등 이용이 어려운 것으로 알려져 있다.

표 2. 톱밥 대체자원의 목질 성분

(단위:%)

대체자원	Cellulose(C)	Hemicellulose(H)	Lignin(L)	NDF♬(L+H+C)
포플러류 톱밥(대조)	51.4	12.1	26.2	89.7
고춧대	47.7	11.9	24.1	84.9
폐코이어배지	35.6	3.3	46.2	84.1
옥대펠렛	34.7	21.7	23.7	80.1
SMSPO♩	44.0	11.0	24.3	79.2
SMSLE♪	5.2	26.4	24.2	55.8
SMSF♪	25.0	9.3	43.6	77.9

♩느타리 수확후배지(미발효), ♪표고 수확후배지(3주기 이상 수확) ♪발효 느타리 수확후배지

♬ Neutral detergent fiber(중성세제 불용성 섬유소)

포플러류 톱밥 대체자원의 물리성 및 수분흡수 특성 분석 결과(표 3), 톱밥의 가비중은 0.29 g/㎖, 부피팽창률 1.1, 수분흡수율 74.4%로 나타났다. 톱밥 대체자원 중 가비중은 옥대펠렛이 0.53 g/㎖, SMSLE가 0.38 g/㎖로 활엽수톱밥에 비해 질량이 무거운 재료로 나타났고, SMSF 0.25 g/㎖, 고춧대 0.23 g/㎖, SMSPO 0.22g/㎖, 폐코이어배지 0.13 g/㎖ 순으로 톱밥보다 함량이 낮았다. 부피 팽창율은 옥대펠렛이 2.2배로 가장 높아 수분 흡수 후 팽윤성이 가장 큰 재료로 나타났으며, 고춧대는 1.4로 그 다음 수준을 보였고, 나머지 재료들은 1.0~1.2로 톱밥과 비슷한 경향을 나타냈다. 최대 수분흡수율은 폐코이어배지가 88.8%로 가장 높아 보수성이 우수한 반면, SMSLE는 66%로 수분 보유력이 가장 낮았다. 전반적으로 대체자원은 가비중, 팽윤성 및 수분흡수 특성에서 서로 다른 물리적 특성을 나타내었고, 이러한 차이는 배지의 통기성, 수분 유지 및 살균 등에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

표 3. 톱밥대체자원의 물리성 및 수분흡수 특성

대체자원	가비중(g/㎖)	부피팽창률♬	최대수분흡수율♬(%)
포플러류 톱밥(대조)	0.29	1.1	74.4
고춧대(자연건조, 분쇄)	0.23	1.4	79.1
폐코이어배지(자연건조)	0.13	1.2	88.8
옥대펠렛	0.53	2.2	77.2
SMSPO♩(자연건조)	0.22	1.2	72.9
SMSLE♪(자연건조, 분쇄)	0.38	1.0	66.0
SMSF♪	0.25	1.1	77.0

♩느타리 수확후배지(미발효), ♪표고 수확후배지(3주기 이상 수확) ♪발효 느타리 수확후배지

♬침수 후 부피/침지 전 부피, ♬마른배지에 물을 충분히 첨가하여 24시간 방치 후 중력수 제거한 시료의 수분함량

포플러류 톱밥 대체자원의 입경 분포를 분석한 결과(표 4), 톱밥은 2.0~4.0 ㎜(46.1%)와 1.0~2.0 ㎜ 구간에 23.4%가 주로 분포하는 것으로 나타났다. 고춧대는 2.0~4.0 ㎜ 구간이 87.6%를 차지하여 비교적 큰 입경을 가지는 재료였다. 폐코이어배지는 1.0 ㎜ 미만(36.6%)과 1.0~2.0 ㎜(20.3%) 비율이 높아 미세 입자가 많은 특성을 보였다. 옥대펠렛은 옥수수대의 펠렛화 가공에 따라 8 ㎜ 이상 입자가 99% 이상을 차지하여 매우 큰 입경 구조를 나타냈다. SMSPO는 주로 1.0~2.0 ㎜(38.1%)와 2.0~4.0 ㎜(33.9%) 구간에 분포하였고, SMSLE와 SMSF는 1.0 ㎜ 미만 비율이 각각 58.6%와 38.0%로 높아 미세 입자 비율이 높았다. 일반적으로 버섯 배지는 적정 입경 분포가 공극 형성과 수분 유지의 균형에 중요한 역할을 하며, 미세 입자가 과도할 경우 산소 공급이 제한될 수 있어, 배지재료 선발시에 적절한 입경 크기를 선정하는 것이 중요하다.

표 4. 톱밥 대체자원의 입경분포

(단위: %, w/w)

대체자원	입경(단위: ㎜)					
	8 이상	8~5.6	5.6~4.0	4.0~2.0	2.0~1.0	1.0 미만
포플러류 톱밥(대조)	0	6.3	16.9	46.1	23.4	8.9
고춧대(자연건조, 분쇄)	0	0	0.3	87.6	8.1	4.2
폐코이어배지(자연건조)	7.7	12.2	9.4	12.8	20.1	36.6
옥대펠렛	99	0.8	0.3	0.1	0	0.5
SMSPO♩(자연건조)	0.9	2.5	5.7	33.9	38.1	19.4
SMSLE♪(자연건조, 분쇄)	1.5	3.1	3.3	11.3	22.1	58.6
SMSF♭	0	1.1	3.2	22.1	36.4	38.0

♩느타리 수확후배지(미발효), ♪표고 수확후배지(3주기 이상 수확) ♭발효 느타리 수확후배지

포플러류 톱밥 대체자원의 생산성 검정을 위해 혼합배지의 화학성 분석결과는 표 5와 같다. 수분함량은 활엽수톱밥(대조구) 처리가 68.1%를 나타났으며, 고춧대, 폐코이어배지 처리구는 각각 70.7, 72.0%로 높게 나타났고, 원재료의 수분 보수력이 낮은 SMSLE가 61.6%로 가장 낮았다. pH는 대조구가 4.9였으며, SMSLE가 4.7로 가장 낮고, SMSF가 5.5로 가장 높았으며, 기타 처리구는 4.9~5.1 범위로 톱밥과 비슷한 수준을 나타내었다. T-N 함량은 대조구가 1.87%였으며, 옥대펠렛 처리구는 1.83%으로 비슷한 수준을 보였다. 원재료의 질소 함량이 높은 고춧대(T-N 2.05), 폐코이어배지(2.53), SMSPO(2.80), SMSLE(2.12), SMSF(2.99) 처리구는 T-N 2.05~2.99로 증가된 경향을 보였다. T-C 함량은 42.9~46.6% 범위로 처리 간 큰 차이는 없었으며, 대조구(46.5%)와 비슷한 수준을 나타냈다. C/N은 대조구가 25.1이었는데, 고춧대 22.2, 옥대펠렛 23.7, SMSLE가 20.7로 나타났고, 특히, 폐코이어배지(17.5), SMSF(15.6) 처리구가 대조구에

비해 낮았다. 전반적으로 대체자원 혼합배지는 수분함량과 pH는 대조구와 비슷한 범위를 유지한 반면, 질소 함량 증가에 따라 C/N이 감소하는 경향을 나타냈다.

표 5. 톱밥 대체자원 혼합배지별 화학성

처리내용♩	수분함량 (%)	pH (1:20)	T-N (%)	T-C (%)	C/N
TC(포플러류 톱밥)	68.1	4.9	1.87	46.5	25.1
T1(고춧대)	70.7	5.1	2.05	45.2	22.2
T2(폐코이어배지)	72.0	4.9	2.53	44.2	17.5
T3(옥대펠렛)	67.0	5.1	1.83	42.9	23.7
T4(SMSPO)	67.0	4.9	2.80	46.6	16.7
T5(SMSLE)	61.6	4.7	2.12	43.9	20.7
T6(SMSF)	64.9	5.5	2.99	45.9	15.6

♩주재료(톱밥대체자원):비트펄프:면실박=50:30:20(v/v)

포플러류 톱밥 대체자원의 혼합배지별 생육특성은 표 6과 같다. 톱밥을 이용한 대조구는 병당 유효경수가 49개, 수량이 229 g으로 나타났다. 톱밥 대체자원 처리구 중 옥대펠렛(T3)는 유효경수 56개, 수량 241 g으로 대조구보다 높은 값을 나타내어 생산성이 우수한 것으로 확인되었다. 또한 SMSPO 처리구(T4)는 유효경수 44개로 대조구보다 낮았으나, 수량은 241 g으로 대조구보다 높았다. 반면 고춧대(T1), 폐코이어배지(T2), SMSF(T6)는 각각 148~175 g 수준으로 대조구 대비 낮은 수량을 나타내었으며, SMSLE(T5)는 자실체 발생이 이루어지지 않아, 톱밥 대체자원으로 활용이 어려울 것으로 판단된다.

투입된 배지량 대비 수량성을 나타내는 회수율은 대조구가 117%였으며, 옥대펠렛 처리구는 118%로 대등한 수준을 보였고, SMSPO 처리구는 113%로 대조에 비해 다소 낮았다. 또한 SMSPO는 배양 속도가 다소 느렸고 반복 사용에 따른 SMS 비율 증가문제가 있었다. 이상의 결과, 옥대펠렛은 유효경수, 수량 및 회수율에서 대조구와 동등 이상을 나타내어 톱밥 대체자원으로서 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

표 6. 톱밥 대체자원 혼합배지별 생육특성

처리내용♩	유효경수 (개/병)	수량 (g/병)	회수율 (%)♪	갓직경 (㎜)	대길이 (㎜)	대굵기 (㎜)
TC(포플러류 톱밥)	49	229	**117**	34	96	10.7
T1(고춧대)	32	148	70	31	87	12.4
T2(폐코이어배지)	34	151	101	35	88	11.5
T3(옥대펠렛)	56	241	**118**	32	96	10.8
T4(SMSPO)	44	241	**113**	34	100	12.8
T5(SMSLE)	-♬	-	-	-	-	-
T6(SMSF)	40	175	77	34	94	11.9

♩주재료(톱밥대체자원):비트펄프:면실박=50:30:20(부피비)
♪(생버섯 수량/건조배지무게)×100, ♬미발이

<시험 2> 톱밥 대체자원 활용 배지 생산성 검정

「흑타리」

선발된 포플러류 톱밥 대체자원을 활용「흑타리」품종에 대한 혼합배지의 이화학성 분석 결과는 표 7과 같다. pH는 대조구가 4.8이었으며, 대체자원 처리구는 5.1~5.2로 소폭 상승하였다. T-C 함량은 대조구가 46.5%였고, 대체자원 처리구는 44.0~45.0%로 범위로 큰 차이를 보이지 않았다. T-N 함량은 대조구가 1.72%였으며, 대체자원 처리구는 1.62~1.87% 범위로 처리 간 큰 차이는 나타나지 않았다. C/N은 대조구가 27.2로 옥대펠렛이 27.7로 대등한 수준을 보였고, 콘코브(T2) 및 옥대펠렛+콘코브(50:50, 부피비) 처리구(T3)는 각각 24.1, 24.8로 나타났다. 공극률은 대조구가 84.6%였으며, 대체자원 처리구는 84.9~85.1%로 처리 간 차이를 보이지 않았다. 전반적으로 대체자원 혼합배지는 대조구와 비슷한 화학적 및 물리적 특성의 차이가 적었다.

표 7. 톱밥 대체자원 활용 혼합배지별 이화학성(흑타리)

처리내용	수분함량 (%)	pH (1:20)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	공극률 (%)
TC(대조)	68.0	4.8	46.5	1.72	27.2	84.6
T1(옥대펠렛)	65.5	5.2	44.0	1.62	27.7	84.9
T2(콘코브)	66.2	5.1	45.0	1.87	24.1	85.1
T3(옥대펠렛+콘코브)	66.6	5.1	44.3	1.79	24.8	85.1

※ 주재료(포플러류 톱밥 또는 대체자원):비트펄프:면실박=50:30:20(v/v)

포플러류 톱밥 대체자원별 「흑타리」 품종에 배양을 31일 실시하고 버섯 발생을 실시했을 때, 초발이 소요일수는 5일, 생육일수는 4일로 모든 처리구에서 동일하게 나타났다(표 8). 톱밥 대체자원별 자실체 특성 및 수량은 표 9와 같다. 유효경수는 대조구가 병당 42.4개 나타난 반면, T2(콘코브)처리구가 50개로 가장 많고 발이도 균일한 것으로 나타났다. 수량은 T3(콘코브+옥대펠렛) 처리구가 228 g으로 대조구 대비 약 3.6% 높았고 통계적 유의성을 보였다(표9). 그러나 배지 투입대비 버섯 생산성 지표인 회수율은 123%로 대조와 대등한 수량을 보여, 콘코브와 옥대펠렛 처리구가 활엽수 톱밥 대체 가능성이 있을 것으로 판단된다.

표 8. 톱밥 대체자원별 생육특성(「흑타리」)

처리내용	배양일수(일)	초발이소요일수(일)	생육일수(일)	재배일수(일)
TC	31	5	4	40
T1	31	5	4	40
T2	31	5	4	40
T3	31	5	4	40

표 9. 톱밥 대체자원별 자실체 특성 및 수량(「흑타리」)

처리 내용	자실체 특성						회수율♪ (%)
	발이 균일도♩	유효경수 (개/병)	갓직경 (㎜)	대길이 (㎜)	대직경 (㎜)	수량♪ (g/병)	
TC	중	42.4	32.7	96.4	9.6	220 b	125
T1	중	41.4	33.7	93.7	9.4	217 b	123
T2	상	50.0	32.6	95.1	9.4	212 b	110
T3	중	44.7	34.0	99.6	9.3	228 a	123

♩ 뒤집기 후 발생이 균일한 병 수 비율: 80% 이상 상, 80~60% 이상 '중', 60% 이하 '하', n=80

♪ DMRT at 5%

♪ (수량/건조배지무게)×100

포플러류 톱밥 대체자원별 수확후배지의 가축사료화 가능성을 검토하기 위하여 화학성을 분석한 결과는 표 10과 같다. 반추가축 사료의 섬유성분 평가지표인 NDF(neutral detergent fiber)와 ADF(acid detergent fiber)를 분석한 결과, 대조구의 NDF와 ADF는 각각 81.4%와 66.9%로 나타났다. 대체자원 처리구의 NDF와 ADF는 T1(옥대펠렛)에서 각각 76.4%와 61.9%, T2(콘코브)에서 81.0%와 51.1%, T3(옥대펠렛+콘코브)에서 77.2%와 54.1%로 나타났다. ADF는 모든 대체자원 처리구에서 대조구보

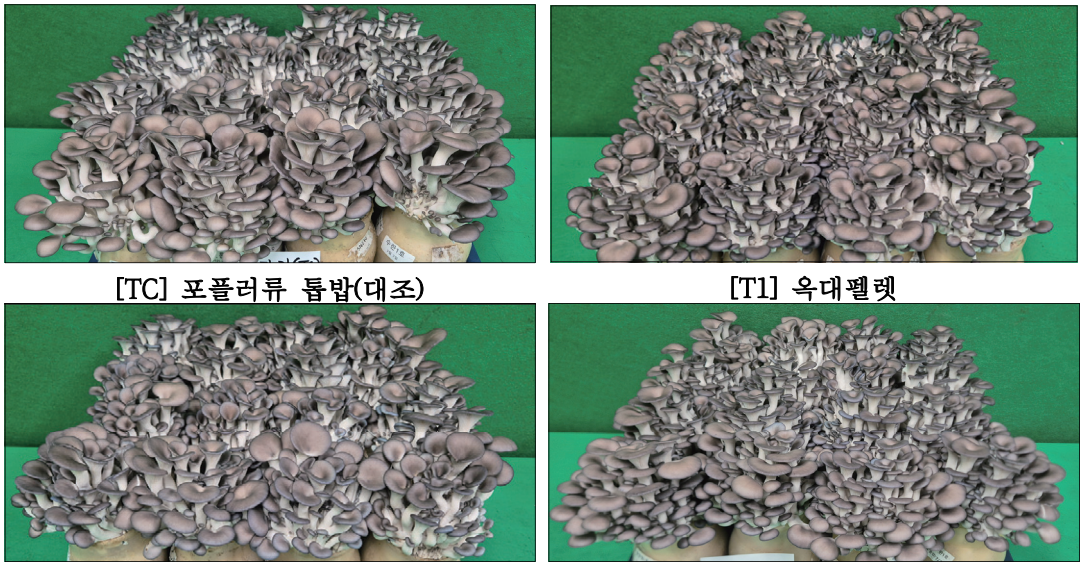
다 낮게 나타났으며, NDF는 처리구에 따라 차이를 보였으나 대체로 대조구와 비슷하거나 낮은 수준이었다. 일반적으로 NDF는 사료 섭취량과 관련이 있고, ADF는 셀룰로오스와 리그닌 등 난소화성 섬유성분 함량과 관련되어 소화 이용성과 밀접한 관계가 있다. 따라서 대체자원 처리구에서 ADF가 낮게 나타난 결과는 수확후배지의 섬유성분 측면에서 사료화에 유리한 특성을 가질 가능성을 시사한다. 다만 실제 사료적 가치는 추가적인 영양성분 분석 및 소화율 평가를 통해 종합적으로 검토할 필요가 있다. 이러한 결과는 톱밥 대체자원의 단독 또는 혼합 사용이 수확후배지의 섬유소 조성을 개선하여 사료 이용성을 높일 수 있음을 시사하며, 느타리 재배 농가에서 톱밥을 대체자원으로 전환할 경우, 수확후배지의 가축사료 활용을 통한 부가가치 증대가 가능할 것으로 기대된다.

표 10. 톱밥 대체자원별 수확후배지의 화학성(「흑타리」)

(단위: %)

처리 내용	Cellulose(C)	Hemicellulose(H)	Lignin(L)	NDF♩(C+H+L)	ADF♪(C+L)
TC	40.5	14.5	26.3	81.4	66.9
T1	38.2	14.5	23.7	76.4	61.9
T2	29.0	29.9	22.1	81.0	51.1
T3	25.1	23.1	29.0	77.2	54.1

♩ Neutral detergent fiber(중성세제 불용성섬유), ♪ Acid Detergent Fiber(산성세제불용섬유)



[TC] 포플러류 톱밥(대조) [T1] 옥대펠렛

[T2] 콘코브 [T3] 옥대펠렛+콘코브

그림 1. 톱밥 대체자원 혼합배지별 생육 비교(「흑타리」)

「수한1호」

포플러류 톱밥 대체자원을 활용「수한1호」품종에 대한 혼합배지의 화학성 분석 결과는 표 11과 같다. pH는 5.0~5.2 범위로 대조구와 비슷한 수준을 나타냈다. 총질소(T-N)는 콘코브 처리구(T2)에서 1.66%로 가장 높게 나타났으며, 총탄소(T-C)는 대조구에서 47.1%로 가장 높은 값을 보였다. C/N은 28.1~30.8, 공극률은 84.8~86.3%로 범위로 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았으며, 대조구와 대등한 수준을 나타냈다. 전반적으로 톱밥 대체자원을 활용한 혼합배지의 이화학적 특성의 차이는 적었다.

표 11. 톱밥 대체자원 활용 혼합배지별 이화학성(「수한1호」)

처리내용	수분함량 (%)	pH (1:20)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	공극률 (%)
TC(대조)	66.2	5.0	1.53	47.1	30.8	85.9
T1(옥대펠렛)	66.9	5.2	1.47	45.1	30.8	86.3
T2(콘코브)	67.7	5.1	1.66	46.2	28.1	84.8
T3(옥대펠렛+콘코브)	66.3	5.2	1.54	45.7	30.0	85.0

「수한1호」 품종을 이용하여 포플러류 톱밥 대체자원별 배양을 30일 실시했을 때, 초발이 소요일수는 4일, 생육일수는 평균 3.6일로 처리 간 차이를 보이지 않았다(표 12). 톱밥 대체자원별 자실체 특성 및 수량은 표 13과 같다. 유효경수는 대조구가 병당 30개였으며, T3(콘코브+옥대펠렛) 처리구에서 35.1개로 가장 높게 나타났다. 수량은 T1(옥대펠렛) 처리구에서 178 g/병으로 대조구(168 g/병) 대비 6.1% 높은 수량을 보였고(그림 2). 회수율 또한 T1 처리구가 94%로 대조구(89%) 대비 약 5% 높은 결과를 보였다. 또한, 콘코브(T2)와 콘코브+옥대펠렛(T3) 역시 각각 171 g/병, 171 g/병으로 대조구와 대등한 수준의 수량을 나타냈고, 회수율도 각각 91%, 89%로 대조구와 대등하거나 높은 경향을 나타내었다. 전반적으로 톱밥 대체자원 처리구는 대조구와 대등하거나 일부 처리에서 더 높은 수량과 회수율을 나타내어, 톱밥을 대체할 수 있는 가능성을 확인하였다. 특히 T2(옥대펠렛)는 수량성과 회수율에서 대조구 대비 높은 경향을 보여 「수한1호」 품종의 유망한 톱밥 대체자원으로 판단된다.

표 12. 톱밥 대체자원별 생육일수(「수한1호」)

처리내용	배양일수(일)	초발이소요일수(일)	생육일수(일)	재배일수(일)
TC	29	4	3.6	36.9
T1	29	4	3.6	36.9
T2	29	4	3.6	36.9
T3	29	4	3.6	36.9

표 13. 톱밥 대체자원별 자실체 특성 및 수량(「수한1호」)

처리 내용	자실체 특성						희수율♪ (%)
	발이 균일도♩	유효경수 (개/병)	갓직경 (㎜)	대길이 (㎜)	대직경 (㎜)	수량♪ (g/병)	
TC	중	30.0	32.4	100.9	10.8	168 [b]	89
T1	중	29.3	31.5	102.1	10.8	178 [a]	94
T2	상	32.7	30.4	104.2	11.0	171 [b]	91
T3	중	35.1	31.1	101.0	11.1	171 [b]	89

♩ 뒤집기 후 발생이 균일한 병 수 비율: 80% 이상 상, 80~60% 이상 '중', 60% 이하 '하', n=80
♪ DMRT at 5%
♪ (수량/건조배지무게)×100

포플러류 톱밥 대체자원별 수확후배지의 가축사료화 가능성을 검토하기 위해 화학성을 분석한 결과는 표 14와 같다. 대조구의 NDF와 ADF가 각각 79.3%, 69.3%로 나타났으며, 대체자원 처리구에서는 T1(옥대펠렛) 처리구가 각각 76.1%, 45.9%로 가장 낮은 값을 나타냈다. T2(콘코브)는 79.0%, 59.0%, T3(옥대펠렛+콘코브)는 77.6%, 62.0%로 나타나 전반적으로 대조구 대비 낮은 값을 보였다.

특히 ADF 함량은 모든 처리구에서 45.9~62.0% 범위로 대조구보다 낮아 섬유소의 이용 가능성이 향상된 것으로 판단된다. 또한 NDF 역시 일부 처리구에서 감소하거나 대등한 수준을 유지하여 사료적 가치가 개선된 것으로 나타났다.

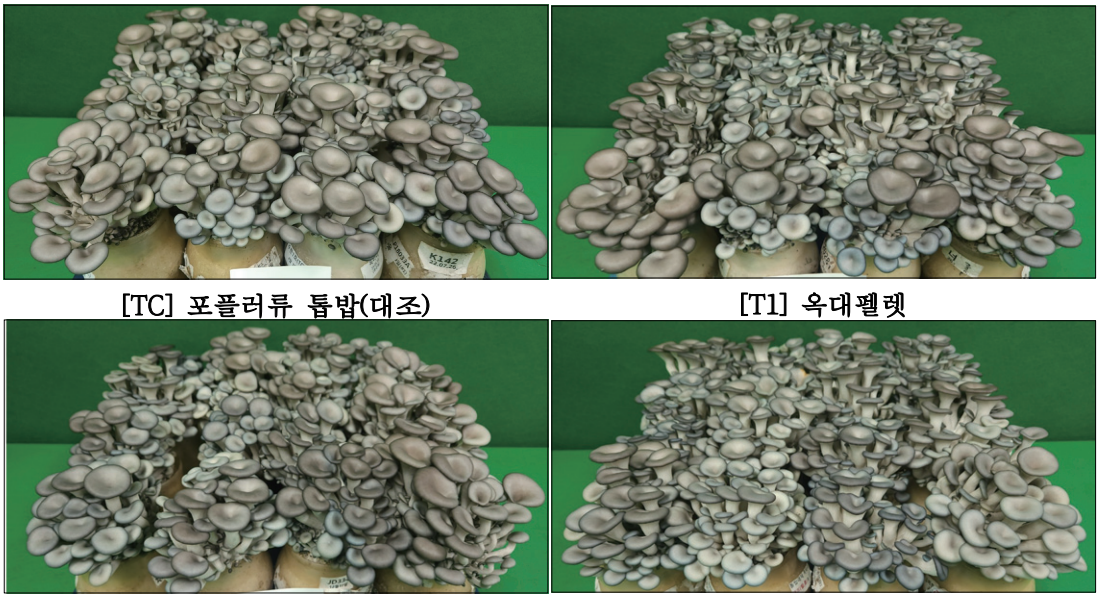
이러한 결과는 톱밥 대체자원을 활용할 경우 수확후 배지의 섬유소 조성이 개선되어 가축 사료로서 활용 가능성이 높아 질 수 있음을 시사한다. 특히, 「수한1호」 품종에 대하여 옥대펠렛(T1)은 가장 낮은 NDF와 ADF 값을 나타내어 사료 이용성이 가장 우수한 것으로 판단되며, 버섯 생산성과 더불어 수확후배지의 부가가치 향상에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

표 14. 톱밥 대체자원별 수확후배지의 화학성(「수한1호」)

(단위: %)

처리내용	Cellulose(C)	Hemicellulose(H)	Lignin(L)	NDF♩(C+H+L)	ADF♪(C+L)
TC	44.5	10.0	24.8	79.3	69.3
T1	21.6	30.2	24.3	76.1	45.9
T2	36.6	20.0	22.4	79.0	59.0
T3	39.1	15.6	22.9	77.6	62.0

♩ Neutral detergent fiber(중성세제 불용성 섬유소), ♪ Acid detergent Fiber(산성세제 불용성 섬유소)



[TC] 포플러류 톱밥(대조) [T1] 옥대펠렛

[T2] 콘코브 [T3] 옥대펠렛+콘코브

그림 2. 톱밥 대체자원 혼합배지별 생육 비교(수한1호)

<시험 3> 톱밥 대체자원 선발 배지 농가실증

<시험 2>의 선발된 포플러류 톱밥 대체자원인 '옥대펠렛'을 활용하여 농가 실증 시험을 수행한 결과 표 14, 표 15와 같다. 「흑타리」 재배 A농가에서 대조구 수량은 216 g/1,100 cc, 옥대펠렛 처리구는 186 g/1,100 cc으로 약 13.9% 낮은 것으로 나타났다. B농가에서도 대조구 174 g/850 cc, 옥대펠렛 146 g/850 cc으로 약 16.1% 감소하는 것으로 나타나 본 연구의 <시험2> 결과(대조구와 대등)와는 다소 상이한 차이를 보였다(표 14, 그림 3). 이는 배지재료 수분 공급 등 배지 혼합 방법과 농가 환경조건 차이 등 추후 표준 배지 제조 공정 검토가 필요할 것으로 판단된다.

반면, 「수한1호」에서는 A농가에서 대조구 173 g/1,100 cc대비 옥대펠렛 처리구가 178 g/1,100 cc으로 약 2.9% 증가하였으며, B농가에서는 172 g/850 cc 대비 185 g/850 cc으로 약 7.6% 증가하여 본 연구의 <시험 2>의 결과와 대등한 경향을 보였다(표 15, 그림 4).

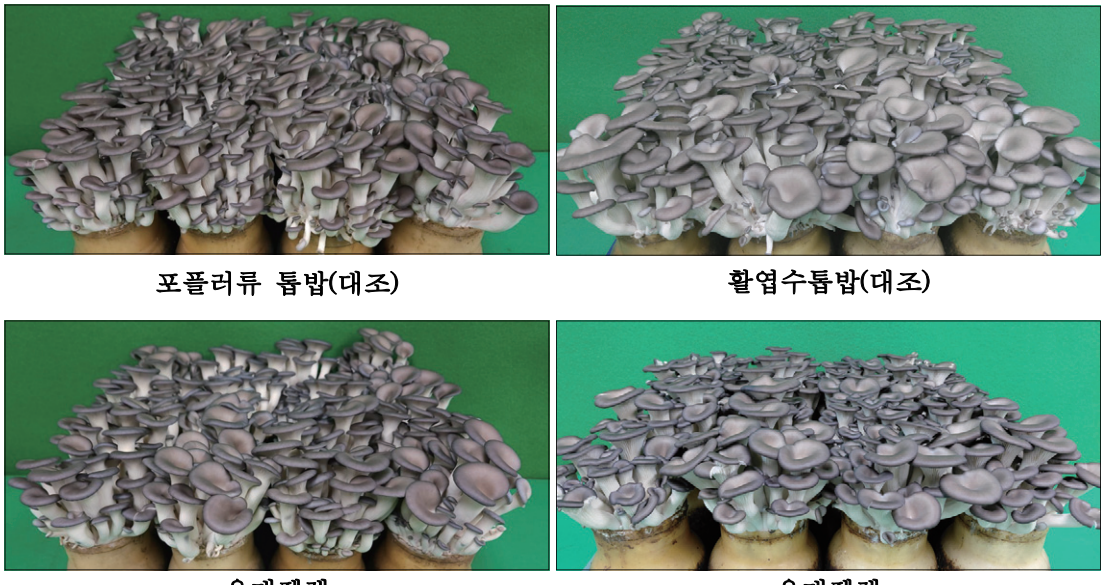
이러한 결과는 농가 실증 조건에서 품종에 따른 반응 차이가 있음을 나타낸다. 즉, 「흑타리」는 옥대펠렛 단독 사용 시 수량 감소 경향을 보인 반면, 「수한1호」는 수량 증가 효과를 나타냈다. 따라서 옥대펠렛은 느타리 병재배용 톱밥 대체자원으로 활용 가능성이 높으며, 특히 「수한1호」에서는 단독 사용이 가능하고, 「흑타리」에서는 혼합배지 형태로 활용하는 것이 적합할 것으로 보이며, 이에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

표 14. 선발 톱밥 대체재료 ‘옥대펠렛’ 농가실증 재배특성 및 수량(「흑타리」)

농가	처리 내용		배양 일수 (일)	초발이 소요일(일)	생육 일수 (일)	발이 균일도♩	유효 경수 (개/병)	갓직경 (㎜)	대길이 (㎜)	대직경 (㎜)	수량♪ (g/병)
A	톱밥 (대조)	1차	44	5	4	하	34	35.8	102.8	12.5	202
		2차	45	5	4	중	35	35.0	106.8	13.2	229
		평균	45	5	4	-	35	35.4	104.8	12.9	216[a]
	옥대 펠렛	1차	45	5	4	중	33	38.8	107.2	13.5	193
		2차	43	5	4	상	30	37.6	104.2	13.5	179
		평균	44	5	4	-	32	38.2	105.7	13.5	186[b]
B	톱밥(대조)		34	4	4	하	36	40.9	100.1	11.2	174[a]
	옥대펠렛		33	4	4	상	31	37.8	90.4	12.8	146[b]

♩ 뒤집기 후 발생이 균일한 병 수 비율: 80% 이상 상, 80~60% 이상 ‘중’, 60% 이하 ‘하’, n=80

♪ DMRT at 5%



포플러류 톱밥(대조) 활엽수톱밥(대조)

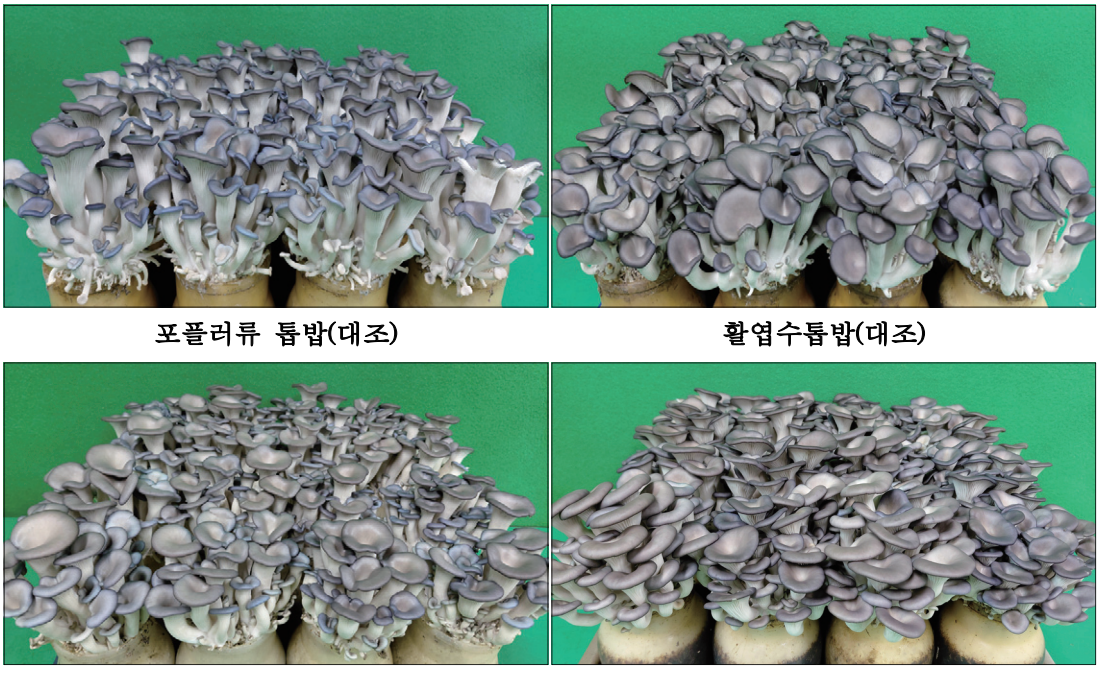
옥대펠렛 옥대펠렛

그림 3. 톱밥 대체자원 농가실증 생육 비교(흑타리, 좌-A농가/우-B농가)

표 15. 선발 톱밥 대체재료 '옥대펠렛' 농가실증 재배특성 및 수량(「수한1호」)

농가	처리내용		배양일수(일)	초발이소요일수(일)	생육일수(일)	발이균일도♩	유효경수(개/병)	갓직경(㎜)	대길이(㎜)	대직경(㎜)	수량♪(g/병)
A	톱밥(대조)	1차	38	4	3	상	31	30.2	103.3	13.9	167
		2차	37	4	3	상	35	31.3	93.5	13.6	178
		평균	37.5	4	3	-	33	30.8	98.4	13.8	173[b]
	옥대펠렛	1차	38	4	4	상	37	39.3	93.9	15.0	187
		2차	37	4	3	상	32	35.5	102.6	13.7	168
		평균	37.5	4	3.5	-	34.5	37.4	98.3	14.4	178[a]
B	톱밥(대조)	1차	33	4	3	상	34	34.5	104.6	11.8	184
		2차	33	4	3	상	28	30.6	112.8	12.5	160
		평균	33	4	3	-	31	32.6	108.7	12.2	172[b]
	옥대펠렛	1차	33	4	3	중	36	37	106.0	11.7	172
		2차	33	4	3	중	38	38.9	103.1	12.0	197
		평균	33	4	3	-	37	38.0	104.5	11.9	185[a]

♩ 뒤집기 후 발생이 균일한 병 수 비율: 80% 이상 상, 80~60% 이상 '중', 60% 이하 '하', n=80
♪ DMRT at 5%



포플러류 톱밥(대조) 활엽수톱밥(대조)

옥대펠렛 옥대펠렛

그림 4. 톱밥 대체자원 농가실증 생육 비교(수한1호, 좌-A농가/우-B농가)

4. 적요

느타리 안정생산 및 농가경영비를 절감하고자 포플러류 톱밥 대체 자원을 탐색 및 선발하고 배지자원의 실용화를 위해 실증실험을 수행한 주요 결과는 다음과 같다.

가. 톱밥 대체자원 원재료의 화학적 특성을 분석한 결과, 대체자원은 pH 4.4~6.6 범위로 균사생장 적정 범위에 해당하였으며, 총질소 함량은 0.83~2.46%로 톱밥(0.17%)보다 높고 C/N은 낮아 배지 영양 공급 측면에서 유리한 특성을 나타냈다.

나. 목질 및 섬유 성분 분석 결과, 활엽수톱밥은 Cellulose 함량이 높은 반면, 옥대펠렛 및 콘코브 등 대체자원은 Hemicellulose 비율이 높아 상대적으로 분해가 용이한 탄소원을 제공하는 것으로 나타났다.

다. 물리적 특성 분석 결과, 옥대펠렛은 가비중 0.53 g/㎖, 부피팽창율 2.2배로 가장 높았으며 수분 흡수율도 우수하여 배지의 공극 형성과 수분 유지 측면에서 유리한 특성을 나타냈다.

라. 톱밥 대체자원 혼합배지 적합성 검정 결과, 옥대펠렛 처리에서 수량이 241 g/병으로 가장 높았으며, 회수율 또한 118%로 대조구(117%)와 대등하여 톱밥 대체 가능성이 높은 것으로 확인되었다.

마. 생산성 검정에서 「흑타리」는 옥대펠렛+콘코브(50:50) 혼합 처리에서 수량이 228 g/병으로 가장 높았으며, 옥대펠렛 단독 처리도 대조와 대등한 수준을 나타냈다. 농가 실증 결과, 옥대펠렛 처리에서 수량은 약 13.9~16.1% 감소하여 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

바. 「수한1호」는 생산성 검정 옥대펠렛 100% 대체 처리에서 수량이 178 g/병으로 가장 높고 회수율도 94%로 대조보다 높은 경향을 보였으며, 농가 실증 시험에서도 수량이 2.9~7.6% 향상되었다.

사. 따라서, 옥대펠렛은 느타리 병재배용 톱밥 대체자원으로 활용 가능하며, 품종에 따라 「수한1호」은 단독 또는 혼합, 「흑타리」는 콘코브와 혼합 사용이 적합한 것으로 판단되었다.

5. 인용문헌

농림축산식품부. 2024. 특용작물 생산실적.

김정한, 장명준. 2020. 수확 후 배지의 가축 사료화를 위한 느타리 생육배지 톱밥 대체재료 선발 연구. 한국균학회지 48(4): 407-414.

노재관, 최재선, 최성열, 민경범, 구창덕. 2008. 프라타너스 전정가지 톱밥을 이용한 느타리버섯 재배. 한국버섯학회지 6(2): 43-46.

이채영, 최종인, 김정한, 김연진. 2024. 느타리 신품종 '대선'의 균사배양 및 자실체 생육 특성. 한국버섯학회지 22(3): 117-121.

박우길. 1996. 비트펄프와 면실박을 이용한 애느타리 병재배에 관한 연구. 농학석사학위논문, 강원대학교 대학원.

장명준, 이윤혜, 주영철. 2010. 느타리버섯 병재배의 톱밥 대체 배지 재료 선발. 한국균학회지 38(2): 142-145.

조성연, 박혜성, 안기홍, 이강효. 2024. 느타리 생육용 톱밥배지의 과수 전정가지 활용 가능성 분석. J. Mushrooms 22(4): 256-260.

Philippoussis, A. (2009). Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates. Springer, pp. 163-196.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74, 3583-3597.

6. 연구결과 활용제목

○ 느타리 병재배용 톱밥 대체 배지 개발(영농활용, 2025년)
○ 느타리 병재배용 톱밥 대체 배지 개발(학술발표, 2025년)
○ 느타리 톱밥대체자원의 버섯 생육 특성(논문게재, 2026년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성 명	수행업무	참여년도	
						'24	'25
톱밥대체용 배지원 실용화 연구	**책임자**	**친환경미생물연구소**	**농업연구사**	**이 채 영**	**세부과제 총괄**	-	○
	공동연구자	친환경미생물연구소	농업연구관	이윤혜	'24 세부과제 총괄	○	-
	〃	〃	농업연구사	최종인	균주관리	○	-
	〃	〃	〃	김정한	성분분석	○	○
	〃	〃	〃	최현진	특성조사	-	○
	〃	〃	〃	박남원	재배관리	○	○
	〃	〃	농업연구관	최병열	연구자문	-	○