

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ009961)

국산 양송이 품종 생산효율 증대를 위한 종합 재배관리 기술개발

(Development of integrated cultivation management technology for improving production efficiency in domestic varieties of button mushroom)

국립원예특작과학원

연구수행기간
2014.01 ~ 2016.12

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “국산 양송이 품종 생산효율 증대를 위한 종합 재배관리 기술개발에 관한 연구”(개발기간 : 2014. 01. ~ 2016. 12.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 양송이 배지 발효미생물의 작용양상 및 생산성 향상 기술 개발

제1협동연구과제 : 양송이 대체배지 재료선발 및 재배적응기술 개발

제2협동연구과제 : 양송이 안정 생산을 위한 새로운 복토재료 개발

제3협동연구과제 : 양송이 재배사 오염원 분석 및 수확후배지 재활용 기술 개발

2017. 02. 28.

제1세부/협동연구기관명 : 국립원예특작과학원

제1세부/협동연구책임자 : 이 찬 중

참여연구원 : 정종천, 문지원, 오연이, 유영미

제1협동/협동연구기관명 : 순천향대학교

제1협동/협동연구책임자 : 이 병 의

참여연구원 : 최소희, 김수경

제2협동/협동연구기관명 : 충청남도농업기술원

제2협동/협동연구책임자 : 김 용 균

참여연구원 : 이병주, 이미애

제3협동/협동연구기관명 : 충남대학교

제3협동/협동연구책임자 : 윤 민 호

참여연구원 : 이윤석, 송준섭, 전주현, 김아영

주관연구책임자 : 이 찬 중



주관연구기관장 : 국립원예특작과학원장



농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서

열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제번호	PJ009961		연구기간	2014~2016
연구사업명	단위사업명	공동연구사업		
	세부사업명	신품종지역적응 연구		
	내역사업명	화훼, 특용작물 품종경쟁력 향상기술개발		
연구과제명	주관과제명	국산 양송이 품종 생산효율 증대를 위한 종합 재배관리 기술개발		
	세부(협동) 과제명	(1세부) 양송이 배지 발효미생물의 작용양상 및 생산성 향상 기술 개발 (1협동) 양송이 대체 배지재료 선발 및 재배적응 기술개발 (2협동) 양송이 안정 생산을 위한 새로운 복토재료 개발 (3협동) 양송이 재배사 오염원 분석 및 수확후배지 재활용 기술 개발		
	구분	연구기관	소속	성명
연구책임자	1세부	국립원예특작과학원	벼섯과	이찬중
	1협동	순천향대학교	화학과	이병의
	2협동	충남농업기술원	원예연구과	김용균
	3협동	충남대학교	생물환경화학과	윤민호
총 연구기간 참여 연구원 수	총: 16명 내부: 4명 외부: 12명	총 연구개발비	정부: 480,000천원 민간: 천원 계: 480,000천원	
위탁연구기관명 및 연구책임자		참여기업명		
국제공동연구	상대국명:	상대국 연구기관명:		
요약 :	<p>○ 양송이 재배시 미생물상 변화를 통한 배지발효 판단기준 설정 - 정상적인 발효 : 푸른곰팡이균 불검출, 고온성 방선균 다량 검출</p> <p>○ 톱밥 발효배지를 활용한 새로운 양송이재배 기술 개발 - 배지의 연중 안정적인 수급 및 생산자동화 가능</p> <p>○ 벗짚 대체용 배지재료 선발 및 재배적응 기술 개발 - 대체 배지개발 : 벗짚80%+솜20%, 벗짚50%+밀짚50%</p> <p>○ 양송이 재배시 식양토를 대체한 한국형 복토재료 개발 - 식양토 대체 새로운 복토재료 활용시 수량성 17~18% 증수효과</p> <p>○ 양송이 수확후배지를 활용한 기술 개발 - 수도용 중량상토 제조기술 개발 - 간척지 및 오염토양 정화용 토양개량제 활용기술 개발 - 양송이 수확후배지를 활용한 석회처리비료 개발 - 양송이 수확후배지의 퇴비화를 통한 재활용 기술개발</p>			
	보고서 면수			

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<p>1. 양송이 재배과정에서 배지발효에 관여하는 미생물을 분리하여 분류학적인 특성을 규명하고, 이들 분리 균이 양송이 버섯균과의 생육 및 연관관계를 밝히고자 하였고, 효소들의 상호작용을 탐색하여 양송이 배지발효 최적 조건을 구명하고자 하였다.</p> <p>2. 양송이버섯 배지의 품질 저하 및 가격 상승에 따라 재배농가의 어려움이 커지고 있어 재배 안정화를 위한 새로운 대체배지의 선발 및 배지 표준화로 안정적인 생산기반을 구축하여 재배농가 소득 증가에 기여하고자 하였다.</p> <p>3. 양송이 재배용 복토로 사용되는 질 좋은 식양토를 채취 또는 구입이 어려운 실정으로 양송이 재배 안정화를 위한 식양토 대체 새로운 복토재료를 개발하여 생산성 향상 및 농가소득증대에 기여 하고자 하였다</p> <p>4. 양송이 수확후배지의 활용기술을 개발하기 위하여 다기능 비료로서의 적용실험과 간척지 및 오염토양 복토재료로서의 활용도를 평가 하였다. 또한 양송이 재배사 지역별 또는 주변환경의 차이에 따른 오염원 실태를 조사하였다.</p>
연구개발성과	<p>1. 양송이 배지발효와 밀접한 관련이 있는 미생물들은 발효단계별 배지 내에서 내열성 세균, 방선균, 형광성 <i>pseudomonas</i> 속, 사상균 등 다양한 미생물들이 분포하였다. 그리고 이러한 분리균은 양송이 버섯균과의 상호작용에 있어 발효과정이 진행될수록 버섯균사의 생육을 저해하는 미생물의 수가 줄어드는 경향을 확인 하였고, 분리한 미생물의 분비성 물질을 통해서 양송이 버섯균의 생육과 증식에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 분리 미생물에 대한 다양한 효소활성을 조사한 결과 발효 초기에는 cellulose 분해균이 먼저 탄소원을 분해한 후 hemicellulose 분해균이 부차적으로 작용하였고, pectin 분해균은 전체 발효과정동안 왕성하게 작용하였으며, protease 분해균은 발효 초기에 작용하지만, 발효 후 기로 갈수록 작용양상은 줄어들었다. 고온성 발효단계가 진행될수록 유해병원균이 푸른곰팡이균과 중온성방선균은 생육이 억제되거나 사멸되는 양상을 보였고, 셀룰로스, 리그닌, 키틴 등을 분해하는데 중요한 역할을 하고 있는 고온성 세균과 고온성 방성균는 높은 밀도를 보였다.</p> <p>2. 새로운 볶짚 대체배지로서 톱밥을 선발하여 야외발효와 실내 발효과정을 거쳐 계분과 혼합한 발효계분으로 양송이버섯을 재배하여 신규 양송이버섯 배지로서 가능성을 확인하였으며 톱밥에서</p>

	<p>재배한 양송이버섯은 기존 벗짚이나 밀짚으로 재배한 버섯보다 단백질 함량이 16% 높았다. 또한 기존 농가에서 사용하는 배지에 대한 표준화로 벗짚 대비 벗짚과 솜의 배합비가 벗짚 80% 솜 20%에서 수량성과 상품비율이 19% 증가하였으며, 벗짚과 밀짚의 혼합비도 같은 비율로 혼합하는 것이 수량성이 크게 증가하였다.</p> <p>3. 양송이 안정 생산을 위한 새로운 복토재료로 ‘식양토50% + 양송이수확후배지50%’를 사용했을 때 관행 ‘식양토’보다 균사배양이 상태가 양호하고, 수량이 32.0kg/3.3m²으로 13% 증수됨 부족한 식양토를 대체할 수 있고 양송이 재배지역의 환경오염 예방 및 병해충 발생을 줄일 수 있어 양송이 농가의 애로기술 해결할수 있다. 양송이 복토재료로 저가의 원예용 ‘피트모스50%+코코피트50%’를 사용했을 때 관행 ‘식양토’보다 균사배양 상태가 양호하고, 수량이 32.9kg/3.3m²으로 4% 증수된다. 그리고 복토재료의 원활한 수급과 생산성 향상으로 재배농가 소득에 기여하고 또 수확후 배지는 유기질 퇴비로 제품화 할 수 있는 이점이 있다</p> <p>또한 ‘코코피트50%+피트모스50%’, ‘코코피트30%+피트모스50%+제올라이트20%’, ‘코코피트75%+버텀애쉬(석탄재)25%’ 등 새로운 복토재료를 혼합처리 했을 때에도 식양토 대체 효과 있었다.</p> <p>4. 양송이 수확후 배지를 이용한 석회처리비료 활용기술과 30일 퇴적된 양송이 배지만을 비료로서의 활용기술과 간척 지 및 오염토양의 복토재료로서 활용기술을 개발하였다. 또한 양송이 재배사 주변 환경요인을 평가하고 오염원을 조사하였다.</p>
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>1. 배지의 발효 단계별 미생물 양상 및 관여 요인 분석을 통한 안정생산 기술을 개발하고 양송이 생산성 증대를 위한 미생물과의 상호작용 분석 및 배지 발효와 양송이 생육과의 관련성 분석을 통한 배지 발효의 표준화 기준을 확립하여 농가에 보급하고자 한다.</p> <p>2. 양송이버섯 재배용 벗짚의 대체배지로서 톱밥배지의 발효조건을 개선하여 최적화로 수량성을 개선하면 경제성이 충분히 확보된 고품질의 양송이버섯의 생산이 가능하고 한국형 자동화에 적합하게 배지를 안정적으로 생산할 수 있다. 기존의 벗짚배지는 솜과 밀짚의 최적화된 배합비를 균일하게 발효시켜 배지를 생산하면 수량성과 상품성을 안정적으로 증가시켜 소득화대에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 다양한 배지재료에 대한 퇴비화 기술개발은 배지원료의 다각화 및 국내 관련 산업의 발전에도 기여하여 양송이버섯의 대외 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 기대한다.</p> <p>3. 양송이 안정 생산을 위한 새로운 복토재료로 ‘식양토 50% +</p>

	<p>양송이 수확후 배지 50%’를 사용했을 때 부족한 식양토를 대체할 수 있고 양송이 재배지역의 환경오염 예방 및 병해충 발생을 줄일 수 있어 양송이 농가의 애로기술 해결할수 있다. 양송이 복토재료로 원예용‘피트모스50%+코코피트50%’를 사용했을 때 복토재료의 원활한 수급과 생산성 향상으로 재배농가 소득에 기여하고 또 수확후 배지는 유기질 퇴비로 제품화 할 수 있는 이점이 있다</p> <p>4. 다기능 비료 및 간척 지 및 오염토양 복토재료로서 양송이 수확후 배지의 활용기술을 제공함은 물론, 양송이 재배사의 오염원과 재배 환경을 개선할 수 있는 요인을 제시하였다.</p>				
중심어 (5개 이내)	양송이버섯	배지	복토	대체배지	양 송 이 수 확 후 배 지

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<p>1. The aim of this study was to identify the taxonomic characteristics of microorganisms involved in the fermentation of medium during the cultivation of mushrooms and to clarify the relationship between the growth and the relationship between these isolates and mushroom bacteria and the condition.</p> <p>2. Due to decreasing qualities and increasing prices of button mushrooms, it has been difficult to cultivate an industry for them in Korea. Therefore, the purposes of this research were to develop and standardize a replacement culture medium and to find an optimized traditional process of using rice and/or wheat straws and cotton to continue and stabilize production processes of button mushrooms at mushroom farms. The results should be better qualities of the mushroom and more income sources for mushroom cultivators</p> <p>3. This study was carried out to contribute for the productivity improvement and farm house income increase by developing new casing material substituting current clay loam casing soil because clay loam soil is difficult to gather more and more.</p> <p>4. To development application methods of spent Button mushroom media, availability as multiple fertilizer as well as covering soil for bioremediation of contaminated soil was evaluated in this research. Furthermore, factual survey on contamination sources around Button mushroom cultivation facility was also performed.</p>
Results	<p>1. This study analyzed population density changes and taxonomic characteristics of various microorganisms, which play important roles in compost of <i>Agaricus bisporus</i> and examined changes in decomposition-related enzyme activity secreted by these microorganisms. Various microorganisms such as thermophilic bacteria, actinomycetes, fluorescent <i>pseudomonas</i> spp. and filamentous bacteria are closely related to compost of <i>Agaricus bisporus</i>. The population density of these microorganisms changes and harmful bacteria disappear during thermophilic compost. During outdoor compost,</p>

Psychrobacter sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. and *Pseudoxanthomonas* sp. showed the highest percentage distribution in the different culture medium while *Bacillus* sp. and *Psychrobacillus* sp. were the most dominant after pasteurization. In the early stage of compost, hemicellulose degrading bacteria acted firstly after degrading the carbon source. The pectin degrading bacteria acted strongly during the whole compost process, and protease-degrading bacteria acted at the early stage of fermentation. As the thermophilic compost step progresses, the harmful pathogens are inhibited or killed in the growth of blue fungi and mesophilic actinomycetes, and the thermophilic bacteria and thermophilic bacteria which plays an important role in decomposing cellulose, lignin and chitin have high density.

2. Sawdust was selected for developing the replacement culture medium and conducted fermentation processes in both outdoor and indoor facilities. The culture medium was mixed with chicken manure and was utilized for cultivating button mushrooms. From the results, the button mushroom utilizing the replacement culture medium (fermented with sawdust and chicken manure) had more protein content (16%) than that of mushrooms utilizing traditional culture mediums, such as rice straws and/or wheat straws. When the traditional materials were applied in a 4:1 ratio of rice straws to cotton for culture medium of button mushroom, the ratio significantly increased production quality by 19% compared to other ratios. Also when there were applied the same ratio of rice straws and/or wheat straws, production of button mushroom was increased too.

3. When the new casing materials were used for the button mushroom stable production, ‘clay loam 50% + button mushroom media after harvest 50%’ was better in mycelia growth and yielded 13% more with 32.0kg/3.3m². Such material could substitute for insufficient clay loam soil by preventing environmental contamination and disease-pest occurrence. When the low-cost horticultural ‘peat moss 50% + coco peat 50%’ were used, they were better in mycelial growth and

	<p>yielded 4% more with 32.9kg/3.3m² compared to conventional ‘clay loam soil’. These casing materials have advantages such as easy supply, productivity improvement etc. Also mixture of casing material such as ‘peat moss 50% + coco peat 30% + zeolite 20%’, ‘coco peat 75% + coal ash 25%’ have the effect of substituting conventional casing soil.</p> <p>4. The methods for preparation and application of multiple fertilizers with spent Button mushroom media was not only developed, but also availability as covering soil of reclaimed land or contaminated soil was established.</p>
Expected Contribution	<p>1. We will analyze the microbial pattern of the compost stage of the medium, and establish the medium compost standards by analyzing the relationship between the compost of the medium and the growth of the mushroom, thereby contributing to the production of high quality mushroom and the increase of the farm income.</p> <p>2. The developed replacement culture medium for cultivating button mushrooms is able to produce higher qualities and to make better prices of the mushroom when the replacement of culture medium is studied and improved to optimized cultivating conditions of the mushroom. Furthermore it should utilize an automatic system for producing the culture medium for Korean button mushrooms in the future. The optimized traditional process also expects to produce better quality button mushrooms and to raise income resources steadily for mushroom cultivators when they use the optimized ratio (4:1) of fermented rice straws and cotton. In order to compete better against international button mushroom productions, studies of a variety of culture medium materials and technologies for optimized compositing conditions of the culture medium are required to improve production qualities of Korean button mushroom cultivation and business in the future.</p> <p>3. As a new casing materials ‘clay loam 50% + button mushroom media after harvest 50%’ was good enough in substituting current casing soil by preventing environmental contamination and disease-pest occurrence. Such mixtures after</p>

	<p>cultivation might be used to produce organic fertilizer. The low-cost horticultural ‘peat moss 50% + coco peat 50%’ mixture could be used with some advantages of easy supply, productivity improvement etc.</p> <p>4. The results of this research will provide farmers or related experts utilization technology for spent Button mushroom media as fertilizers, overing soil of reclaimed land or contaminated soil and solution of contamination sources around Button mushroom cultivation facility.</p>				
Keywords	Agaricus bisporus	compost	Casing	Replacement culture medium	Contamination source evaluation

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황	14
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	15
제 4 장 목표달성을 및 관련분야에의 기여도	85
제 5 장 연구결과의 활용계획 등	86
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	86
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	103
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황	103
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	103
제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적	103
제 11 장 기타사항	105
제 12 장 참고문헌	105

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발 목적

양송이 재배면적과 생산량은 증가되나 단위면적당 생산량은 감소추세에 있으며, 산업부산물을 이용한 버섯 배지개발에 대한 연구는 많이 이루어지고 있지만, 배지재료에 대한 기본적인 연구부족으로 안정적인 수량을 획득 및 안전성 높은 버섯을 생산하기 위한 기반기술이 부족하다. 외국에서는 '50~'60년대에 배지의 발효 및 관여 미생물에 대한 연구가 많이 이루어졌으며, 국내에서는 '60년대 초 벗짚을 이용한 재배법이 개발되었지만 주로 외국의 재배법을 기준으로 보급되었으며, 양송이는 '60년대 초 벗짚을 이용한 재배법이 개발되어 농가의 고소득 작목으로 자리 잡았으나, 이후로는 재배법에 대한 연구는 거의 없었으며, 최근 배지재료의 품질 저하와 가격 상승에 따라 농가피해가 증가 하고 있는 실정이다. 따라서 관행적 재배방법에 대한 전반적인 개선이 절실하게 요구되고 있고, 특히 배지재료의 품질 저하와 가격 상승에 따라 농가피해가 증가하고 있어 새로운 배지재료의 선발과 재배 안정화를 위한 대체 복토재료의 개발이 요구되고 있다.

양송이버섯 배지의 품질 저하 및 가격 상승에 따라 재배농가의 어려움이 커지고 있어 재배 안정화를 위한 새로운 대체배지의 선발 및 배지 표준화로 안정적인 생산기반을 구축하여 재배 농가 소득 증가에 기여하고자 하였다.

양송이 재배용 복토로 사용되는 질 좋은 식양토를 채취 또는 구입이 어려운 실정으로 양송이 재배 안정화를 위한 식양토 대체 새로운 복토재료를 개발하여 생산성 향상 및 농가소득증대에 기여 하고자 하였다.

제2절 연구 개발의 필요성

양송이(*Agaricus bisporus* (J. Lange) Sing.)는 주름버섯목(Agaricales)에 속하는 식용버섯으로서, 맛과 향기가 뛰어나서 세계적으로 널리 소비되는 버섯이며, 주름버섯속 버섯은 거의 전 세계에 분포하고 있으며, 그 중 담황색주름버섯(*A. silvicola*)과 *A. xanthodermus* 등 단 2종만이 독버섯일 뿐 주름버섯(*A. campestris*) 등 나머지 대부분의 버섯이 식용되고 있다. 양송이(*A. bitorquis*), *A. bitorquis* 및 *A. brunescens* 등은 인공 배양으로 다량 생산되는, 경제적으로 대단히 중요한 버섯이며, 세계의 버섯생산량은 연간 약 150만톤이며, 그 중 양송이는 100만톤으로 식용버섯 전체의 약 70%를 점하고 있으며, 세계적으로 유통되는 유일한 「버섯」이며 소비량은 계속하여 증가하고 있다. 양송이는 프랑스에서 마분을 이용한 인공재배가 시작된 이래 우리나라에 1960년대 초에 도입되어 벗짚을 이용한 재배법의 개발로 1970년부터 급격히 증가하여 1980년까지 농가의 고소득 작목으로 자리 잡게 되었으며, 양송이는 재배여건의 변화와 연작 장해에 따른 생산성 감소 및 농가피해 증대되고 있다. 양송이는 '60년대 초 벗짚을 이용한 재배법이 개발되어 농가의 고소득 작목으로 자리 잡았으나, 최근 배지재료의 품질 저하와 가격 상승에 따라 농가피해가 증가 하고 있어 새로운 배지재료의 선발과 재배 안정화를 위한 대체 복토재료의 개발이 요구되고 있고, 양송이 생산량은 주로 충남 부여, 보령 및 경북 건천지역에서 전국 생산량의 대부분을 차지하고 있으나 재배환경의 노후화로, 버섯 생산과정의 손실을 저감을 위한 예방기술 개발이 요구되고 있다. 양송이 버섯의 국내 육성 품종이 점차 증가하는 추세이

나 새로운 품종에 적합한 배양조건과 생육환경에 관한 연구가 미흡한 실정이며, 양송이 버섯 재배사 시설내 병원균 발생이 증가하는 추세이며, 재배사에 대한 체계적인 방제메뉴얼이 요구된다. 연간 발생하는 양송이 수확후배지(연간 657,509 M/T)는 새송이·팽이·느타리버섯의 경우와는 달리 유기물함량(2~4%)이 낮고, 회분함량(35.1~54.8%)로 높아서 현재 농가에서 유기질 비료 또는 사료로서 활용되지 못하고 양송이 재배사 주변에 방치되어 심각한 환경문제를 야기시키고 있으며, 이러한 막대한 양의 수확후배지를 활용하고 더욱 고부가가치의 산물로 전환하는 공정을 개발한다면 농가의 소득 증대와 환경개선에 크게 기여할 것이다. 따라서 배지 표준화 및 발효기술 미흡으로 재배실패가 빈번하여 피해가 증가하고 있어 관행적 재배방법에 대한 전반적인 개선이 절실하게 요구된다.

양송이(*Agaricus bisporus* (J. Lange) Sing.)는 주름버섯목(Agaricales)에 속하는 식용버섯으로서, 맛과 향기가 뛰어나서 세계적으로 널리 소비되고 있고 *A. bitorquis* 및 *A. brunescens* 등은 인공 배양으로 다량 생산되는 경제적으로 대단히 중요한 버섯이다. 그리고 세계의 버섯생산량은 연간 약 150만 톤이며, 그 중 양송이는 100만 톤으로 식용버섯 전체의 약 70%를 점하고 있으며, 세계적으로 유통되는 유일한 「버섯」이며 소비량은 계속하여 증가하고 있다.

양송이는 프랑스에서 마분을 이용한 인공재배가 시작된 이래 우리나라에 1960년대 초에 도입되어 벗장을 이용한 재배법의 개발로 1970년부터 급격히 증가하여 1980년까지 농가의 고소득 작목으로 자리 잡게 되었고 2015년에는 농가수 608농가, 재배면적 91ha, 생산량 9,732M/T으로 느타리버섯, 새송이, 팽이, 표고와 더불어 소비자들에게 식용버섯으로 각광받고 있는 버섯이다. 그렇지만 최근 들어 양송이는 재배여건의 변화와 연작 장해로 인해 3.3m²당 생산량이 1989년에는 65kg에서 2015년에는 33kg으로 감소했다. 또한 양송이 버섯의 국내 육성 우량 품종보급이 점차 증가하는 추세이나 새로운 품종에 적합한 배양조건과 생육환경에 관한 연구가 미흡한 실정이며 최근에는 배지재료의 품질 저하와 가격 상승에 따라 농가피해가 증가하고 있어 새로운 배지재료의 선발과 재배 안정화를 위한 대체 복토재료의 개발이 요구된다.

제3절 연구 개발 범위

양송이버섯의 안정생산을 위하여 배지 발효미생물의 작용양상 분석을 통해 생산성 향상을 위한 기반기술 개발을 목적으로 한다.

일반벗장을 배지에서의 양송이버섯의 생산성이 크게 낮아지므로 새로운 대체배지의 개발과 이를 이용한 재배적응 기술 개발이 필요한 시점에서 톱밥을 이용한 신규 배지를 개발하여 발효화 공정개발로 톱밥발효배지를 이용한 현장재배로 고품질의 양송이버섯을 재배할 수 있는 가능성을 확인하였으며 현재 사용 중인 배지에 대한 분석, 발효 등 표준화를 구축하여 최적화된 배지로 안정생산기반을 구축하여 배지에 따른 재배적응 기술을 개발하였다.

국내에서 양송이 재배용 복토로 많이 사용되는 질 좋은 식양토를 채취 또는 구입이 어려운 실정으로 양송이 재배 안정화를 위한 식양토 대체 새로운 복토재료를 개발을 위하여 양송이 수확후 배지의 복토재료로 재활용 할 수 있는지를 확인하고 피트모스, 코코피트, 펄라이트, 질석 등 원예용 상토 재료 중에서 양송이 복토로 사용할 수 재료를 선발하기 위하여 일반성분을 분석하였다. 그리고 새로운 복토재료로 선발된 재료는 복토로 사용하기 조건과 새로운 복토재료의 적정 사용량을 구명 하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

양송이 품종개발과 보급은 1968년 처음으로 도입 품종 ‘양송이304호’를 육성하여 이듬해 보급하였음 다. 이 품종은 미국 펜실베니아주립대학 양송이연구소에서 분양 받아 춘추기 재배시험을 거쳐 선발된 품종으로 양송이 생산을 안정화 시켰으며, 1970년대에는 백색 품종 ‘양송이501호’ ‘양송이505호’, 갈색 품종 ‘양송이703호’가 육성되었고, 1980년대에는 마이코콘병에 강한 ‘양송이705호’ ‘양송이707호’가 육성되었다. 최근에는 국내 자생 양송이 계통과 외국품종간 교잡을 통하여 백색품종 ‘새아’, ‘새정’ 등을 육성하여 농가에 보급하고 있으며 이들의 예 대한 재배적응 기술이 필요하고, 양송이 버섯파리에 대한 연구로 1960년대에는 해충의 피해조사와 1970년대에 약제처리와 버섯 수량과의 관계 연구 그리고 1980년대에는 효과적인 방제 약제 선발 등의 연구를 진행하였지만 뚜렷한 성과를 거두지 못했다. 양송이가 도입되어 재배가 시작된 1960년대에는 양송이 해충의 생태와 방제약제 선발 및 피해조사 등 기본적인 연구만 이루어졌으며, 1980년대에 마이코콘병에 내병성인 7계통을 선발하여 재배농가에 보급하였으며, 1990년대에는 방제효과와 수량 증수에 탁월한 스포르곤 약제를 선발하여 현재까지 마이코콘병의 방제에 사용해 오고 있다. 최근에는 세균성갈반병, 솜털곰팡이병과 푸른곰팡이병이가 발생하여 양송이 재배농가에 많은 피해를 주고 있고, 솜털곰팡이병은 1990년대 초부터 영국을 중심으로 빈번하게 발생하기 시작하여 1990년대 중반에는 대량 발생으로 큰 피해를 초래하고 있으며, 2009년에는 양송이버섯 수출을 위한 품질 유지기술로 저장제(1-MCP, MAP)처리 방법과 2011년에는 신선편이 양송이 슬라이스 상품화 기술을 확립하였고, 양송이버섯의 항산화효과 등 생리활성 효과와 항돌연변이 억제효과, 조직 혈액응고인자에 대한 저해활성, 장내 유산균 증식효과 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 산업 부산물을 이용한 버섯 배지개발에 대한 연구는 많이 이루어지고 있지만, 배지재료에 대한 기본적인 연구부족으로 안정적인 수량을 획득 및 안전성 높은 버섯을 생산하기 위한 기반기술이 부족한 실정이다. 양송이 재배시 연작과 미생물의 밀도와는 상관관계가 없고 위생관리가 미생물의 밀도에 더 많은 영향을 미친다고 하였으며, 티몰을 이용한 재배사 훈증처리 등에 대한 연구가 일부 진행되고 있다. 그러나 새로운 배지재료의 개발을 통한 배지의 표준화, 재배 안정화를 위한 대체 복토재료의 개발 및 배지 발효기술에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

나. 국외기술 수준 및 시장 현황

양송이의 인공재배가 시작된 18세기이후 최근까지 배지의 기본영양원은 마분이었으며 1940년부터 마분과 혼합하기 위하여 밀집, 목초 등의 탄소원에 요소 및 각종 무기성분을 함유한 유기무기질 영양원을 첨가한 합성배지 제조방법이 시작되었고, 버섯소비는 계속적으로 증가되는 추세이며 미국, 유럽 등도 양송이 이외의 버섯의 소비가 증가되고 있으며, 버섯관련 가공식품도 다양화되고 있다. 유럽, 미국 등은 양송이 배지에 대한 연구가 주를 이루며, 일본, 중국에서는 팽이, 큰느타리 등 다양한 배지재료 연구가 진행되고 있으며, 양송이 퇴비화 과정 중 고온성 곰팡이는 생육중 양송이와 경쟁하는 많은 중온성 곰팡이의 생육을 억제한다고 하였고, 또한 중온성 곰팡이는 효소활성과 비타민의 생산에 의해 버섯의 생육을 촉진한다고 하였다(Baker and Scher, 1987). 합성퇴비의 미생물상을 조사한 결과 다양한 주기에 따라 12종 곰팡이의 존재를 보고하였고 이를 중 *Papulospora byssina*, *Acremonium persicinum*, *Verticillium psalliotae* 그리고 *Telachilidium brachiatum* 등을 새롭게 보고하였고(Bahl 등, 1989), 버섯재배에 있어 세균은 질소원이 감소하는 4~5주기에 감소한다고 하였고, Lambert 및 Ayers (1950) 는 퇴비 배지의 질소함량과 양송이 수량간에는 정의 상

관이 있고, 퇴비의 전질소 함량이 2.5%에 이르기까지 질소함량이 증가함에 따라 자실체의 수량도 비례적으로 증가된다고 하였다. 양호한 퇴비배지에는 *Penicillium*, *Anixia*, *Mucor*, *Torula*, *Humicola* 등의 밀도가 높고, *Actinomycetes*의 발달이 양호하며(Stanek, 1972), *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Graphium* *Arthrobotrys* 등도 퇴비발효에 유리하나(Pope 등, 1962), *Chaetomium spp.* *Diehiomyces microsporus*, *Myceliophthore lutea*, *Stysanus stemoitidis*, *Trichoderma spp.* 등은 양송이 균사생장 및 자실체 형성에 유해한 영향을 준다고 한다(Kneebone 등, 1974).

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

제1절 : 양송이 배지 발효미생물의 작용양상 및 생산성 향상 기술 개발

1. 양송이 배지 발효 과정

본 실험은 양송이버섯(*Agaricus bisporus*) 재배 농가(충남 부여군 석성면)에서 직접 수행하였으며, 버섯 재배용 배지는 벗짚(7ton), 계분 (1.4 ton), 요소(100kg)를 혼합하여 사용하였다. 주재료인 벗짚의 수분함량을 75% 내외로 조절하고 유기태 급원(요소, 계분)을 첨가하여 벗짚과 골고루 혼합하여 일정한 높이로 퇴적하여 야외발효를 실시하였다. 배지의 온도가 80°C에 도달할 때 산소의 원활한 공급과 균일한 배지발효를 유지하기 위하여 4번 뒤집기를 하였다. 야외발효 4차 뒤집기 후 벗짚의 물리성을 좋게 하기 위해 석고를 첨가하였고, 후발효를 실시하기 위하여 재배사에 균일하게 입상하였다. 입상이 끝난 후 재배사의 문과 환기구를 닫고 배지의 온도를 높이기 위하여 인위적으로 재배사를 가온 한 뒤 배지의 온도를 60°C에서 8~10시간 유지 후 서서히 온도를 내리면서 7일동안 발효를 실시하였다. 후발효 완료 후 배지의 온도가 23~25°C가 되면 양송이 종균을 접종하였고 균사를 배양하였다. 종균 접종 15일 전후 자실체의 형성에 도움을 주기 위해 균상에 3~5cm 두께로 복토를 고르게 덮은 후 비닐로 피복하여 적정 수분을 관리해 주었다. 양송이 균사 생육 완료후 재배사 실내 온도를 16°C 저온으로 유지하여 버섯 발생과 생육을 유도하였다.

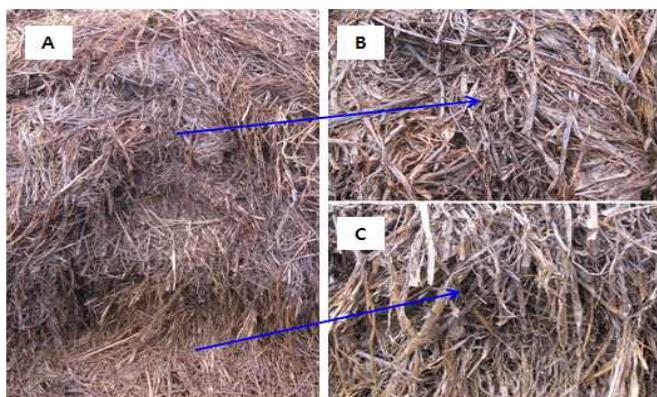
○ 양송이 배지의 발효과정



2. 양송이 벗짚배지의 야외발효 과정별 온도변화

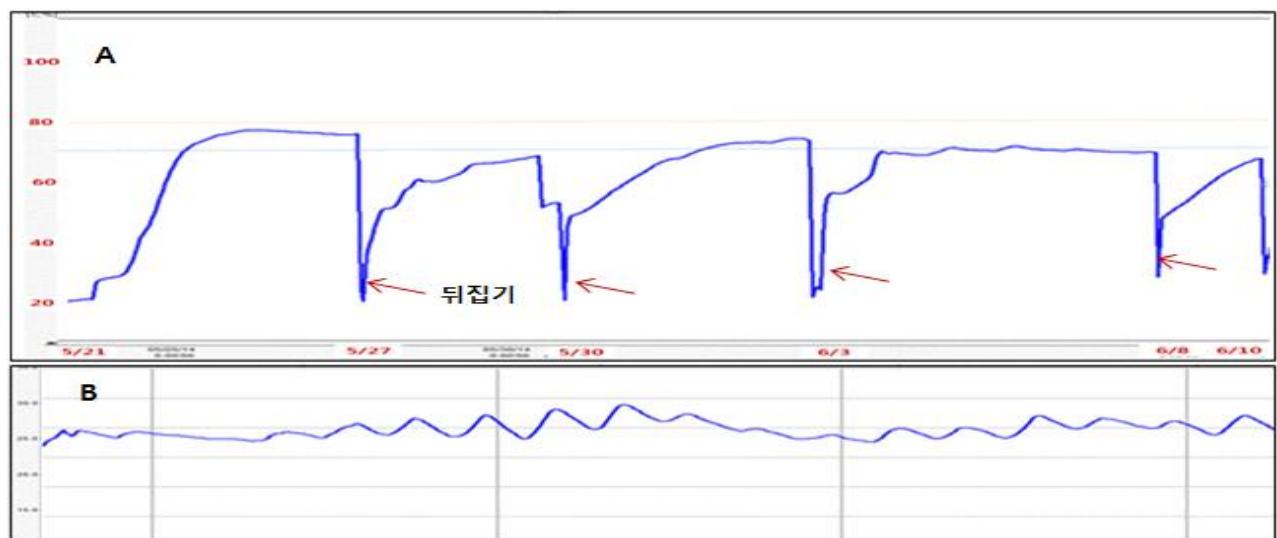
양송이 배지의 발효과정은 야외발효와 후발효로 나누어 진행되며, 버섯재배의 안정성과 자실체 수확량에 중요한 영향을 미친다. 야외발효는 미생물과 화학적 작용이 동시에 일어나고, 부식화 및 갈변작용(갈색화합물)에 의하여 배지가 연화되고 분해되며, 이때 많은 병해충과 같은 유해미생물이 사멸하게 된다. 야외발효는 디지털온도계(Thermo recorder TR-71U, T and D Corporation, Japan)를 이용하여 배지 중심의 온도가 80°C에 도달하면 협기성발효를 최소화하기 위하여 뒤집기를 통해 산소를 공급해주었다(Fig. 1). 야외발효 과정 중 뒤집기 작업은 총 4 차례 실시하였으며, 야외온도는 배지발효 온도에 거의 영향을 미치지 않았다. 야외발효가 끝나면 배지를 버섯 재배사내로 입상하여 후발효를 하게 되는데, 후발효는 모든 단계 중 가장 중요한 단계로 순수하게 미생물의 작용에 의해 일어난다. 이들 미생물은 배지를 분해하여 탄수화물 생성, 암모니아 제거 및 비타민, 지방, 단백질 등 세포구성 물질을 만들어 양송이균이 왕성하게 생육할 수 있는 환경을 만들어 준다. 후발효는 재배사내 균상 2단의 온도를 60°C에서 10시간을 유지한 후 서서히 온도를 낮추어 암모니아 가스의 농도가 5ppm 이하 일 때 발효를 완료시켰다.

○ 양송이 벗짚배지의 야외발효 과정



A: 발효배지 전체 단면, B: 호기성 발효 부위, C: 협기성 발효 부위

* 호기성 발효부위는 진은 갈색을 보였지만 협기성 발효부위는 벗짚의 색깔을 유지하고 있었음



A: 벗짚배지 발효온도, B: 야외온도

3. 양송이 배지발효 중 미생물의 특성

가. 발효 단계별 배지 내 미생물상 변화

양송이 배지 발효 과정 중 미생물의 분리는 R2A배지에서 평판희석법으로 배양된 plate 중 40~60개의 colony를 형성한 plate로부터 독립적으로 분리하였다(Lee et al, 2009). 순수 분리한 미생물은 R2A배지에서 2일 동안 배양한 후 균체를 모아서 20%(v/v)글리세롤 용액에 넣어 -70°C에 보존하면서 검정용 시료로 사용하였다. 양송이 재배농가에서는 배지발효 문제로 재배에 실패하는 경우가 많이 발생하고 있으며, 이들 배지발효와 밀접한 관련이 있는 미생물들을 분포양상을 조사하였다. 배지재료인 벗짚과 계분에는 호기성세균, 방선균, 유해균이 포함된 푸른곰팡이 등 다양한 미생물들이 분포하고 있었다. 그리고 발효단계별 배지내에는 내열성 세균, 방선균, 형광성 *pseudomonas* 속, 사상균 등 다양한 미생물들이 분포하였고, 특히 배지발효 과정에서 배지의 분해와 발열에 호기성 세균의 분포는 1차뒤집기에서 가장 높은 밀도를 보였고, 발효가 진행되면서 밀도는 감소하는 경향을 보였다. 고온성 발효과정 중 푸른곰팡이균과 중온성 방선균은 생육이 억제되거나 사멸되는 양상을 보였고, 셀룰로스, 리그닌, 키تون 등을 분해하는데 중요한 역할을 하고 있는 고온성 방성균은 높은 밀도를 보였다. 야외발효 과정중 배지내의 산소공급이 원활하지 않아 퇴적배지의 하층부분에는 혐기성 발효가 일어나게 된다. 따라서 뒤집기는 혐기성발효를 최소화하고 배지가 잘 혼합되어 균일하게 발효가 일어날 수 있도록 하기 위한 것이다. 표에서는 호기성발효와 혐기성발효 부위에서의 미생물 분포양상을 조사하였다. 호기성 세균은 혐기성발효 보다 호기성발효 부위에서 높은 밀도를 보였지만 고온성 세균은 혐기성발효 부위에서 오히려 높은 밀도를 보였다. 고온성 방선균의 경우 1차 뒤집기 시료를 제외한 모든 단계에서 호기성발효 부위에서 높은 밀도를 보였고, 형광성 *pseudomonas* 속, 곰팡이균, 푸른곰팡이균, 중온성방선균 등은 검출되지 않았다.

○ 양송이 벗짚배지의 발효과정별 미생물 분포

발효단계	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속 (10 ³ cfu/g)	방선균 (10 ³ cfu/g)	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ³ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10 ³ cfu/g)			중온성	고온성
벗짚	23.5	3.0	9.7	4,333	68.7	1.3	1.5
물축임	7.6	75.7	333.3	1,600	27.0	106.7	19.0
계분	1.0	320	ND	3,766	25.7	4.0	ND
1차뒤집기	33.7	101.7	ND	ND	ND	ND	1,400
2차뒤집기	1.2	436.7	20.0	4.3	ND	ND	33.3
3차뒤집기	2.6	23	ND	ND	ND	ND	3.5
4차뒤집기	14.7	77.7	ND	ND	ND	ND	3.0
후발효전	41	1,133	ND	ND	ND	4.6	163.3
후발효후	1.3	107.0	ND	0.8	ND	ND	2.3
배양 9일	6.7	117.7	1,550	0.3	ND	16.0	1.2
복토 4일	8.7	97.7	156.7	0.1	4.2	0.2	0.7

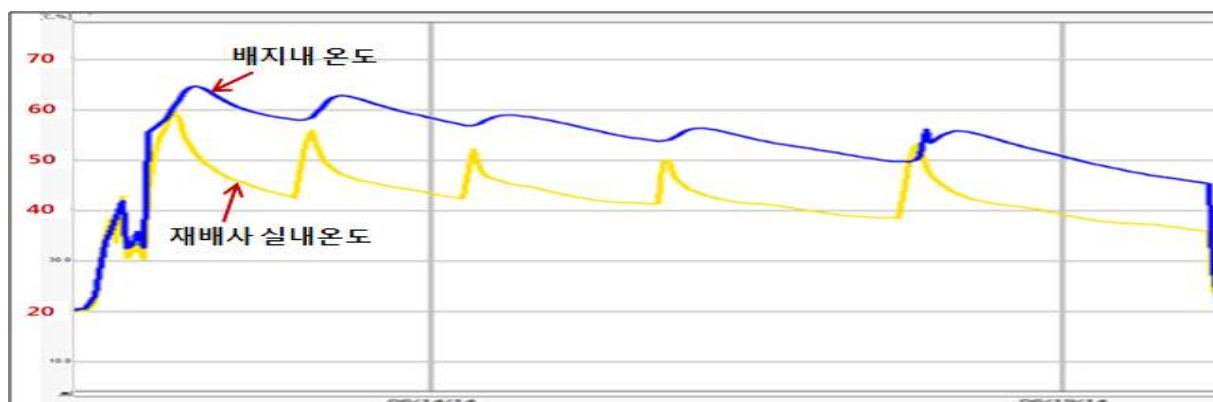
○ 발효단계별 호기성 및 혐기성 발효 부위의 미생물 분포

발효단계		세균			사상균 (10 ³ cfu/g)	Trichoderma 속(10 ³ cfu/g)	방선균 (10 ³ cfu/g)	
		호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ³ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10 ³ cfu/g)			중온성	고온성
1차뒤집기	상층	38	300	10	0.01	0.02	ND	1,167
	하층	2.8	57.7	ND	0.03	0.03	ND	1,800
2차뒤집기	상층	71.7	300.0	ND	ND	ND	ND	123.3
	하층	1.2	516.7	ND	ND	ND	ND	7.0
3차뒤집기	상층	110.7	20.0	ND	ND	ND	ND	44.3
	하층	0.03	60.3	ND	2.2	3.2	2.5	4.7
4차뒤집기	상층	110.3	306.7	20.3	ND	ND	ND	25.7
	하층	84.3	390.0	ND	ND	ND	ND	4.0
후발효전	상층	29.7	57.0	1,933	ND	ND	ND	480.0
	하층	40.3	130.7	63.3	ND	ND	ND	5.7

* 상층(B부위) : 호기성 발효 부위, 하층(C부위) : 혐기성 발효 부위

야외발효가 끝나면 배지를 버섯 재배사내로 입상하여 후발효를 하게 되는데, 후발효는 모든 단계 중 가장 중요한 단계로 순수하게 미생물의 작용에 의해 일어난다. 이들 미생물은 배지를 분해하여 탄수화물 생성, 암모니아 제거 및 비타민, 지방, 단백질 등 세포구성 물질을 만들어 양송이균이 왕성하게 생육할 수 있는 환경을 만들어 준다. 후발효는 재배사내 균상 2단의 온도를 60°C에서 10시간을 유지한 후 서서히 온도를 낮추어 암모니아 가스의 농도가 5ppm 이하일 때 발효를 완료시켰다.

○ 양송이 벗짚배지의 후발효 온도변화 : 2단 배지온도 60°C 기준으로 배지온도유지

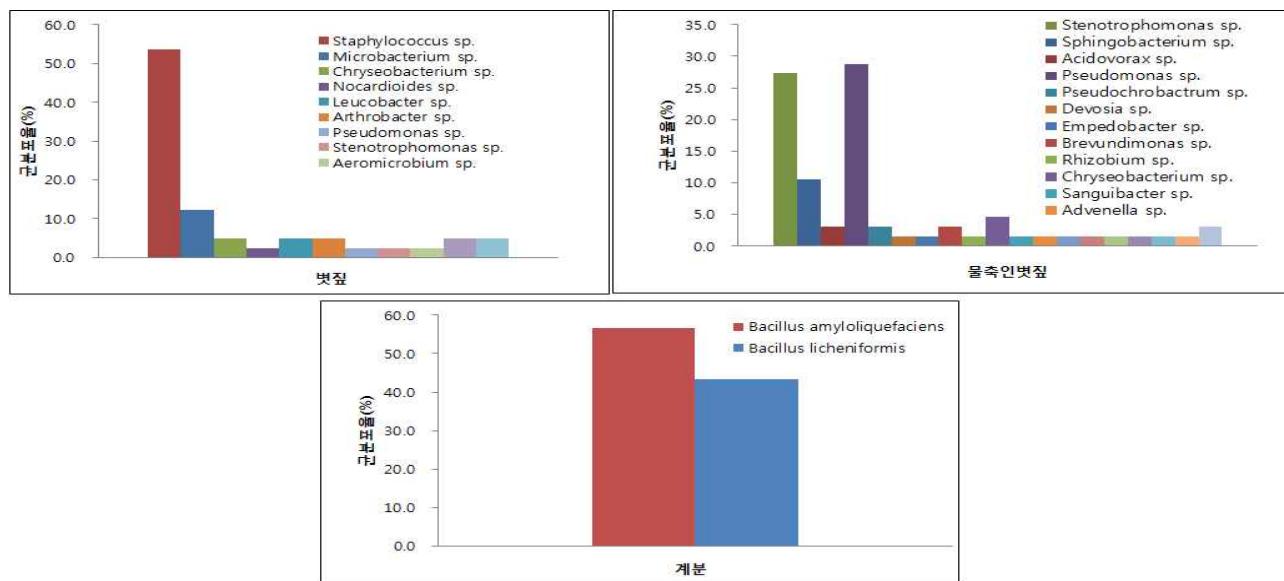


나. 발효 과정 중 분리 미생물의 분포

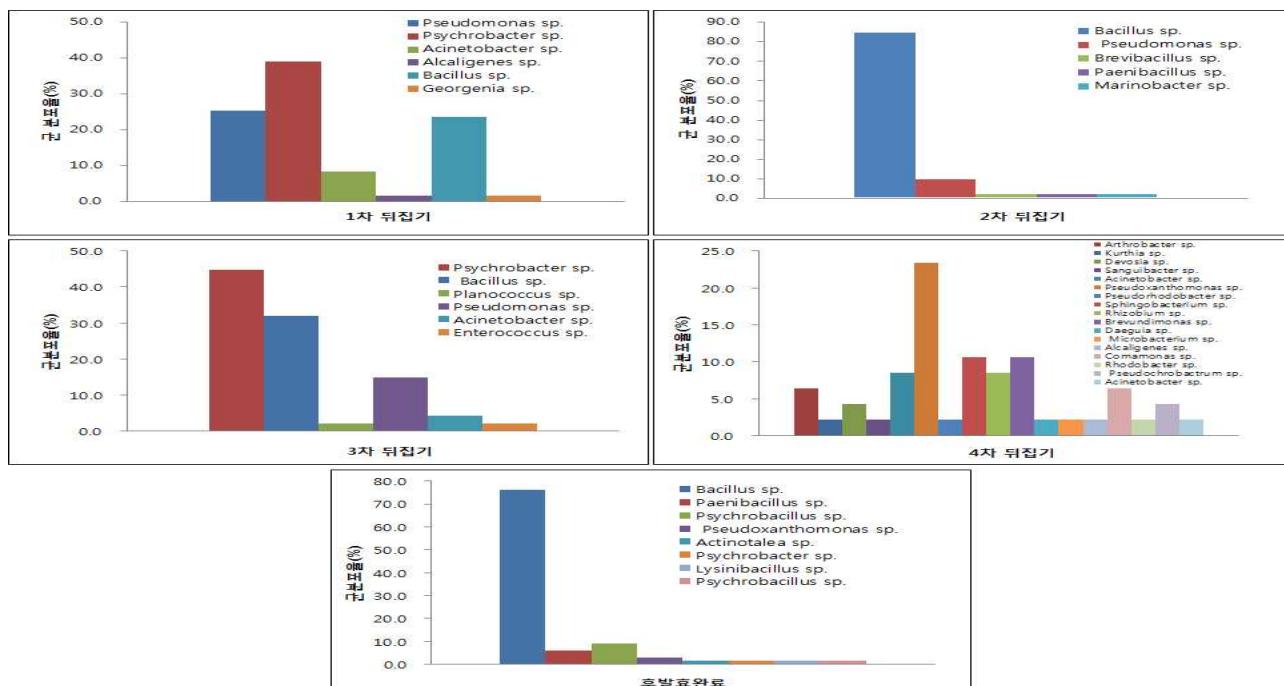
양송이 발효 과정 중 배지내 우점하는 미생물의 분포를 조사하기 위하여 16S rDNA 분석법을 이용하여 동정하였다. 배지재료에서 분리한 미생물을 동정한 결과 벗짚에서는 *Staphylococcus* 속이 58.5%, *Microbacterium* 속이 12.2%로 가장 우점하였고, 그 외 *Pseudomonas* 속등 8종이 분포하고 있었다. 수분을 첨가한 벗짚의 경우 *Pseudomonas* 속이 28.8%, *Stenotrophomonas* 속이 27.3%로 가장 우점하였고, 계분에서는 *Bacillus* 속만 분포하는 단순한 양상을 보였다. 야외발효

및 후발효과정에서 분리한 미생물의 분포를 조사한 결과 1차 뒤집기한 시료에서는 *Psychrobacter* 속 42.4%, *Pseudomonas* 속 30.5%, *Bacillus* 속 23.7%로 가장 많은 분포하고 있었으며, 2차 뒤집기에서 *Bacillus* 속이 가장 우점하였고 그 분포율은 84.6% 였고, 그 다음 *Pseudomonas* 속 9.6%로 가장 많았다. 3차 뒤집기에서는 *Psychrobacter* 속 44.0%, *Bacillus* 속 34.0%로 가장 많은 분포하고 있었으며, 4차 뒤집기에서는 *Pseudoxanthomonas* 속 23.4%, *Sphingobacterium* 속 10.6%로 가장 우점하였다. 그리고 후발효완료에서는 *Bacillus* 속이 76.1%, *Psychrobacillus* 속이 9.0%로 가장 우점하였으며, 배지의 발효가 진행될수록 4차 뒤집기에서 미생물의 분포가 다양해지는 양상을 보였다.

○ 양송이 배지재료별 미생물 분포조사

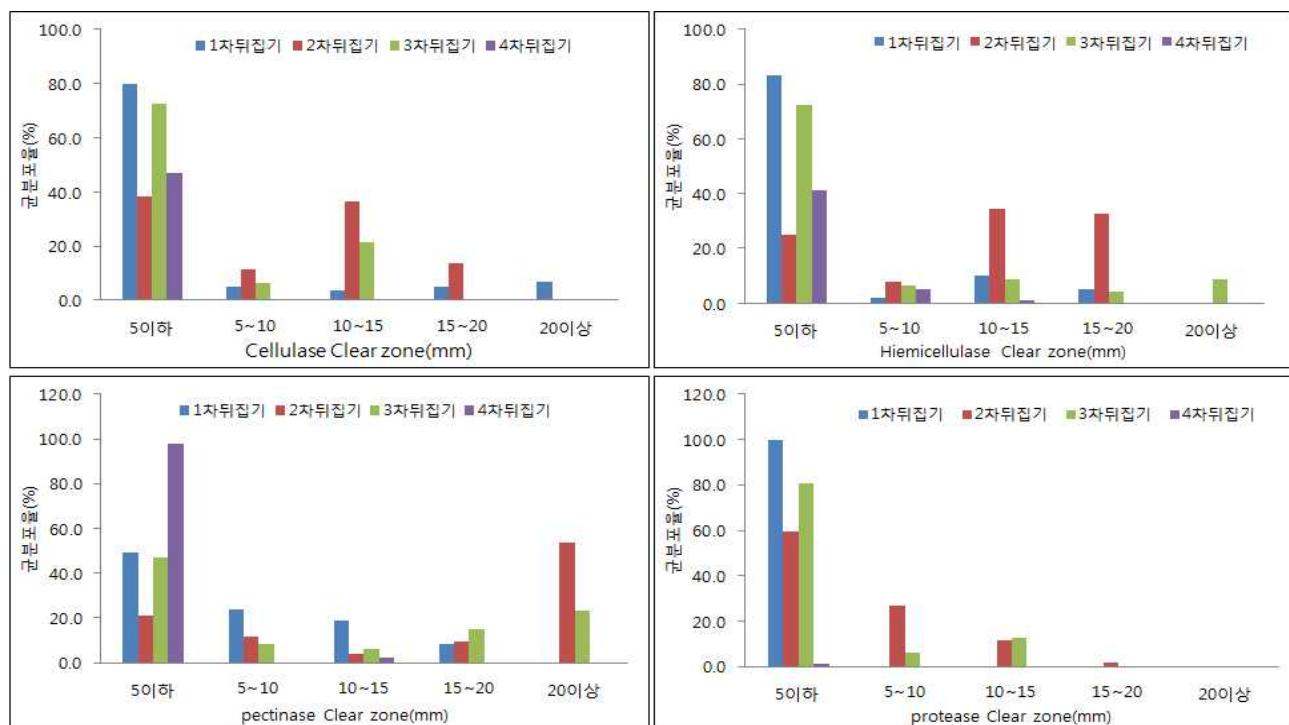


○ 양송이 배지 발효단계별 미생물 분포조사



4. 양송이 배지 발효 중 미생물의 효소활성 변화

분리 미생물에 대한 다양한 벗짚내 세포벽 분해 효소활성을 조사하였다. 야외발효 뒤집기 단계에서 분리한 미생물의 효소활성 경우 1차뒤집기에서 분리한 미생물의 cellulose, hemicellulose 분해효소는 경미하나 활성을 보였으며 pectinose 분해효소 또한 왕성한 활성을 보였고, proteose 분해효소는 거의 작용을 보이지 않았다. 2차뒤집기, 3차뒤집기에서 분리한 미생물의 효소 활성 변화를 확인한 결과 cellulose, hemicellulose, pectinose, proteose 의 분해효소가 1 차 뒤집기보다 소폭 증가하는 경향을 보였다. 2차뒤집기에서 분리한 미생물의 경우 cellulose, hemicellulose 가 가장 왕성하였고 2차 뒤집기에서 proteose 분해효소를 미생물의 분포가 가장 많은 것을 확인 할 수 있었다. 야외발효가 완료 된 시점인 4차뒤집기에서의 분리한 미생물의 효소활성 변화는 cellulose, hemicellulose, protease 분해 효소 활성은 거의 보이지 않았고, pectinose 분해효소 활성이 강하게 작용하는 양상을 보였다. protease 분해효소는 2차뒤집기 3차 뒤집기에서 왕성한 작용을 하였지만, 발효 후기로 갈수록 작용양상은 줄어들었다. 전체적으로 분리 미생물의 효소활성은 발효 초기에 cellulose 분해효소가 먼저 배지에 작용하여 탄소원을 분해한 후 hemicellulose 분해효소가 부차적으로 작용하는 양상을 보였고, 이들 효소를 분비하는 미생물들은 2차와 3차 뒤집기에서 많이 분포하는 것을 알 수 있었다. 그리고 pectin 분해효소는 전체 발효과정동안 왕성하게 작용하였으며, 특히 2차 뒤집기에서 분리한 미생물이 가장 강한 활성을 보였으며, protease 분해효소는 발효 초기에 왕성한 작용하지만, 발효 후기로 갈수록 작용양상은 줄어들었다.

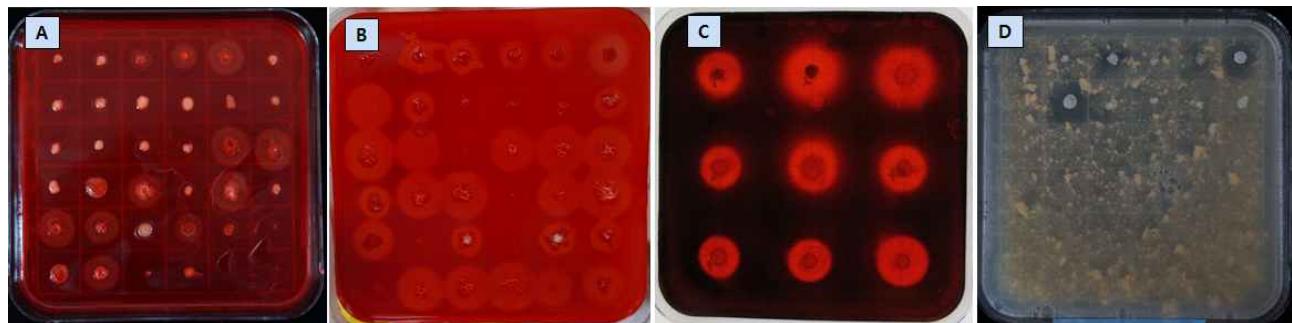


5. 분리미생물의 효소활성 측정

분리 미생물에 대한 다양한 효소활성을 조사한 결과 발효 초기에는 cellulose 분해효소가 먼저 배지에 작용하여 탄소원을 분해한 후 hemicellulose 분해효소가 부차적으로 작용하는 양상을 보

였고, 이들 효소를 분비하는 미생물들은 2차와 3차 뒤집기에서 많이 분포하는 것을 알 수 있었다. 그리고 pectin 분해효소는 전체 발효과정동안 왕성하게 작용하였으며, 특히 2차 뒤집기에서 분리한 미생물이 가장 강한 활성을 보였으며, protease 분해효소는 발효 초기에 왕성한 작용하지만, 발효 후기로 갈수록 작용양상은 줄어들었다.

○ 분리 세균의 효소활성



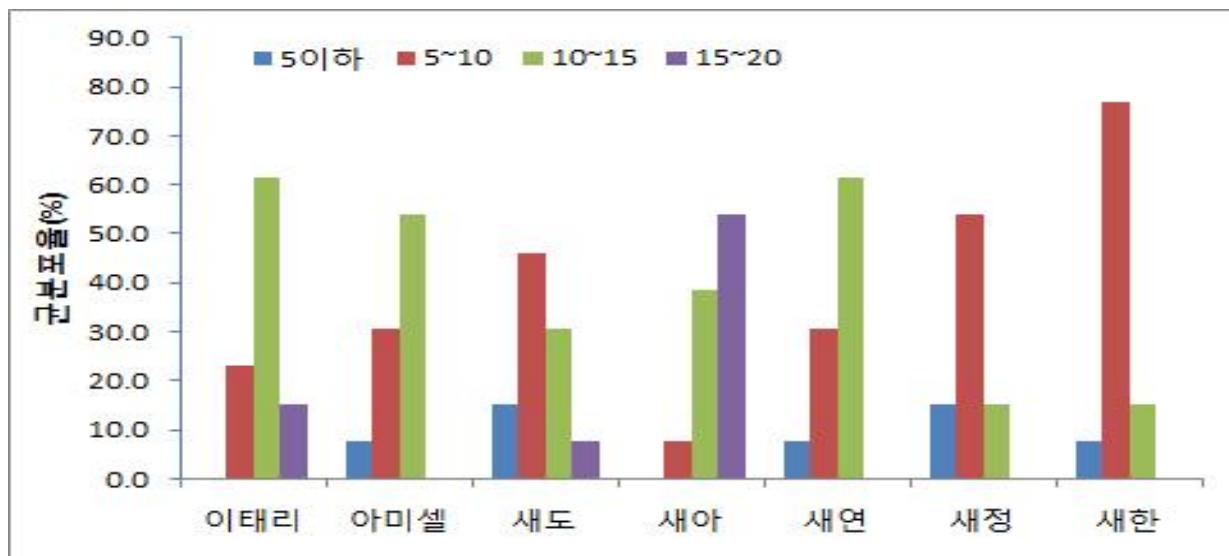
A: Cellulase 활성, B: Hemicellulase 활성, C: Pectinase 활성, D: Protease 활성

6. 분리 미생물과 양송이균과의 상호작용

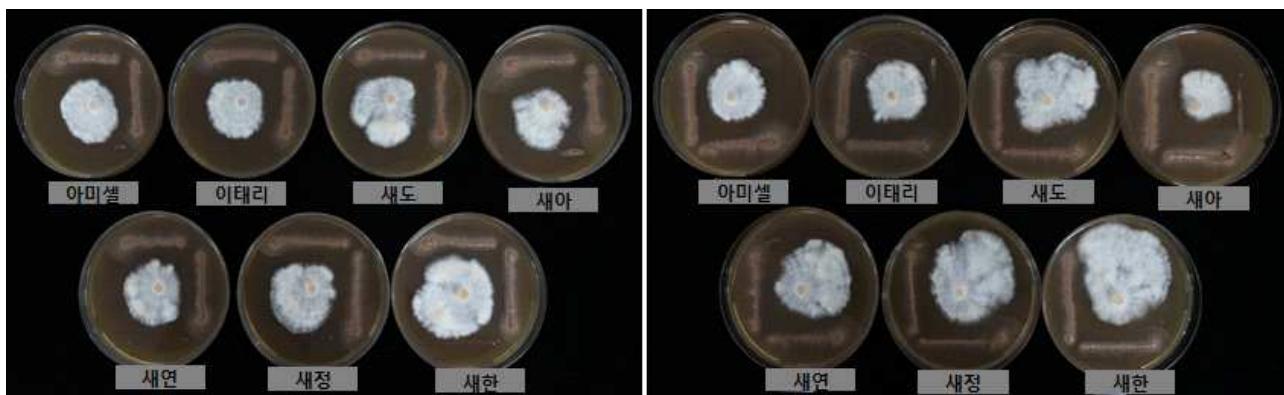
가. 분리미생물의 양송이균과에 대한 생육억제정도

양송이 버섯 균상재배에서 배지발효 등 다양한 문제로 농가마다 수량에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 재배과정 중 배지에서 분리한 미생물의 특성을 조사하여 이들 미생물과 버섯균의 생육과 연관관계를 밝히고자 하였다. 분리 미생물이 버섯균사의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 배지 중앙에 양송이버섯 균사를 접종한 후 분리 미생물 2균주를 사선으로 접종하여 균사의 생육저해 정도를 조사하였다. 짚, 계분 등 배지재료에서 분리한 미생물의 양송이균에 대한 억제정도는 국내육성 양송이균이 외국에서 수입한 양송이균보다 생육 억제정도가 낮은 경향을 보였다. 즉 국내 양송이 품종의 생육이 외국품종보다 빠른 경향을 보였다(Fig. 7).

○ 양송이 균주와 미생물과의 상호작용 분석(억제정도)

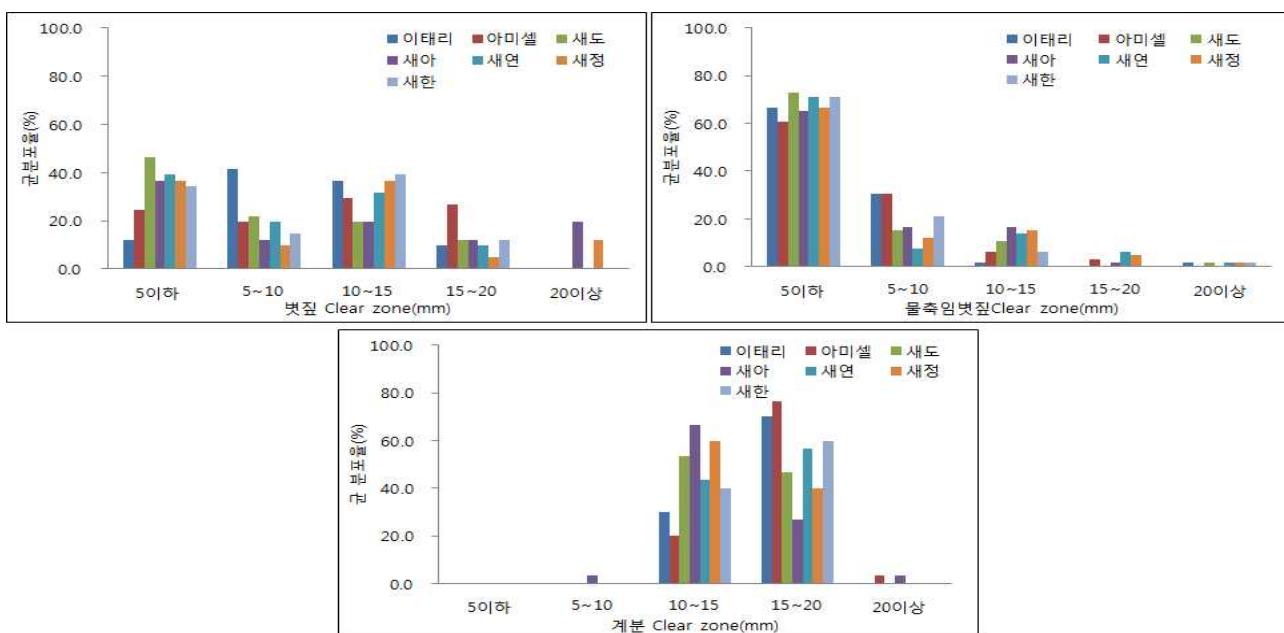


○ 분리미생물의 양송이 품종별 균주에 대한 억제 정도

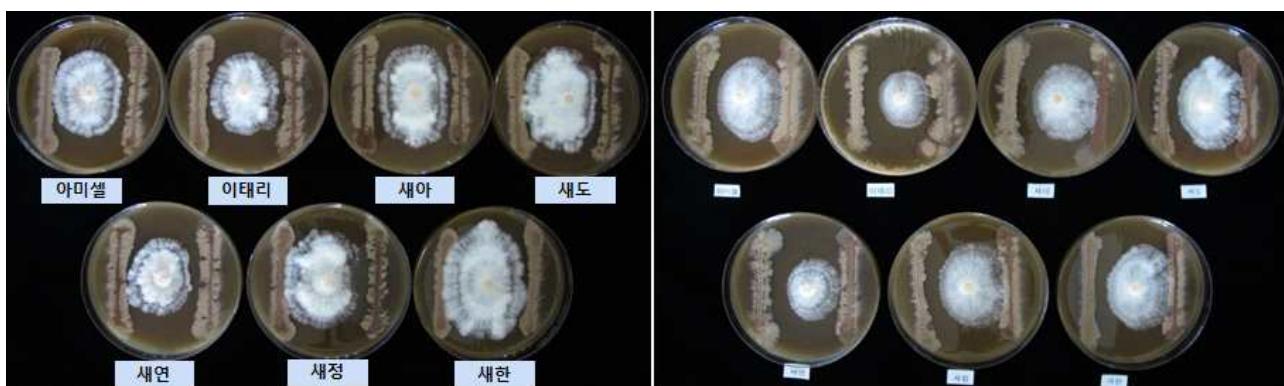


* 벗꽃배지 1차 뒤집기 분리균주

○ 양송이 배지재료 분리 미생물의 양송이균주의 억제 정도

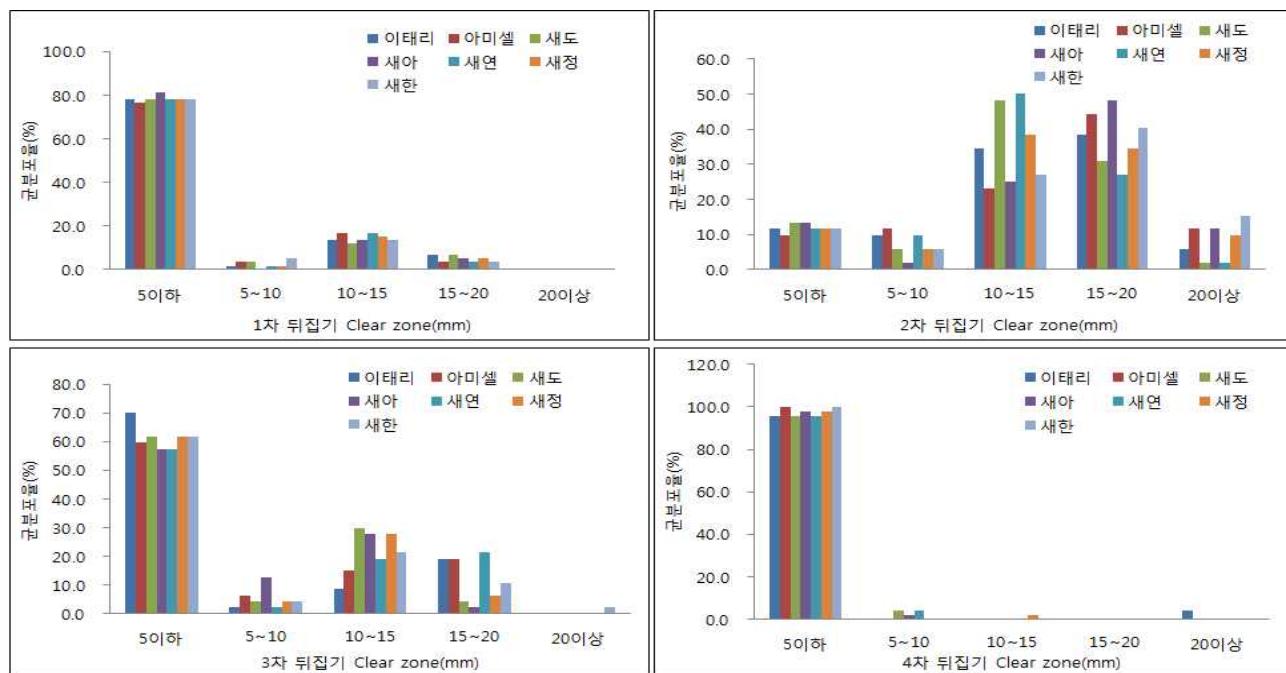


○ 분리 미생물의 양송이균주의 억제 정도

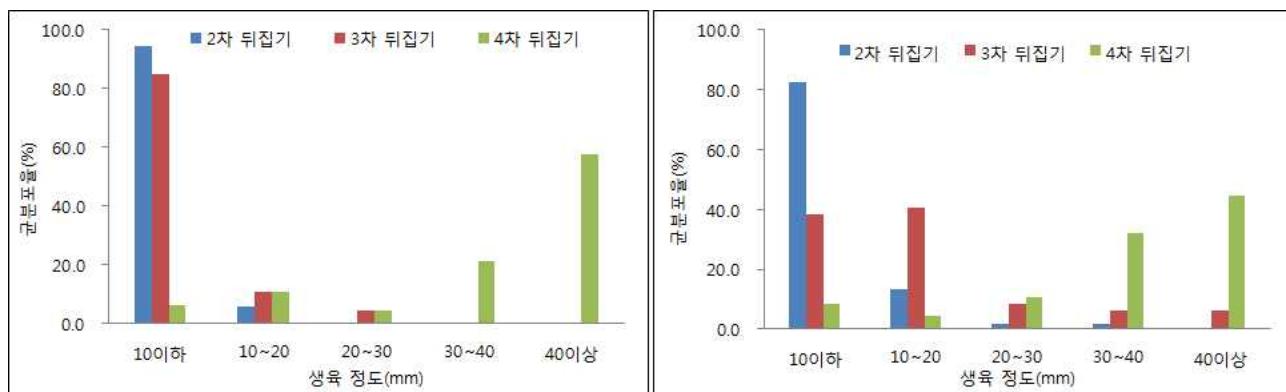


발효단계별 양송이 품종간 균사생육 억제정도는 뚜렷한 차이를 보이지 않았지만 국내육성 품종인 새도가 다른 품종보다는 생육이 좋은 것으로 나타났다. 그리고 2차 뒤집기에서 분리한 미생물들이 버섯균에 강한 저해를 하는 균들이 많이 분포하고 있었고, 전체적으로 발효과정이 진행됨에 따라 버섯균에 대한 억제정도는 약해지는 경향을 보였다. 따라서 발효가 정상적으로 진행됨에 따라 배지내 다양한 미생물들이 버섯균의 생육을 도와주고 반대로 유해한 미생물들은 억제하는 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한 합성배지(CDA)에 분리 미생물을 도말한 후 양송이버섯 균사를 중앙에 놓고 균사의 생육을 조사한 결과 그림의 결과와 마찬가지로 발효과정이 진행될수록 버섯균사의 생육을 저해하는 미생물의 수가 줄어드는 경향을 보였다.

○ 양송이 배지 발효단계별 분리 미생물의 양송이균주 억제 정도



○ 양송이 발효단계별 분리 미생물에 대한 양송이균주(새한) 생육정도



<미 생물 도말후 양송이 배양>

<미 생물 도말후 배지뒷면 양송이 배양>

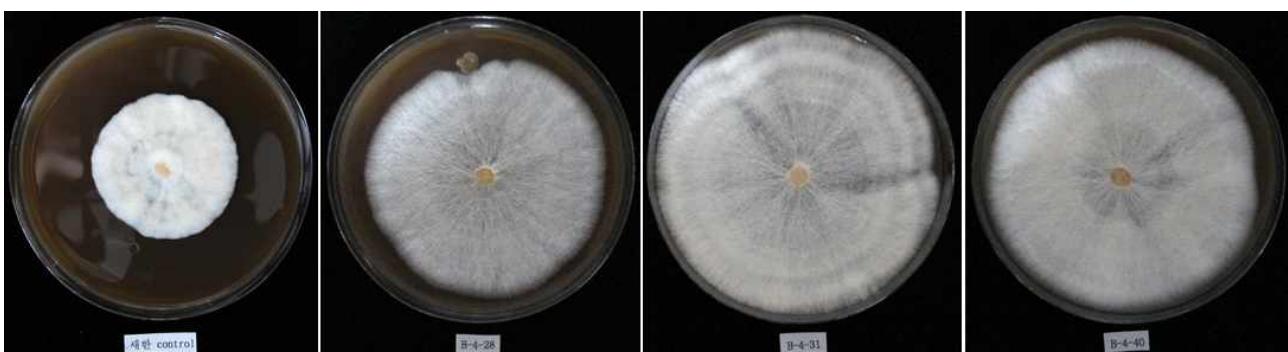
나. 분비성 물질과 양송이 버섯균의 생육정도

배지에서 분리한 미생물을 합성배지(CDA)에 도말한 뒤 양송이(새한)버섯 균사를 접종하여 균사의 생육을 조사한 결과와 분리균을 도말하고 항온기에서 2일간 배양한 후 배지를 완전히 뒤집어 배지의 뒷면 중앙에 버섯 균사를 접종하여 균사 생육을 조사한 결과를 비교 분석한 결과 양송이균의 생육정도가 비슷한 경향을 보이는 것으로 보아 양송이배지에서 분리한 미생물은 분비성 물질을 통해서 버섯균의 생육과 증식에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 분리 미생물 중에는 양송이 균사의 생육을 촉진하는 미생물도 있었으며, 이러한 미생물은 양송이 재배에서 활용가능이 높은 균주들이라고 판단된다.

○ 양송이 발효단계별 분리 미생물에 대한 양송이균주(새한) 생육정도



○ 양송이 발효배지에서 생육촉진 미생물의 선발



7. 양송이 배지재료 혼합비율 미생물 특성

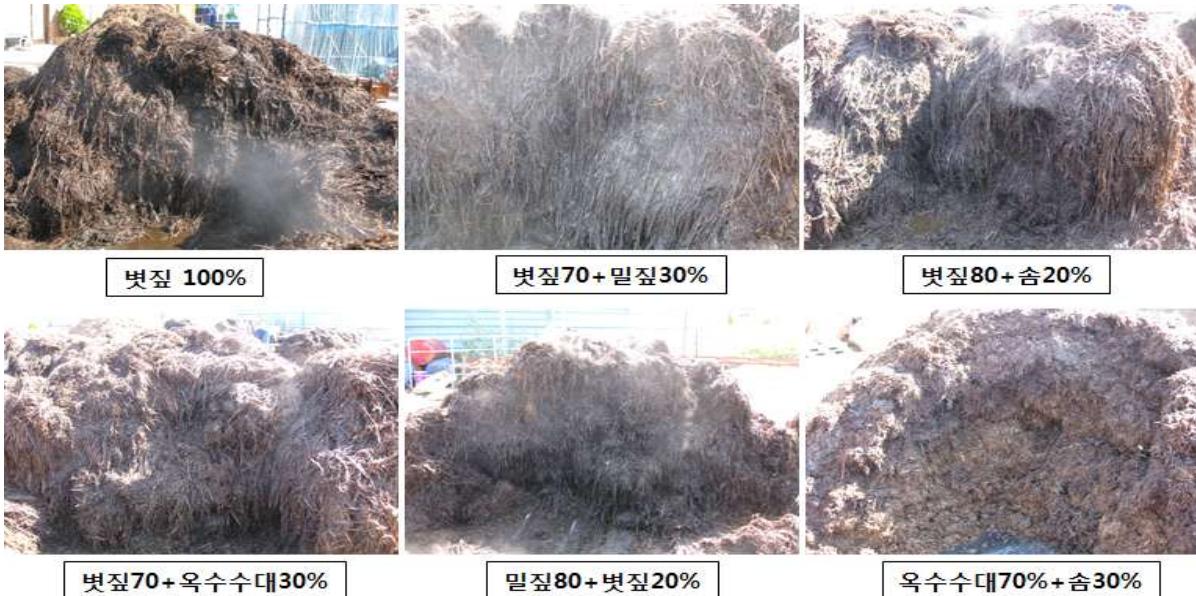
가. 양송이 배지재료 혼합비율에 따른 미생물상의 변화

양송이 재배농가에서는 배지발효 문제로 재배에 실패하는 경우가 많이 발생하고 있으며, 이들 배지발효와 밀접한 관련이 있는 미생물들을 분포양상을 조사하였다. 배지재료인 벚꽃과 밀짚을 비율별로 혼합한 후 미생물상을 조사한 결과 호기성세균, 사상균, 방선균, 유해균이 포함된 푸른곰팡이 등 다양한 미생물들이 분포하고 있었고, 처리간에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

○ 양송이 배지 혼합비율별 재료의 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ⁴ cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10 ⁴ cfu/g)	방선균 (10 ⁵ cfu/g)	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ⁴ cfu/g)			중온성	고온성
볏짚 100%	3.8	5.8	2.8	2.8	4.6	19.6	4.2
볏짚70+ 밀짚30%	6.3	2.1	170.0	17.0	6.6	1.3	10.7
볏짚80+ 솜20%	54.7	14.7	3.0	3.0	7.0	5.4	9.9
볏짚70+ 옥수수대30%	35.7	19.7	5.0	5.0	28.3	2.2	5.9
밀짚80+ 볏짚20%	225.3	74.7	6.0	6.0	4.1	4.4	3.1

○ 양송이 배지 재료별 야외 발효 과정



발효 단계별 1차 뒤집기 배지에서는 내열성 세균, 방선균, 형광성 *pseudomonas* 속, 사상균 등 다양한 미생물들이 분포하였고, 2차 뒤집기 이후부터는 배지의 분해와 발열에 호기성 세균, 고온성 세균, 고온성 방선균의 분포가 높았지만, 형광성 *pseudomonas* 속, 곰팡이균, 푸른곰팡이균, 중온성 방선균의 밀도는 점점 감소하였다. 고온성 발효 단계가 진행될수록 유해 병원균이 푸른곰팡이균과 중온성 방선균은 생육이 억제되거나 사멸되는 양상을 보였고, 셀룰로스, 리그닌, 키틴 등을 분해하는데 중요한 역할을 하고 있는 고온성 세균과 고온성 방성균은 높은 밀도를 보였다. 3차 뒤집기 이후에는 사상균과 푸른곰팡이균은 검출이 되지 않았으며, 이러한 결과는 양송이 배지의 야외 발효가 정상적으로 진행되고 있다는 하나의 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.

○ 양송이 배지 혼합비율별 1차 뒤집기 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ⁴ cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	27.0	12.0	613.3	36.7	43.3	333.3	73.3
볏짚70+ 밀짚30%	9.4	33.0	0.1	4.0	2.3	6.3	85.0
볏짚80+ 솜20%	0.5	25.0	0.1	0.2	ND	ND	46.0
볏짚70+ 옥수수대30%	20.3	4.7	0.2	0.1	0.4	3.0	19.3
밀짚80+ 볏짚20%	5.5	4.0	17.0	ND	ND	ND	11.0
옥수수대70% +솜30%	1.7	16.0	1.1	1.4	0.2	1.7	1.4

○ 양송이 배지 혼합비율별 2차 뒤집기 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ⁴ cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	8.2	29.7	4.3	0.3	0.2	ND	3.0
볏짚70+ 밀짚30%	17.3	13.2	1.0	2.1	1.2	0.6	4.3
볏짚80+ 솜20%	29.0	11.8	1.0	0.2	0.1	ND	44.3
볏짚70+ 옥수수대30%	9.1	5.2	ND	ND	ND	ND	17.2
밀짚80+ 볏짚20%	7.1	47.0	ND	ND	ND	ND	12.3
옥수수대70% +솜30%	11.4	5.0	ND	0.6	ND	ND	5.3

○ 양송이 배지 혼합비율별 3차 뒤집기 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ⁴ cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	32.7	13.0	3.0	ND	ND	ND	4.3
볏짚70+ 밀짚30%	49.0	34.3	ND	ND	ND	ND	4.0
볏짚80+ 솜20%	16.3	123.3	ND	0.4	ND	69.7	19.2
볏짚70+ 옥수수대30%	15.3	55.0	ND	ND	ND	ND	11.6
밀짚80+ 볏짚20%	13.0	71.0	ND	ND	ND	ND	1.3
옥수수대70% +솜30%	7.6	22.4	ND	ND	ND	ND	0.8

○ 양송이 배지 혼합비율별 4차 뒤집기 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속 (10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ² cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	16.3	21.0	ND	ND	ND	ND	8.6
볏짚70+ 밀짚30%	12.4	3.4	ND	ND	ND	4.7	60.0
볏짚80+ 솜20%	17.7	2.4	ND	ND	ND	11.3	27.3
볏짚70+ 옥수수대30%	2.9	5.1	ND	ND	ND	ND	11.0
밀짚80+ 볏짚20%	17.7	10.8	ND	ND	ND	ND	18.3
옥수수대70% +솜30%	3.3	3.9	ND	ND	ND	ND	8.7

○ 양송이 배지 혼합비율별 5차 뒤집기 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속 (10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ² cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	21.3	2.7	ND	ND	ND	ND	21.0
밀짚80%+ 볏짚20%	11.6	2.6	ND	ND	ND	ND	1.0
옥수수대 70%+솜30%	3.7	1.7	ND	ND	ND	ND	0.5

○ 양송이 배지 혼합비율별 후발효 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속 (10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ² cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	37.2	2.3	ND	10.8	ND	ND	22.0
볏짚70+ 밀짚30%	39.7	14.7	ND	11.7	ND	ND	9.7
볏짚80+ 솜20%	32.3	3.0	ND	6.4	ND	ND	0.3
볏짚70+ 옥수수대30%	8.4	15.3	ND	0.6	ND	ND	0.4
밀짚80+ 볏짚20%	29.2	2.9	ND	14.0	ND	2.7	1.4
옥수수대70% +솜30%	0.5	4.7	ND	2.2	ND	ND	4.4

양송이 재배에 있어 후발효는 모든 단계 중 가장 중요한 단계로 미생물 농사를 짓는 것과 같으며, 이 단계에서는 순수하게 미생물의 작용에 의해 일어난다. 이들 미생물들은 배지를 분해하여 버섯에게 중요한 영양분을 공급하고 미생물과 버섯균의 상호작용으로 버섯균의 생육을 더욱 왕성하게 한다고 한다. 후발효 후에는 고온성 방선균, 고온성 세균 및 고온성 사상균은 높은 밀도를 보여야 하지만 푸른곰팡이균은 검출이 되지 않아야 후발효가 제대로 진행되었다고 할 수 있다. 고온성 방선균과 푸른곰팡이균의 밀도가 정상적인 후발효의 척도가 될 것으로 판단된다.

○ 양송이 배지 혼합비율별 양송이 배양 10일 후 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ² cfu/g)	Trichoderma 속(10 ² cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>pseudomonas</i> 속(10 ² cfu/g)			중온성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚 100%	2.8	10.7	-	ND	ND	0.2	1.8
볏짚70+ 밀짚30%	37.7	11.0	-	ND	ND	1.3	12.3
볏짚80+ 솜20%	5.8	49.3	-	ND	ND	1.8	1.4
볏짚70+ 옥수수대30%	1.7	22.7	-	ND	ND	10.2	2.1
밀짚80+ 볏짚20%	13.9	11.0	-	ND	ND	4.8	1.4
옥수수대70% +솜30%	27.7	37.7	-	ND	ND	8.1	2.9

나. 양송이 폐솜첨가 비율에 따른 미생물상의 변화

양송이 재배에서 폐솜첨가에 따른 배지발효 미생물상을 조사한 결과 폐솜에서는 사상균, 고온성 방선균 및 유해 병원균인 푸른곰팡이병원균 등 다양한 미생물이 검출되었다. 1차와 2차 뒤집기 배지에서는 내열성 세균, 고온성방선균, 사상균, 푸른곰팡이병원균 등이 분리되었지만 형광성 *pseudomonas* 속은 분리되지 않았다. 3차 뒤집기 이후부터는 배지의 분해와 발열에 호기성 세균, 고온성세균, 고온성방선균의 분포가 높았지만, 형광성 *pseudomonas* 속, 푸른곰팡이균, 중온성 방선균의 밀도는 점점 감소하였다. 고온성 발효단계가 진행될수록 유해병원균이 푸른곰팡이균과 중온성방선균은 생육이 억제되거나 사멸되는 양상을 보였고, 셀룰로스, 리그닌, 키틴 등을 분해하는데 중요한 역할을 하고 있는 고온성 세균과 고온성 방성균은 높은 밀도를 보였다. 3차 뒤집기 이후에는 푸른곰팡이균은 검출이 되지 않았으며, 이러한 결과는 양송이 배지의 야외발효가 정상적으로 진행되고 있음을 알수 있었다.

○ 양송이 배지 재료별 미생물상 조사

비고	세균			사상균 (10 ⁴ cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10 ³ cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁷ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10 cfu/g)			중온성 (10cfu/g)	고온성(1 0 ⁵ cfu/g)
마른 벗짚	1.5	1.0	0.8	1.6	7.2	4.7	1.0
마른 솜	4.8	0.9	0.5	3.5	4.0	3.0	0.4
물축임 벗짚	1.9	4.1	0.2	5.0	9.4	4.2	6.7
물축임 솜	17.9	2.9	0.2	1.0	2.0	ND	2.5

○ 양송이 솜배지 혼합비율별 야외발효과정



○ 양송이 배지 혼합비율별 1차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁵ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(cfu/g)			중온성 (cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
벗짚 100%	6.6	0.7	ND	34	13	ND	2.4
벗짚80+ 솜20	6.9	1.8	ND	100	72	ND	2.0
벗짚70+ 솜30	61	0.7	10	21	100	181	7.4
벗짚60+ 솜40	14	1.0	ND	30	2	ND	3.9

○ 양송이 배지 혼합비율별 2차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(cfu/g)	방선균	
	호기성 (10^5 cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(cfu/g)			중온성 (cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)
볏짚 100%	6.9	1.1	ND	2	ND	1	17.5
볏짚80+ 솜20	6.5	1.7	ND	90	23	ND	5.3
볏짚70+ 솜30	12	4.0	ND	11	4	20	82
볏짚60+ 솜40	10	5.2	ND	8	8	20	5.2

○ 양송이 배지 혼합비율별 3차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(cfu/g)	방선균	
	호기성 (10^5 cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(cfu/g)			중온성 (cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)
볏짚 100%	1.3	0.6	ND	1	1	ND	1.3
볏짚80+ 솜20	5.3	86	ND	3	ND	ND	6.0
볏짚70+ 솜30	9	0.5	ND	1	ND	1	0.1
볏짚60+ 솜40	2	0.5	ND	1	ND	1	0.9

○ 양송이 배지 혼합비율별 4차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(cfu/g)	방선균	
	호기성 (10^5 cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(cfu/g)			중온성 (cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)
볏짚 100%	0.7	2	ND	ND	ND	ND	0.8
볏짚80+ 솜20	3.1	4	ND	ND	3	ND	0.5
볏짚70+ 솜30	10	5.1	ND	ND	ND	ND	12
볏짚60+ 솜40	43	0.9	ND	ND	ND	ND	12

○ 양송이 배지 혼합비율별 5차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(cfu/g)	방선균	
	호기성 (10^5 cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(cfu/g)			중온성 (cfu/g)	고온성 (10^5 cfu/g)
볏짚 100%	6.2	0.8	ND	ND	ND	ND	0.6
볏짚80+ 솜20	5.9	0.2	ND	ND	3	ND	0.1
볏짚70+ 솜30	3	4.0	ND	9	1	ND	0.5
볏짚60+ 솜40	4	0.6	ND	1	ND	ND	0.4

다. 양송이 밀짚첨가 비율에 따른 미생물상의 변화

양송이 재배에서 밀짚첨가에 따른 배지발효 미생물상을 조사한 결과 1차와 2차 뒤집기에서는 사상균, 고온성 방선균 및 유해 병원균인 푸른곰팡이병원균 등 다양한 미생물이 검출되었다. 3차 뒤집기 배지에서도 푸른곰팡이병원균이 분리된 것으로 보아 야외발효의 진행이 늦어진 것을 알 수 있었다. 따라서 야외발효 기간을 조금 더 연장하여 진행하여야 할 것이다. 밀짚첨가배지는 전과정을 통하여 푸른곰팡이병원균이 검출 되는 것으로 보아 야외발효과정이 전체적으로 완벽하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 이런 현상은 배지의 양이 적을 경우 배지의 분해와 발열이 제대로 되지 않아 유해미생물이 배지내에서 사멸되지 않고 존재할 수 있다. 따라서 후발효과정 동안 남아 있는 유해미생물을 완전히 제거하는 것이 중요하다.



○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 1차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			증온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	2.4	4.6	ND	0.7	0.2	1.7	46
볏짚 70+ 밀짚 30	3.1	12	ND	13.3	0.4	82	44
볏짚 50+ 밀짚 50	10	28.6	0.2	1.6	1.6	16	126

○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 2차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			증온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	1.8	3.4	3.3	100	2.9	50	2
볏짚 70+ 밀짚 30	11.2	96	0.1	0.1	ND	10	13
볏짚 50+ 밀짚 50	15.2	4.1	ND	0.1	0.1	8	8

○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 3차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			증온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	2.9	1.3	366	0.2	0.5	ND	0.5
볏짚 70+ 밀짚 30	10	9	16.7	1.6	1.1	ND	0.1
볏짚 50+ 밀짚 50	33.6	2.6	ND	0.1	0.1	ND	0.9

○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 4차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			증온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	4.6	1.9	ND	ND	ND	0.3	4
볏짚 70+ 밀짚 30	1.6	12	ND	0.1	20	3.3	193
볏짚 50+ 밀짚 50	0.2	1	ND	ND	ND	0.1	0.6

○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 5차 뒤집기 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			중온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	14.7	1.8	ND	ND	ND	0.2	27
볏짚 70+ 밀짚 30	2.3	7	ND	0.1	0.1	6.6	11
볏짚 50+ 밀짚 50	19.6	5.8	ND	80	0.1	2	2

○ 양송이 배지 밀짚 혼합비율별 후발효 후 미생물상 조사

시료명	세균			사상균 (10cfu/g)	<i>Trichoderma</i> 속(10cfu/g)	방선균	
	호기성 (10 ⁶ cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속(10cfu/g)			중온성 (10cfu/g)	고온성 (10 ⁵ cfu/g)
볏짚100%	7.3	2.5	ND	ND	0.1	ND	26
볏짚 70+ 밀짚 30	19.3	60.3	ND	10	ND	0.1	0.3
볏짚 50+ 밀짚 50	6	5.8	ND	16.6	0.1	33	14.3

양송이 재배를 위한 배지의 발효최적 조건은 재료혼합 및 물축임을 실시하여 수분은 75%을 유지하고 야외발효시 배지온도는 최고 온도는 80°C에서 뒤집기를 4~5회 실시하고 후발효는 2 단의 배지온도를 60°C에서 8~10시간을 유지하고 이후 58~45°C까지 온도를 내리면서 고온성 발효를 유도한다.

○ 양송이 생산성 향상을 위한 배지발효 최적 조건

재료혼합 및 물축임	야외발효	후발효	종균접종
- 물축임 2~3일 - 수분 75% 유지 - 오염 물과 배지재료 사용 자제	- 배지 온도 최고80°C - 4~5회 뒤집기 - 유해 미생물 일부 사멸	- 2단 배지온도 60°C 8hr 이상 유지 - 유해 미생물 완전 제거 - 58~45°C 7일	- 우량종균 확인 - 버섯파리, 곰팡이병 바이러스 등 유입 차단
종균배양	복토	자실체 생육	폐상
- 종균배양 23 ~25°C - 16~18일 배양 - 곰팡이병, 버섯파리 등 오염 확인	- 살균 복토 사용 - 온도 80 °C, 90분 - 곰팡이병, 세균병, 선충 등 감염 방지	- 온도15~16 °C, - 세균병, 곰팡이병 등 확인후 방제	- 온도 70°C, 12시간 - 재배사내 오염원 제거

제2절 : 양송이 대체 배지재료 선발 및 재배적응 기술개발

1. 톱밥을 이용한 양송이버섯 대체배지 개발

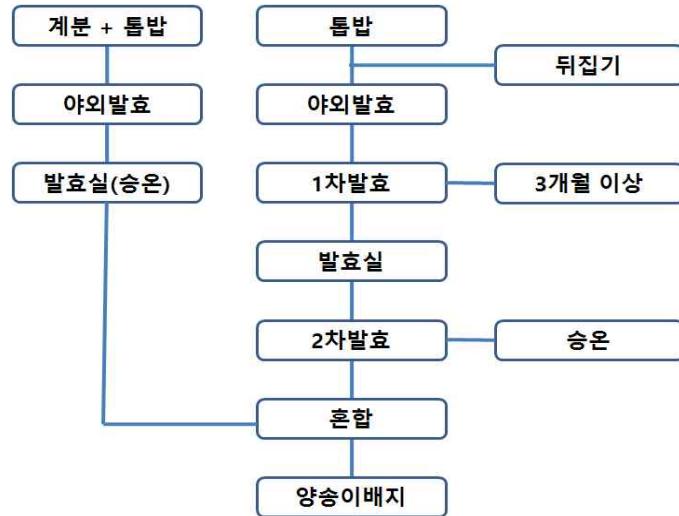
톱밥의 C/N율은 양송이버섯을 재배하기에 적합하지 않으며 발효과정도 벗짚이나 밀짚 등 다른 재료와는 차이가 크므로 톱밥의 물성을 감안하여 3개월 이상의 야외발효 과정과 이후 실내 발효과정을 거쳐 양송이버섯 균주의 활착시험과 자실체 발생시험을 실시하였다. 버섯의 상태는 매우 양호하나 수량이 부족하므로 발효과정을 충분히 시켜 퇴비화공정을 개선할수록 수량이 증가하므로 향후 톱밥의 밀도와 발효과정에 대한 추가 연구가 필요하며 수량성은 적지만 국내실정에 적합하도록 모양과 크기가 매우 우수하여 향후 경제성이 기대된다.

<표 1> 대체배지 성분분석 결과

성분명	참나무톱밥	미루나무 톱밥	혼합톱밥	계분톱밥	방울솜	폐상배지
조단백(%)	2.45	1.96	1.89	8.21	6.40	3.54
조섬유(%)	23.87	17.30	18.09	10.86	31.13	9.05
유기물(%)	35.24	25.85	30.21	27.68	46.20	23.30
수 분(%)	62.61	72.33	67.98	60.09	48.94	73.03
조회분(%)	2.15	1.82	1.81	12.23	4.86	3.67
질 소(%)	0.39	0.31	0.30	1.32	1.03	0.57

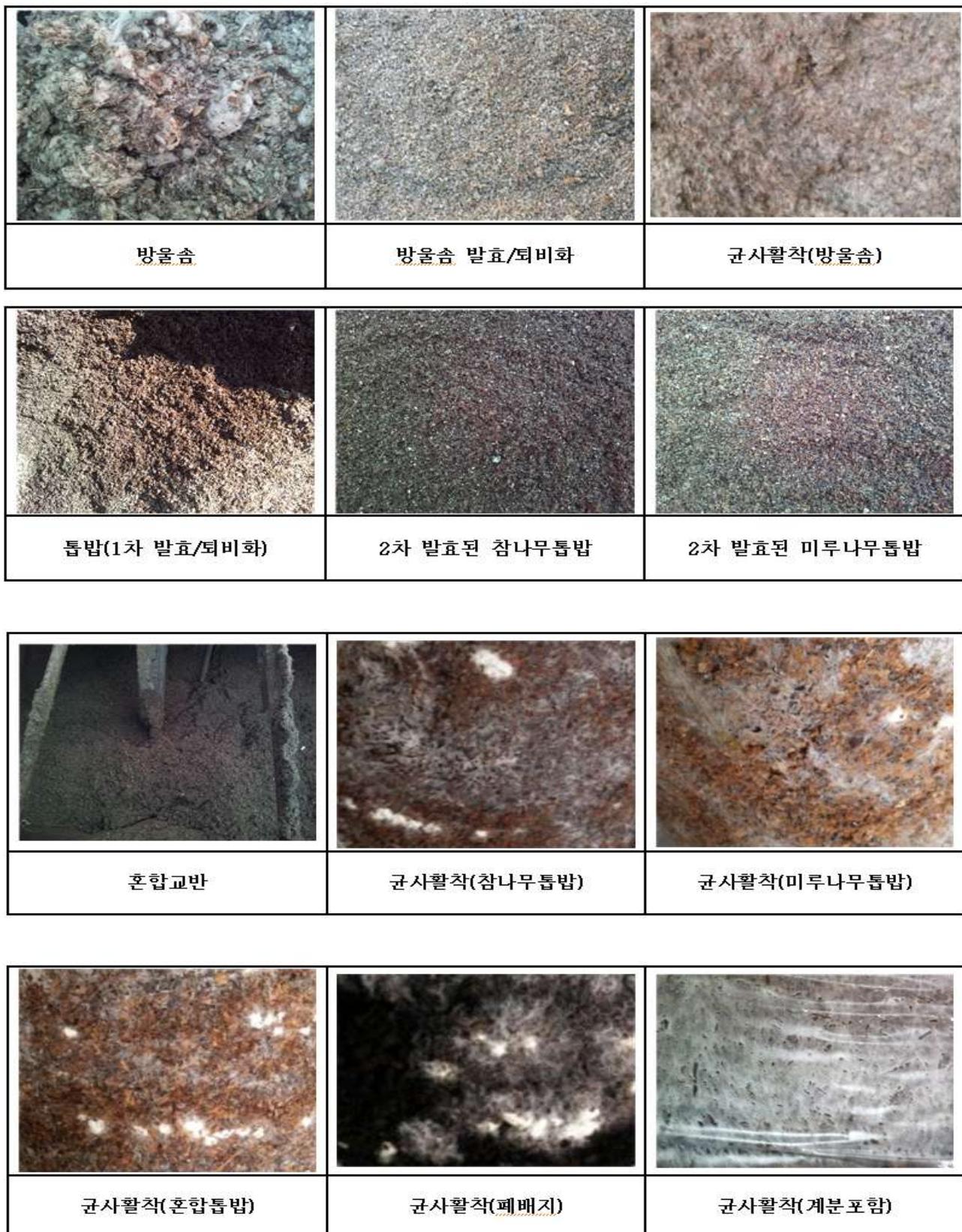
- 대체배지로 선발한 톱밥, 폐상배지 등 모든 시료군의 CN율의 변화가 퇴비화전과는 차이가 큼
- 2단계 시험에서는 양송이 균주의 성장에 적합하도록 CN율에 낮추며 퇴비화 및 적정 혼합비율 산정 시험을 진행하였음

<표 2> 톱밥 배지 제조과정



- 톱밥의 발효는 3개월 이상 야외에서 주 1~2회 뒤집기를 하며 1차 발효과정을 거치고 발효된 톱밥은 실내 발효실 온도 60 ~ 65 °C에서 24시간 이상 유지시키고 55 ~ 60 °C로 하온 시켜 72시간 이상 유지하였으며, 발효계분은 계분과 톱밥을 3 : 7의 부피비로 혼합하여 혼합계분을 제조하고 3개월간 발효시킨 뒤 실내 발효실 온도 60 ~ 65 °C에서 24시간 이상 유지시키고 55 ~

60 ℃로 하온 시켜 72시간 이상 유지하며 발효시켰으며, 최종 톱밥배지는 발효계분과 혼합하여 공지의 양송이버섯 재배방법에 따라 배지로 사용하였다.



<그림 1> 톱밥의 배지화 과정 및 균주활착에 대한 사진비교

<표 3> 톱밥배지 종류에 따른 양송이버섯 균배양 특성 비교

종류	참나무 톱밥	미루나무 톱밥	혼합톱밥	수확 후 톱밥	솜	계분함유 톱밥
균사밀도	+++	+++	+++	++	++++	++++
균사생장	양호	양호	양호	부분적 균사성장 불량	매우 양호	매우 양호

- 톱밥의 균사밀도 및 생장이 양호하여 적절한 발효로 퇴비화 공정을 개선하며 매우 우수한 배지 재료로 사용이 가능함



<그림 2> 자실체 발생시험 경과

- 톱밥배지를 이용한 양송이 재배는 톱밥이 충분히 발효(퇴비화) 되면 충분히 자실체가 발생하였으며, 톱밥을 이용한 발효(퇴비화)는 일반 생톱밥보다는 버섯 재배 후(표고버섯 폐목) 폐배지가 우수함



<그림 3> 자실체 발생시험 결과

- 현장 재배에서 모양과 품질은 매우 우수하나 발생이 기존 배지보다 적었으나 추가 연구과정을 거쳐 수량성을 증가시키면 국내 시장에서 선호하는 품질의 버섯 생산이 가능할 것으로 기대됨

<표 4> 톱밥배지 양송이버섯의 생육특성 비교

배지종류	균배양기간(일)	초발이 소요기간(일)	수량성 ($\text{kg}/3.3\text{m}^2$)	수량지수
볏짚배지(관행)	25	36	28.5	100
톱밥배지	27	39	10.8	38

- 원인규명 및 향후대책

1. 원인규명: 관행의 벗짚배지보다 C/N율이 높았으며 C/N율을 맞추기 위해 계분을 추가 첨가 시 발이에 어려움이 있었음
2. 향후대책: 양송이버섯 재배에 적합하게 C/N율을 조정하기 위해서는 톱밥배지에 대한 발효를 연장할 필요성이 있으며, 100% 톱밥을 탄소원으로 사용하기 보다는 숨 등 다른 원재료를 추가로 혼합할 필요성이 있음

- 결론

신규 대체배지 개발을 위한 연구에서 기존 배지와 동등하게 현실성 있는 결과까지는 도달하지 못하였으나 톱밥이라는 전혀 새로운 원재료로 양송이버섯을 생산할 수 있는 기반연구가 조성되었다는 관점에서는 의미가 있으며, 연구과정에서 도출된 문제점을 충분히 개선하면 향후 기계화 문제 등 한국형 실정에 적합한 양송이버섯 재배방법을 확립할 수 있을 것으로 기대함

2. 현행 사용배지의 시험결과

재배현장에서 사용하는 일반적인 배지 배합비별 위해성 분석 및 일반성분분석과 자실체 발생시험 결과를 비교하였다. 전반적으로 벗짚 100% 사용보다는 혼합사용의 생산성이 높았다.

<표 5> 밀짚 80% + 벗짚 20% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	5차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	28.21	33.10	18.55	21.34	18.56	15.24	10.1	7.59	8.7
pH	7.03	7.56	7.18	7.53	7.67	7.45	6.87	6.11	6.71
수분	7.19	6.28	6.55	9.16	5.86	5.30	4.85	4.39	4.33
조회분	21.97	35.94	38.89	34.60	42.22	49.79	54.02	52.85	52.72
질소	1.01	2.70	1.48	1.50	1.56	1.64	1.64	1.92	1.83
조단백질	5.90	15.70	8.59	7.81	9.09	9.55	9.54	11.15	10.66
유기물	70.84	57.78	54.56	56.24	51.92	46.91	41.13	42.76	42.95
C/N	69.93	21.42	36.96	37.57	33.24	28.59	25.09	22.32	23.44

<표 6> 벗짚 100% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	5차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	27.79	23.99	25.19	21.1	9.38	8.56	9.28	7.64	17.35
pH	6.85	6.75	6.44	7.70	7.38	6.79	6.36	5.94	6.96
수분	7.39	6.07	6.28	6.23	6.53	5.25	5.66	5.19	5.83
조회분	16.56	24.77	24.18	34.25	36.24	48.03	49.19	51.29	31.06
질소	1.20	1.36	1.47	1.48	1.66	2.02	2.08	1.93	1.66
조단백질	6.98	7.95	8.58	8.63	9.64	11.78	12.09	11.24	9.68
유기물	76.05	69.16	69.54	59.52	57.23	46.72	45.15	43.52	63.11
C/N	63.38	50.63	47.18	40.13	34.54	23.08	21.74	22.53	37.93

<표 7> 벗짚 70% + 밀짚 30% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	17.14	28.3	20.96	20.11	14.64	9.00	7.79	12.75
pH	6.92	7.82	6.87	7.70	7.32	7.12	6.10	6.73
수분	5.15	4.78	5.45	5.51	4.93	3.65	4.07	3.68
조회분	22.83	33.97	28.44	30.81	38.26	53.19	51.64	54.13
질소	1.07	1.86	1.13	1.31	1.58	1.83	2.05	1.74
조단백질	6.20	10.83	6.60	7.64	9.22	10.64	11.94	10.12
유기물	72.02	61.25	66.11	63.68	56.81	43.16	44.29	42.19
C/N	67.62	32.91	58.30	48.54	35.86	23.61	21.58	24.28

<표 8> 벗짚 70% + 옥수수대 30% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	27.16	29.40	22.87	26.70	22.82	22.13	8.86	10.50
pH	7.22	6.87	7.42	7.23	7.53	7.47	6.04	7.03
수분	6.20	5.89	5.63	7.35	4.79	4.51	4.25	4.60
조회분	19.90	24.70	29.38	29.40	32.81	41.72	49.95	45.92
질소	1.94	1.54	1.45	1.74	1.51	2.22	2.13	2.30
조단백질	11.28	8.98	8.45	10.14	8.79	12.94	12.37	13.39
유기물	73.90	69.41	64.99	63.25	62.40	53.77	45.80	49.48
C/N	38.13	44.98	44.76	36.29	41.32	24.18	21.54	21.50

<표 9> 벗짚 100% + 숨 20% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	19.86	20.31	27.49	29.05	25.44	14.34	9.66	13.20
pH	7.22	6.27	6.69	7.62	7.76	7.17	6.14	7.07
수분	7.29	6.54	7.04	8.56	6.54	5.73	5.98	6.06
조회분	16.60	19.32	22.72	20.94	31.76	44.49	46.81	45.02
질소	0.90	1.51	1.49	1.55	1.76	2.05	2.17	2.22
조단백질	5.25	8.79	8.67	9.00	10.26	11.93	12.64	12.90
유기물	76.11	74.14	70.24	70.5	61.70	49.78	47.21	48.92
C/N	84.40	49.07	47.17	45.60	35.00	24.29	21.75	22.08

<표 10> 옥수수대 70% + 숨 30% 배지의 발효화 과정에 따른 성분분석

성분명(%)	재료	1차	2차	3차	4차	후발효 완료	복토	배양 10일차
조섬유	41.96	42.90	45.32	39.87	52.16	33.54	20.51	15.08
pH	7.53	6.19	7.30	7.38	7.37	7.43	6.17	7.26
수분	10.61	6.81	10.02	6.93	6.13	6.05	6.75	2.87
조회분	11.56	12.93	14.07	16.38	16.56	32.04	38.43	29.20
질소	1.81	1.79	1.75	2.01	2.03	2.40	2.82	3.07
조단백질	10.51	10.42	10.16	11.72	11.83	13.96	16.39	17.86
유기물	77.83	80.26	75.91	76.69	77.31	61.91	54.82	67.93
C/N	43.07	44.81	43.48	38.10	38.03	25.81	19.46	22.14

1	밀조 80% + 깻조 20%			2.62kg
2	깻조 100%			4.29kg
3	깻조 70% + 밀조 30%			5.65kg
4	깻조 70% + 옥대 30%			5.18kg
5	깻조 80% + 송 20%			5.61kg
6	옥대 70% + 송 30%			4.26kg
균상의 버섯발생 과정		자실체 분류		

<그림 4> 배지별 자실체 수확량 비교

<표 11> 수확 후(포장) 품종특성 조사[길이, 넓이, 폭(cm)]

특성		길이	넓이	폭	비고
1	상	3.65	5.25	2.20	
	중	2.95	4.15	1.85	
	하	2.50	3.75	1.55	
2	상	3.35	4.65	1.90	
	중	2.90	4.00	1.80	
	하	3.40	3.35	1.75	
3	상	3.75	5.00	2.00	
	중	3.25	4.40	1.65	
	하	2.95	3.50	1.35	

4	상	3.30	5.00	1.99	양호
	중	2.95	4.10	1.65	
	하	2.75	3.45	1.60	
5	상	3.40	5.05	2.30	
	중	3.05	3.90	1.60	
	하	2.85	3.50	1.40	
6	상	3.40	5.10	2.30	품질 양호
	중	3.00	4.45	1.95	
	하	2.75	3.70	1.90	

- 배지와 유의성 있게 버섯에서도 위해물질(잔류농약, 중금속) 불검출

3. 혼합배지의 개선시험 결과

양송이버섯 재배 시 원재료는 탄소원과 질소원으로 크게 구분할 수 있으며 현행 재배농가에서는 탄소원으로는 주로 벗짚을 사용하고 일부 밀짚 및 솜과 옥수수대 등 농업 부산물을 혼합하여 사용하고 있다. 그러나 원재료의 품질규격이 해마다 수확시기 및 조건에 따라 물성이 다르며 배지 제조 시 농가별로 다양하며 재배조건도 야외에서 수행하므로 제조 시기 및 조건에 따라 다르므로 일정한 품질의 배지생산을 통한 안정적인 재배환경이 여려운 현실이다. 따라서 야외발효 공정에서는 규격화된 배지를 생산하기 위한 원재료 기준설정과 표준화된 가공방법 등의 기준이 필요하며 벗짚과 혼합 사용 시 원료로 물성이 다른 점을 감안하여 균일하게 퇴비화시키는 시스템 구축이 필요하며 재배공정의 개선 시 최적의 배합비로 수량성과 상품성의 향상(19%, 벗짚 80% : 솜 20%)이 확인되었다. 밀짚과의 혼합 사용 시도 벗짚과 밀짚의 물성을 감안하여 발효 시 20% 이상의 생산성 증가를 확인하여 기존 관행적 재배방식에서 벗어나 안정적으로 발효시킬 수 있는 시스템 구축이 필요하다.

가) 벗짚과 솜의 최적 혼합비율 선정시험(대조군 벗짚 100%)

<표 12> 벗짚 100% 배지성분 분석결과

항목(%)	벗짚 100%						
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토
조단백질	12.10	12.32	9.62	11.12	12.73	14.78	15.35
조회분	21.78	29.43	22.05	30.84	39.07	38.75	41.73
질소	1.91	1.96	1.54	1.79	2.04	2.36	2.45
조섬유	32.99	26.99	34.12	27.91	22.93	16.20	15.03
수분	78.64	76.29	22.43	12.99	71.18	60.34	58.62
유기물	16.71	16.73	63.36	77.00	17.56	24.28	24.11
C/N율	40.40	35.70	50.29	48.73	29.85	25.91	23.74
pH	7.12	6.98	7.24	7.38	7.04	6.84	5.87

<표 13> 벗짚 80% + 솜 20% 배지성분 분석결과

항목(%)	벗짚 80% + 솜 20%						
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토
조단백질	9.42	12.09	9.77	11.00	13.42	16.11	13.32
조회분	30.21	28.27	26.72	27.77	34.27	43.10	42.59
질소	1.50	1.93	1.57	1.76	2.15	2.58	2.14
조섬유	27.63	31.56	34.50	28.92	23.82	16.04	15.40
수분	71.30	75.29	15.21	26.28	65.90	59.45	61.88
유기물	20.03	18.22	73.6	58.38	22.41	23.07	21.88
C/N율	46.42	38.18	54.12	42.00	30.62	22.06	26.89
pH	8.82	8.32	7.52	7.47	7.54	7.17	5.56

<표 14> 벗짚 80% + 솜 20% 배지성분 분석결과

항목(%)	벗짚 60% + 솜 40%						
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토
조단백질	12.11	10.01	10.71	12.26	16.42	13.76	14.67
조회분	26.60	28.00	24.36	27.69	29.25	45.08	39.59
질소	1.94	1.61	1.72	1.97	2.63	2.20	2.34
조섬유	31.98	28.08	36.23	30.47	26.48	14.83	16.04
수분	66.47	74.69	12.99	21.36	72.48	60.01	56.13
유기물	24.61	18.22	77.00	64.8	19.47	21.95	26.49
C/N율	37.75	44.85	50.66	40.00	26.89	24.97	25.78
pH	8.24	8.21	7.54	7.62	7.55	7.12	5.72

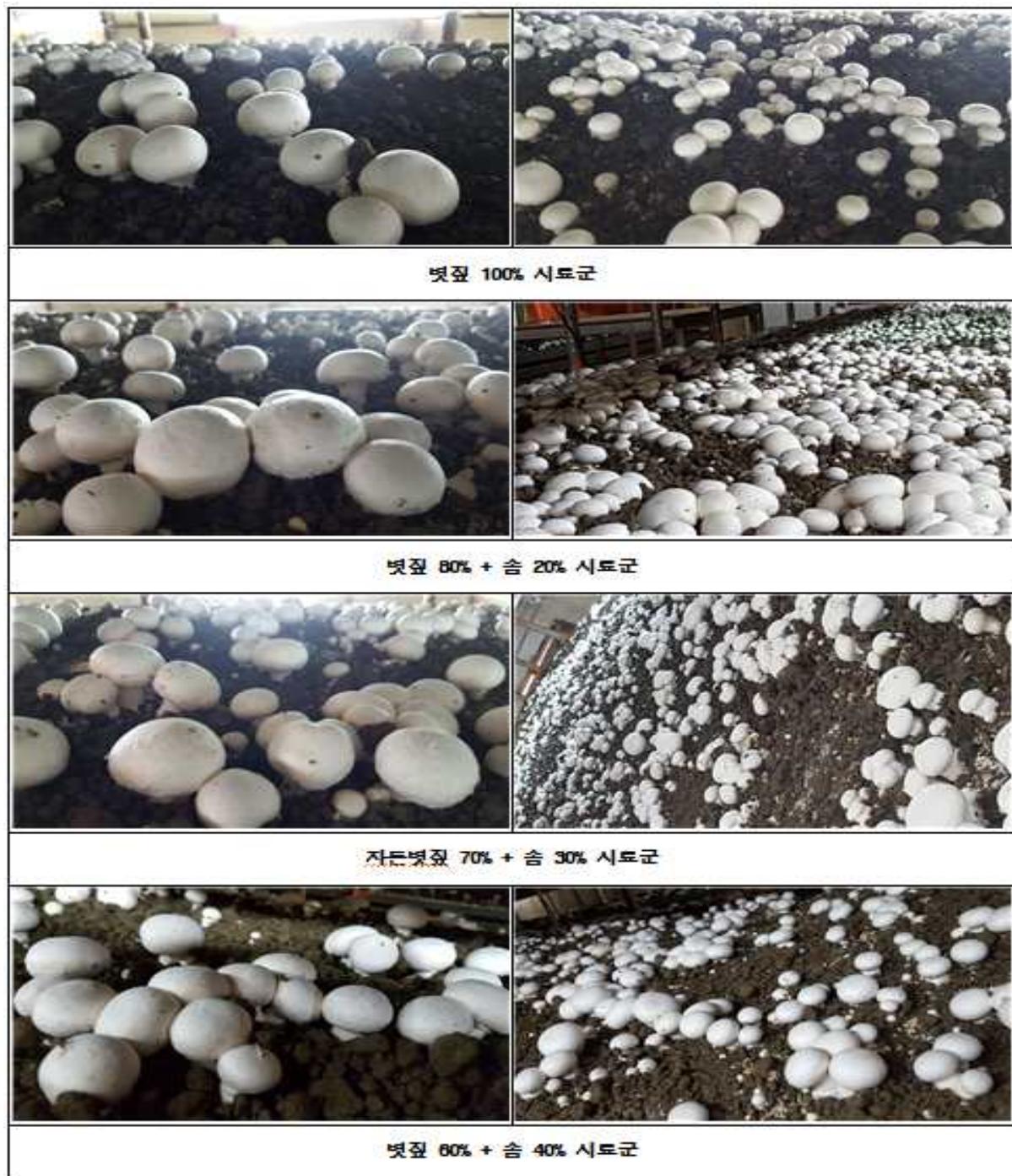
<표 15> 자른벗짚 7% 배지성분 분석결과

항목(%)	자른벗짚 70%						
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토
조단백질	10.19	10.56	12.38	11.86	15.91	16.41	15.79
조회분	14.90	32.62	34.88	25.16	38.22	36.79	39.58
질소	1.63	1.69	1.98	1.90	2.55	2.62	2.53
조섬유	39.15	25.31	32.69	34.04	23.28	16.81	15.37
수분	70.66	72.36	32.12	12.54	69.23	61.00	61.45
유기물	24.97	18.62	51.38	77.72	19.01	24.65	23.28
C/N율	52.31	39.91	34.25	45.99	24.22	24.09	23.89
pH	7.40	6.64	7.51	7.87	7.44	7.15	5.84

<표 16> 벗짚과 솜 혼합배지의 수량성 및 상품성 비교결과

배지종류	수량성(kg/3.3m ²)	상품비율(%)
벗짚 100%	29.3	72
벗짚 80% + 솜 20%	34.9	86
벗짚 60% + 솜 40%	30.5	75
자른벗짚 80% + 솜 30%	27.8	69

- 벗짚 80%와 솜 20% 혼합 시료군이 벗짚 100% 대조군보다 생산성 19%, 상품성 14% 향상되어 벗짚과 솜의 최적의 혼합비율로 확인하였음



<그림 5> 배지별 자실체 수확량 비교

<표 17> 벗짚 100% 배지성분 분석결과

성분명 (%)	벗짚 100%							
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토	비고
조섬유	38.68	32.26	33.60	29.66	24.96	15.96	10.82	
조회분	17.94	29.50	27.00	26.34	36.30	44.95	44.87	
조단백	6.46	9.53	11.24	10.86	13.91	14.20	14.75	
질소	1.04	1.52	1.80	1.73	2.23	2.27	2.36	
pH	6.60	6.80	6.72	6.91	6.95	6.58	6.17	
유기물	20.03	19.41	19.59	21.10	21.21	23.82	24.28	
C/N율	79.27	46.36	40.66	42.47	28.63	24.20	23.36	
수분	75.60	72.46	73.17	73.36	66.70	56.73	55.96	

<표 18> 벗짚 70% + 밀짚 30% 배지성분 분석결과

성분명 (%)	벗짚 70% + 밀짚 30%							
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토	비고
조섬유	35.51	27.08	37.81	34.14	31.81	19.26	11.08	
조회분	23.32	45.86	23.03	27.37	33.97	43.63	42.48	
조단백	10.84	7.21	10.76	11.00	11.20	16.08	16.00	
질소	1.74	1.15	1.72	1.76	1.79	2.57	2.56	
pH	6.81	6.80	6.65	6.80	6.65	6.93	6.18	
유기물	19.02	18.07	20.58	20.01	20.96	21.94	23.23	
C/N율	44.10	47.09	44.68	41035	36.80	21.95	22.47	
수분	75.20	66.62	73.25	72.44	68.25	61.08	59.61	

<표 19> 벗짚 50% + 밀짚 50% 배지성분 분석결과

성분명 (%)	벗짚 50% + 밀짚 50%							
	1차	2차	3차	4차	5차	후발효	복토	비고
조섬유	39.49	33.65	43.24	36.01	28.22	19.53	12.07	
조회분	16.18	24.80	21.19	28.23	28.75	41.83	38.79	
조단백	6.75	9.38	9.60	11.56	12.04	15.33	16.75	
질소	1.08	1.50	1.54	1.85	1.93	2.45	2.68	
pH	6.54	7.36	7.46	6.98	23.01	6.68	5.91	
유기물	21.86	19.90	17.98	19.75	36.99	22.56	24.81	
C/N율	77.91	50.19	51.14	38.80	7.03	23.74	22.84	
수분	73.92	73.53	77.19	72.48	67.70	61.21	59.47	

<표 20> 벗짚과 밀짚 혼합배지의 수량성 및 상품성 비교결과

배지종류	수량성(kg/3.3m ²)	상품비율(%)
벗짚 100%	8.32	90
벗짚 70% + 밀짚 30%	9.92	90
벗짚 50% + 밀짚 50%	12.79	90

- 2주기만 산정하였음

4. 적 요

양송이 안정생산을 위한 배지의 중요성은 점차 확대되지만 현행 재배농가의 배지 시스템은 과학적 근거가 부족한 상태에서 대부분 작업자의 판단만으로 작업하므로, 안정적으로 재배할 수 있는 대체배지의 재료선별로서 톱밥을 선정하였으며, 현행 농가재배의 문제점을 개선시킬 수 있는 배지개선 기술을 연구한 본 수행 결과는 다음과 같다.

1. 톱밥을 발효시켜 계분과 혼합배지를 제조한 후 공지의 방법으로 고품질의 양송이버섯을 생산할 수 있음을 확인하여 향후 톱밥 발효시스템을 개선하여 최적화시키면 배합기를 이용하여 안정적인 품질의 톱밥배지로 고품질의 양송이버섯을 생산할 수 있음을 검정하였다.
2. 톱밥의 발효는 물성에 따라 차이가 있으므로 일정한 품질의 발효를 위해 야외발효에서부터 실내발효 및 계분과의 혼합까지 톱밥 물성에 따라 발효조건과 시간을 점검하여야 한다.
3. 또한 계분과 혼합 시 기존 배지와 C/N율이 차이가 있으므로 지속적인 연구와 현장재배를 통해 혼합비의 최적화 조건을 선정할 필요성이 있다(국내배지 C/N율 1/16 ~ 1/20, 유럽 배지 1/9 ~ 1/10) .
4. 현행 국내에서 버섯 생산에 소요되는 재료는 잔류농약 및 중금속 분석결과 최종 버섯 생산에는 문제가 없음을 확인하였으며, 벗짚은 단독으로 사용하기 보다는 밀짚과 숨 등을 혼합하여 사용하면 생산성을 높일 수 있는데 혼합 시 재료의 물성이 다르므로 균일하게 퇴비화시키면 생산성을 20% 수준으로 높일 수 있으며, 혼합 시 기존의 포크래인 작업만으로는 균일한 혼합이 어려워 완전한 호기성 발효에 어려움이 있으므로 절단 혼합기와 발효 컨테이너 등 장비를 활용할 필요성이 절실하다.
5. 양송이버섯 재배용 재료들은 산지, 날씨 입고 시기와 조건에 따라 물성이 다르므로 보관부터 배지 배합 시 재료의 물성을 충분히 파악하여 균일한 품질의 배지를 제조한다면 향후 고품질의 양송이버섯의 안정생산과 소득 증대에 기여할 것으로 기대된다.

제3절 : 양송이 안정 생산을 위한 새로운 복토재료 개발

1. 양송이 복토재료 사용 실태

양송이 재배시 복토는 벼섯을 곧게 지탱해 주고 양분을 흡수하는데 도움을 주며 배지의 건조를 방지하는 역할을 한다. 우리나라에서 우량 복토의 조건은 공극률 75~80%, pH 7.5정도, 유기물 4~9%, 가비중 0.5~0.7g/cc를 기준으로 하고 있다.

양송이 복토 재료는 각 나라마다 현지실정에 맞게 사용하고 있는데 네덜란드, 덴마크, 러시아, 영국은 피트모스를 사용하고 미국, 프랑스는 현지토양을 사용하고 있으며 대만은 우리나라와 같은 식양토를 주로 사용하고 있다.(표1)

국내에서는 식양토, 양송이전용피트모스, 양송이재활용배지 등을 사용하고 있으나 가장 많이 사용되는 양질의 식양토가 점점 고갈되어가는 실정실정이다.

<표 1> 주요 국가별 사용되는 양송이 복토재료 사용현황

국가별	복토재료
덴마크	피트모스
프랑스	현지토양
네덜란드	피트모스/모래
인도	두엄퇴비+현지토양, 두엄퇴비+ 3년된 폐상퇴비
한국	식양토
러시아	피트모스
대만	식양토
영국	피트모스
미국	현지토양

- Chang and Hyes(1978), Vedder(1978), Shandilya and Agawala(1983)

- 우량 복토조건(식양토 기준) : 공극율75~80%, 유기물함량4~9%, 가비중0.5~0.7g/cc, pH7.5, 수분65% 등

- 양송이전용복토(네덜란드) : Black peat ±80%, White peat ±20%, 석회, pH 7.2~7.5

2. 양송이 수확후배지를 이용한 복토 활용

양송이 복토재료 일반성분 분석 결과 pH는7.3~7.6으로 처리구 모두 적정하였으며, 유기물 함량 ‘식양토100%’ 2.5%를 제외한 모든 처리구에서 4.3~9.8%로 아주 양호했다.<표2>

<표 2> 복토재료별 화학성

처리 내용	pH (1:5)	EC (dS/m)	유기물 (%)	Avail.-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cations (cmol+/kg)		
					K	Ca	Mg
식양토 100% (관행)	7.4	2.5	2.5	8	0.33	19.8	2.6
식양토 80% + 수확후배지20%	7.3	5.15	4.3	120	1.67	27.7	3.0
식양토 70% + 수확후배지30%	7.6	5.55	4.5	139	2.25	29.7	3.0
식양토 60% + 수확후배지40%	7.6	6.40	5.6	203	2.82	29.8	3.5
식양토 50% + 수확후배지50%	7.5	7.94	6.3	276	3.63	33.1	4.1
수확후배지 100%	7.6	19.43	9.8	696	8.03	37.5	8.0

또한 복토재료별 물리성을 보면 가비중은 $0.85\sim0.92\text{g/cm}^3$ 으로 표준인 $0.5\sim0.7\text{g/cm}^3$ 보다 높은 경향이었고, 점토함량은 25.1~29.9%로 양호하였다(표3).

<표 3> 복토재료별 물리성

처 리 내 용	모래	미사	점토	가비중 (g/cm^3)
		%		
식양토 100% (관행)	15.7	54.4	29.9	0.92
식양토 80% + 수확후배지20%	19.3	50.8	29.9	0.91
식양토 70% + 수확후배지30%	21.6	51.2	27.2	0.89
식양토 60% + 수확후배지40%	21.0	53.9	25.1	0.87
식양토 50% + 수확후배지50%	23.1	48.5	23.4	0.85
수확후배지 100%	32.4	48.0	19.6	0.65

토성 : Hydrometer 시험법, 국제토양학회법기준

양송이 수확후배지를 복토재료로 활용하기 위해서는 다음과 같은 방법으로 복토용으로 제조를 해서 사용한다.

첫째, 수확후배지는 양송이 폐상배지를 야외에서 3년 정도 부숙시킨 것을 양송이 복토재료로 사용한다.

둘째, 복토재료는 ‘식양토50%+수확후배지50%’ 혼합하여 사용한다.

셋째, 복토재료의 pH(산도)는 소석회를 첨가하여 7.5정도 조정한다.

넷째, 복토재료의 입자는 2mm체로 친 것과 9mm체로 친 것을 혼합하여 이용한다.

(입자공극율 75~80% 유지한다.)

다섯째, 복토재료 수분은 65% 정도로 조정한다.

여섯째, 복토시 복토의 두께는 3~4cm 정도로 한다.

이와 같은 방법으로 양송이 수확후배지를 사용했을 때 양송이 폐상배지 재활용으로 식양토를 대체할 수 있고,, 재배사 주변의 병해충 오염원 제거로 병해충을 예방하는 효과가 있다, 그리고 균상재배 복토시 ‘식양토+수확후배지(1:1)’는 ‘식양토’ 보다 균사배양이 상태가 양호하고, 수량이 $32.0\text{kg}/3.3\text{m}^2$ 으로 13% 증수되는 경향을 보였다.(표4)

<표 4> 양송이 수확후배지 복토처리별 생육특성

(품종 : 설강)

처리별	균배양기간(일)		초발이소요 기간(일)	수량성 ($\text{kg}/3.3\text{m}^2$)	수량지수 (%)
	복토전	복토후			
식양토 (관행)	15	8	36	28.2	100
식양토 50%+수확후배지50%	15	7	35	32.0	113
수확후배지	15	7	35	30.4	108



식양토(관행)

식양토+수확후배지

수확후배지

<그림1> 양송이 수확후배지 복토처리별 생육특성

그리고 농가 소득면에서 보면 재배사 균상면적 330m²기준으로 955천원이 증가한 8,009천원으로 13% 증가하는 경향을 보였다.(표5)

<표 5> 양송이 복토재료별 소득비교

<균상면적 330m²>

구 분	수량성 (kg)	조수익 (천원)	경영비 (천원)	소득 (천원)	소득지수 (%)
식양토 50%+수확후배지50%	3,200	19,392	11,383	8,009	113
식 양 토 (관 행)	2.820	17,080	10,026	7,054	100

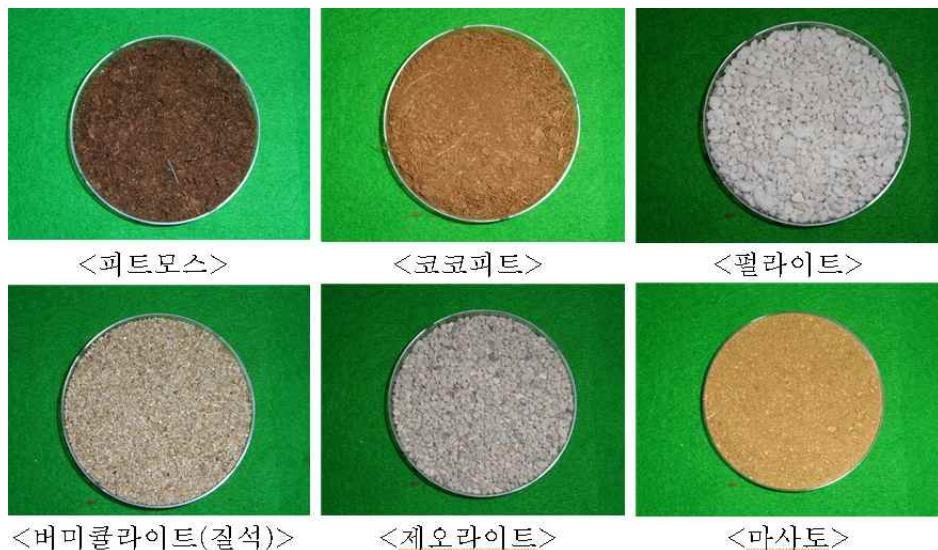
* 양송이 단가 : 6,060원/kg

3. 새로운 복토재료 선발

양송이 재배를 위한 새로운 복토재료를 선발하기 위해서 1차로 원예용 상토 재료인 팔라이트, 질석, 바크 등 다양한 재료의 특성을 조사하였다.(표6) 그 결과 양송이 복토용 재료는 pH가 7.5가 적당한데 비해 대부분의 재료들은 pH가 약산성을 보였다.(표6)

<표 6> 재료별 이화학성 특성

재료별	pH (1:5)	O.M (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Ex. Cations(cmol/kg)			용적밀도 (g/cm ³)
				K	Ca	Mg	
팔라이트	6.9	0.1	16	0.40	5.88	1.31	0.15
질석	6.8	0.0	84	0.36	6.76	1.68	0.34
바크	4.4	48.5	64	0.41	2.81	0.25	0.30
목탄	8.8	39.7	70	1.15	5.15	0.61	0.26
훈탄	7.4	38.0	75	1.76	5.44	0.70	0.19
모래	6.8	0.1	12	0.65	0.85	0.19	0.46



<그림2> 복토 재료별 형태적 특성

복토재료 선발을 위해서 1차로 복토용으로 가능성을 알아보기 위하여 다양한 재료를 가지고 양송이 재배 복토시험을 수행하였다. 그리고 pH가 낮은 재료들은 사용 전에 pH를 7.5~8.0으로 조정하였다. 복토처리는 식양토(관행), 커피박, 코코피트(원예용), 피트모스(원예용), 양송이복토전용 피트모스, 질석, 펄라이트, 제오라이트 등 재료의 단일 처리와 혼합 처리 등 다양하게 시도하여 복토 처리별 이화학성을 조사하였다.(표6)

<표 7> 복토재료별 이화학성

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	유기물 (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	용적밀도 (g/cm ³)
커피박	8.5	1.05	35.39	0.01	1.58	1.75	9.77	0.44
코코피트	9.2	0.23	51.29	0.00	0.04	0.86	0.19	0.10
피트모스	8.1	0.13	20.83	0.05	0.06	0.35	0.27	0.15
코코피트70+ 질석20 + 제올라이트10	9.1	0.17	10.38	0.01	0.13	1.38	0.12	0.25
피트모스70+ 질석20 + 제올라이트10	8.7	0.18	14.07	0.01	0.01	3.75	0.14	0.27
전용복토 피트모스 (네덜란드산)	7.9	0.15	13.97	0.01	0.20	0.52	0.74	0.21
토탄	9.0	0.82	11.29	0.02	0.01	2.52	0.08	0.26
이탄	9.4	1.31	16.96	0.05	0.05	4.69	0.21	0.51
바이오차 100%	8.5	0.29	26.85	0.01	0.05	1.22	0.06	0.19
코코피트50+ 피트모스50	8.4	0.24	12.55	0.01	0.06	1.12	0.06	0.13
코코피트50+피트모스 50 + 요소100mg/L	8.6	0.29	14.13	0.01	0.09	1.77	0.08	0.12
코코피트30+피트모스 50 + 제올라이트 20	8.4	0.17	11.35	0.01	0.20	1.50	0.21	0.28
코코피트75 + 버팀애쉬(석탄재)25	8.1	0.13	8.71	0.01	0.01	2.22	0.09	0.27

- 복토재료의 산도는 pH7.5~8.0 내외로 조정하여 사용함

이와 같이 다양한 재료에 대하여 볏짚발효배지를 이용하여 재배사내 균배양 및 생육특성을 조사하였다.(표8)

그 결과 단용 처리인 커피박, 질석, 펄라이트 복토 처리구에서는 버섯이 발생하지 않았고, 코코피트(원예용), 피트모스(원예용), 바이오차 처리구에서는 소량 발생하였다.(그림2)

그리고 혼합처리구인 ‘코코피트70%+질석20%+제올라이트10%’, ‘피트모스70%+질석20%+제올라이트10%’는 소량 발생하였고, ‘코코피트50%+피트모스50%’, ‘코코피트50%+피트모스50%+요소 100mg/L’, ‘코코피트30%+피트모스50%+제올라이트20%’, ‘코코피트75%+버텀 애쉬(석탄재)25%’에서는 식양토(관행)와 비슷한 수량성을 나타냈으며, 양송이 주요 생산국인 네덜란드산 ‘양송이 재배 복토전용 피트모스’의 수량에는 못 미치는 경향이었다. 앞으로 국내생산 복토재료 개발이 요구된다.

<표 8>. 복토재료별 균상재배 균배양 및 수량성

구분	균배양정도 (균사밀도)	수량성 (kg/3.3m ²)	수량지수 (%)
커피박	-	-	-
코코피트	++	5.7	18
피트모스	++	8.5	27
질석	-	-	-
펄라이트	-	-	-
제오라이트	-	-	-
코코피트70%+질석20%+ 제올라이트10%	++	10.2	32
피트모스70%+질석20%+ 제올라이트10%	++	10.2	32
전용복토 피트모스(네덜란드산)	+++	32.9	104
바이오차	++	7.5	24
코코피트50%+피트모스50%	+++	32.9	104
코코피트50%+피트모스50%+ 요소100mg/L	+++	32.4	102
코코피트30%+피트모스50%+ 제올라이트20%	+++	33.2	105
코코피트75%+ 버텀 애쉬(석탄재)25%	+++	31.7	100
식양토(관행)	+++	31.6	100

- 복토재료의 산도는 pH8 내외로 조정하여 사용함



코코피트



피트모스



제오라이트

코코피트70+질석20
+제올라이트10피트모스70+질석20
+제올라이트10전용복토
피트모스(네덜란드산)

바이오차

코코피트50
+피트모스50코코피트50+피트모스50 +
SAP(고흡성수지)100g/50L코코피트50+피트모스50 +
WA(습윤제)20g/50L코코피트50+피트모스50 +
요소100mg/L코코피트30+피트모스50
+제올라이트20



코코피트75
+ 베텀애쉬(석탄재)25

식양토(관행)

양송이 수확후배지

<그림 3>, 복토재료별 균상재배 양송이 생육상태

4. 새로운 복토재료의 농가실증 재배

지금까지 여러 가지 다양한 재료를 가지고 복토 시험한 결과 양송이 복토로서의 가치와 혼합하여 제조하기 쉽고 사용하기 좋은 재료를 선발한 결과 ‘코코피트50%+피트모스50%’, ‘코코피트30%+피트모스50%+제올라이트20%’, ‘코코피트75%+버텀애쉬(석탄재)25%’ 등 3치리를 가지고 농가실증 재배를 수행하였다.(표9)

원예용 피트모스와 코코피트를 양송이 재배용 복토로 활용하기 위해서는 다음과 같은 방법으로 복토용으로 제조를 해서 사용한다.

첫째, 피트모스와 코코피트 재료의 pH(산도)를 탄산칼슘(CaCO_3) 또는 소석회를 첨가하여 7.5~8.0 정도 조정하여 사용한다.

둘째, 복토재료는 ‘피트모스50%+코코피트50%’ 혼합하여 사용한다.

셋째, 혼합된 복토재료의 수분은 균상으로 입상하기 전에 70% 정도로 조정한다.

넷째, 복토시 복토의 두께는 3~5cm로 한다.

이와 같은 방법으로 원예용 피트모스와 코코피트를 복토로 사용했을 때 양송이 균상재배용 복토 ‘피트모스50%+코코피트50%’는 관행 ‘식양토’보다 균사배양 상태가 양호하고, 수량이 $32.9\text{kg}/3.3\text{m}^2$ 로 4% 증수되며 품질이 양호하였다. 또한 복토용으로 가장 많이 사용되고 있는 식양토를 구입이 쉬운 원예용 피트모스와 코코피트로 대체 사용하면 복토재료의 원활한 수급과 생산성 향상으로 재배농가 소득에 기여하고 또 수확후배지는 유기질 퇴비로 제품화 할 수 있는 이점이 있다

<표 9> 양송이 수확후배지 복토처리별 생육특성

(품종 : 설강)

처리내용	균배양기간(일)		초발이소요 기간(일)	수량성 ($\text{kg}/3.3\text{m}^2$)	수량지수 (%)
	복토전	복토후			
코코피트50%+피트모스50%	15	8	33	32.9	104
코코피트30%+피트모스50%+제올라이트20%	15	7	35	33.2	105
코코피트75%+버텀애쉬(석탄재)25%	15	7	35	31.7	103
식양토 (관행)	15	10	36	31.6	100

* 초발이소요기간 : 종균접종일부터 버섯발생까지

또한 ‘코코피트50%+피트모스50%’, ‘코코피트30%+피트모스50%+제올라이트20%’, ‘코코피트75%+버텀애쉬(석탄재)25%’ 등 새로운 복토재료를 혼합처리했을때에도 식양토 대체 효과가 있었다.(표9)

<표10> 양송이 복토재료별 소득비교

<균상면적 330m² 기준>

구 분	수량성 (kg)	조수익 (천원)	경영비 (천원)	소득 (천원)	소득지수 (%)
피트모스50%+코코피트50%	3,290	19,740	10,383	9,357	105
식 양 토 (관행)	3,160	18,960	10,026	8,934	100

* 양송이 단가 : 6,000원/kg

그리고 농가 소득면에서 보면 재배사 균상면적 330m²기준으로 423천원이 증가한 9,357천원으로 5% 약간 증가하였다.(표10)

5. 적 요

양송이 안정생산을 위해 점점 고갈되어 가는 복토용 재료인 양질의 식양토를 대체 할 수 있는 복토재료를 선발하기 위하여 본 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 균배양 및 버섯발생은 ‘양송이 복토전용 피트모스’가 가장 양호하였고, ‘식양토’ 보다 2일 빨랐으며, 개체 발생수 가장 많았다. 수량성은 ‘식양토’ 32.6kg/3.3m² 대비 ‘양송이 복토전용 피트모스’ 처리 구는 45.5kg/3.3m²로 40%증가 하였으나 품질이 낮아지는 경향이며, ‘양송이 복토전용 피트모스 50%+식양토50%’처리구는 38.5kg /3.3m²으로 18% 증가하였으며 품질도 우수하였다.
2. 양송이 재활용배지를 이용한 복토 시험에서는 복토처리별 pH는 모든 처리 구에서 pH7~8, 유기물 2.5~9%로 적정하였다. 가비중은 0.85~0.92g/cm³으로 표준인 0.5~0.7보다 높은 경향이었다. 균배양은 관행보다 재활용복토 20~50%첨가 처리 구에서 2~3일 빨랐고, ‘식양토 50% + 양송이수화후배지50%’를 사용했을 때 관행 ‘식양토’ 보다 균사배양이 상태가 양호하고, 수량이 32.0kg/3.3m²으로 13% 증수됨 부족한 식양토를 대체할 수 있고 양송이 재배지역의 환경오염 예방 및 병해충 발생을 줄일 수 있어 양송이 농가의 애로기술 해결할 수 있다.
3. 또한 식양토를 대체할 새로운 복토로 재료로서 주로 원예용 상토로 사용되는 피트모스, 코코피트, 펄라이트, 질석, 제오라이트, 바이오차 등을 단용 또는 혼합 사용하였고 처리 전에 산도를 pH8로 보정하여 양송이 재배 복토로 처리하였다
4. 단용 처리구의 경우 ‘질석’, ‘펄라이트’에서는 균배양이 불량했고, ‘코코피트’, ‘피트모스’, ‘제오라이트’, ‘바이오차’ 등에서는 양호했지만 자실체는 소량 발생으로 원활하지 못했다. 또한 혼합처리구의 경우 ‘코코피트70%+질석20%+제오라이트10%’, ‘피트모스70%+질석20%+제오라이

트10%'에서는 균배양은 양호했으나 자실체는 소량 발생으로 원활하지 못했다. 그러나 '코코피트75%+버텀애쉬(석탄재)25%'는 자실체 발생이 양호하여 '식양토(관행)'처리와 비슷하였고, '코코피트50%+피트모스50%', '피트모스50%+코코피트30%+제오라이트20%'는 자실체 발생이 아주 양호하여 '식양토(관행)'처리보다 더 좋은 것으로 조사되었다.

5. 농가 실증 시험에서 양송이 복토재료로 저가의 원예용 '피트모스50%+코코피트50%'를 사용했을 때 관행 '식양토'보다 균사배양 상태가 양호하고, 수량이 32.9kg/3.3m²으로 4% 증수되었다. 그리고 복토재료의 원활한 수급과 생산성 향상으로 재배농가 소득에 기여하고 또 수확후 배지는 유기질 퇴비로 제품화 할 수 있는 이점이 있다.

따라서 기존의 양송이 복토 주재료인 식양토(논흙)를 대체하여 양송이 재배 수확후배지 및 피트모스, 코코피트 등 원예용 자재를 이용한 복토재료 활용 기술은 앞으로 고품질 양송이 안정 생산 및 농가소득 증대에 기여할 것으로 기대된다.

제4절 : 양송이 재배사 오염원 분석 및 수확후배지 재활용 기술 개발

I. 양송이 수확후배지의 활용기술 확립

본 실험은 목적 양송이 수확 후 배지의 다기능 비료로서의 활용가치를 조사하고, 또한 양송이 수확 후 배지의 간척지 및 오염토양 복토재료로서 활용도를 평가하기 위하여 수행하였다.

1. 양송이 수확후배지의 비료로서의 활용도 평가

가. 양송이 수확후배지의 다기능 비료로서의 적용실험

(1). 양송이 배지 원료의 이화학성분 조사

수확후 배지의 비료로서의 활용가치를 조사하기 위하여 양송이 재배 시 사용되는 원료별 탄소원(톱밥, 벗짚, 밀짚), 질소원(계분), T-N, 유기물, C/N율, 무기성분 등 이화학성분을 조사 하였다. 배지성분으로 가장 많이 사용하는 벗짚과 밀짚의 이화학성 성분은 유사하였으나, 톱밥의 탄소원은 두 성분에 비해 2 배 이상 높은 반면에, 질소원은 오히려 낮았다. <Table 1>

Table 1. 양송이 배지 원료 성분별 이화학성분 조사 (건물중) (단위: %)

구 분	pH (1:10)	T-N	EC (ds/m)	유기물	C/N율	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	수분
톱밥 (미송)	5.5	0.26	3.04	60.9	128.0	0.09	0.44	3.40	0.20	35.2
벗짚	6.3	0.71	1.20	67.1	54.5	0.21	0.60	0.50	0.23	12.1
밀짚	6.5	0.74	1.17	66.2	53.1	0.27	0.56	0.43	0.27	11.5
미강	6.8	1.94	1.16	45.9	23.6	0.16	0.38	0.21	0.19	18.4
계 분	6.2	1.77	87.5	36.9	12.1	1.33	0.72	1.27	0.42	24.7

(2) 양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별 성분변화

양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별 성분변화를 조사하기 위하여 T-N, 유기물, C/N율, 무기성분, 비중, 미생물상 변화 등을 조사하였다. 퇴적기간에 따라 유기물 함량은 큰 변화가 없었으나, 총질소 및 C/N율은 퇴적 60일 이후 서서히 감소하였으나 그 이후에는 큰 변화가 없었다. 따라서 최적 발효기간은 실온에서 40일 - 60일이다. <Table 2>

Table 2. 양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별 성분변화 (건물중) (단위 : %)

퇴적기간 (일)	pH (1:5)	T-N EC (ds/m)	유기물	C/N율	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	수분	
0	7.3	0.43	12.6	12.8	16.6	0.18	0.49	1.45	0.42	43.2
30	7.2	0.41	12.7	12.6	16.3	0.17	0.51	1.46	0.43	42.7
60	7.2	0.37	12.4	11.9	15.5	0.19	0.50	1.43	0.41	43.1
90	7.1	0.30	12.1	11.8	14.7	0.20	0.48	1.43	0.42	43.5
120	7.1	0.26	11.7	11.2	14.0	0.20	0.48	1.43	0.42	43.1
180	7.1	0.24	11.5	10.9	13.7	0.20	0.48	1.43	0.42	42.5
240	6.9	0.24	11.4	10.7	13.6	0.20	0.48	1.43	0.42	42.3

* 부여 석성면 양송이 재배농가 생산 양송이 수확 후 배지

(3). 양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별 미생물상 변화

양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별(2014년 3월 - 2014년 10월) 미생물상 변화를 조사한 결과, 퇴적기간이 경과함에 따라 미생물의 종류 및 미생물수가 감소하여, 고온기(6월)인 90일 이후 급속히 감소하였다 <Table 3조>. 결과적으로 최적발효기간은 60일 이전이었다.

Table 3. 양송이 수확 후 배지의 퇴적기간별 미생물상 조사 (단위: CFU/g)

퇴적기간 (일)	세균	<i>Pseudomonas</i>	방선균	사상균
0	2.9x10 ⁶	3.9x10 ³	2.4x10 ⁴	1.2x10 ⁴
60	7.3x10 ⁶	1.2x10 ⁴	6.8x10 ⁴	5.6x10 ⁴
120	7.4x10 ⁶	3.3x10 ³	1.1x10 ⁴	4.3x10 ³
180	8.1x10 ⁵	7.5x10 ²	6.2x10 ³	8.6x10 ²
240	4.9x10 ⁵	4.1x10 ²	5.5x10 ³	5.1x10 ²

* 부여 석성면 양송이 재배농가 생산 양송이 수확 후 배지

나. 양송이 수확 후 배지를 활용한 석회처리비료 제조

양송이 수확 후 배지의 이화학성 분석결과, Table 5에서 처럼 비료공정규격상 석회처리비료(유기물 10%, 알카리분 15%, 질소전량 1%, 인산전량 1%, 가리전량 1%)의 주 원료로서 활용가치가 높아 석회처리비료 제조를 배합비 설정 및 생육효과 비교실험을 수행하였다.

<참조> 석회처리비료 공정규격(농촌진흥청 고시 제2014-13호)

비료의 종류	함유하여야 할 주성분의 최소량(%)	함유할 수 있는 유해성분의 최대량(%)	그 밖의 규격	비 고
05. 석회처리 <신설 2002. 11. 8, 2009. 10. 1.>	1.유기물: 10 2.알카리분: 15 3.다음성분을 각각 보증하고자 할 경우 질소전량: 1 인산전량: 1 가리전량: 1 <2010. 12. 23..>	건물중에 대하여 비 소 45mg/kg 카드뮴 5mg/kg 수 은 2mg/kg 납 130mg/kg 크 롬 250mg/kg 구 리 400mg/kg 니 켈 45mg/kg 아연 1,000mg/kg <2010. 12. 23..>	1.건물중에 대하여 염분(NaCl): 2.0 %이하 <2010. 12. 23.> 2.수분 50 %이하	1.삭제<2013. 2. 14.> 2.음식물쓰레기 등에 생석회를 처리하여 열반응 안정화한 비료이므로 연용시 작물피해 예방을 위한 주의사항 등 을 포장내에 표기 한다.

(1). 양송이 수확후 배지석활용 석회비료 제조 배합비를 선정

석회처리비료 원료로 사용 가능 여부 조사를 위한 성분 분석결과, Table 5에서처럼 질소전량 1% 이상 (0.63%) 와 CaO 15%(1.57%) 함량을 제외하고 유기물, 인산, 가리, 중금속함량 등 공정규격상 석회처리비료의 최소 보증함량을 충족하였다. 따라서 톱밥, 계분과 생석회를 첨가하여 양송이 수확후 배지를 활용한 석회처리비료(비료공정규격 기준: 알칼리 15% 이상, 유기물 10% 이상 등)를 제조하기 위하여 Table 4에서처럼 제조 배합비 선정하였다.

Table 4. 석회처리비료 제조를 위한 배합비 선정

구 분	수확후 배지	톱밥	생석회	계분
배합비 1	80	0	18	2
배합비 2	78	2	18	2
배합비 3	76	4	18	2

(2) 양송이 수확후 배지 석회처리비료의 배합비별 이화학성 분석

제조한 양송이 수확후 배지 석회처리비료 배합비 1, 2, 3의 이화학성분은 유기물, 알칼리, NPK 함량을 분석한 결과, 선정한 배합비 모두 비료공정규격의 적정수준이었다. <Table 5>

Table 5. 송이 수확후 배지 석회처리비료의 배합비별 이화학성 분석 (현물중)

구 분	pH (1:5 w/w)	유기물 함량 (%)	T-N (%)	유효인산 (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	CaO (%)	C/N율 (%)	수분 (%)
수확후배지	7.2	12.1	0.63	521	373	1.57	19.2	32.5
배합비 1	10.4	12.2	1.11	534	383	16.5	10.9	30.2
배합비 2	10.2	12.9	1.13	540	379	16.3	11.4	30.3
배합비 3	10.1	13.2	1.15	542	381	16.2	13.0	30.2

(3) 양송이 석회처리비료 배합비 별 생육시험

상추 Pot 실험을 통해 양송이 수확후 배지를 이용하여 배합비 별로 제조한 석회처리비료의 생육효과실험을 아래와 같은 방법으로 수행하였다.

<처리 방법>

무처리구: Pot soil 20 kg

대조구: 시판용 석회처리비료 10kg + Pot soil 10 kg

실험구: 양송이 석회처리비료 10kg + Pot soil 10 kg

양송이 석회처리비료를 배합비별로 제조하여 포트실험을 통하여 상추 생육효과를 비교하였다. 무처리구에 배합비 1, 2, 3 모두 상추 생육 증진효과를 보였으며, 배합비 1은 대조구인 시판용 석회비료와 엽장, 뿌리 및 Chlorophyll 함량에도 비슷한 생육효과를 보였다. 그러나 배합비 별 처리구에서 유의수준의 차이는 없었다. 따라서 유기물성분으로 제공하는 톱밥이 첨가되지 않는 배합비 1이 가장 경제적이고 효율적인 양송이석회처리비료 제조를 위한 성분비로 확인되었다.

<Table 6 , Fig. 1>

Table 6. 양송이 석회처리비를 배합비별 상추 생육효과 비교

처리구	엽장(cm)	뿌리(cm)	Chlorophyll 함량 mg/100cm ²
무처리구	12.1	4.35	2.10
대조구*	13.7	5.28	2.16
배합비 1	13.7	5.26	2.15
배합비 2	13.3	5.21	2.13
배합비 3	13.1	5.20	2.13

* 시판용 석회처리비료(공주바이오 제품)



Fig. 1. 양송이 석회처리비료 배합비별 상추 생육효과 비교

(4). 양송이 석회처리비료의 작물별 생육시험

Pot 실험을 통해 생육효과가 가장 우수한 양송이 석회처리비료 배합비 1을 최종 선정하여 고추, 토마토, 배추를 이용한 Pot 실험을 통한 생육효과실험을 수행하였다. 줄기(엽장), 뿌리 및 chlorophyll 함량 모두 대조구인 시판용 석회처리 비료와 고추, 토마토, 배추에서 비슷한 생육효과를 보였다. <Table 7, Fig 2, Fig. 3, Fig 4>

Table 7. 양송이 수확 후 배지 석회처리비료의 작물별 생육효과 비교

Plants	Treatment	줄기(엽장) cm	뿌리 cm	Chlorophyll (Spad value)
고 추	대조구	23.4	14.5	32.4
	배합비 1	24.3	13.8	32.7
토마토	대조구	67.8	21.4	34.3
	배합비 1	63.5	20.2	34.5
배 추	대조구	38.1	17.8	35.2
	배합비 1	37.5	17.5	35.5

* 대조구는 시판용 석회처리 비료; 고추, 토마토는 줄기, 배추는 엽장을 분석함.



Fig. 2. 양송이 수확후 배지 석회처리비료의 고추 생육실험



Fig. 3. 양송이 수확 후 배지 석회처리비료의 토마토 생육실험



Fig. 4. 양송이 수확 후 배지 석회처리비료의 배추 육묘 생육실험

(5) 결과요약

제조한 배합비별 석회처리비료의 이화학성 분석을 실시한 결과, 질소전량 0.63% 와 CaO 1.57%로 공정규격상 석회처리비료의 최소 보증함량 질소전량 1% 이상 와 CaO 15% 이상)을 충족하지 못하였으나, 유기물, 인산, 가리, 중금속함량 등은 석회처리비료의 최소 보증함량을 충족하였다. 따라서 계분과 생석회로 질소와 알칼리 성분만을 보충하여 석회처리비료의 공정규격에 맞게 3종류의 배합비를 선정하였다. 상추 재배시험을 통해 석회처리비료 제조 최적 배합비(수확 후 배지 80%: 계분 2%: 생석회 18%, v/v)를 최종 선정한 결과, 선정 배합비는 pH 10.5, 유기물 12%, NPK 각 1% 이상으로 최소 보증함량을 충족하였다. 선정된 배합비를 이용하여 고추, 토마토, 배추 등 작물별 생육시험 결과, 줄기(엽장), 뿌리 및 chlorophyll 함량 모두 시판용 석회처리 비료와 비슷한 생육효과를 보였다.

(6) 결론

위 상의 결과를 통해 수확 후 배지를 이용한 석회처리비료 제조를 위한 최적 혼합비율은 수확 후 배지 (80%) : 계분(2%): 생석회(18%)의 비율로 제조 시 이화학성분이 적정범위 수준이었고, 생육 또한 우수한 것으로 나타났다.

다. 양송이 수확 후 배지만의 활용성 평가

(1) 양송이 수확 후 배지 자체만의 비료로서의 활용가치 조사

톱밥, 계분 등 유기물과 질소원을 첨가하지 않고 재배농가에 20-30일 퇴적한 양송이 수확후 배지를 토양에 직접시비에 따른 토양개량효과와 작물생육 효과를 조사하였다. Table 1에서 처럼 충남 부여군 석성 양송이 재배농가에서 20-30일 퇴적한 수확후 배지의 이화학성 분석결과, 유기물, 질소, 인산, 가리 및 칼슘 및 마그네슘 등 작물생육에 필요한 영양성분을 함유하고 있었다. 또한 SiO₂ 함량 48-50%, pH가 7.1-7.2 수준이어서 연작지 토양 및 산성토양 개량제로 사용이 적절하였다.

Table 8. 양송이 수확후 배지의 이화학성 분석

(현물중)

구 분	pH (1:5, w/w)	유기물 (%)	EC (ds/m)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	수분 (%)
수확후배지	7.1	12.8	8.7	0.61	516	423	1.54	0.46	48.5	33.4

(2) 양송이 수확 후 배지의 중금속 분석

양송이 수확 후 배지의 중금속 함량을 분석한 결과 비소, 카드뮴, 수은, 납, 크롬, 구리, 아연, 니켈 모두 비료공정규격의 적정기준 이하였다. <Table 9>

Table 9. 양송이 수확후 배지의 중금속 분석

(단위 : mg/kg)

구 분	비소	카드뮴	수은	납	크롬	구리	아연	니켈
수확후 배지	0.09	ND	ND	8.7	11.2	7.4	47.3	6.7
적정기준	45	5	2	130	250	400	1,000	45

(3). 양송이 수확 후 배지의 미생물 분석

양송이 수확 후 배지의 미생물상을 조사한 결과 양송이 배지와 비슷한 수준의 세균 및 유산균 등 다양한 미생물이 검출되어 토양첨가 시 미생물 공급효과를 제공할 수 있었다. <Table 10>

Table 10. 양송이 배지 및 양송이 수확후 배지의 미생물상 조사 (단위: cfu/g)

시료종류	세균	유산균	방선균	곰팡이
양송이 배지	3.5×10^6	4.9×10^3	5.2×10^3	1.8×10^2
양송이 수확후 배지	4.2×10^6	1.6×10^2	2.7×10^3	2.1×10^2

라. 양송이 수확후 배지 시비 및 작물 생육실험**(1). 양송이수확후배지 비료 제조 배합비 선정**

톱밥, 계분 등 유기물과 질소원을 첨가하지 않고 재배농가에 20-30일 퇴적한 양송이 수확후 배지를 토양에 직접시비에 따른 토양개량효과와 작물생육 효과를 조사하였다.

- 처리장소 및 시기: 충남대학교 실험농장(2016. 08.15 ~ 10.15)
- 처리방법: - 대조구: 농협퇴비 100kg / 토양 100평
- 실험구: 수확후 배지 100kg / 토양 100평
- 실험작물: 가을배추

(2). 양송이 수확후 배지 시비 전 후 토양 이화학성 분석

양송이 수확후 배지를 토양에 시비하고 경운 한 후, 시비 전, 후 토양 이화학성분 분석 결과는 Table 11에서처럼 시비 전 토양보다 수확후 배지 시비 후 토양에서 EC와 CaO가 다소 증가하였고, 칼륨과 유효인산은 약간 감소하였다.

Table 11. 양송이 수확후 배지 시비 전, 후 토양 이화학성분석

구 분	pH (1:5)	EC (ds/m)	유기물 (g/kg)	T-N (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol ⁺ /kg)		
						K	Ca	Mg
시비전	6.7	0.23	13	0.32	190	0.72	5.2	1.4
시비후	대조구	6.7	0.52	18	0.33	236	0.74	5.8
	실험구	6.9	0.79	16	0.31	182	0.63	6.3
배추밭 적정토양	6.0 ~	2.0>	25 ~	0.4 ~	400 ~	0.70 ~	5.0 ~	1.5 ~
	6.5		35	0.5	500	0.80	6.0	2.0

(3). 양송이 수확후 배지를 이용한 가을배추 재배 후 생육 조사

양송이 수확후 배지를 토양에 시비하고 경윤 한 후, 파종 및 정식 후 30일간 재배한 배추의 생육조사를 실시한 결과, 시판용 퇴비를 시비한 대조구와 주중, 결구중, 잎장 및 근장 등 거의 대부분 유사한 생육효과를 나타냈다(Table 12, Fig. 5 참조).

**Fig. 5.** 양송이 수확후 배지를 이용한 가을배추 재배 후 생육 조사**Table 12.** 양송이 수확후 배지를 이용한 가을배추 재배 후 생육 조사

구 분	주 중 (g)	결구중 (g)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	근 중 (g)	근 장 (cm)
대조구	3.74	2.473	38.5	27.7	31.5	18.2
실험구	3.69	2.435	38.1	28.3	32.1	18.8

(4) 양송이 수확후 배지 시비 토양내의 유기물 분해 관련효소들의 효소활성능 조사

양송이 수확후 배지를 시비한 후 배추 재배 전과 재배 30일 후 토양의 유기물 분해 관련효소들의 효소활성을 측정하였다. Table 13에서처럼 배추 재배 전 토양에 비해 재배 후 토양의 pH, 유기물 및 EC함량이 낮아졌으며, 토양내의 유기물분해 관련효소들의 효소활성을 측정한 결과, 대조구 및 실험구 모두 DHA, cellulase 및 Acidic phosphatase 효소활성이 비슷한 수준으로 증가하였다.

Table 13. 양송이 수확후배지 시비토양내의 유기물 분해 관련효소들의 효소활성능 조사

처리구	pH (1:5)	EC (ds/m)	유기물 (g/kg)	재배토양 내 효소활성		
				DHA ¹ ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Cellulase ² ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Acidic phosphatase ³ ($\mu\text{g pNP/g}$)
대조구	재배전	6.7	0.52	18.2	76.4	5.3
	재배후	6.6	0.43	15.7	105.0	8.1
실험구	재배전	6.9	0.79	16.3	99.3	5.7
	재배후	6.7	0.57	14.8	98.7	8.6

¹Dehydrogenase(DHA) activity: $\mu\text{g TPF g}^{-1}$ soil for 24 hours

²Cellulase activity: $\mu\text{g glucose g}^{-1}$ soil hr^{-1}

³Phosphatase activity units: $\mu\text{g pNP g}^{-1}$ soil hr^{-1}

(5) 양송이 수확 후 배지의 작물별 생육시험

양송이 수확 후 배지만을 사용하여 작물별 생육시험을 수행하였다.

<처리장소 및 처리시기>: 충남대학교 농장 비닐하우스(2016년 05월 ~ 09월)

<처리 방법>

무처리구: Pot soil 20 kg

대조구: 시판용 퇴비(농협) 10kg + Pot soil 10 kg

실험구: 양송이 수확 배지 10kg + Pot soil 10 kg

대상작물: 딸기, 토마토, 무, 배추

포트재배실험을 통해 양송이 수확 후 배지를 이용하여 딸기, 토마토, 무, 배추의 생육효과실험을 수행한 결과, 딸기는 무처리구가 대조구와 실험구에 비해 생육이 양호하였고, 고추, 토마토, 배추의 경우 실험구가 대조구인 시판용 퇴비에 생육효과가 비슷하거나 다소 높은 효과를 보였다. <Table 14 및 Fig. 6>

Table 14. 양송이 수확 후 배지의 작물별 생육효과 비교

작물종류	처리구	줄기(엽장) cm	뿌리 cm
딸 기	무처리구	24.6	15.5
	대조구	22.3	13.8
	실험구	21.5	12.4
토마토	무처리구	52.4	21.4
	대조구	59.6	24.2
	실험구	67.7	29.8
무 우	무처리구	23.2	21.4
	대조구	24.9	24.3
	실험구	26.5	26.7
배 추	무처리구	24.7	13.5
	대조구	27.3	15.1
	실험구	26.8	15.0

*; 딸기, 토마토, 무는 줄기, 배추는 엽장을 분석함.

(6) 결과 요약

톱밥 또는 가축분을 첨가하지 않고 20-30일간 퇴적한 양송이 수확후 배지를 시판용 퇴비 대용으로 사용하여 비료로서의 활용가치를 조사하였다. 양송이 수확후 배지의 이화학성 분석결과, 시판퇴비에 비해 유기물함량은 낮으나, 총질소, 인산, 가리등은 비슷한 수준으로 함유되어 있었다. 수확후 배지의 미생물상은 세균, 유산균, 방선균 및 사상균류가 $2.1 \times 10^2 - 10^6$ cfu/g 수준이어서 토양시비 시 미생물에 의한 유기물분해효과가 확인되었다. 딸기, 토마토, 무, 배추 등 작물별 생육시험을 수행한 결과, 시판용 퇴비와 비슷한 생육효과를 보임으로서, 농가에서 양송이 수확 후 배지를 이용하여 토양개량제 또는 미생물 퇴비의 용도로 별도의 처리공정없이 손쉽게 사용할 수 있고, 또한 양송이 재배농가에게는 처리비용 및 환경오염원을 해소할 수 있는 해결방안을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

(7) 결론

위 상의 결과를 통해 톱밥 또는 가축분을 첨가하지 않고 20-30일간 퇴적한 양송이 수확후 배지의 이화학성분과 미생물상은 토양개량제 및 퇴비로 사용가능한 수준이었고, 작물별 생육효과 또한 시판용 퇴비와 유사한 수준이어서 농가에서 퇴비대용으로 손쉽게 사용할 수 있는 유기물자원으로 활용가치가 높았다.



Fig. 6. 양송이 수확 후 배지의 작물별(딸기, 토마토, 무) 생육실험

2. 양송이 수확 후 배지의 간척지 및 오염토양 복토재료로서 활용가치 조사

가. 양송이 수확 후 배지의 오염토양 복토재료로서 활용도 평가

(1) 수확후 배지의 오염토양 복토재료로서의 활용도 평가

양송이 수확후 배지의 오염토양 복토재료로서의 활용도를 평가하기 위하여 양송이 수확후 배지 및 오염토양(보령 폐광토양과 새만금 간척지토양)의 이화학성 분석을 수행하였다. 새만금 간척지 토양과 보령폐광 토양의 이화학성 분석 결과, Table 1에서처럼 간척지 토양은 pH 8.5,

치환성 양이온 Mg는 $2.2 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$, Na함량은 $1.3 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 수준으로 보령토양보다 높았으나, 보령 폐광토양은 EC함량이 0.73 ds/m , 유효인산은 96 mg/kg 으로 오히려 2배 이상 높았고 수확 후 배지 보다 모든 분석 항목에서 낮은 수준으로 조사되었다.

Table 1. 양송이 수확후 배지 및 오염토양의 이화학성 분석 (건물중)

구 분	pH (1:5)	EC (ds/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol^+/kg)			
					K	Ca	Mg	Na
수확후 배지	7.1	1.32	14	187	0.82	6.4	1.3	0.4
보령 폐광토양	6.9	0.73	2.8	96	0.45	2.4	0.6	0.5
새만금 간척지토양	8.5	0.17	2.2	31	0.37	0.6	2.2	1.3

(2) 양송이 수확후 배지를 이용한 오염토양의 중금속 분해 및 흡착율

양송이 수확후 배지에 의한 오염토양의 중금속 분해 및 흡착율을 평가하기 위하여 중금속이 흡착된 토양 내에 양송이 퇴비를 접종한 10일 후, 토양추출물로부터 soluble metal 이온을 분석한 결과, 대조구에 비해 Co 35%, Pb 25%, Zn 45% 중금속 분해효과를 보였다. <Fig. 1>

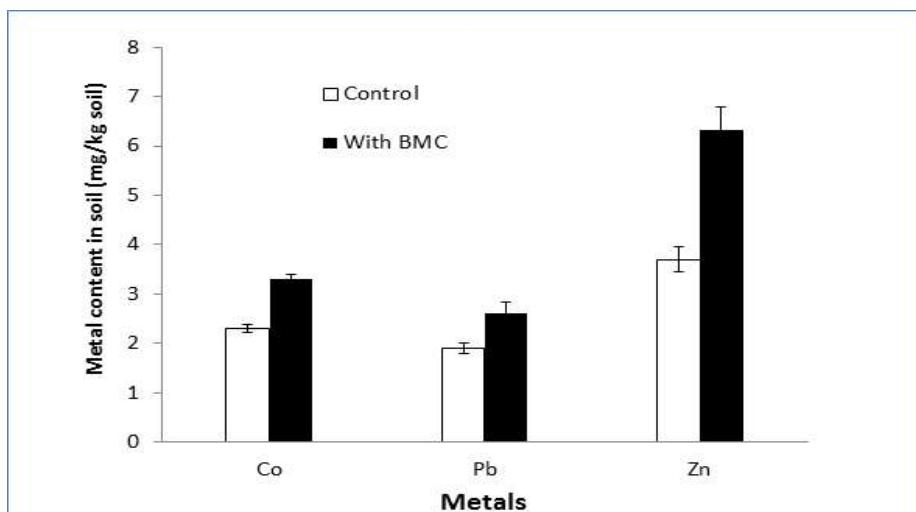


Fig. 1. 양송이 퇴비의 토양내 중금속 분해효과

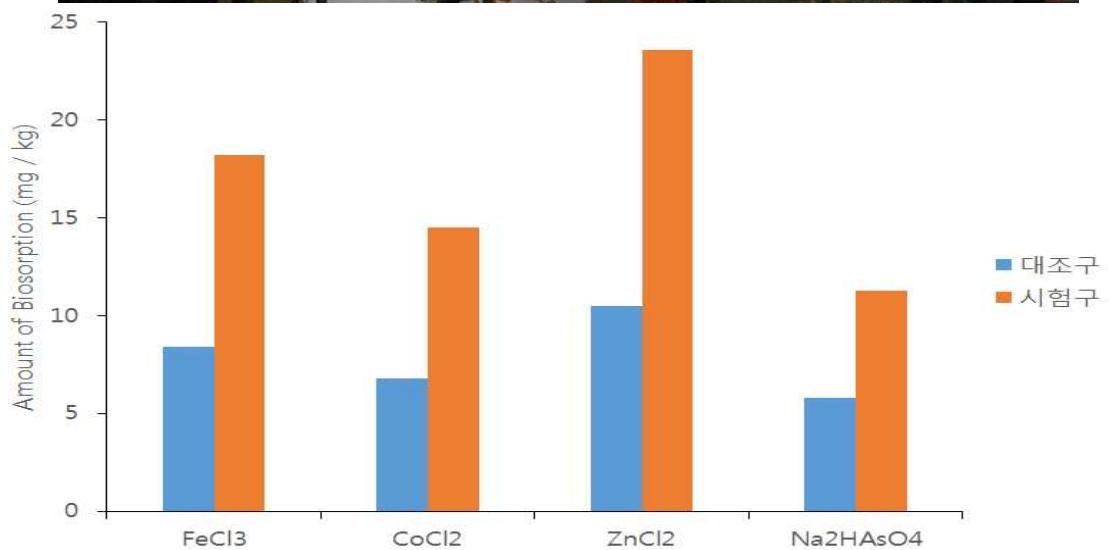
(3) 중금속 오염토양에서 양송이 수확후 배지에 의한 생육효과

중금속 오염토양에서 양송이 수확후 배지에 의한 해바라기 생육효과를 비교하기 위하여 중금속이 첨가된 해바라기 포토에 양송이 수확후 배지를 첨가하여 생육효과를 검토한 결과, 대조구에 비해 Co, Pb, Zn 처리구 모두 무첨가구인 대조구에 비해 뿌리와 줄기의 생육이 유의수준으로 높았다. <Table 2>

Table 2. 중금속 오염토양에서 양송이 수확후 배지에 의한 해바라기 생육효과

Metal	Treatment	Fresh	weight (g/plant)	Dry	weight (g/plant)
		Shoot	Root	Shoot	Root
Co	control	1.33(±0.034)	0.065(±0.004)	0.072(±0.003)	0.027(±0.003)
	compost	1.68(±0.045)	0.089(±0.006)	0.094(±0.004)	0.039(±0.004)
Pb	control	1.25(±0.029)	0.057(±0.004)	0.057(±0.002)	0.027(±0.004)
	compost	1.57(±0.039)	0.093(±0.006)	0.075(±0.004)	0.038(±0.003)
Zn	control	1.46(± 0.041)	0.078(±0.003)	0.083(±0.004)	0.029(±0.002)
	compost	1.79(± 0.044)	0.108(±0.002)	0.094(±0.003)	0.041(±0.002)

*각리구별 3회 반복 실험한 평균 값임.

**Fig. 2.** 양송이 수확 후 배지를 이용한 중금속 흡착실험

(4) 양송이 수확 후 배지의 중금속 흡착실험

컬럼 실험을 통해 양송이 수확후배지 첨가에 의한 중금속 오염토양의 중금속 경감능을 조사하였다. 컬럼에 보령폐광토양 및 새만금 간척지 토양(5) : 30일 발효한 양송이 수확후배지(5)의 비율로 혼합하여 충진하고, Fe, Co, Zn, As를 200mg kg^{-1} 수준으로 첨가하여 25-30°C에서 7일 간 배양한 후 멸균수로 1일 간격으로 용출한 용출 수 및 토양에 흡착된 중금속 함량을 분석하였다. 토양에 흡착된 중금속 함량은 Zn > Fe > Co > As 순이었으며 수확후배지 무처리구에 비해 50% 이상 흡착량이 높은 중금속 경감효과를 보였다. <Fig. 2>

(5) 양송이 수확 후 배지로부터 중금속 내성균의 분리

TSB 배지에 200mg L^{-1} 의 Co, Pb, Cd, 및 Zn를 첨가한 액체배지에서 수학 후 배지를 첨가하여 배양하면서, 고농도의 중금속배지에서 생육하는 중금속 내성균을 분리하였다. Table 4에서처럼 양송이 수확후배지로부터 고농도의 중금속배지에서 생육이 우수한 *Bacillus* 속과 *Pseudomonas* 속 등의 6종의 중금속 내성균을 분리하였으며, 각 금속이온에 대한 내성을은 11-29% 수준이었다.

Table 4. 양송이 퇴비로부터 분리한 중금속 저항성균의 분리 및 내성효과

분리균의 속명	Identity with type strain (%)	중금속 내성을 (%)				Most closet species (Accession number)
		Co	Pb	Cd	Zn	
<i>Bacillus</i>	99.7	18	13	20	29	<i>Bacillus subtilis</i> (AJ276351.1)
<i>Pseudomonas</i>	99.3	16	11	13	26	<i>Pseudomonas koreensis</i> (AF468452.1)
<i>Enterobacter</i>	98.9	14	10	15	26	<i>Enterobacter ludwigii</i> (AJ853891.1)
<i>Pantoea</i>	99.36	17	10	13	24	<i>Pantoea agglomerans</i> (AJ233423.1)
<i>Burkholderia</i>	99.71	16	12	14	25	<i>Burkholderia stabilis</i> (AF148554.1)
<i>Streptomyces</i>	99.82	11	09	12	20	<i>Streptomyces subrutilus</i> (AJ143894.1)

나. 양송이 수확 후 배지의 중금속 경감 효과

작물 생육실험을 통해 양송이 수확 후 배지에 의한 금속이온의 식물체내의 동태 및 생육효과를 조사하였다.

(1) 해바라기 Pot 실험을 통한 양송이 수확후배지의 중금속 경감 효과

<처리방법>

대조구: Metal free 식양토(10) 또는

Metal free 식양토(10) + 200 mg kg^{-1} Co, Pb, Co, Zn

접종구: Metal free 식 양토(5) : 양송이 수확후배지(5) + 200mg kg⁻¹ Co, Pb, Co, Zn

중금속 내성균이 함유된 양송이 수확후배지를 각 금속이 첨가된 해바라기 pot 토양에 접종한 후 토양 내 중금속 흡착능 및 해바라기의 생육효과를 비교한 결과, 무접종한 대조구에 비하여 줄기와 뿌리의 생육효과가 우수하였다 <Table 5, Fig. 3>.

Table 5. 중금속 토양에서 양송이 퇴비접종에 따른 해바라기의 생육효과

Metal	Treatment	Fresh weight (g plant ⁻¹)		Dry weight (g plant ⁻¹)	
		Shoot	Root	Shoot	Root
Metal free soil	대조구	1.82	0.113	0.085	0.040
	접종구	1.93	0.118	0.114	0.059
Co	대조구	1.37	0.069	0.070	0.029
	접종구	1.65	0.090	0.096	0.038
Pb	대조구	1.20	0.057	0.057	0.029
	접종구	1.42	0.075	0.071	0.033
Cd	대조구	1.35	0.060	0.059	0.029
	접종구	1.63	0.083	0.083	0.038
Zn	대조구	1.43	0.080	0.079	0.031
	접종구	1.81	0.105	0.097	0.045

* 각 기간별 3회 반복 실험한 평균값 임



Fig. 3. 해바라기 Pot 실험을 통한 중금속 토양에서 양송이 퇴비접종 효과

다. 양송이 수확후배지의 간척지 및 중금속 오염토양의 활용 평가

(1) 양송이 수확후배지의 간척지 및 중금속 오염토양의 벼 육묘 생육 시험

(가) 혼합비별 수도용 상토의 제조 및 제조 상토의 이화학적 특성

양송이 수확 후 배지와 간척지 및 폐광토양을 혼합하여 수도용 상토로서의 활용도를 조사하기 위하여 직경 2 mm를 통과한 간척지 토양(6) 또는 폐광토양(6)을 30일간 발효된 양송이 수확후 배지(4)와 6:4의 비율(v/v)로 혼합한 후 제조한 상토의 이화학성 분석을 실시하였다. 수도용 상토의 공정규격상 적정범위 pH 범위인 5.0~6.0 이하로 조정하기 위하여 EC 함량에 영향을 미치지 않는 유기산을 생성하는 유산균 및 효모를 이용하여 30일간 발효한 수확 후 배지를 사용하였으며, 필요시 질산용액을 이용하여 최종 혼합상토의 pH를 조정하였다. 결과적으로 제조된 혼합상토의 용적밀도는 시판용 중량상토보다 높은 0.86~0.89 Mg/m³ 이었고, pH도 다소 높은 pH 5.5~5.9이었으나, EC 함량은 상토의 적정범위 1.4~1.6 dS/m 수준이었다 <Table 6>.

Table 6. 간척지 및 오염토양과 양송이 수확후배지 혼합 상토의 이화학적 특성

구 분	pH (1:5, w/w)	EC (dS/m)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	유효인산 (mg/kg)	CEC (cmol ⁺ /kg)	용적밀도 (Mg/m ³)
A사 상토	5.1	1.06	196	42	108	22.6	0.82
퇴비: 폐광	5.5	1.57	64	184	270	14.8	0.86
퇴비: 간척지	5.9	1.48	77	195	257	13.4	0.89

(나) 제조상토의 벼육묘 실험

(가) 항에서 제조한 제조상토의 효과 검증을 위해 벼 육묘 실험을 통한 생육조사를 수행하였다. 볍씨 파종 20일 후 대조구인 시판용 상토보다는 처리구의 생육이 10% 정도 다소 낮았으나, 추가적인 물리성 개선을 통해 수확후배지를 간척지 토양과 폐광토양의 수도용 상토 복토 재료로서도 가능함을 확인 하였다 <Table 7, Fig. 4 >.

Table 7. 간척지 및 오염토양에 양송이 수확후배지 첨가에 따른 벼 육묘 생육

육묘일	혼합비 ¹⁾	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (mg)	근장 (cm)	근중 (mg)	근수 (개)
	대조구*	17.8	3.3	147.9	4.9	30.9	8.3
20일	퇴비: 폐광	16.9	3.1	141.1	3.7	25.7	7.7
	퇴비: 간척지	17.1	3.0	143.0	3.9	26.1	7.8

¹⁾: 양송이 수확후배지(4) : 폐광토양 또는 간척지토양(6)의 혼합비율(w/w%)

*대조구는 시판용 수도용 상토



Fig. 4. 간척지 및 오염토양에 양송이 수확후배지 첨가에 따른 벼 육묘 생육

라. 양송이 수확후배지의 간척지 및 중금속 오염토양의 피복효과 시험

간척지 및 중금속 오염토양의 피복효과를 시험하기 위하여 간척지 및 중금속 오염토양에 양송이 수확후 배지를 혼합, 피복하여 잔디생육 시험을 수행하였다.

(1). 양송이 수확후배지 활용 간척지 및 중금속 오염토양의 잔디생육 시험

간척지 및 중금속 오염토양에 양송이 수확후배지를 혼합, 피복하여 잔디생육 시험을 수행하였다. <Fig. 5, Fig. 6 참조>

▶ 실험기간: 2015. 04 - 2015. 06

▶ 실험토양: - 새만금 간척지 토양
- 보령폐광 토양

▶ 실험작물: 블루그래스(blueglass)

▶ 처리방법:

- 무처리구: 시료 토양(10) + 각 1% NPK 혼합 후 종자 파종

- 처리구: 시료 토양(7) + 수확 후 배지(3) + 각 1% NPK 혼합 후 종자 파종

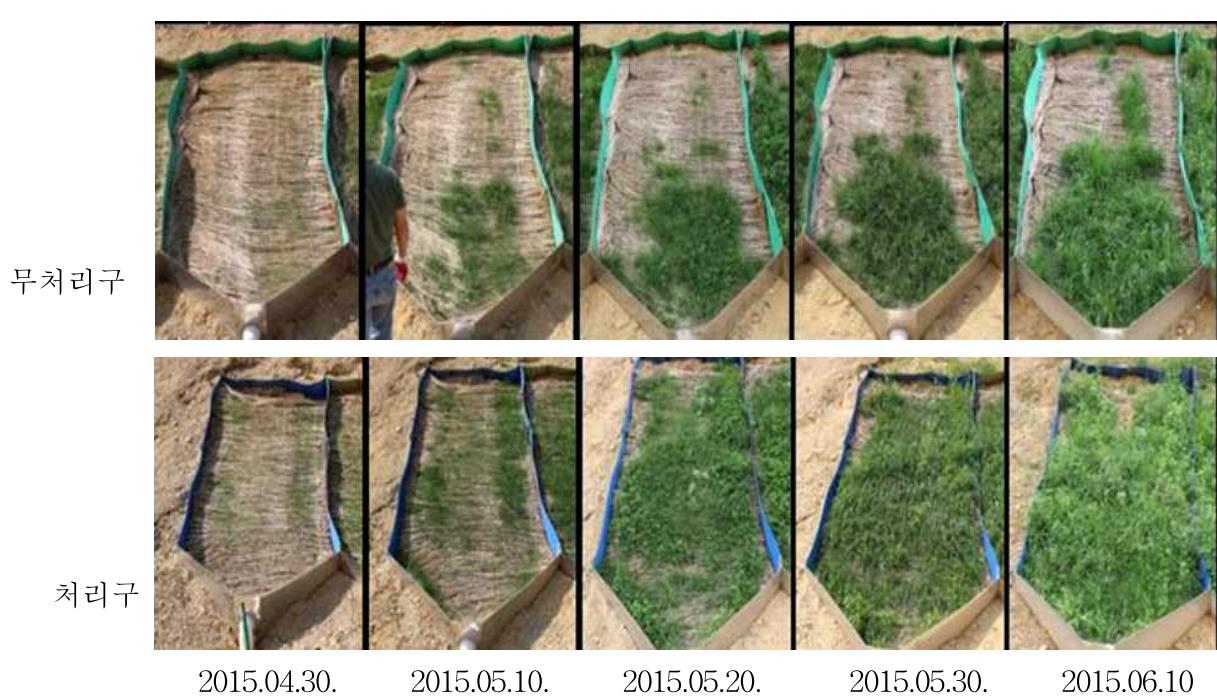


Fig. 5. 양송이 수확후배지 침가 중금속 오염토양의 잔디생육 실험

중금속 오염토양의 경유 잔디의 발아율과 생육이 무처리구에 비해 생육 20일 이후부터 높았으며, 파종 30일 이후(2015, 05, 20) 잔디의 발아율과 생육이 무처리구에 비해 3배 이상 높았다 <Fig. 5>.

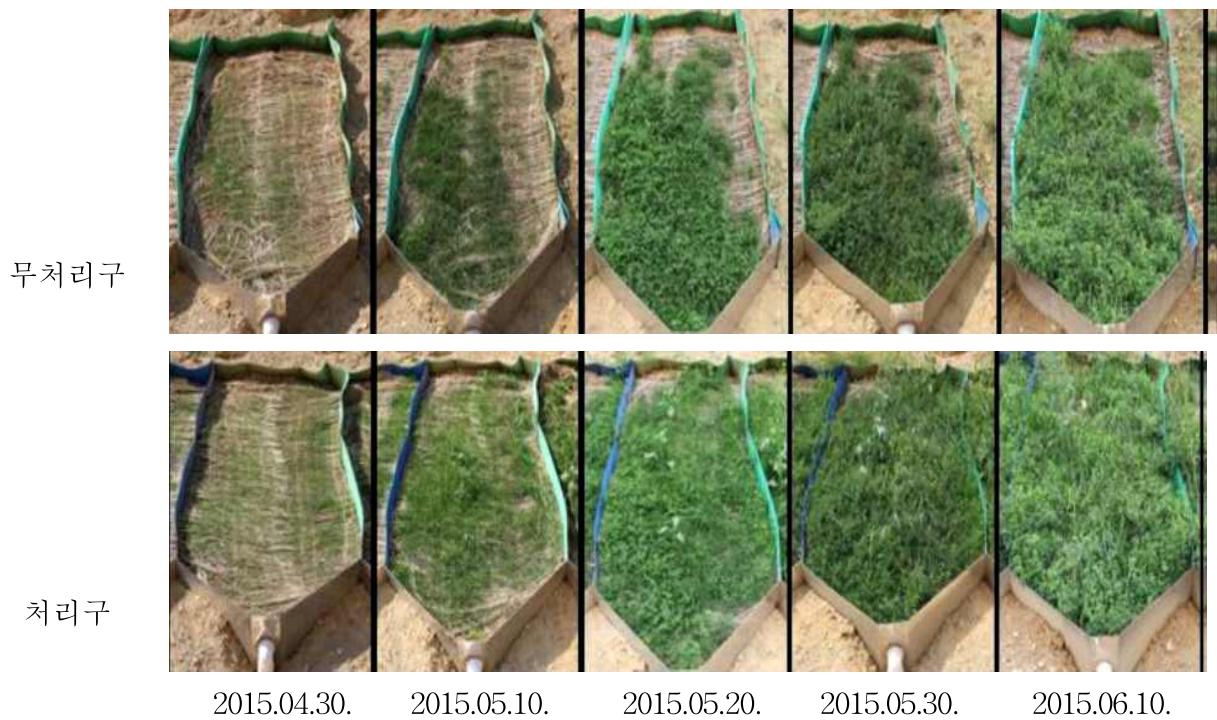


Fig. 6. 양송이 수확후배지 침가 새만금토양의 잔디생육실험

새만금토양도 비슷한 경향을 보여 파종 20일 이후(2015, 05, 10) 잔디의 발아율과 생육이 무처리구에 비해 현저히 높았다 <Fig. 6 참조>.

(2) 양송이 수확후배지 처리 후 새만금 간척지 토양과 폐광토양의 이화학성 변화

전항의 양송이 수확후배지를 혼합, 피복 처리 후 잔디생육시험을 수행하면서 생육기간별 새만금 간척지 토양과 폐광토양의 이화학성 변화와 미생물상 변화를 조사하였다. 폐광토양 및 새만금 간척지 토양에 양송이 수확후배지를 (7:3)의 비율로 혼합 후 배양기간에 따라 이화학성 변화를 분석한 결과, pH 및 양이온 함량 감소하였으며, 특히 새만금 간척지 토양은 40일 경과 후 pH 8.5에서 7.2로, Na 이온함량은 1.3에서 0.8 수준으로 경감하였다 <Table 8>.

Table 8. 수확후배지 처리 후 새만금 간척지 토양과 폐광토양의 이화학성 변화

Incubation time (Year.month,day)	Mine soil				Saemangum soil			
	pH	cmol ⁺ /kg			pH	cmol ⁺ /kg		
		Ca	Mg	Na		Ca	Mg	Na
Before treatment	6.9	2.4	0.6	0.5	8.5	0.6	2.2	1.3
2015.04.30	6.8	2.3	0.6	0.5	8.4	0.6	2.1	1.2
2015.05.20	6.5	1.6	0.4	0.4	7.5	0.4	1.8	1.0
2015.06.10	6.4	1.1	0.2	0.2	7.2	0.2	1.3	0.8

*각 기간별 3회 반복 실험한 평균값 임

또한 폐광토양 및 새만금 간척지 토양에 양송이 수확후배지를 (7:3)의 비율로 혼합 후 배양기간에 따라 미생물상 분석한 결과, 두 토양 모두 양송이 수확 후 배지 무첨가구에 비해 첨가 20일 후 총세균수 및 사상균수 모두 0.5×10^4 (cfu/g) 수준으로 증가하였다 <Table 9>.

Table 9. 수확후배지 처리 후 새만금 간척지 토양과 폐광토양의 미생물 수 변화 (cfu/g)

배양기간 (Year.month,day)	폐광토양		새만금토양	
	총세균수	총사상균수	총세균수	총세균수
Before treatment	3.5×10^5	2.1×10^3	1.5×10^6	1.8×100
2015.04.30	4.0×10^5	2.2×10^3	1.8×10^6	2.0×10^3
2015.05.10	4.3×10^5	2.3×10^3	2.0×10^6	2.2×10^3
2015.05.20	4.4×10^5	2.4×10^3	2.2×10^6	2.3×10^3
2015.05.30	4.5×10^5	2.4×10^3	2.2×10^6	2.3×10^3
2015.06.10	4.5×10^5	2.5×10^3	2.3×10^6	2.3×10^3

*각 기간별 3회 반복 실험한 평균값 임

(3) 결과 요약 및 결론

양송이 재배농가의 해결해야 할 당면한 문제인 수확후배지 활용 방안으로 간척지 및 오염토양 정화용 토양개량제 또는 복토재료로서 지정, 제안하기 위하여 토양중화능 및 중금속 흡착 능력 실험을 수행하였다. 수확후배지의 이화학성 분석 결과, pH 7.2, 유기물 함량 12%, 소량의 NPK 성분 등을 함유하고 있어 간척지 및 오염토양의 개선효과 있었다. 퇴적발효한 수확후배지는 고농도(200 mg L^{-1})의 중금속(Co, Pb, Zn 등)에서도 생육이 양호한 *Bacillus* 속 등 6종의 중금속내성균을 함유하고 있어 중금속 경감 및 흡착능이 우수하였다. 간척지 및 폐광토양(60%) + 수확후배지(40%)의 비율로 혼합, 제조한 수도용 상토에서 육묘생육 실험 결과도 대조구인 시판A사의 상토와 유사한 생육효과를 보였다. 양송이 수확후배지(30%)와 간척지 및 폐광 오염토양(70%) 혼합 후의 잔디생육 시험에서도 파종 20일 이후 무처리구에 비해 생육이 양호하였다. 결과적으로 양송이 수확후 배지를 간척지 토양, 중금속 오염토양의 토양개선제 및 토양정화용 복토 원료로서 활용가치가 높았다.

마. 양송이 수확후 배지 간척지 토양별 벼 생육 조사

간척지 복토재료로서의 효과를 비교하기 위하여 간척지 토양별 양송이 수확후 배지의 벼 생육효과를 조사하였다.

<실험재료 및 방법>

- ▶ 시료채취 : - 충청남도 서산시 천수만 간척지 토양,
- 전라북도 부안군 새만금 간척지 토양

▶ 이화학성 분석

- 토양분석: Hydrometer법을 이용하여 토양 입도분석.
- 토양과 중류수를 진탕하여 pH, EC측정.
- 토양과 중류수를 진탕 한 후 $0.45 \mu\text{m}$ membrane filter로 회수한후 CP-AES을 통해 수용성 양이온 분석,
- HPIC를 이용하여 수용성음이온 분석

▶ 벼 생육실험: 인공포트($1\times1 \text{ m}$)에 간척지 토양과 수확 후 배지를 혼합하여 벼 육묘 이식 후 10일 간격 처리구의 벼 생육실험

- 처리구: - 대조구: 간척지 토양 100kg
 - 처리구 1: 간척지 토양 50kg + 수확 후 배지 50kg
 - 처리구 2: 간척지 토양 70kg + 수확 후 배지 30kg

▶ 벼생육 실험 분석항목: 벼생육, 초장, 엽수, 균장, 균수 등 측정

(1) 간척지 토양의 이화학성 분석

양송이 수확 후 배지를 복토재료로서 사용하기 위하여 충남 서산 천수만 B 지구 간척지 양과 전북 새만금 간척지 토양의 이화학성 분석을 수행하였다.

천수만 토양은 pH 7.2, Na^+ 함량은 $0.8 \text{ cmol+}/\text{kg}$ 이었고, 새만금 토양의 pH는 8.5, Na^+ 함량

도 1.3 cmol⁺/kg으로 염농도가 높은 알칼리 토양이었다 <Table 1>.

Table 1. 천수만 간척지 및 새만금 간척지 토양의 이화학성 분석

구 분	pH	EC	유기물	유효인 산 (mg/kg)	치환성 양이온 (cmol ⁺ /kg)			
	(1:5)	(ds/m)	(g/kg)		K	Ca	Mg	Na
수확후 배지	7.1	1.32	14	187	0.82	6.4	1.3	0.4
천수만 간척지토양	7.2	0.23	3.9	91	0.53	1.8	1.2	0.8
새만금 간척지토양	8.5	0.17	2.2	31	0.37	0.6	2.2	1.4

(2) 양송이 수확 후 배지 첨가 후 간척지 토양의 이화학성 성분 비교

간척지 토양에 복토 및 식생 후 퇴적기간별 간척지 토양의 이화학성을 분석한 결과, 새만금 토양의 pH는 8.5에서 7.6로 중화 되었으며, Na⁺ 함량도 0.9 cmol⁺/kg으로 감소되었고, 천수만 토양은 pH 6.9, Na⁺ 함량은 0.5 cmol⁺/kg의 특성을 보임으로서 수확 후 배지 처리에 의한 간척지 토양의 중화 효과와 염농도 저감 효과를 보였다 <Table 2>.

Table 2. 양송이 수확 후 배지 첨가 후 퇴적기간에 따른 간척지 토양의 이화학성 성분 비교

퇴적기간 (Year.month.day)	천수만 간척지 토양				새만금 간척지 토양			
	pH	cmol ⁺ /kg			pH	cmol ⁺ /kg		
		Ca	Mg	Na		Ca	Mg	Na
Before treatment	7.2	1.8	1.2	0.8	8.5	0.6	2.2	1.4
2016.05.20	7.1	1.7	0.9	0.6	8.2	0.6	2.1	1.2
2016.05.30	6.9	1.6	0.8	0.6	7.9	0.4	1.8	1.0
2016.06.10	6.9	1.4	0.7	0.5	7.6	0.2	1.3	0.9

(3) 양송이 수확 후 배지 첨가 후 간척지 토양의 벼 생육실험

천수만 간척지토양과 새만금 간척지토양에 양송이퇴비 첨가에 따른 벼 육묘 생육실험을 검토한 결과, 무첨가구에 비해 첨가구의 벼 생육이 향상되었고 <Table 3>, 퇴적기간에 따른 미생물 수도 세균 및 사상균이 처리전보다 증가하였다 <Table 4>.

Table 3. 간척지 토양 별 양송이 수확 후 배지 첨가에 따른 벼 생육

육묘일	혼합비 [†]	초장 (cm)	엽수 (개)	생체중 (mg)	근장 (cm)	근중 (mg)	근수 (개)
	대조구*	18.7	3.4	157.3	5.3	31.5	8.5
25일	퇴비:새만금	17.9	3.3	149.4	4.8	28.3	8.0
	퇴비:천수만	18.2	3.2	151.1	4.7	28.6	7.9

*대조구: 간척지 토양 100kg

†처리구: 간척지 토양 70kg + 수확 후 배지 30kg

Table 4. 양송이 수확 후 배지 첨가 후 퇴적기간에 따른 간척지 토양의 미생물상 분석

퇴적기간 (Year.month.day)	천수만 간척지토양		새만금 간척지토양	
	Bacteria	Fungi	Bacteria	Fungi
Before treatment	7.2×10^6	3.5×10^4	1.7×10^6	2.1×10^3
2016.05.20	8.3×10^6	5.1×10^4	2.1×10^6	2.3×10^3
2016.05.30	8.4×10^6	5.3×10^4	2.2×10^6	2.2×10^3
2016.06.10	8.4×10^6	5.3×10^4	2.3×10^6	2.1×10^3
2016.06.20	8.3×10^8	5.4×10^4	2.2×10^6	2.3×10^6
2016.06.30	8.1×10^6	5.3×10^4	2.3×10^6	2.2×10^3

(4) 결과요약 및 결론

간척지 토양에 복토 및 식생 후 새만금 토양의 pH는 8.5에서 7.6로 중화 되었으며, Na^+ 함량도 $0.9 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 으로 감소되었고, 천수만 토양은 pH 6.9, Na^+ 함량은 $0.5 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ 의 특성을 보임으로서 수확 후 배지 처리에 의한 간척지 토양의 중화 효과와 염농도 저감 효과를 보였다. 간척지 토양에 양송이 퇴비 첨가에 따른 벼 육묘 생육실험을 검토한 결과, 무첨가구에 비해 두 간척지 첨가구의 벼 생육이 향상되었고, 퇴적기간에 따른 미생물수도 세균 및 사상균이 처리전보다 증가하였다. 이상의 결과를 통해 양송이 수확 후 배지가 간척지 토양의 생물학적 복원을 위한 복토재료로 적합하다고 판단되었다.

II. 양송이 재배사의 오염원 실태조사

1. 양송이 재배사 지역별 오염원 실태조사

양송이 재배사 지역별 오염원을 조사하기 위하여 부여군 석성면 양송이 농가(보온덮개식 간이하우스) 와 보령군 청라면 양송이 농가(냉풍시설)의 재배사 내 환경조건과 균사생육기(복토 후 0-15일), 초발이(복토 후 20-25일), 1주기, 2주기, 3주기의 생육단계별로 배지를 채취하여 배지 내 미생물 상을 조사하였다.

<실험 방법 및 내용>

- 대상농가: - 부여군 석성면(보온덮개식 간이하우스)
- 보령군 청라면(냉풍시설)
- 양송이 배지 성분 분석: 벗짚(밀짚), 폐면, 요소, 계분
- 배지의 중금속 분석
- 양송이 배지 미생물상 변화
- 재배기간별 배지미생물상
- 재배현황 및 시설별 환경조건
- 작업전후 낙하균 밀도
- 양송이 배지조건이 병발생에 미치는 영향
- 계절별 오염율 및 병 발생율
- 온도, CO₂ 농도
- 사용배지
- 호기성 세균: R2A agar
- 사상균: Streptomycin-rose bengal agar
- 방선균: Starch casein agar
- *Trichoderma* 속: THSM 배지
- *Pseudomonas* 속: P-1 agar
- *Bacillus* 속: Yeast glucose agar

(1) 양송이 배지 미생물 상 변화

양송이 퇴비(배지)제조를 위해 벗짚과 미강, 요소, 계분을 혼합 한 후 퇴적과 뒤집기를 반복하면서 15일간 퇴적발효 후, 재배사에 입상 후 살균을 위해 60℃에서 후발효 7일 후의 미생물상 변화를 3반복 실험을 통하여 조사하였다. 부여 및 보령지역 재배사 모두 살균을 위한 후발효 후에는 세균, *Pseudomonas* 속, 방선균, 사상균 모두 퇴적발효 후 보다 10¹ - 10³ CFU/g 수준으로 감소하였다 <Table 1>.

Table 1. 양송이 퇴비(배지) 제조 단계별 미생물 상 변화 (CFU/g)

기간(장소)	세균	<i>Pseudomonas</i>	방선균	사상균
퇴적발효 후(부여 ¹)	3.5x10 ⁷	1.9x10 ⁴	3.4x10 ⁵	1.5x10 ³
퇴적발효 후(보령 ²)	5.7x10 ⁷	2.3x10 ⁴	5.2x10 ⁵	2.3x10 ³
후발효 후(부여 ¹)	5.1x10 ⁴	7.5x10 ²	6.9x10 ²	3.6x10 ¹
후발효 후(보령 ²)	6.4x10 ⁴	9.8x10 ²	7.0x10 ²	4.7x10 ¹

¹부여군 석성면 A 농가

²보령군 청라면 B 농가

(2) 양송이 배지의 중금속 분석

상기와 같이 양송이 퇴비(배지)를 제조하면서 15일간 퇴적발효 후 와 재배사에 입상하고 후발효 7일 후의 단계별 중금속 함량을 분석하였다. 퇴적 발효 후 와 후발효 후 카드뮴은 검출 되지 않았고, 비소, 납 등 대부분의 중금속은 기준치 보다 훨씬 낮은 수준이었다<Table 2>.

Table 2. 양송이 배지 제조 단계별 중금석 함량 (단위 : mg/kg)

구 분	비소	카드뮴	납	크롬	구리	아연	니켈
퇴적발효 후(부여 ¹)	0.05	ND	9.2	8.7	7.3	22.5	7.3
퇴적발효 후(보령 ²)	0.06	ND	9.5	8.5	6.9	23.1	7.1
후발효 후(부여 ¹)	0.06	ND	9.3	8.6	7.7	22.9	6.9
후발효 후(보령 ²)	0.06	ND	9.4	8.3	6.5	23.5	7.0
퇴비기준	5이하	2이하	150이하	300이하	300이하	900이하	50이하

ND : not detected

(3) 양송이 재배사 환경조건

부여군 석성면 양송이 농가(보온덮개식 간이하우스) 와 보령군 청라면 양송이 농가(냉풍시설)의 재배사 내 환경조건과 생육단계별로 배지를 채취하여 배지내 미생물 상을 조사하였다. 재배사 내 온도는 15-17°C, 습도는 90-93%, 재배사 내 평균 CO₂ 함량은 1,100- 1,500ppm 수준이었고, 생육단계별 미생물상 변화는 초발이 이후의 총세균수는 10⁵-10⁶ CFU/g, 사상균은 10²-10⁴ CFU/g 수준이었고, 부여지역보다 보령지역 농가의 미생물수가 다소 높았다<Table 3, Table 4>.

Table 3. 부여군 석성면 양송이 재배사(간이하우스)내 환경

기간	온도(°C)	습도(%)	CO ₂ (ppm)		총세균수 (cfu/ml)	사상균 (cfu/ml)
			환기전	환기후		
균사생육기	17	93	4,000	1,200	2.2x10 ⁴	3.5x10 ²
초발이	16	92	1,500	800	3.7x10 ⁵	7.6x10 ²
1주기	15	92	1,200	800	7.1x10 ⁵	4.8x10 ³
2주기	16	91	1,100	800	1.9x10 ⁶	1.1x10 ⁴
3주기	16	90	1,200	900	1.2x10 ⁶	2.5x10 ⁴

*각 기간별 3회 반복 실험한 평균 값임.

Table 4. 보령군 청라면 양송이 재배사(냉풍시설)내 환경

기간	온도(°C)	습도(%)	CO ₂ (ppm)		총 세균수 (cfu/ml)	사상균 (cfu/ml)
			환기전	환기후		
균사생육기	18	98	4,300	1,100	3.9x10 ⁴	6.9x10 ²
초발이	18	99	1,700	900	5.6x10 ⁵	1.4x10 ³
1주기	18	96	1,400	800	2.1x10 ⁶	8.3x10 ³
2주기	17	95	1,300	800	6.7x10 ⁶	5.3x10 ⁴
3주기	18	98	1,200	800	5.2x10 ⁶	3.6x10 ⁴

*각 기간별 3회 반복 실험한 평균 값임.

(4) 양송이 재배사 내, 외 낙하균 밀도

재배기간별(2014. 05~08월) 양송이 재배사 내와 재배사 주변의 낙하균 밀도를 조사하였다. 사용배지는 세균(NA), 유산균(BCP), 방선균(SCA), 사상균(PDA)를 사용하였다. 재배기간별 양 송이 재배사(부여 석성 및 보령 청라) 내 낙하균 밀도를 조사하기 위하여 해당 미생물용 고체 배지(petri dish)의 덮개를 열고 재배사 주변과 재배사 내에 3일간 방치한 후, 고체 배지상에 낙하된 균의 종류와 미생물 수를 카운팅하였다. 보령 청라지역 재배사가 부여 석성 재배사 보다 총 미생물 수가 다소 낮았으며 두 지역 모두 재배 전 기간을 통해 재배사 내, 외 세균과 사상균이 주로 검출되었고, *Pseudomonas* 속 및 방선균도 검출되었다. <Table 5, Table 6>

Table 5. 재배기간별 양송이 재배사(부여 석성) 내, 외 낙하균 밀도 (cfu/plate)

기간	세균		<i>Pseudomonas</i>		방선균		사상균	
	내	외	내	외	내	외	내	외
균사생육기	16	36	4	5	2	7	12	9
초발이	19	41	6	4	1	7	17	6
1주기	16	45	9	4	3	9	16	8
2주기	22	47	8	5	4	8	23	10
3주기	23	54	10	3	2	9	31	7

* 부여 석성면 양송이 재배농가(3반복 평균값임)

Table 6. 재배기간별 양송이 재배사(충남 보령) 내, 외 낙하균 밀도 (cfu/plate)

기간	세균		<i>Pseudomonas</i>		방선균		사상균	
	내	외	내	외	내	외	내	외
균사생육기	14	35	5	4	2	6	10	11
초발이	15	37	5	5	1	7	15	5
1주기	17	38	7	4	4	8	17	7
2주기	20	40	6	4	3	7	26	9
3주기	20	45	9	3	3	9	27	8

* 충남 보령 청라면 양송이 재배농가(3반복 평균값임)

2. 재배사 주변환경에 따른 오염원 실태조사

재배사 시설 및 주변 환경에 따른 재배사 내 환경조건과 병발생 빈도수를 비교하기 위하여 부여군 석성면 양송이 재배농가(보온덮개식 간이하우스) 4 곳을 선정하여 조사를 수행하였다.

<실험방법 및 내용>

○ 대상농가: 부여군 석성면(보온덮개식 간이하우스) 재배사 주변환경에 따라

4개(A, B, C, D) 농가 선정

- A, B 농가: 재배사 및 주변환경이 비교적 청결한 농가
- C 농가: 구 재배사 농가
- D 농가: 양송이 배지제조 농가



A 농가



B 농가



C 농가



D 농가

○ 양송이 배지 미생물상 변화

- 재배기간별 배지미생물상
- 재배현황 및 시설별 환경조건
- 작업전후 낙하균 밀도

○ 양송이 배지조건이 병발생에 미치는 영향

- 계절별 오염율 및 병 발생율
- 온도, CO₂ 농도

○ 사용배지

- 호기성 세균: R2A agar
- 사상균: Streptomycin-rose bengal agar
- 방선균: Starch casein agar
- *Trichoderma* 속: THSM 배지
- *Pseudomonas* 속: P-1 agar
- *Bacillus* 속: Yeast glucose agarl

○ 양송이 재배사의 병원성 미생물 조사

- 병원성미생물: *E. coli* 0157:H7, *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*

(1) 양송이 재배사내 평균 환경

부여군 석성면 양송이 재배농가(보온덮개식 간이하우스) 4곳을 선정하여 재배사 내 환경조건과 균사생육 단계별로 배지를 채취하여 배지내 미생물 상을 조사한 결과, 평균 온도는 15 - 17°C, 습도는 90 - 93%, 재배사 내 평균 CO₂ 함량은 1,100 - 1,500ppm 수준이었고, 평균 미생물 수는 초발이 이후의 총세균수는 10³ - 10⁴ CFU/g, 사상균은 10² - 10³ CFU/g 수준으로 재배농가간에 유의 수준의 차이가 없었다 <Table 1>.

Table 1. 재배기간별 양송이 재배 4 농가의 재배사내 평균환경

기간	온도(°C)	습도(%)	CO ₂ (ppm)		총세균수 (cfu/g)	사상균 (cfu/g)
			환기전	환기후		
균사생육기	14-15	94	4,100	1,200	2.7×10 ³	2.6×10 ²
초발이	15-16	93	1,600	1,000	5.8×10 ³	4.3×10 ²
1주기	15-16	94	1,300	900	6.5×10 ³	6.1×10 ²
2주기	15-16	93	1,400	1,000	6.5×10 ³	6.2×10 ²
3주기	14-15	94	1,400	1,000	6.7×10 ³	6.5×10 ²
4주기	15-16	95	1,300	900	6.8×10 ³	6.4×10 ²

(2) 양송이 재배사 내,외 평균 낙하균 밀도

재배기간별(2016. 03-08월) 양송이 재배사(부여 석성) 4 농가의 재배사 주변과 재배사내,외의 낙하균 밀도를 조사하기 위하여 세균(NA), 유산균(BCP), 방선균(SCA), 사상균(PDA) 등 해당 미생물용 고체배지(petri dish)의 덮개를 열고 재배사 주변과 재배사 내에 3일간 방치한 후, 고체 배지상에 낙하된 균의 종류와 미생물 수를 카운팅 하였다. 재배사 내,외에 세균, 사상균 *Pseudomonas* 속 및 방선균 등이 검출되었으며 재배주기에 따른 검출 미생물수의 차이는 없었다 <Table 2>.

Table 2. 재배기간별 양송이 재배 4 농가의 재배사 내, 외 평균 낙하균 밀도

기간	세균		<i>Pseudomonas</i>		방선균		사상균	
	내	외	내	외	내	외	내	외
균사생육기	11	23	2	1	2	1	2	3
초발이	10	29	2	2	1	1	3	3
1주기	112	25	3	1	3	1	3	4
2주기	115	26	3	2	3	1	4	5
3주기	117	25	2	1	3	2	4	6
4주기	116	24	3	1	2	1	3	5

(3) 재배기간별 평균 병 발생율

재배 4 농가의 재배기간에 따른 병발생율을 확인한 결과, 괴균병은 4 농가 모두 3주기 까지 발생하지 않았으나, 벼섯파리는 1주기부터 발생하였고, 갈반병과 푸른곰팡이병은 3주기 이후에 재배농가에서 일부 별병이 확인되었다 <Table 3>. 재배 4농가의 평균 총 병발생율은 A < B < C < D 순으로 재배사 주변에서 양송이퇴비를 발효하는 D농가에 비해 주변환경이 청결한 A, B농가에서 병 발생율이 낮아 재배 2 주기 이후에는 재배사 주변환경이 병 발생율에 영향을 미치는 것으로 나타났다 <Table 4>.

Table 3. 양송이 4농가 재배기간별 평균 병 발생율 (발생유무)

기간	괴균병	갈반병	푸른곰팡이	벼섯파리
초발이	ND	ND	ND	ND
1주기	ND	ND	ND	발생
2주기	ND	ND	ND	발생
3주기	ND	발생	발생	발생
4주기	발생	발생	발생	발생

Table 4. 양송이 4농가의 재배 2주기 이후 평균 병 발생율 (발생빈도)

기간	괴균병	갈반병	푸른곰팡이	벼섯파리
A 농가	ND	ND	ND	발생(+)
B 농가	ND	ND	ND	발생(+)
C 농가	ND	발생(+)	발생(+)	발생(+)
D 농가	발생(+)	발생(+)	발생(+)	발생(++)

* A, B 농가: 재배사 및 주변환경이 비교적 청결한 농가,

C 농가: 구 재배사 농가, D 농가: 양송이 배지제조 농가

(4) 재배 기간별 재배사 병원성 미생물의 종류 및 분포

재배농가의 재배 기간별 배지 및 주변환경의 병원성 미생물의 종류 및 분포를 확인한 결과, *E. coli* 0157 균은 양송이 재배 전 기간에 배지 및 수확 양송이에서 검출되지 않았으나, *Salmonella* 등 4종의 병원성균은 10^1 - 10^2 cfu/g 수준으로 검출되었다. 재배사에서 사용하는 지하수, 양송이 재배용 배지 및 재배사 주변에서 *Bacillus cereus*가 검출되었고, 배지 및 재배사 주변에서 *Listeria monocytogenes* 및 *Staphylococcus aureus*가 10^1 - 10^3 cfu/g 수준으로 검출되었다 <Table 5>.

Table 5. 양송이 재배 기간별 배지 내 병원성 미생물의 종류 및 분포 (cfu/g)

병원성 미생물	지하수	양송이 배지	재배사 주변	수확 양송이
<i>E. coli</i> 0157:H7	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i> sp.	ND	5.7×10^1	1.1×10^2	ND
<i>Bacillus cereus</i>	0.5×10^1	7.1×10^2	1.1×10^3	1.3×10^2
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	2.3×10^2	3.0×10^3	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND	1.7×10^1	1.0×10^3	1.3×10^1

(5) 결과요약

양송이 재배농가의 재배사 주변의 환경요인에 따른 오염발생 여부를 조사 하기 위하여 재배사 주변환경이 다른 4 농가를 선정하여 환경요인을 분석하였다. 재배사 4농가의 평균 온도는 15-17°C, 습도는 90-93%, 재배사내 평균 CO₂ 함량은 1,100-1,500ppm 수준이었다. 평균 미생물 수는 총세균수는 10^3 - 10^4 CFU/g, 사상균수는 10^2 - 10^3 CFU/g 수준이었다. 양송이 재배사 내,외 평균 낙하균 밀도는 세균, 사상균 *Pseudomonas* 속 및 방선균 등이 검출되었음. 버섯파리는 1주기부터 발생하였고, 갈반병과 푸른곰팡이병은 3주기 이후에 재배농가에서 일부 발생이 확인되었다. 배 4농가의 평균 병발생율은 재배사 주변환경이 청결한 농가에서 발생율이 낮았다. 재배 기간별 병원성 미생물의 종류 및 분포는 *E. coli* 0157 균은 양송이 재배 전 기간 검출되지 않았으나, *Salmonella* 등 4종의 병원성균은 10^1 - 10^2 cfu/g 수준으로 검출되었다.

(10). 결론

양송이 재배농가의 재배사내의 병 발생율을 경감하기 위해서는 재배사 주변과 재배사 내의 환경을 청결하게 유지하여야 하고, 가급적 재배사 주변에 배지용 양송이퇴비 발효 및 수확후배지 퇴적 등 오염원을 배제 해야만 한다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 : 목표대비 달성도

당초 목표	개발 내용	달성도(%)
1) 양송이 배지의 발효 단계별 미생물 양상 비교분석 2) 양송이 배지 발효에 관여하는 요인 분석	1) 양송이 배지의 발효 단계별 미생물 분포 조사 2) 배지 발효 관여 미생물의 효소특성 및 양송이와의 상호작용 분석	100
3) 대체배지에 대한 균주활성시험 4) 적정 혼합비율 최적화 5) 유해물질 분석 및 규격설정	3) 현장 재배용 원재료에 대한 배지배합 및 재배시험 4) 톱밥을 이용한 배지의 재배시험 5) 현장 재배용 원재료 퇴비화공정개발 6) 톱밥배지의 발효화 공정개발 완료 7) 잔류농약, 중금속 분석완료	100
6) 식양토 대체 복토재료 선발 7) 복토재료 사용조건 구명	8) 새로운 복토재료 선발 - 코코피트, 피트모스, 수학후배지 등 9) 복토재료 사용량 등 조건 구명 - 재료별 복토량, 혼합비율 등	100
8) 양송이 수학 후 배지 활용 석회비료 제조 및 재배시험 9) 양송이 수학 후 배지의 간척지 및 중금속 오염토양의 복토재료로 활용 10) 양송이 재배사의 오염발생 원인 및 환경요인 분석	10) 양송이 수학 후 배지 활용 석회비료 제조 및 재배시험 11) 양송이 수학 후 배지의 간척지 및 중금속 오염토양의 복토재료로 활용 12) 양송이 재배사의 오염발생 원인 및 환경요인 분석	100

제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술

연도 성과지표명	목 표	실 적	달성도 (%)
논문게재	SCI	2	2
	비SCI	10	12
산업재산권	출원	2	4
	등록	1	3
학술발표	국제		1
	국내	12	16
품종	출원		추가달성
	등록		
기술이전			
정책자료 기관제출	2	4	200
영농기술·정보 기관제출	7	7	100
생물자원 등록 · 기타	10	21	210
생명정보 등록 · 기타	20	29	145
홍보	15	195.7	1,305
농가기술지도 · 컨설팅 · 농가기술지원	0	33	추가달성

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

- 배지의 발효 단계별 관여 미생물을 분석하고, 배지발효 온도 및 특성 분석, 미생물과 버섯균과의 상호작용 및 자실체 발생에 대한 영향을 분석하고, 배지발효 최적 조건을 설정하여 농가에 보급하고, 논문투고 및 홍보를 통하여 양송이 재배의 안정성 생산을 확립하고자 함
- 본 연구과제 수행 결과 도출된 성과는 국내 양송이버섯 산업의 발전과 앞으로 대외 경쟁력 강화에 도움이 될 수 있을 것으로 기대하고, 제한된 국내 배지자원의 다양화와 발효기술을 확대한 퇴비화 기술을 현행 사용 중인 재료를 효율적으로 사용함으로서 양송이버섯의 안정생산 기반에 기여하며, 향후 국내 양송이버섯 생산농가에 대한 도움이 될 수 있도록 선순환 현장 수요형 애로기술을 연구할 계획이다.
또한 톱밥발효배지에 대한 연구개발을 지속적으로 수행하여 한국형 배지개발과 생산시스템을 구축하는데 기여할 계획이다. 최근 개발되고 있는 국산 신품종 양송이의 생산성 향상과 고품질 생산을 위하여 본 연구과제 수행 결과 도출된 성과를 적용하고 새로 시작하는 ‘수입대체형 양송이 품종 보급’ 과제의 기초자료로 활용하는 등 연구효율을 높일 수 있도록 할 계획이다.
- 본 연구과제 수행 결과 도출된 성과를 바탕으로 국내 양송이버섯 산업의 경쟁력 제고와 양송이 농가의 소득증대를 위해 고품질 생산을 위한 재배기술을 보급하는데 주력하고, 양송이 수확후배지를 활용한 복토 기술과 피트모스, 코코피트 등 원예용 자재를 이용한 새로운 복토재료 활용 기술을 이용하여 양송이버섯 재배기술에 대한 현장기술지원을 통하여 생산 농가의 애로기술을 해결해 나갈 계획이다. 또한 최근 개발되고 있는 국산 신품종 양송이의 생산성 향상과 고품질 생산을 위하여 본 연구과제 수행 결과 도출된 성과를 적용하고 새로 시작하는 ‘수입대체형 양송이 품종 보급’ 과제의 기초자료로 활용하는 등 연구효율을 높일 수 있도록 할 계획이다.

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

제1절 : 네덜란드 양송이 배지, 복토 제조기술 및 생산 시스템 벤치마킹

1. 네덜란드 버섯산업 현황

네덜란드(Netherlands)의 버섯산업은 세계에서 중국, 미국, 이탈리아에 이어 네번째로 큰 생산국으로 세계 생산량의 4%, 유럽 생산량의 20%를 차지하고 있다. 네덜란드의 버섯생산은 주로 국가의 남동쪽부분에 집중되어 있는데 생산면적의 90%가 림부르크(Limburg)주, 브라반트(Grabant)주에 편중되어 있으며, 드렌터(Drenthe)주, 흐로니언(Groningen)주에 대규모 기업농이 자리잡고 있다. 버섯생산의 90%는 양송이가 차지하고 있으며, 최근에는 작은 규모로 재배되고 있는 느타리버섯, 표고버섯에도 많은 관심을 갖고 있다. 양송이 버섯 생산은 연평균에 25만 톤을 생산했으며, 그 가운데 16만 톤이 통조림 및 냉동버섯으로 가공되어 주로 독일, 프랑스, 그리스에 주로 수출되었고, 생버섯은 9만톤중 약 80%가 영국, 프랑스, 독일 등 유럽각국으로 수출되며, 20%만이 자국에서 소비한다.

네덜란드의 버섯재배 형태는 배지제조와 버섯생육 과정이 철저히 분업화 되어 있으며, 규모

화와 자동화를 바탕으로 높은 생산성을 자랑한다. 특히 배지제조 과정은 CNC사 등 2~3개의 대규모 전문 배지(양송이퇴비)제조 공장에서 제조하여 생육시설만 갖추고 있는 개별 농가에 분양하여 재배하는 형태이다. 그리고 배지제조, 입상, 생육 관리, 수확, 폐상 등 전 과정이 자동화되어 있으며, 단위면적당 수확량이 약 27kg/m^2 로 우리나라의 약 2배 이상인데 이는 양송이 퇴비제조 및 복토제조 기술의 차이에서 기인하는 것으로 보이며 우리나라에서는 이 분야에 대한 집중적인 연구와 기술개발 등이 필요한 실정이다.

그리고 베섯생산은 퇴비배지의 공급량으로 결정 되는데 네덜란드의 경우 CNC사, Walkro사, Hooymans사 등 3대 퇴비배지 생산업체가 있으며, 이들은 양송이 종균이 완전히 배양된 단계(Phase III)까지 생산하여 농가에 공급한다.

복토는 주로 Topterra사, CNC사, Euroveen사 등 3개 회사에 의해 공급되고 있고 베섯 생산에 필요한 종균은 Sylvan사, Amycel사와 같이 세계 전역에서 활동하는 글로벌 기업에 의해 공급되고 있다. 퇴비배지 생산에 필요한 병커시설 및 터널 시설 등의 기본적인 공조시설은 주로 Panbo사가 시공하고 있다. 특히 Panbo사는 Hooymans사의 배지 생산시설을 시공하는 등 배지제조 시설 및 기업형 재배사 시공을 맡아서 하고 있다. 그리고 퇴비배지 생산에 필요한 병커 및 터널에 사용되는 대형 기계들은 주로 GTL사에서 제작하여 설치하고 있으며, 그 외 배지털기, 배지·복토 입상기, 컨베어벨트 등 배지제조와 베섯재배에 필요한 기계들은 Hoving사에서 공급하고 있다.



* 네덜란드 양송이 퇴비배지 제조공정 3단계

- ① Phase I : 밀짚, 마분, 계분, 석고 등 퇴비배지 재료를 혼합, 73% 배지수분 함량을 조절하고 병커시설에서 8~10일간 3회에 걸쳐 약 80°C 까지 자연발열시키는 1차발효 과정까지 완료된 단계를 말함.
- ② Phase II : 1차 발효까지 완료된 퇴비배지를 터널시설을 이용해서 $59\sim60^\circ\text{C}$ 에서 8시간의 저온살균(정열)과 $45\sim55^\circ\text{C}$ 에서 4~6일의 후발효 과정을 거쳐 종균접종까지 이루어진 단계를 말함.
- ③ Phase III : 퇴비배지에 종균이 접종된 후에 균배양이 완성된 단계를 말함

2. 네덜란드 양송이 관련 주요 업체

가. Hooymans사

후이만(Hooymans)사는 양송이 재배를 위한 밀짚발효퇴비배지를 주당 6,000톤을 생산하는 대규모 배지제조 업체로 판보시스템을 적용했다. 후이만사의 양송이 밀짚퇴비 배지제조 과정을 요약하면 다음과 같다.

밀짚퇴비 제조시설	벙커 바닥시설	벙커에 퇴비 쌓기
밀짚퇴비 발효 단계별 색변화	벙커시설 제어장치	밀짚퇴비 Phase I 단계 완료상태

<밀짚퇴비 배지제조 Phase I단계>

터널 천정부분 공조시설	신선한 공기주입 필터징치	공기 정화 해파필터 장치
터널 온도 유지 및 공기순환 브로어 시설	터널바닥 구조	터널 내에 배지넣기 장비
터널내 공기 순환 장치	터널 제어장치	터널 온도변화 과정

<밀짚퇴비 배지제조 Phase II단계>

① Phase I단계

밀짚더미를 약 1~3분 정도(공기방울이 없을 때까지 침수) 물 축이기를 하는데 밀짚무게가 건조한 밀짚무게의 약 3배 될 정도로 충분히 적셔서 2일정도 건져 놓은 후에 기계장치를 통해서

벙커시설에 넣는데 밀짚 1톤당 마분 600kg, 계분 80kg, 석회 20kg를 혼합하면서 넣고 6시간 동안 자연적으로 배지온도를 80~81°C까지 올려 8~10일정도 유지한다. 벙커에서 발효하는 동안 벙커를 바꾸어 2~3회 처리한다.

② Phase II단계

Phase I단계가 완료된 밀짚퇴비는 터널시설로 옮겨서 기계로 넣고 온도를 59°C까지 올리고 6~8일정도 유지한다. 이때 먼저 완성된 phase II의 퇴비배지를 1% 정도를 퇴비배지에 첨가해 줌으로서 퇴비배지 발효 활성화 시킨다.

③ Phase III 단계

Phase II 과정이 완료된 배지는 다시 새로운 터널시설로 옮겨서 종균접종을 하면서 터널에 넣게 되는데 종균접종량은 PhaseI 퇴비배지 1톤당 5L의 종균을 접종하면서 터널시설에 넣고 23~25°C에서 17일 동안 균배양한다. 이때 각 단계마다 pH, 암모니아, 회분, 질소함량을 분석하여 자료로 활용하고 있다.



<밀짚퇴비배지 Phase III단계>

④ 배지 농가에 운반

양송이 배지는 주문생산 방식으로 보통 3개월 전에 주문해야 하고 인근 재배농가에 운반하는

것은 24시간 내에 이루어진다. 그리고 배지를 수출 할 때는 균배양이 완료된 phase III 배지 위에 드라이아이스 또는 얼음을 놓아 배지온도를 낮추고 냉장시설이 된 컨테이너를 이용하여 배지가 얼지 않게 배지온도를 1~2°C까지 낮추어 운송한다.



<균배양된 배지 농가 운송 과정>



<양송이 농가재배 생육관리 및 수확>

우리나라에 수출할 경우 배로 운송하므로 45일정도 소요되며, phase III 배지는 생산후 6개월까지 품질을 보장하고 있다. 그리고 균배양이 완료된 배지를 운송하기 전에 첨가제로 Champfood(주성분 대두박)를 첨가하여 운송한다.

⑤ 농가 배지 입상 및 재배

종균배양이 완료된 배지(종균이 활착된 phase III 배지)는 콘테이너 트럭으로 운반되어 농가 재배사 균상에 입상기계를 이용하여 자동으로 입상하는데 배지위에 복토 작업까지 함께 진행된다. 균상에 입상된 배지는 배지입상 4일 후 균사활착으로 인해 배지내 온도가 올라가면서 복토위로 균사가 부상된다. 이때 배지온도는 25°C를 유지한다.

균배양시 관수는 m^3 당 1일차 12L → 2일차 8L → 3일차 1L → 4일차 4L → 5일차 1~2L 정도로 주며 물은 두 번에 나눠서 준다. 벼섯을 발생시킬 때는 배지 내의 온도를 낮추고, 환기를 시키면 입상 후 15일에 벼섯이 발생된다. 벼섯이 발생된 후 5일이 되면 수확이 가능하며, 보통 2주기 수확으로 1달 정도 소요되며 약 100kg/ $3.3m^3$ 정도 수확한다. 1주기 수확 후에 관수는 m^3 당 17~18L정도로 충분히 공급하고 있다.

양송이 생육관리에 있어서 특이한 사항은 관수할 때 갈반을 일으키는 세균성 병해 예방을 위하여 염화칼슘($CaCl_2$)을 0.08%정도 넣어서 0.5의 압력으로 약하게 15분정도 공급한다. 네덜란드도 주로 백색양송이를 선호하나 갈색 양송이도 많이 재배하는 편인데 밝은 색의 갈색양송이를 원하며, 이를 위해 수분공급을 백색양송이보다 적게 주고 있고 있었다. 또한 재배사내 공기 흐름을 파악하여 공기흐름이 빠른 곳은 유공비닐을 이용해 흐름을 약하게 하여 건조피해를 예방하고 있었다.

나. Topterra사

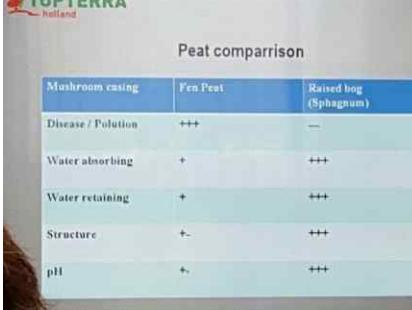
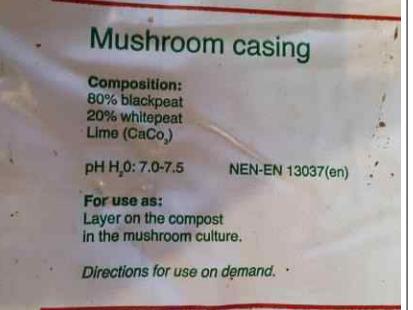
탑테라(Topterra)사는 양송이 복토를 생산하는 전문업체로 독일, 호주에도 지점이 있으며, 전 세계 40여 개국에 수출을 하고 있다. 복토로 사용되는 피트모스는 양송이 재배시 산소를 공급 할 수 있는 표면적과 관계가 중요하기 때문에 이 조직을 유지하기 위해 얼지 않은 툰드라지역의 피트모스를 사용한다. 따라서 양송이 복토용 피트모스는 얼지 않게, 그리고 너무 건조하지 않게 관리하는 것이 중요하다.

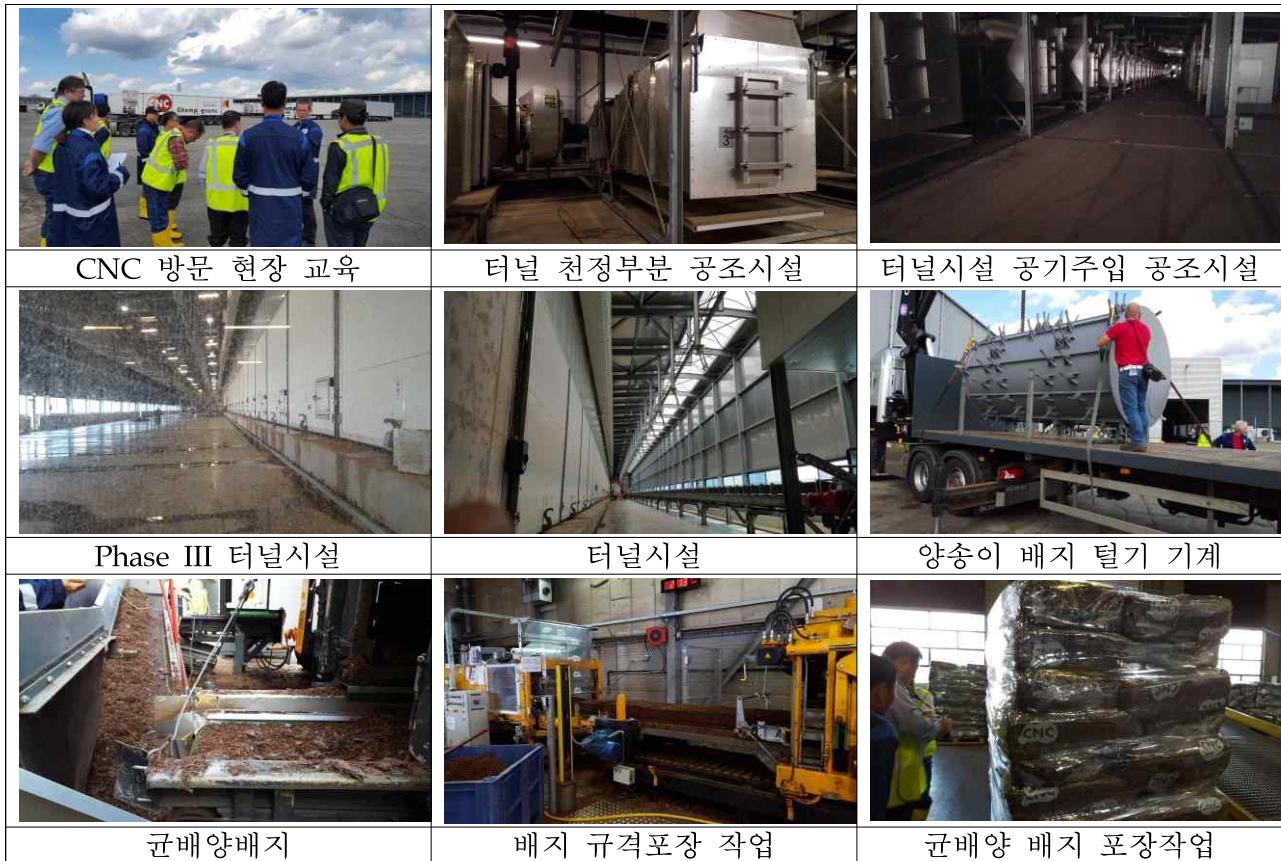
피트모스란 물이끼가 썩은 것으로 오염이 적고, 수분흡수 및 유지가 높고, 조직이 치밀하게 형성되어 있으며, pH는 4~6정도이다. 피트모스를 채취할 때는 흙의 겉에 부분은 제거하고, 블랙피트모스와 화이트피트모스를 4:1로 이용하는데 계절에 따라 3~6주정도 야외에 퇴적하고 사용하기 1~2일전에 Sugar beet lime(사탕무박+석회)을 첨가하여 pH7.0~7.5로 조절한다.

양송이 재배에 복토를 입상하기 하루 전에 수분을 공급하며, 보통 복토 흙보다 3~4배 정도(8~10L/bag)로 충분히 준 다음 입상한다. 그리고 복토시 피트모스에 균배양배지 의 일부를 섞거나 깨끗한 폐상퇴비를 섞어서 입상한다. 복토 두께는 약 5cm정도로 한다. 복토 입상 후 균상에 물을 다시 공급하며, 재배기간 동안 복토층을 굽어주는(ruffling) 작업은 하지 않는다. 양송이가 빨리 잣이 개열되는 원인은 복토층 수분이 부족하기 때문에 발생하므로 벼섯발생시 복토층에 관수를 충분히 한다.

다. CNC사

씨엔씨(CNC)사는 네덜란드 양송이 재배 농가가 주주로 참여하는 주식회사로 양송이 퇴비배지 생산, 복토제조 생산, 통조림 등 버섯 가공품 제조사업을 한다. 씨엔씨사에서 생산되는 퇴비량은 주당 9,000톤, 년간 약 180만 톤으로 네덜란드에서 2위를 차지하고 있으며, 퇴비의 제조와 버섯생산이 철저히 분업화 되어 있는 네덜란드 양송이 퇴비시장의 40%를 담당하고 있다.

 <p>White / blond peat</p> <p>Black peat</p>																				
<p>화이트피트 및 블랙피트 특성</p>	<p>복토용피트모스 확인</p>	<p>복토용피트모스 채취 위치</p>																		
 <p>Peat comparison</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mushroom casing</th> <th>Fen Peat</th> <th>Raised bog (Sphagnum)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disease / Pollution</td> <td>+++</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Water absorbing</td> <td>+</td> <td>+++</td> </tr> <tr> <td>Water retaining</td> <td>+</td> <td>+++</td> </tr> <tr> <td>Structure</td> <td>+ -</td> <td>+++</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>+ -</td> <td>+++</td> </tr> </tbody> </table>	Mushroom casing	Fen Peat	Raised bog (Sphagnum)	Disease / Pollution	+++	—	Water absorbing	+	+++	Water retaining	+	+++	Structure	+ -	+++	pH	+ -	+++	 <p>Mushroom casing</p> <p>Composition: 80% blackpeat 20% whitepeat Lime (CaCO₃)</p> <p>pH H₂O: 7.0-7.5 NEN-EN 13037(en)</p> <p>For use as: Layer on the compost in the mushroom culture.</p> <p><i>Directions for use on demand.</i></p>	
Mushroom casing	Fen Peat	Raised bog (Sphagnum)																		
Disease / Pollution	+++	—																		
Water absorbing	+	+++																		
Water retaining	+	+++																		
Structure	+ -	+++																		
pH	+ -	+++																		
<p>탑테라 복토용 피모스 특성</p>	<p>복토용 피트모스 성분</p>	<p>Sugar beet lime</p>																		
																				
<p>복토제조과정</p>	<p>복토제조</p>	<p>복토 50L 포장</p>																		
<p><양송이 복토제조 과정></p>																				



<씨엔씨 양송이 배지 제조시설>

현재 30개의 터널이 있으며, 한 터널 당 270톤을 생산하는데 네덜란드에 4개, 폴란드에 2개 총 6개의 제조시설을 가지고 있다. 네덜란드에는 씨엔씨사를 비롯하여 와크로사, 후이만사 등 4~5개의 대규모 퇴비제조 회사가 있는데 이들 회사에서 유럽전체 양송이 퇴비소비량의 35%를 담당하고 있고, 씨엔씨사에서 15%를 담당하고 있다.

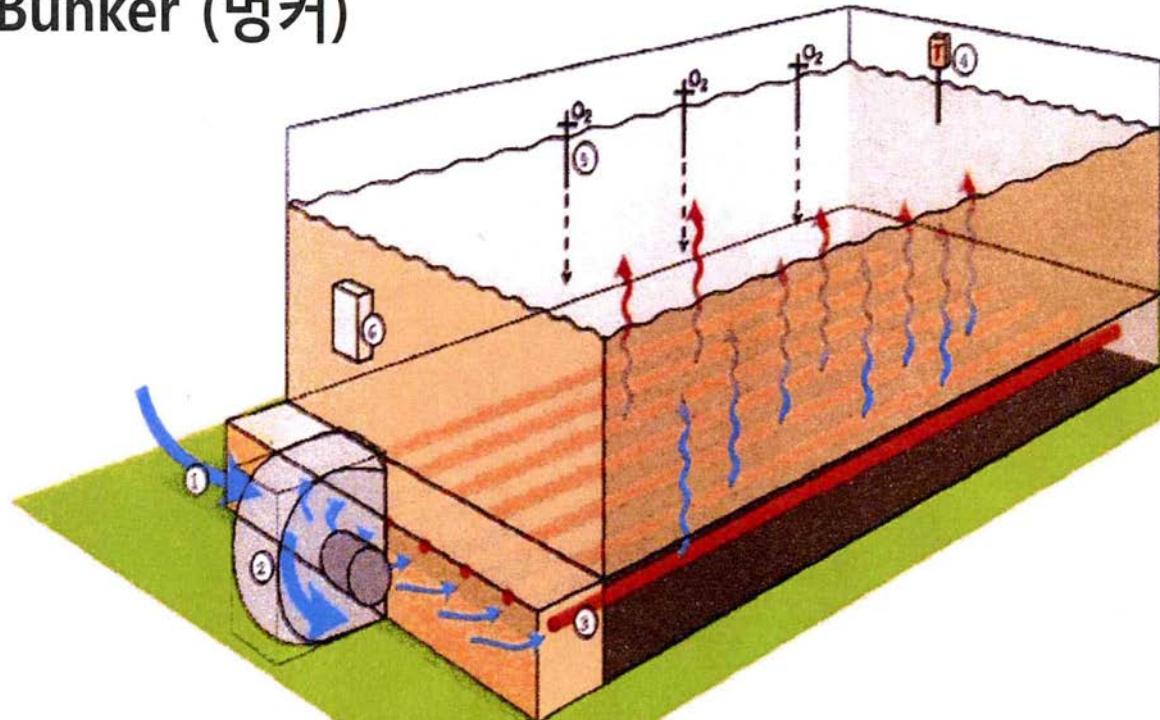
씨엔씨사 양송이 배지 제조 특징은 터널시스템으로 생산한다. PhaseI은 70~80°C에서 6~10일 정도 진행되는데 발효과정에서 80°C 올라가면 뒤집기를 2~3회 정도 실시한다. 퇴비제조시 사용한 물을 재사용 한다. Phase II는 터널시설에서 56°C에서 8시간 유지 후, 45°C에서 5일 정도 진행된다. Phase III는 phase II가 끝난 터널의 다른 터널에서 25°C에서 14~19일 균배양을 진행한다. 그리고 양송이 배지 운반시에는 종균이 활착된 phase III 배지에 적은 양의 얼음을 이용하여 저온으로 운송하고 한다.

씨엔씨사는 양송이 재배농장 재배형태는 균배양배지 입상시 복토작업도 함께 이루어 지고 있으며 전과정이 자동화 되었다. 균상에 기계로 입상할 때 배지두께는 20cm정도, 복토두께도 5cm 정도이다. 생육실내 환경은 온도, 습도가 안정적이고 환기는 양압으로 비닐닥트 시설을 이용하고 있다. 그리고 벼섯파리 피해는 보통 2주기 수확 후 폐상하므로 문제는 없으나 외부로부터 차단을 원칙으로 하고 재배사에 끈끈이트랩과 살충등을 설치하여 방제하고 있다.

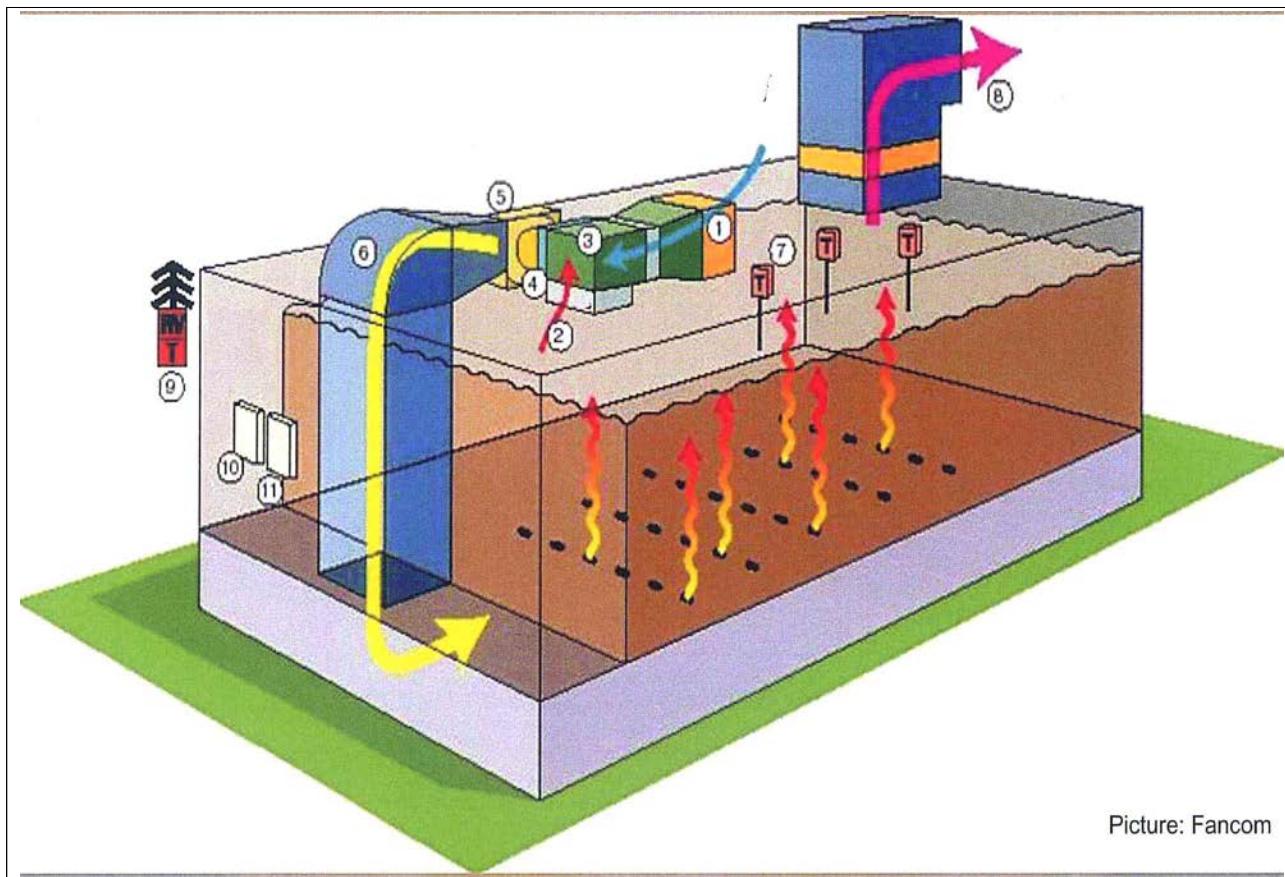
		
배지, 복토입상 일괄 작업기계	입상기계장치	입상 및 복토 입상 자동화
		
배지, 복토 입상 완료	생육실 환경관리 공조시설	비닐 닉트시설 및 비닐 바람막이
		
복토두께 5cm 정도	배지두께 20cm 정도	갈색 양송이 재배 생육실

<CNC 양송이 재배사 배지, 복토 입상 및 생육관리>

Bunker (벙커)

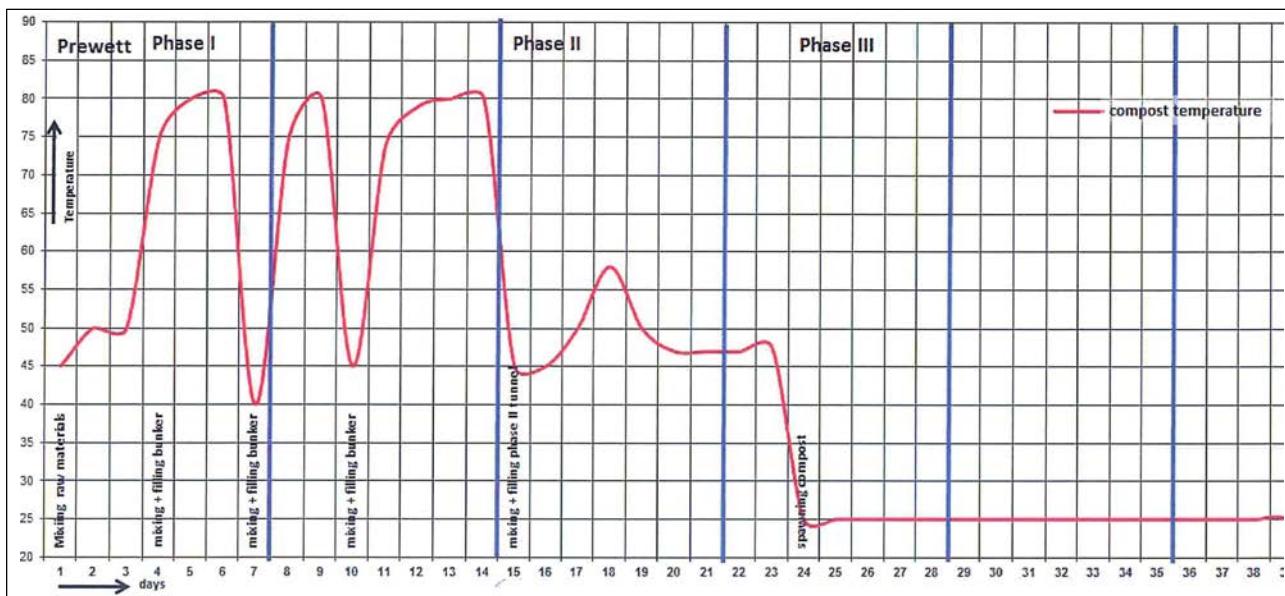


<양송이 배지제조 Phase I 단계의 벙커구조>



Picture: Fancom

<양송이 배지제조 PhaseII, PhaseIII단계의 터널구조>



<양송이 배지조제시 배지의 온도 변화>

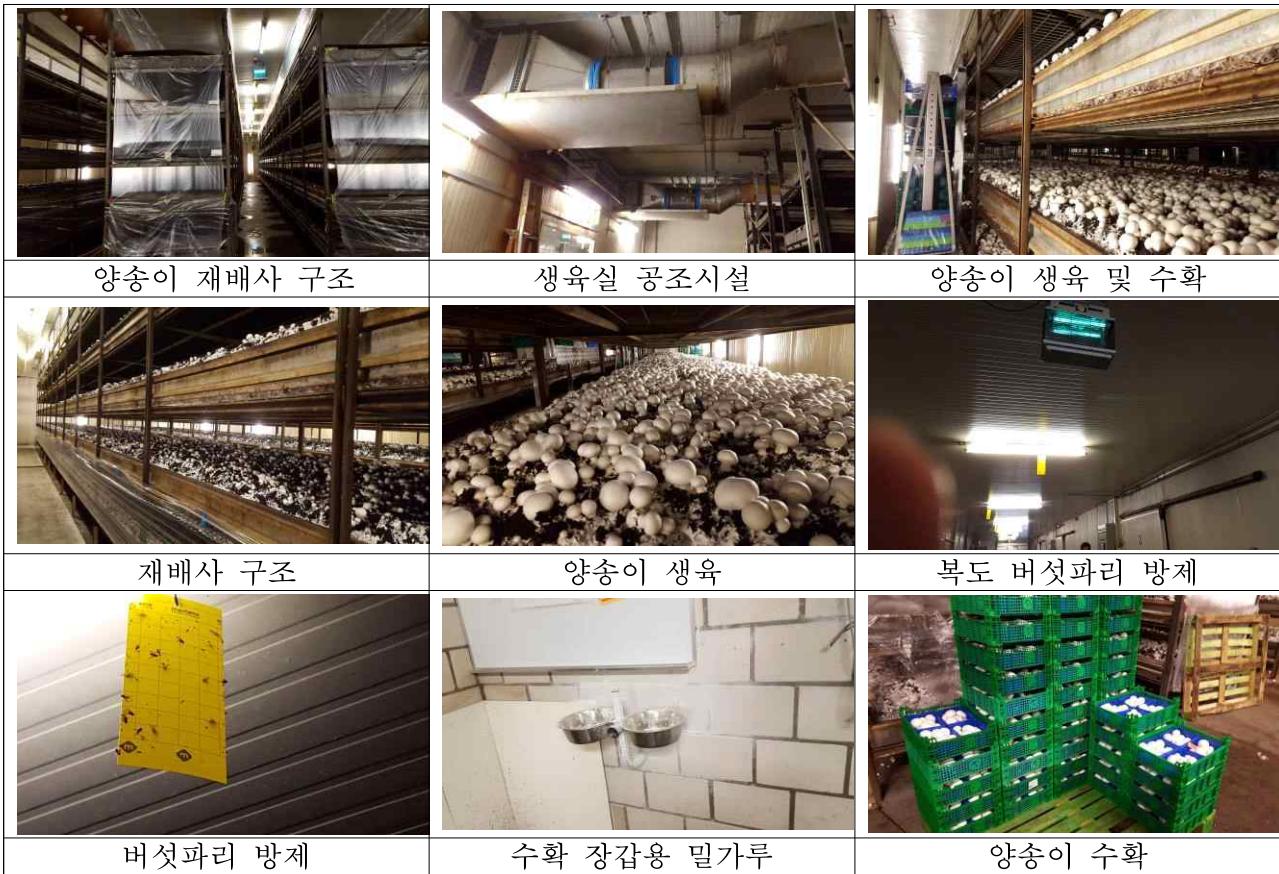
라. Walkro사

Walkro사는 네덜란드, 벨기에, 덴마크에 업체가 있으며, 각 주당 7천톤, 9.3천톤, 2.5톤의 배지를 생산하고 있으며, 네덜란드에서 1위 규모를 자랑하고 있다. Walkro사 양송이 배지 생산과정을 보면 ①Phase I은 먼저 24시간 야외퇴적하고, 병커에서 80°C(배지수분 73~75%), 3일 정도 진행되고, 다시 다른 병커로 옮겨서 80°C(수분함유량 72~73%)에서 5~6일 정도 진행된다. 퇴비

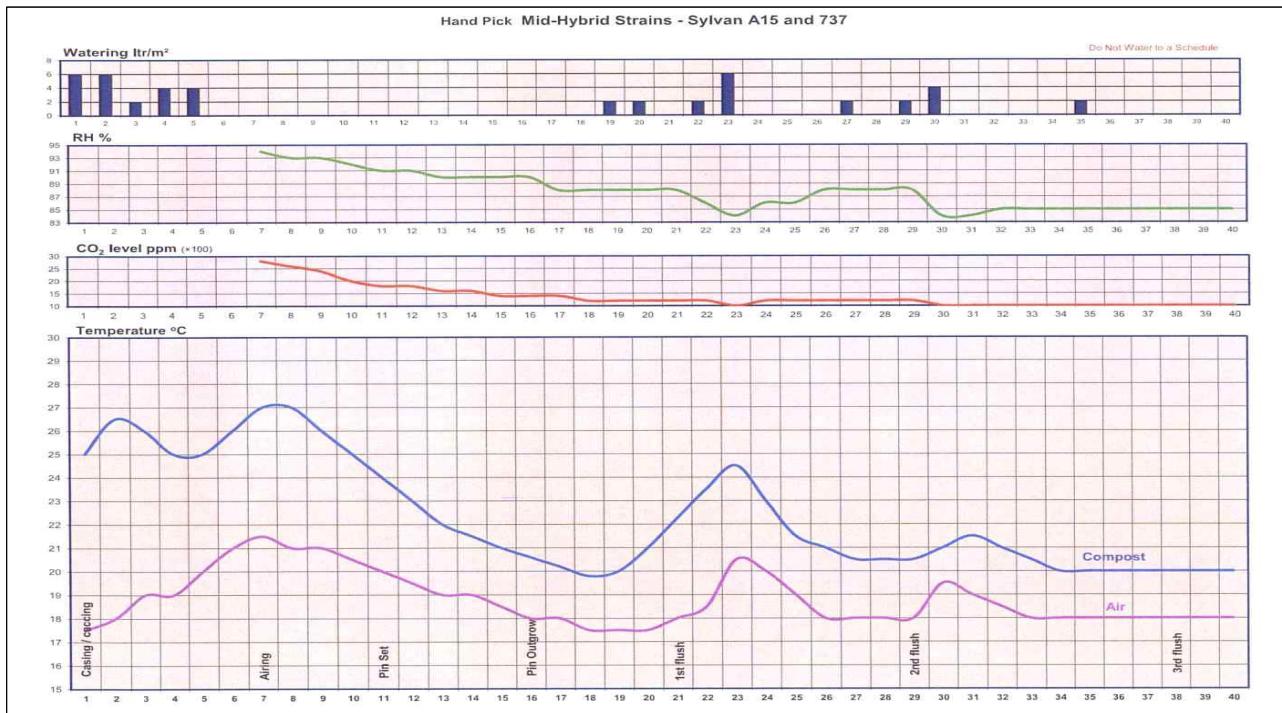
배지 제조시 champfood(대두박) 첨가물을 사용한다. ② Phase II은 터널에서 진행되며 58°C에서 8시간정도 유지된 후 48°C에서 7~8일정도 진행한다. ③ Phase III는 조를 이용한 곡립종균을 사용하여 접종한 후 25°C에서 17~18일 배양한다. Walkro사의 배지 운반은 수출시 드라이아이스로 10°C까지 배지온도를 내리고, 2°C 냉장상태로 운반하는데 블럭배지를 콘테이너로 운송시 배지 사이 사이에 나무막대를 이용하여 공간을 어느 정도 확보하여 공기순환을 유도하여 운반한다.



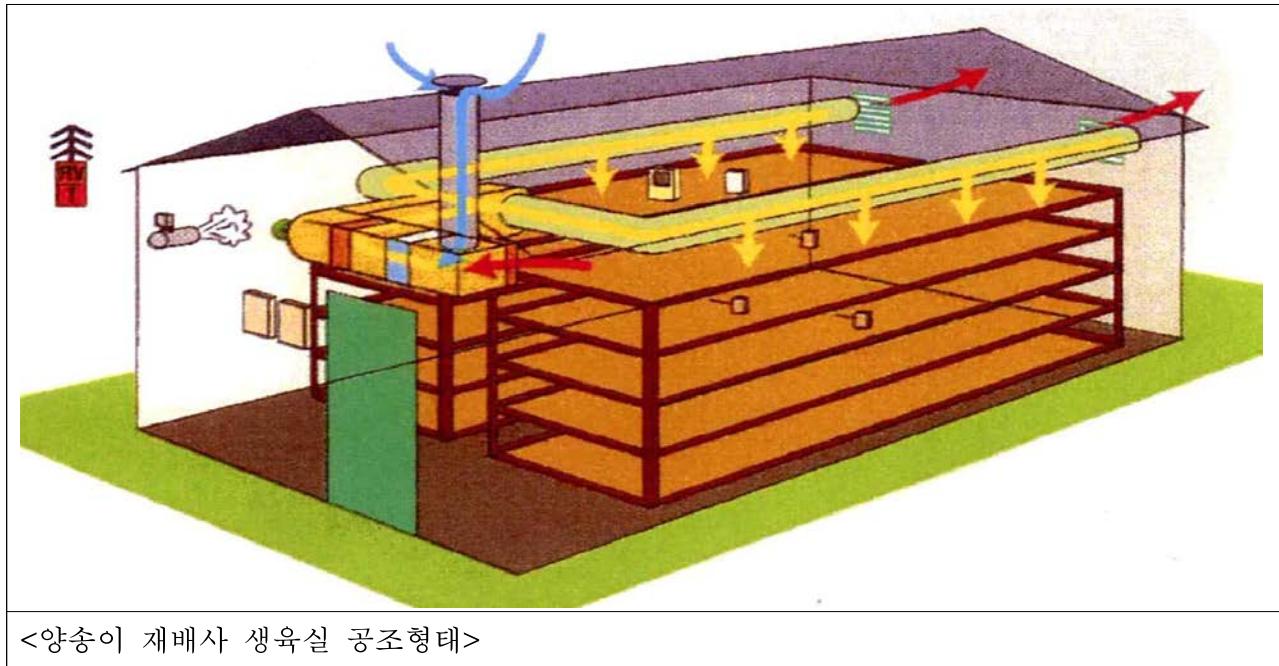
<양송이 재배 생육 환경(온도, 습도, CO₂)의 변화(종균활착배양배지의 입상후 폐상까지)>



<와크로사 양송이 재배 생육관리>



<양송이 A15품종 생육 환경관리 특성표 (균배양배지 입상후 폐상까지)>



위 그림은 종균활착 배양배지를 이용한 양송이 배지의 입상과 복토 후부터 폐상시까지의 생육실내 환경관리를 설명하기 위한 것이다. 입상 직후 퇴비내 온도기준으로 25°C에서 2일간 유지, 다시 온도를 27°C까지 높여서 약 2일간 유지, 벼섯발생을 유도하기 위해 입상 후 약 6일부터 배지온도를 서서히 내리기 시작하여 입상 12일까지 19~20°C까지 내린 후 약 8일간 이 온도를 유지하면서 1차 수확을 마무리 한다고 한다. 1차수확후 다시 배지온도를 23°C까지 높여 2일간 유지하면서 복토층의 균사매트에 양분을 축적시키고 다시 19°C로 내려 2차발생을 유도하였다. 습도는 발생유도기와 벼섯 발생 초기까지 90%이상, 벼섯생육기에는 약 85~90%를 유지하였고, CO₂농도는 벼섯발생 유도기에는 1,500~2,500ppm, 벼섯발생 초기부터 수확기까지 1,000~1,400ppm범위가 되도록 관리하고 있다.

마. Sylvan사

실반(Sylvan)사는 양송이 종균 제조 회사로 전 세계에 일곱 개의 지사를 두고 있으며 미국에 두개가 있다. 원균은 프랑스 실험실에서 만들어지고 확인 후 배달된다. 원균과 곡물이 혼합된 후 아래층 클린룸으로 전달 후 밑에서 패킹된다. 모든 시스템은 컴퓨터로 제어 하고 섞는 기계에는 7톤이 들어갈 수 있고 2시간이면 클린룸으로 들어와 패킹이 가능하다고 했다. 이 회사는 곡물 종균 밀을 가지고 만드는데 밀을 사용하는 이유는 전 세계 추세가 밀과 조로 만들고 있는데 밀이 가장 구하기 쉽고 가격이 저렴하기 때문에 사용한다고 했다.

보일러는 하나에 종균 2,000kg을 만들고 예비용 하나까지 2개를 항상 구비하고 있어 1개가 고장 나도 대처할 수 있게 했다. 곡물종균을 섞는 브이블렌더실(혼합하는 곳)은 오염을 방지하기 위해 두 겹으로 되어있고 벽과 벽 사이에 뜨겁고 찬 것이 드나들며 온도를 조절한다. 재료는 밀, 석회, 물, 칼슘이 들어가고 이중벽에 열을 넣고 곡물을 집어넣어 온도 121°C로 맞추고 섞는다. 30-40%의 습도를 가진 밀은 50%까지 올라가고 삼십 분 후부터 곡립을 살균을 하는데 121°C에 30분을 살균한다. 살균동안 열을 가해 섞는 것과 삶는 것을 같이하며 그 후 121°C까지 올렸던 것을 28°C까지 온도를 낮춰주고 종균을 섞기 시작한다.

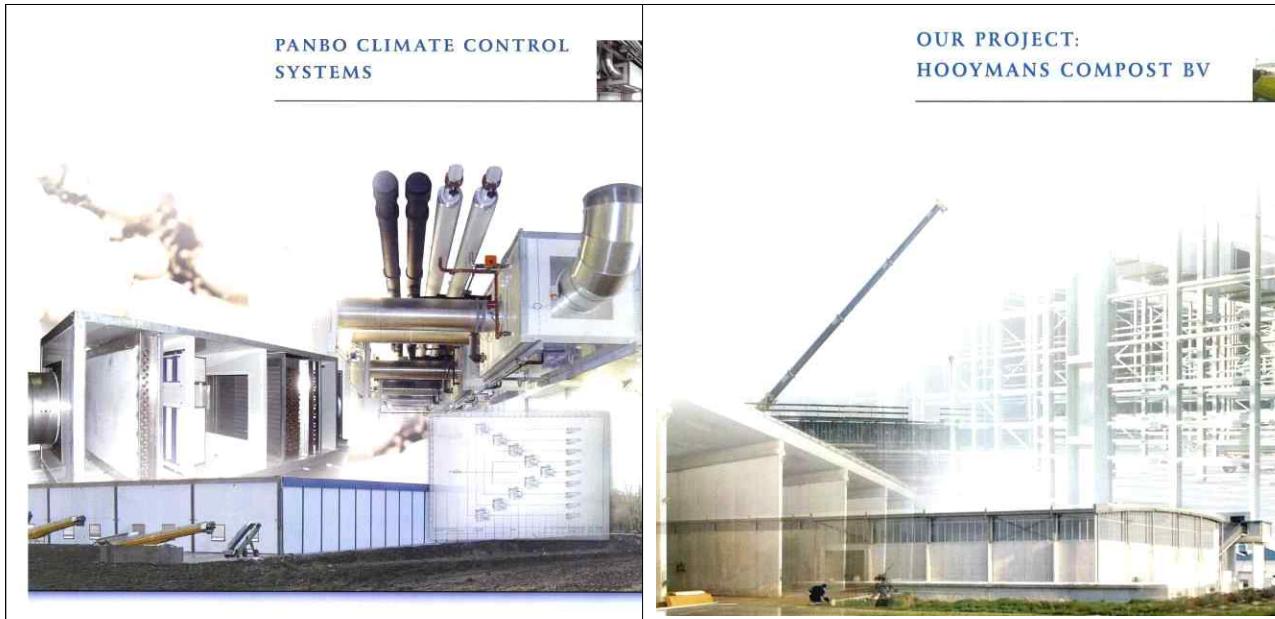
			
1. 곡물저장고 2개 사일로에 70톤씩 저장가능	2. 무균실에서 모든 원균, 접종원 사전 검사 관리	3. V블랜더에서 곡물을 삶고, 살균, 냉각, 종균접종 혼합	4. 무균(클래스100) 상태에서 PP봉지에 종균을 담고 밀봉
			
5. 필터링된 공기로 배양실 양압관리 25°C 14~15일	6. 균배양이 완료된 종균은 저온관리	6. 종균은 봉지마다 고유번호를 부착 하여 관리	7. 종균 팩킹 운송 15L PP봉지 포장 최적상태로 운송

<실반사 버섯 종균 관리>

곡립배지 온도가 내려가는 시간은 14시간 정도로 방법은 찬 공기를 집어넣어 식히면 14시간이고 빨아들여서 식히면 3시간이 소요되는데 밀이 다 식은 후 원균을 집어넣는데 분말형태로 집어넣는다. 패킹 팩은 밀봉되어 있는데 공기필터가 부착되어 있어 0.5%의 오염 확률을 가지고 있고 2주 정도면 패킹 팩 안에서 배양이 된다. 배양실은 안에서 밖으로 공기가 나오게 되는 양압시스템으로 오염률을 줄일 수 있다. 그리고 배양된 종균은 냉각실에서 10일 정도 두어 낮은 온도에 적응시켜 냉장상태로 재배농가에 보낸다.

바. Panbo사

판보(Panbo systems)사는 1983년도 설립되어 재배사건축, 냉난방 공조기기, 버섯재배와 관련된 각종 설비를 제조하는 종합 건축설비회사이다. 년 매출액은 약180억 정도이며 네덜란드 뿐만 아니라 폴란드, 미국, 일본 등 세계 각처에서 사업성과를 올리고 있다. 판보시스템은 재배사 건축, 설비, 기계 등 일괄수주계약 프로젝트를 현실화 할 수 있는 모든 지식, 전문가 그리고 경험을 가지고 있다. 세계적으로 양송이 퇴비 배지발효터널, 재배사, 환경제어장비, 냉난방장비, 공기순환장비 등에 대한 자문과 설비를 제공한다. 이 회사의 강점은 낮은 가격으로 최고 기능의 설비를 제공한다는 것인데, 판보직원들은 기초설비, 환경제어, 전직 버섯재배자 등 버섯재배 분야에 많은 경험을 가지고 있는데, 시설과 기계를 설계하기 전에 버섯재배에 따른 모든 과정에 대한 이해가 생산공정을 최적화 할 수 있기 때문이다.



<판보사의 버섯 배지제조 및 재배사 공조시설 시공>

최근 판보시스템의 주역 사업아이템은 자력구조시스템(Self Supporting Construction System)이다. 이 시스템은 현재까지의 버섯재배사는 건물안에 Room이 만들어지는 형태를 벗어나지 못했지만 Room의 지붕이 건물의 지붕으로의 역할도 가능한 강철구조의 단열판넬을 이용하여 완성한다고 한다. 이 시스템은 별도의 골조 구조물 없이 샌드위치 판넬만으로도 바람이 많은 지역에서도 큰 하중을 충분히 견딜수 있는 구조로서 설치와 이동이 간편하다는 장점을 갖고 있다고 한다. 네덜란드에는 Jfmckenna, Fancom, Thilot Limbraco, Christiaens, Geraedts 등 세계최대의 버섯재배관련 장비, 공조기기 등을 생산하는 업체가 있으나, 재배사 건축, 장비 등 종합건축설비업체는 판보시스템이 대표적이다.

사. Hoving사

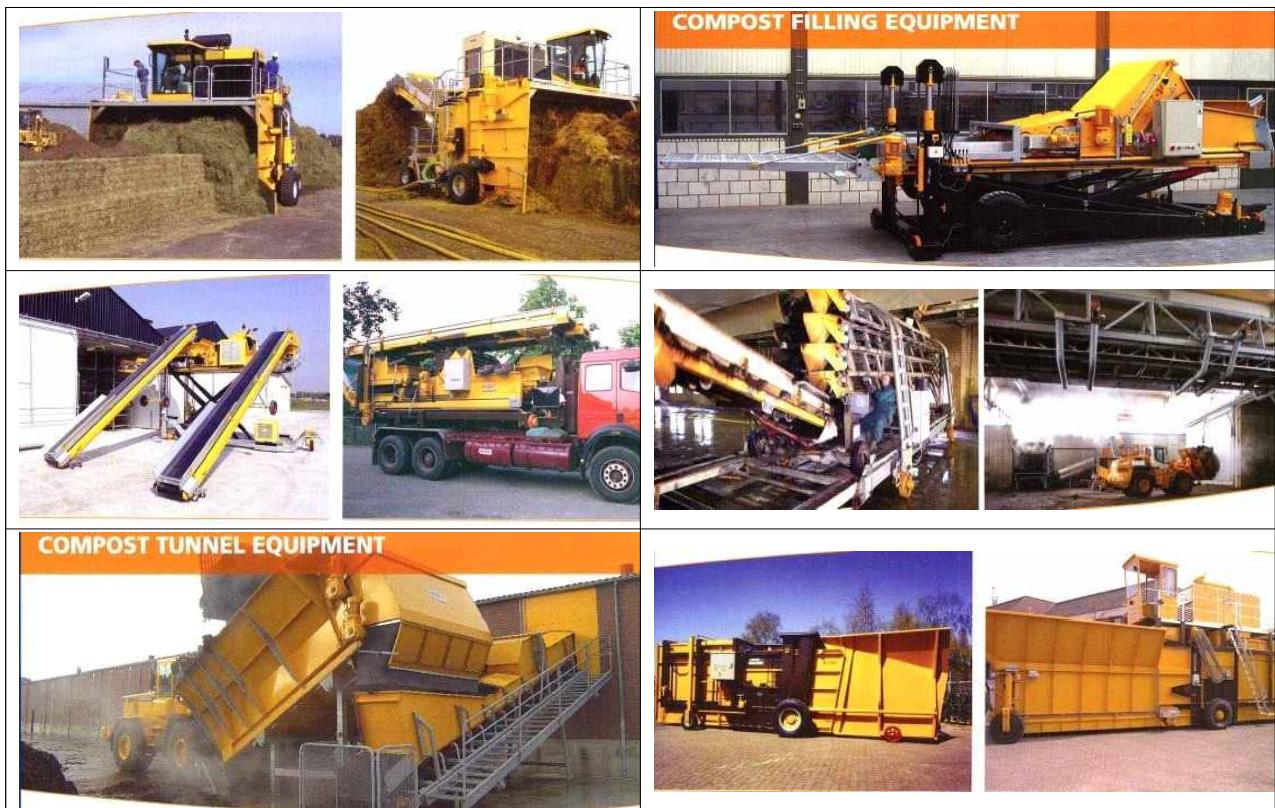
호빙(Hoving)사는 양송이 재배용 배지제조 시스템에 사용되는 각종 장비와 기계를 제작하는 회사이다. 양송이 밀짚퇴비배지 조제시 Phase I단계의 병커에 소요되는 시설 장비, Phase II단계에서 소요되는 배지발효 시설 장비, Phase III단계의 배지패킹에 필요한 모든 시설 장비를 제작한다.



<Hoving holland사의 양송이 배지제조 시설 기계 장비 배치>

아. GTL사

지티엘(GTL)사는 양송이 배지제조 및 버섯재배 자동화 시스템에서 필요한 배지 조제 기계, 규격화 포장, 배지 입상기, 콘베어벨트 등 다양한 기계, 장비인 장비를 제작하는 회사이다.



<지티엘사의 다양한 버섯 관련 기계, 장비>

4. 맷음말

네덜란드의 버섯 판매는 대형마트나 재래시장에서 이루어지는데, 소비자가 원하는 만큼 구매하는 할수 있도록 소포장 형태로도 유통되고 있으며, 버섯의 품질은 우리나라만큼 모양을 따지지 않는 경향으로 크기가 비슷한 것끼리 포장하여 판매하고 있다. 그리고 가공제품이 다양해 소비를 촉진하고 있다. 현재 버섯농가가 회원으로 구성된 네덜란드 버섯생산협회가 버섯산업 정보제공, 판로개척, 배지공동생산, 자조금 형성 및 지원, 유통컨설팅 등 다양한 활동으로 실질적인 도움을 주고 있는 것처럼 우리나라로 버섯생산자 조직을 지금보다 더 활성화 할 필요가 있다.

네덜란드 시중에 유통되고 있는 버섯은 양송이가 대부분으로 우리나라와는 달리 백색과 갈색 양송이가 비슷한 비율로 생산하고 있었고, 국내에서 주로 생산하는 표고, 새송이와 같은 버섯은 네덜란드 소비자들에게는 다소 생소하였으나 최근에는 외국버섯(exotic)이라 하여 느타리, 표고, 새송이, 노루궁뎅이버섯 등이 재배 소규모로 재배되고 있다. 따라서 네덜란드 소비자들과 바이어들에게 한국산 버섯에 대해서 적극적으로 알리고 친숙하게 하여 수요를 형성 시키는 마케팅 노력이 요구된다.

양송이 배지생산의 규격화는 네덜란드의 경우 대규모 시설장비를 활용한 체계적이고 균일한 품질의 배지를 만들어 내고 있다. 따라서 네덜란드 양송이 산업의 현대화 및 기업화의 특성을 우리나라 실정에 맞게 재구성하여 도입하는 노력이 필요하다. 또한 종군업체-배지업체-재배농가의 연계성 강화로 품질관리와 문제점에 대한 대응을 유기적이고 시기적절하게 지속적인 노력이 필요하다.

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급

보안등급분류	일반과제
결정사유	『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정』 제24조의4에 해당하지 않음

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

○ 해당사항 없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

「연구실 안전환경 조성에 관한 법률 제 8조(안전점검의 실시) 시행령 제 7조(안전점검의 실시 등」에 따라서 일상점검 등 당해 연구개발사업 수행 시 필요한 연구실안전을 이행 함

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문제재지/ 특허등록국가	Impact Factor	논문제재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	논문	복토살균 조건에 따른 양송이 재배과정 별 복토내 미생물 밀도 및 수량 특성	국립원 예특작 과학원	주담당자	한국버섯학회		2014.06.30	단독	
2	논문	팽이버섯 재배에서 미강 대체용 보리가루의 적정 첨가 비율	국립원 예특작 과학원	주담당자	한국버섯학회		2015.09.30	단독	
3	정책 제안	금가꾸기 산물인 목재 및 폐목재를 버섯 배지 원료용 텁밥으로 제조 공급	국립원 예특작 과학원	주담당자			2015.11.30	단독	
4	영농 활용	양송이버섯 재배시 미생물상 변화를 통한 배지발효 진단	국립원 예특작 과학원	주담당자			2015.11.30	단독	
5	특허	톱밥을 이용한 양송이 배지제조방법 및 텁밥 양송이 배지	순천향 대학교	주담당자	대한민국		2015.11.014		
6	특허	표고버섯 폐톱밥을 이용한 우드펠릿 제조방법	순천향 대학교	주담당자	대한민국		2016.03.31		
7	학술 발표	톱밥을 이용한 양송이 재배	순천향 대학교	주담당자	버섯학회 춘계학술대		2016.06.09		

					회				
8	학술 발표	양송이버섯 생산을 위한 벗짚과 솜의 최적화연구	순천향 대학교	주담당자	버섯학회 추계학술대회		2016.10.27		
9	정책 자료	수확 후 배지 처리시스템	순천향 대학교	주담당자	농촌진흥청		2016.11.10		
10	영농 활용	양송이 품질향상 및 증수를 위한 벗짚과 폐면 재료의 배지제조 최적 배합방법	순천향 대학교	주담당자	농촌진흥청		2016.11.10		
11	논문	톱밥과 계분을 이용한 새료운 양송이 재배방법	순천향 대학교	주담당자	버섯학회		2016.12.26		비SCI
12	논문	Varietal characteristics of new white button mushroom Seolwon in Agaricus bisporus	충남농업기술원	주담당자	한국버섯학회지 12(2)	0.174	2014.06.10	단독	비SCI
13	학술 발표	양송이 재배용 복토재료 개선에 관한 연구	충남농업기술원	주담당자	한국버섯학회 하계학술대회		2014.06.12		
14	학술 발표	양송이 재배용 새로운 복토재료에 관한 연구	충남농업기술원	주담당자	한국버섯학회 하계학술대회		2015.06.04		
15	학술 발표	느타리 균상재배 수확후배지 재활용에 관한 연구	충남농업기술원	주담당자	한국버섯학회 하계학술대회		2016.06.09		
16	영농 활용	양송이 재배 수확후배지의 복토 활용방법	충남농업기술원	주담당자	농촌진흥청		2015.11.14		
17	영농 활용	피트모스와 코코퍼트를 이용한 양송이 재배용 복토 활용기술	충남농업기술원	주담당자	농촌진흥청		2016.11.14		
18	논문	Mobilization of Heavy Metals in Contaminated Soils induced by Bioaugmentation of <i>Shewanella xiamenensis</i> HM14	충남대학교	주담당자	한국토양비료학회지		2014.08		
19	논문	Effect of Button Mushroom Compost on Mobilization of Heavy Metals by Sunflower	충남대학교	주담당자	한국버섯학회지		2014.09		
20	논문	Phytoremediation of Heavy Metals induced by Bioaugmentation of a Phosphate Solubilizing Bacterium	충남대학교	주담당자	한국환경농학회지 (Online)		2014.06		
21	논문	mobilization of heavy metals induced by button mushroom compost in sunflower	충남대학교	주담당자	한국토양비료학회지		2015.10.20		
22	논문	양송이 배지에서 유래한 Lipase 생산균	충남대학교	주담당자	한국버섯학회지		2015.03.30		

		을 이용한 바이오디 젤 생산						
23	논문	Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria From Button Mushroom	충남대학교	주담당자	농업과학회지		2016.03.11	
24	논문	Effect of Co-inoculation of Two Bacteria on Phosphate Solubilization	충남대학교	주담당자	한국토양비료학회지		2016.08.16	
25	학술 발표	Bioaugmentation-Assisted Phytoextraction of Co, Pb and Zn By a Phosphate-Solubilizing Bacterium Isolated from Metal-Contaminated Mines	충남대학교	주담당자	World Congress of Soil Science		2014.06	
26	정책 제안	양송이 수확 후 배지의 상토1호 원료 지정	충남대학교	주담당자			2014.11	
27	정책 제안	양송이 수확 후 배지의 간척지 및 오염토양의 토양개량제로 지정, 활용 요청	충남대학교	주담당자			2015.12	
28	영농 활용	양송이 수확 후 배지를 이용한 석회처리비료 개발	충남대학교	주담당자			2015.12	
29	영농 활용	양송이 수확 후 배지의 손쉬운 활용법 개발	충남대학교	주담당자			2016.11	

제 11 장 기타사항

○ 해당사항 없음

제 12 장 참고문헌

- Baker, R., and F.M. Scher. 1987. Enhancing the activity of biological control agent. p1-18. in: Innovative approaches to plant disease control. 1. chet. ed. Jhon Wiley and Sor. New York. Tronto. Singapore.
- Bahl, Nita, Kapoor. J.N. and Chowdhry, P. N. 1989. Dominant microflora of wheat straw compost. Indian Phytopath., 42 : 496-498.
- Kneebone, L.R. Schulta, P.G. and Patton, T.G. 1972. Strain selection and development by

- means of mycelial anastromosis. *Mush. Sci.* 8 : 19–25.
- Lambert E.B., A.C. Davis. 1934. Distribution of oxygen and carbon dioxide in mushroom compost heaps as affecting microbial thermogenesis acidity and moisture therein. *J. Agric, Res.* 48:251–253
- Lee CJ, Yun HS, Jhune CS, Cheong JC, Han HS. 2009. Changes and distributional pattern of microorganism in cotton waste media for oyster mushroom cultivation. *The Korean Journal of Mycology.* 37:150–154.
- Pope, S., Knaust, H.C. and Knaust, K. 1962. Production of compost by thermophilic fungi. *Mushrooom. Sci.*, 5 : 125–126.
- Stanek, M. 1972. Micro-organisms inhabiting mushroom compost during fermentation. *Mushroom Sci.* 8: 797–811
- Hayes, W.A. and P.E. Randel. 1972. Nutritional factors in relation to mushroom production. *Mushroom Science.* 8:663~674.
- Jhune CS et. 2010. Field research of cultivation technique for stable production of common mushroom. *J. Mushroom Sci Prod.* 8(3) : 122~130.
- Kim HK et al. 2010. Study of the composting method using wheat straw on *Agaricus bisporus* cultivation. *J. Mushroom Sci Prod.* 8(1) : 33~36.
- Lambert et al. 1950. Yield response from supplementing mushroom manure. *Mushroom Sci.* 7:295–306.
- Edwards RL, Flegg PB. 1953. Experiments with artificial mixtures for casing mushroom beds. *Mush. Sci.* 2: 143–148.
- Flegg PB. 1953. Pore space and related properties of casing materials. *Mushr. Sci.* 2: 151–154.
- Wuest PJ. 1974. Knowing more abut peat moss soil or spent compost for casing. *Mushroom News.* 22(11): 6.
- Burton, K. S. 2004. Cultural factors affecting mushroom quality e cause and control of bruising. *Mushroom Science,* 16: 397–402.
- Strain improvment in the white button mushroom 'Seolgang' and its varietal chracteristics in *Agaricus bisporus*. *J. Mushroom Sci Prod.* p151–159
- Ki-Cheon Kyung¹, Hee-duk Lee¹, Young-Pil Jung², Kab-Yeul Jang³ and Min-Ho Yoon^{2*}. 2010. Influence on composting of waste mushroom bed from *Agaricus bisporus* by using mixed organic materials. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 43(3): 335–340.
- Shin-Sang Kwon, Ki-Cheon Kyung¹, Won-Sik Kong², Doug-Young Chung, and Min-Ho Yoon*. 2012. Characterization of Growth and Auxin Formation in a Bacteria Isolated from Waste bed of *Agaricus bisporus*. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6), 1037–1042
- Ki-Cheon Kyeong, Yong-Gyun Kim, Chang-Jung Lee, Heon-Hak Lee, Min-Ho Yoon. 2014. Effect of button mushroom compost on mobilization of heavy metals by sunflower. *J. of Mushrooms.* 12(3): 163–175.

Jong-Jin Lee, Heon-HakLee, Sung-Chul Kim, Jeoung-Ah Yoo, Chan-Jung Lee, and Min-Ho Yoon. 2015. Mobilization of Heavy Metals induced by Button Mushroom Compost in Sunflower. Korean J. Soil Sci. Fert. 48(5): 469-476

김홍규, 함인기, 이가순, 이병주, 김용균, 양의석, 유영복, 김홍기. 2011. 갈색 양송이 신품종 '다향'의 형태적 특성. 한국버섯학회지 9권1호 p17-21

농업과학기술원. 2008. 유용버섯류의 재배기술 개발. 농촌진흥청. 303-310

성재모, 유영복, 차동열. 1998. 버섯학. 교학사. p365-375

유창현, 변명옥, 박용환, 신관철. 1981. 양송이 신계통 705호 육성에 관한 연구. 한국균학회지 9권 3호 p133-139

이병주, 이미애, 김용균, 이광원, 임용표, 이병의, 송호연. 2012.

장갑열, 오진아. 2010. 표준영농교본 식용버섯. 농촌진흥청. p156-163

전창성, 잡갑열, 정종천, 이찬중, 공원식, 유영복. 2010. 양송이 안정생산을 위한 생산기술 현장연구. 한국버섯학회지 8권3호p122-130

차동열, 유창현, 김광포. 1994. 최신 버섯재배 기술. 농진회. p218-224

차동열, 박종성, 신관철. 1981. 양송이 균사생장과 자실체 수량에 미치는 몇가지 환경요인의 영향. 한국균학회지 9권1호 p7-12

김홍규, 이희덕, 김용균, 한규홍, 문창식, 김홍기, 1998, 병재배 폐톱밥을 이용한 양송이 복토재료 개발에 관한 연구, Korean J. Mycology 26(1) : 51-55

남궁희, 1975, 양송이재배에 따른 재배상퇴비의 성분변화에 관한 연구, 한국농화학회지 18(4) 203-218*

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「신품종지역적응연구사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「신품종지역적응연구사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.