

회
연구보고서

식용 및 약용 버섯의 생육 단계별 최적조건
규명 및 공기제어장치 개발

Development of Measurement and Air Control System for
Optimal Condition of Eatable and Medicinal Mushrooms with
Growth Phase

연구기관
(주)바이오텔

농림수산식품자료실



0016156

농림수산식품부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “식용 및 약용 버섯의 생육단계별 최적조건 규명 및 공기제어장치개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 04월 24일

주관연구기관명 : (주)바이오텔

총괄연구책임자 : 김 태 진

세부연구책임자 : 김 태 진

연 구 원 : 정 일 손

연 구 원 : 이 인 길

연 구 원 : 이 현 창

연 구 원 : 정 재 칠

위탁연구기관명 : 한국농업대학

위탁연구책임자 : 장 현 유

요 약 문

I. 제 목

식용 및 약용 버섯의 생육단계별 최적 조건 규명 및 공기 제어 장치 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라는 버섯재배를 위한 개발과 재배의 면에서 일본이나 유럽에 비하여 뒤떨어져 있으며 1990년대부터 중국이 수출국으로 참여하면서 국제가격 경쟁에서 뒤떨어져 수출량이 감소되었다. 따라서, 내수 및 수출의 증대를 위해 질적으로 향상된 품질을 갖춘 버섯의 생산과 생산비의 절감이 필요하고 이를 위해서는 재배기술의 선진화가 절대적으로 요구된다. 버섯의 성장 과정에서 필요한 에너지는 신진대사 활동으로 이뤄지는데 이때 산소소비와 이산화탄소생성이 발생되며 그의 몰비에 해당하는 호흡율은 버섯의 생육단계별로 다양하다. 따라서, 생산성 향상과 균일한 품질관리를 위하여 버섯별 호흡율에 대한 자료의 확보가 시급하다. 즉, 각 버섯의 생육단계별 최적의 호흡율을 일정하게 유지하는 장치를 개발함으로써 버섯의 생산성 증대를 이룩하여 농가수익 향상에 이바지할 것이며, 산소 발생기와 송풍기 등을 연계함으로써 각 버섯의 생육단계별 최적 산소 및 이산화탄소 조건을 유지함으로써, 버섯의 생산에 획기적인 계기를 마련할 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구를 통하여 산소센서와 이산화탄소 센서를 이용하여 버섯의 호흡율 측정장치를 개발하였으며, 이를 단일 시스템화 하여 시제품을 제작하였다. 또한, 8가지 버섯(느타리, 새송이, 양송이, 팽이, 영지, 상황, 꽃송이, 동충하초)에 대한 산소 소모량

과 이산화탄소 배출량을 연속적으로 모니터링함으로써 버섯 고유의 호흡율을 규명하였다. 시제품을 이용한 현장 적용평가를 통하여서는 8종류 버섯의 호흡율의 변화를 통하여 공기를 제어할 때 산소를 공급함으로써 버섯의 생산성 및 품질이 향상되는 것을 확인하였다. 그러나 팽이버섯과 같이 버섯 재배과정중 산소에 의한 생육이 아니라 이산화탄소의 농도에 의해서 생육이 촉진되는 것에 대한 추가 연구의 필요성이 제기되었다. 식용버섯 중에서 느타리 버섯의 경우 호흡율에 민감하였으므로 이의 생산성을 본 기술로 쉽게 증가 시킬 수 있었다. 특히, 고가이면서 생육기간이 짧은 약용 버섯에 본 기술을 적용한다면 그의 기술 경제적 효과가 예상된다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발의 결과를 활용하여 단일 시스템으로 콤팩트하게 구성하여 버섯 재배 농가를 대상으로 보급함에 있어서 국내 버섯 농가중 연간 10억원 이상의 매출액을 갖는 중대형의 농가에 집중적으로 개발 시스템을 공급하고, 사용상의 문제점을 개선하여 300만원 이내의 가격으로 생산 안정화를 이룩하여 연간 5억원 내외의 매출을 하는 국내 200여개 버섯 농가에게 집중적으로 보급할 경우에 연간 수십억원의 매출 증대가 예상된다.

SUMMARY

Four edible mushrooms(Oyster, King Oyster, Bottom, Winter) and Four medicinal mushrooms(Rheishi, Sang-Hwang, Cauliflower, Insect) were investigated to examine the optimal growth conditions of oxygen and carbon dioxide. The ratio of carbon dioxide production rate with respect to oxygen consumption rate was defined as the Respiration Quotient(RQ). Such RQs for individual mushrooms were investigated in both at laboratory and in field.

Continuous data available from monitoring and control system of oxygen and carbon dioxide were observed to see their time profiles for individual mushrooms. It was shown that all the mushrooms except Winter mushroom(*Flammulina Velutipes*) gave the enhanced productivities in both of weight and color under oxygen enriched state. On the other hand, Winter mushroom seems to prefer the carbon dioxide enriched environment. The present system developed for the optimal control of RQ of individual mushrooms was most probably marketable to the farmers who grow Oyster mushroom(*Pleurotus Ostreatus*) out of 4 edible mushrooms. Such a system seems also to be suitable for the growth of Rheishi mushroom and Sang-Hwang mushroom for better color and weight out of 4 medicinal mushrooms.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	9
Section 1. Necessity of Study	9
Section 2. Scope of Study	11
Chapter 2. Status of Technology Development	14
Chapter 3. Contents of Study and Results	16
Section 1. Development of Respiration Quoient Measurement System ...	16
1. Sensor Performance Test	16
2. Software Development for Control System	16
3. Proto Type Fabrication	18
Section 2. Measurement of Respiration Quoient	20
1. Oyster Mushroom	20
2. King Oyster Mushroom	24
3. Winter Mushroom	29
4. Bottom Mushroom	33
5. Rheishi Mushroom	36
6. Insect Mushroom	39
7. Caulifliwer Mushroom	43
8. Sang–Hwang Mushroom	46
Section 3. Field Test of Mushroom	49
1. Field Test of Oyster Mushroom	49
2. Field Test of King Oyster Mushroom	55
3. Field Test of Winter Mushroom	59
4. Field Test of Bottom Mushroom	63
5. Field Test of Rheishi Mushroom	66
6. Field Test of Insect Mushroom	70

7. Field Test of Cauliflower Mushroom	73
8. Field Test of Sang-Hwang Mushroom	77
Chapter 4. Degrees of Objective Accomplishment and Area Contribution	81
Chapter 5. Plan of Results Application	82
1. Application of Results	82
2. Marketing Plan	82
Chapter 6. Reference	83

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	9
제 1 절 연구개발의 필요성	9
제 2 절 연구개발 과제의 범위	11
제 2 장 국내의 기술개발현황	14
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	17
제 1 절 호흡을 측정 시스템 개발	17
1. 센서 성능평가 및 적용기술개발	17
2. 계측시스템 제어 Software 개발	17
3. 버섯 호흡을 측정 장치 시제품 제작	18
제 2 절 식용 및 약용 버섯의 생육단계별 호흡을 측정	20
1. 느타리 버섯	20
2. 새송이 버섯	24
3. 팽이 버섯	29
4. 양송이 버섯	33
5. 영지 버섯	36
6. 동충하초 버섯	39
7. 꽃송이 버섯	43
8. 상황 버섯	46
제 3 절 식용 및 약용 버섯의 현장 적용 평가	49
1. 느타리버섯의 현장 적용 평가	49
2. 새송이버섯의 현장 적용 평가	55
3. 팽이버섯의 현장 적용 평가	59
4. 양송이버섯의 현장 적용 평가	63
5. 영지버섯의 현장 적용 평가	66

6. 상황버섯의 현장 적용 평가	70
7. 동충하초버섯의 현장 적용 평가	73
8. 꽃송이버섯의 현장 적용 평가	77
제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도	81
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	82
1. 연구 결과 활용성	82
2. 기업화 추진방향	82
제 6 장 참고문헌	83

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

우리나라는 버섯재배를 위한 개발과 재배의 면에서 일본이나 유럽에 비하여 뒤떨어져 있으며 1990년대부터 중국이 수출국으로 참여하면서 국제가격 경쟁에서 뒤떨어져 수출량이 감소되었다. 따라서, 내수 및 수출의 증대를 위해 질적으로 향상된 품질을 갖춘 버섯의 생산과 생산비의 절감이 필요하고 이를 위해서는 재배기술의 선진화가 절대적으로 요구된다. 버섯의 성장 과정에서 필요한 에너지는 신진대사 활동으로 이뤄지는데 이때 산소소비와 이산화탄소생성이 발생되며 그의 몰비에 해당하는 호흡율은 버섯의 생육단계별로 다양할 것으로 추정된다. 버섯의 온도 및 습도에 대한 실험적 자료는 많은 연구를 통하여 확보되었으나, 버섯의 생육단계별 호흡율에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 생산성 향상과 균일한 품질관리를 위하여 버섯별 호흡율에 대한 자료의 확보가 시급하다. 종전에는 산소를 제어하지 않고 단순히 환기함으로써 이산화탄소를 제거하여 왔다. 그러나 본 과제의 주관기관인 (주)바이오텔은 지난 10년간 산소센서, 산소계측기, 산소발생기 등을 개발 및 생산하고 있다. 따라서, 주관기관은 보유하고 있는 핵심기술을 활용하여 버섯재배의 주요인자인 환기 제어뿐 아니라 각 버섯의 생육단계별 최적의 호흡율을 일정하게 유지하는 장치를 개발함으로써 버섯의 생산성 증대를 이룩하여 농가수의 향상에 이바지할 것으로 기대된다. 본 기술은 특히, 산소 발생기와 송풍기 등을 연계함으로써 각 버섯의 생육단계별 최적 산소 및 이산화탄소 조건을 유지하고, 수확 후 저장 조건을 자동화함으로써, 버섯의 생산과 저장에 획기적인 계기를 마련할 것으로 예상된다. 본 주관기관이 보유하고 있는 산소관련 기술과 계측기 기술을 접합함으로써 버섯의 생육단계에서 발생하는 이산화탄소와 버섯이 소비하는 산소와의 관계를 두 변수로 보지 않고 그 몰비를 나타내는 하나의 변수인 호흡율을 측정 및 제어하는 장치를 버섯재배 농가에게 값싸게 생산하여 보급할 수 있을 것으로 예상된다.

버섯은 단백질, 당, 지질, 미량원소, 비타민 등 영양원을 공급하는 식품영양학적 기호 식품으로서 표 1과 같은 기능성 물질이 풍부하여 면역활성체, 질병회복, 노화억제 작용이 있어 21세기 비전 있는 생명공학의 한 분야이다.

표 1. 버섯의 약효와 성분

약효	성분	버섯종류
항균	그리로핀, 그리오린, 이레신	각종버섯
항바이러스	단백질, β -그루칸	표고, 원송이안장버섯
강심	포레파톡신, 프라프톡신	표고, 팽이
콜레스테롤 저하	에리라테닌	표고
혈당 강하	가노데란	영지
혈압 강하	당단백질	잎새, 영지
항혈전	렌티나신	표고, 양송이
PHA 유약화 억제	r-GHP	양송이
항종양	β -그루칸, RNA 복합체	신령버섯, 각종버섯

버섯재배의 3대 요소는 배지, 종균, 재배환경이며, 재배환경에선 온도, 습도, 햇빛, 환기가 필수 요소이다. 대기중의 산소는 19~20%정도이고 이산화탄소는 0.03%이나 버섯균은 호흡을 하면서 산소를 소비하고 이산화탄소를 배출하는데 밀폐된 공간에서 배양하면 0.6%까지 증가하는 경우도 많다. 일반적으로 0.3%정도까지는 균사생장을 촉진하나 0.5%이상이 되면 균사생장도 심하게 저해를 받는다. 자실체 생육시에 800~1,200ppm 농도가 적당하며 이산화탄소의 농도가 과도하게 높으면 대가 길어지고 갓이 깔대기 모양으로 형성되는 기형버섯이 발생한다. 그러므로 버섯이 발생될 때부터 수확할 때까지는 산소요구량이 많으므로 반드시 환기를 시켜야 하며, 특히 이산화탄소의 농도가 0.8%가 되면 기형 버섯이 되고 1.0%가 되면 사멸되기 때문에 생육 단계별로 적정환경을 유지하기 위하여 환기량을 조절할 필요가 있다.

제 2 절 연구개발 과제의 범위

대부분의 미생물은 유기물을 분해하여 에너지를 얻는다. 산소가 분해반응에 가담할 때 호흡(respiration)이라 하며 이를 화학식으로 약술하면 다음과 같다(Bailey, Biochemical Engineering Fundamentals, 1986).



이때 실험적으로 성장 정도를 나타내는 호흡율(Respiratory Quotient, RQ)을 다음과 같은 정의에 따라 구할 수 있다.

$$\text{호흡율 (RQ)} = \frac{\text{생성된 } CO_2 \text{ 몰수}}{\text{소비된 } O_2 \text{ 몰수}}$$

$$\therefore RQ = \frac{e'}{b'}$$

그러므로 버섯별, 성장단계별로 실험실적 조건에서 호흡율을 측정하여 DB화할 필요가 크며, 이를 활용하여 버섯 재배사의 환기시스템에 적용함으로써 생산성의 극대화를 기대한다. 예로서, 느타리 버섯 균사가 영양성장(활착) 할 때나 생식성장(버섯)을 할 때 산소를 넣어 주고 탄산 가스를 빼주는 이유는 균사와 버섯의 호흡시 필요한 산소를 넣어주고, 또 호흡시 발생하는 이산화탄소를 제거해 주는 것이다. 본 연구에서는 일반적 버섯재배 환경인자(온도, 습도, 햇빛)에 대하여는 다음 그림 1과 같이 기존의 다른 버섯 연구가들의 연구결과를 활용하였으며, 국내에서 연구가 전무한 버섯별 생육단계별 호흡율(RQ)을 국내 최초로 측정하여 버섯재배에 적용하였다.

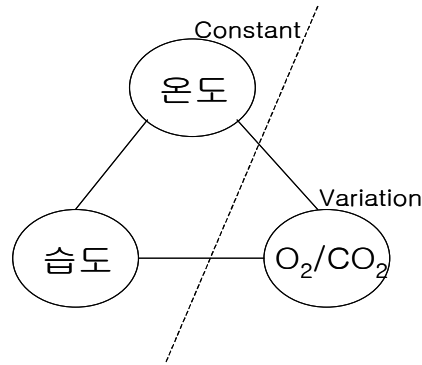


그림 1. 버섯 재배 환경 인자 개념도

연구 대상 버섯은 시장 규모가 큰 식용버섯 4종류(느타리, 팽이, 양송이, 새송이버섯) 및 값이 비싸면서도 시장규모가 큰 약용버섯 4종류(영지, 동충하초, 꽃송이, 상황 버섯)이었다. 실험실적 조사항목은, 8가지 버섯의 성장단계에서 이산화탄소에 크게 의존하지 않는 균사배양단계 및 발아단계를 제외하고, 이산화탄소의 농도에 민감한 생육단계(초기, 중기, 후기) 및 수확후 저장단계에 대하여 각각의 호흡율을 측정하였다. 또한, 버섯별 생육단계별 호흡율을 버섯 8가지(느타리, 팽이, 양송이, 새송이버섯, 영지, 동충하초, 꽃송이, 상황 버섯)를 현재 전문으로 생산하고 있는 개별 버섯 재배 농가에 각각 접촉하였다. 각 농가에서 생산되는 버섯이 생육단계별로 호흡율을 제어한 경우와 제어하지 않은 경우를 비교 평가함으로써 버섯의 생육단계별 호흡율 제어가, 버섯 생산량 증대에 긍정적 효과를 검증하였다.

호흡율 측정장치를 개발하기 위하여 본 연구의 주관연구기관이 보유하고 있는 산소 센서 제작기술을 활용하여 이산화탄소의 농도 변화에 민감하지 않은 산소센서를 자체에서 개발하였으며, 이산화탄소 센서는 국산 및 수입품을 활용하여 제품의 가격과 안정성을 복합적으로 고려하여 개발하였다. 산소와 이산화탄소를 개별센서로 측정하여 이를 수치화하고 그의 비를 나타내는 호흡율을 연속으로 표시 및 저장하는 장치를 개발하였다.

즉,

$$RQ = \frac{(+ \frac{dCO_2}{dt})}{(- \frac{dO_2}{dt})}$$

이때 'dt'는 각 버섯별 생육단계에 해당하는 시간이며, 데이터는 PC 컴퓨터와 연계하여 연속으로 전산 처리되도록 한다.

측정한 버섯별 호흡율의 실험실적 수치를 전문 농가에 실증 시험하여 호흡율을 제어한다. 호흡율 제어를 위하여 외부에서 산소발생기로 산소를 공급 또는 환기하거나 이산화탄소를 제거하기 위하여 환풍기 등을 사용하는 방안을 실험실적 조건에서 최적화한 후에, 농가 실증 조건에서 경제적·기술적으로 안정화한다.

제 2 장 국내외 기술개발현황

버섯은 세계적으로 약 8,000여종이 존재하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들 중 대부분은 아직 개발되지 않고 있어 앞으로 이 분야의 개발 가능성이 풍부하다고 할 수 있다. 버섯의 이용분야는 식용과 약용으로 구분할 수 있는데 최근에는 약용적인 면에서 관심이 더욱 커지고 있다. 버섯에 항암 성분이 있다는 사실이 연구결과 밝혀지면서 식용, 약용버섯 등에 대한 관심이 매우 높아졌다. 우리나라에서 식용버섯으로 이용되고 있는 것은 느타리버섯이 약 70%로 가장 많고, 1960년대부터 재배되어왔던 우리나라 버섯의 효시인 양송이가 약 5%, 1990년대부터 병재배 자동화 시스템으로 대량생산하게 된 팽이버섯이 약 5%, 맛과 향이 뛰어나 최근 인기가 있는 새송이버섯은 학문적 분류로는 느타리버섯의 일종이지만 상품명으로 새송이로 널리 알려진 새송이가 약 5%를 차지한다. 예로써, 큰느타리버섯은 1950년대에 이미 재배에 관한 연구로 인공재배에 성공하였으나, 대량생산체계의 구축은 1990년대 초의 일로 비교적 최근에 재배가 활발해졌다. 원산지가 유럽대륙의 지중해연안과 남부독일의 반건조한 스텝기후지역이며 동양권내로의 도입이 늦어 1990년대 초에 대만에 먼저 도입되었고, 일본과 한국, 중국이 순차적으로 도입하였다. 현재 재배기술 분야는 한국이 앞서고, 기초연구나 육종은 일본이 우위에 있다는 것이 대체적인 시각이다. 국내에는 1995년 처음 도입된 비교적 새로운 버섯이고, 우수한 상품성과 맛으로 폭발적 생산량의 증가세 (6,000톤('02)→33,000톤('04))(농림부 특용작물생산실적, 2004)를 보여 왔다.

본 연구개발의 목표인 호흡율을 제어하여 재배사의 대기 환경을 제어하고자 하는 시스템은 현재 개발된 예가 전무하며, 국내의 재배사 환기 설비 업체인 이플러스티가 농업진흥청의 농업기계화 연구소와 공동으로 온실 및 버섯 재배사용 통합 환경측정 시스템 개발에 관한 연구를 2003년에 수행하였다. 본 연구는 자동차 배기가스 분석기를 응용하여 버섯 재배사용 탄산가스 측정기를 개발하여 재배사 내부의 이산화탄소 농도를 측정하여 환기시기를 결정하도록 구성되어 있다. 또한, 대풍테크는 전주대학교와 공동으로 느타리 버섯 재배 환경 자동제어 장치 개발에 관한 연구를 2002년 수행하였다. 본 연구를 통하여 온도, 습도, 환기를 제어하고 오존으로 버섯재배사 살균 소독하는 장치를 개발하였다. 환기 제어를 위하여 이산화탄소 제어 장치를 설계하였다. 재배사의 실증 연구를 통하여 개발한 시스템이 온도 및 습도 제어에 우수하

였으며 오존 처리한 경우에 보다 높은 버섯의 생산성을 나타내었다. 이산화탄소의 농도를 30분마다 측정하여 재배사 내의 농도변화를 구하였으나 본 연구와 같은 생육 단계별 호흡을 제어하는 무관한 연구였다. 진희엔지니어링은 2001년에 온도 및 습도 조절을 위하여 지하수와 Fan, Duct, Nozzle 등으로 값싸고 간단하게 버섯사를 설계하였다. 이산화탄소를 측정하여 환기할 수 있는 환기 조절기를 개발하였으나, 본 연구와 같은 생육 단계별 호흡을 연구하는 무관하였다. 따라서 본 연구개발은 국내외적으로 연구 및 개발된 예가 없기 때문에 본 기술개발의 의미는 한층 크다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 호흡율 측정 시스템 개발

1. 센서성능평가 및 적용기술개발

국내에서 본 연구의 주관기관이 판매중인 산소센서를 이용하여 이산화탄소에 의한 간섭현상을 최소화하고 사용수명을 연장시키기 위해 산소센서의 내부 구조와 전해액 조성을 재조정하였다. 이산화탄소센서는 국내에서 개발한 제품과 외국산을 비교 평가하여 값싸고 안정된 제품을 선정하였다. 실내환경의 산소농도를 측정하기 용이한 공간을 확보하고, 센서의 형태와 크기를 변형하여 적용시키는 기술을 개발하였다. 적용되는 산소센서는 0~30% 범위의 농도에서 안정적이고 정밀하게 측정할 수 있도록 개발하였다. 이산화탄소센서는 측정범위가 0~20%를 갖는 비분산형 적외선 흡수방식(NDIR)을 이용한 센서를 버섯재배사에 적합하게 개선하여 적용시키는 기술을 개발하였다.

본 연구에 적용된 센서는 기존 센서의 구조 및 성능을 개선하기 위하여 자체 센서제조기술을 종합적으로 활용하여 개발한 제품으로 센서의 성능은 세계기술과 유사한 성능을 보였다.

2. 계측시스템 제어 Software 개발

센서의 출력을 저장할 수 있는 Protocol을 설계하고, Digital Analog Converter 통신 기능설계, 센서의 교정 및 보정(Adjust & Calibration)기능을 가지는 소프트웨어를 개발하였다. 이산화탄소발생속도($+\frac{dCO_2}{dt}$)를 산소소모속도($-\frac{dO_2}{dt}$)로 나눔으로써 구한 호흡율을 실시간으로 측정 및 저장하는 소프트웨어를 구성하기 위하여 센서모듈의 출력신호를 A/D Converter를 통하여 Digital 신호로 변환하여 컴퓨터로 수신하였다. 센서모듈의 출력신호에 따라 산소 및 이산화탄소의 농도가 표시되며, 기설정된 버섯별 생육단계별 호흡율에 따라서 버섯 재배사 내의 산소농도를 일정하게 유지할 수 있도록 Fan과 산소발생기를 ON/OFF 제어할 수 있는 Software를 개발하였다. 개

발된 Software는 그림 2와 같이 하나의 화면을 통하여 측정내용의 입력뿐 아니라 센서의 현재 상태를 알 수 있는 기능도 있어서 장기간 사용시 센서의 출력신호 감소에 따른 문제점을 보완하며, 센서의 오작동을 방지하도록 하였다. 각 측정 항목은 시간에 따라서 Text파일의 형태로 저장되어 측정내역의 D/B화를 이룰 수 있도록 하였다.

제어시스템은 그림 3과 같이 도시하였다.



그림 2. 호흡을 측정 시스템의 메인화면

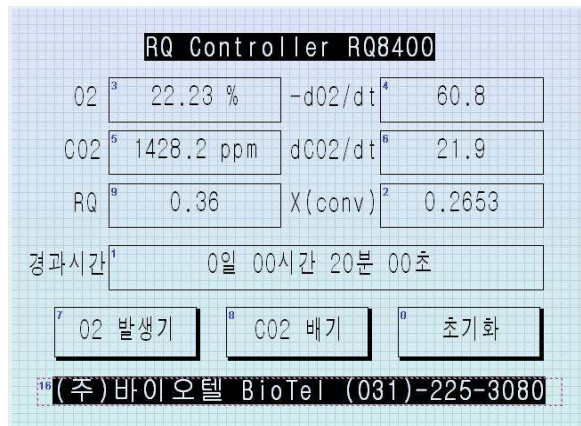


그림 3. 호흡을 제어 시스템의 메인 화면

3. 버섯 호흡율 측정 장치 시제품 제작

버섯의 호흡율 측정 장치는 그림 4와 같이 제작하였다. 센서모듈에서 출력되는 신호의 특성을 분석하여 시스템용 회로를 설계하여 센서와 대응구조를 가지는 측정 및 제어시스템을 개발하고 시스템은 소형·경량화 구조로 설계하고, Analog 전압처리부분이 최단/최소화시켜 발열요인과 발열량을 감소시켜 온도에 대한 Drift를 $\pm 5\%$ 이내로 유지할 수 있도록 하였다. 개발된 시스템은 Pre Amp. 및 출력용 Amp. 등에 의한 높은 증폭이 필요없이 비교적 낮은 전압을 내부에서 취급하고 이를 A/D Converter를 이용하여 디지털 프로세서로 변환하여 신호전류 손실이 적은 저전력 소비구조로 설계하였다. 센서모듈의 출력 값을 받아들여 이를 가스농도로 전환하여 주는 시스템용 회로를 설계하여 구성하였으며, 버섯재배사 내부의 여러 지점의 시료공기에 대하여 산소 및 이산화탄소 농도를 측정함으로써 재배사내의 농도 불균형으로 인한 피해를 최소화하였다. 센서와 계측부를 통합한 버섯 호흡율 측정장치 시제품을 제작하였다(그림 4). 이의 응답속도와 시간에 따른 출력 전류값의 안정성을 평가하였다. 개선된 장치를 그림 5의 Chamber와 같은 밀폐된 버섯 재배 실내공간에 설치하고, 이에 대한 성능을 현장 평가하였다. Chamber 내부에 Air Bubbler를 설치하여 내부공기를 흡입하여 외부로 유출하면서 산소 및 이산화탄소 측정로를 통과하게 하였다. 본 기술개발을 통하여 확립된 계측 및 제어시스템에 대한 구조를 특허출원 함으로써 지적 소유권을 확보할 예정이다.



그림 4. 버섯 호흡율 측정 장치

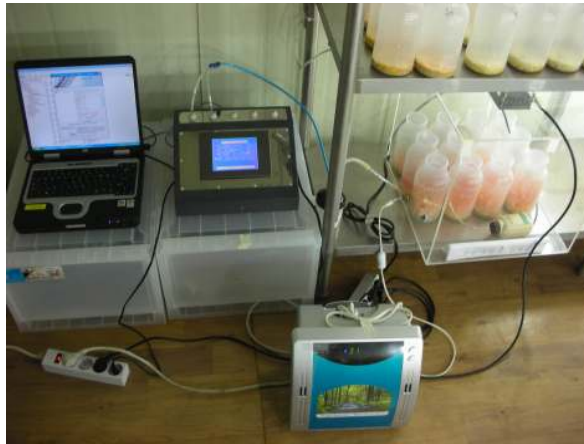


그림 5. 버섯 호흡율 측정 장치의 성능 평가

제 2 절 식용 및 약용 버섯의 생육단계별 호흡을 측정

1. 느타리 버섯

느타리 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 각각 그림 6 및 그림 7과 같았다. 느타리버섯 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 균사배양 초기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 184.75ppm이며 1병당 11.55ppm/min.이고 1시간에 692.8ppm/1병이므로 배양실에 2,500병이 있다면 173,203ppm/1시간의 이산화탄소가 발생한다. 그러므로 배양초기에 배양실내 적정 이산화탄소함량인 600 ± 100 ppm으로 맞추기 위해서는 신선한 공기가 배양실로 얼마만큼 유입되어야 하는 가를 계산식으로 나타낼 수 있는 것이다.

균사배양 중기는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 185.8ppm이며 1병당 11.62ppm/min.으로 배양초기보다 호흡량이 약간 많다가 배양이 진행됨에 따라 호흡량이 감소하였다. 버섯생육초기는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 154.5ppm이며 1병당 9.66ppm/min.이고 1시간에 579.4ppm/1병이었다. 버섯생육중기단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 148.1ppm이며 1병당 9.26ppm/min.이고 1시간에 555.4ppm/1병이었다. 버섯생육말기단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 157.1ppm이며 1병당 9.82ppm/min.이고 1시간에 589.1ppm/1병이었다. 버섯 수확후 단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 101.6ppm이며 1병당 6.35ppm/min.이고 1시간에 381ppm/1병이었다.

그림 6에 요약한 바와 같이 버섯 균사배양에서 생육, 수확단계까지 전체 경시적인 변화를 보면 배양초기와 중기에 가장 높고 점차 감소하다가 생육초기보다 말기 쪽이 조금씩 호흡량이 증가하다가 수확 후에 급속하게 감소하는 경향이였다.

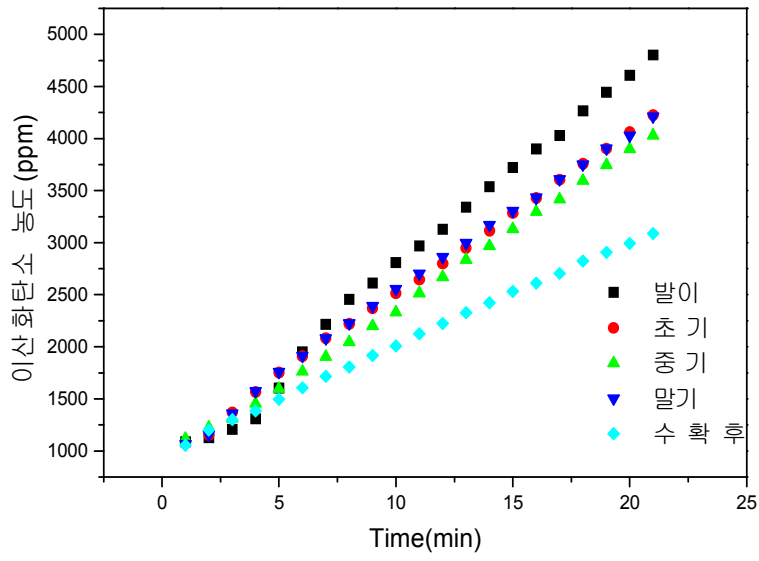


그림 6. 느타리 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량

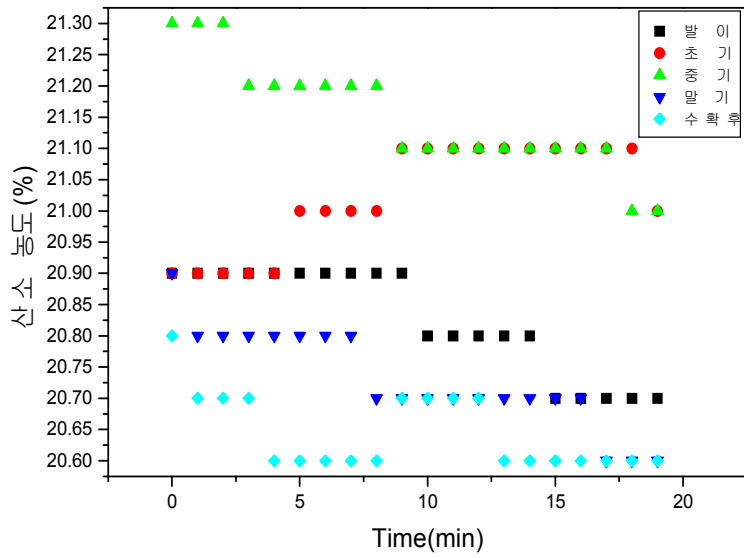


그림 7. 느타리 버섯의 시간에 따른 산소 소모량

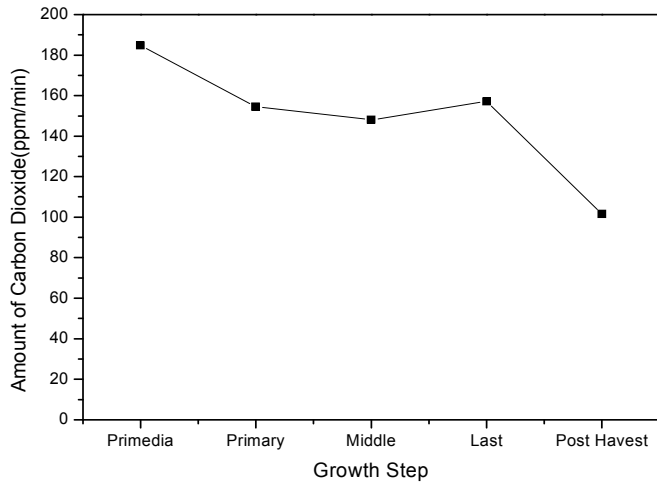


그림 8. 느타리 버섯의 생육단계별 이산화탄소 소모량 분포.

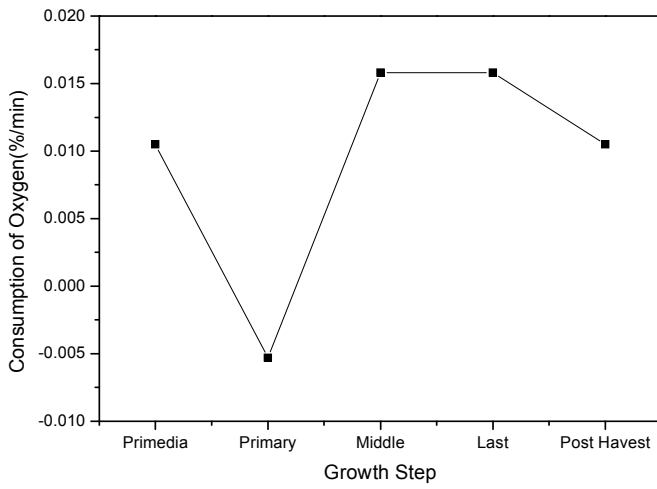


그림 9. 느타리 버섯의 생육단계별 산소 소모량.

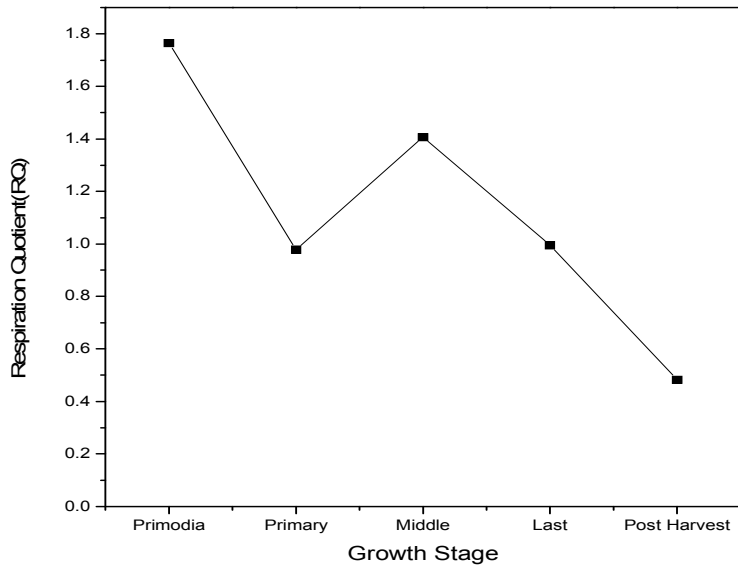


그림 10. 느타리 버섯의 생육단계별 호흡율 분포도.



그림 11. 느타리 버섯의 생육단계별 호흡율 조사 현황도

2. 새송이 버섯

새송이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 각각 그림 12 및 그림 13와 같았다. 새송이 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 군사배양 초기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 262.1ppm이며 1병당 16.4ppm/min. 이고 1시간에 984ppm/1병이므로 배양실에 2,500병이 있다면 2,460,000ppm/1시간의 이산화탄소가 발생한다. 그러므로 배양초기에 배양실내 적정 이산화탄소함량인 600 ± 100 ppm으로 맞추기 위해서는 신선한 공기가 배양실로 얼마만큼 유입되어야 하는가를 계산식으로 나타낼 수 있는 것이다. 군사배양 중기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 211.6ppm이며 1병당 13.2ppm/min.으로 배양초기에 호흡량이 많다가 배양이 진행됨에 따라 호흡량이 감소하였다.

버섯발이단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 116.2ppm이며 1병당 7.26ppm/min.이고 1시간에 435.75ppm/1병이었다. 버섯생육초기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 156.7ppm이며 1병당 9.79ppm/min.이고 1시간에 587.63ppm/1병이었다. 버섯생육중기단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 169.8ppm이며 1병당 10.61ppm/min.이고 1시간에 636.75ppm/1병이었다. 버섯생육말기 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 199.2ppm이며 1병당 12.45ppm/min. 이고 1시간에 747ppm/1병이었다. 버섯 수확후 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 94.5ppm이며 1병당 5.91ppm/min.이고 1시간에 그림 14에 요약한 바와 같이 새송이 버섯의 생육단계별 호흡량은 354.38ppm/1병이었다.

버섯 군사배양에서 생육, 수확단계까지 전체 경시적인 변화를 보면 배양초기에 가장 높고 점차 감소하다가 생육초기보다 말기 쪽이 조금씩 호흡량이 증가하다가 수확 후에 급속하게 증가하는 경향이였다.

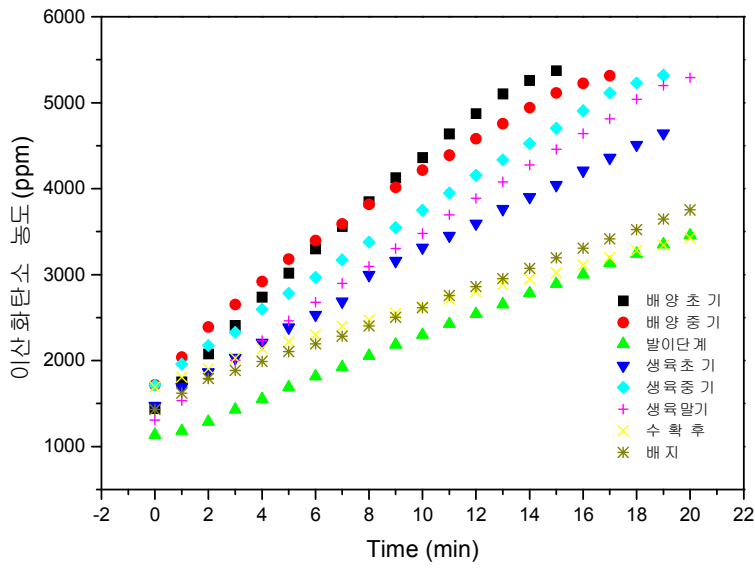


그림 12. 새송이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량

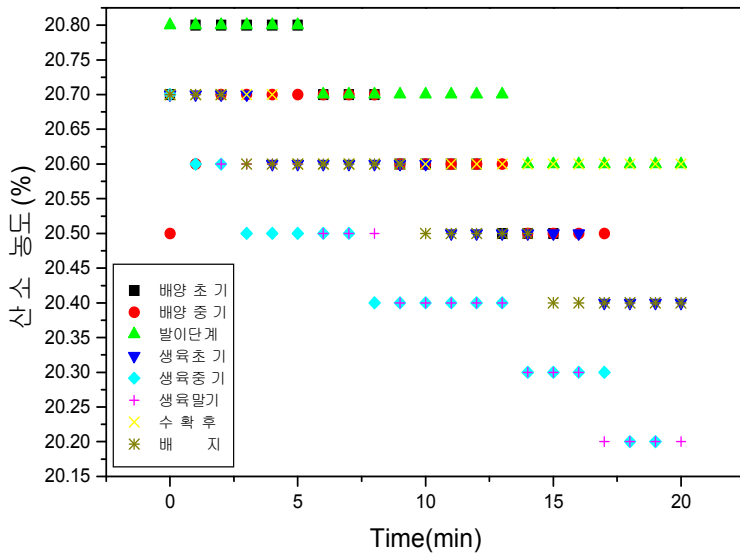


그림 13. 새송이 버섯의 시간에 따른 산소 소모량

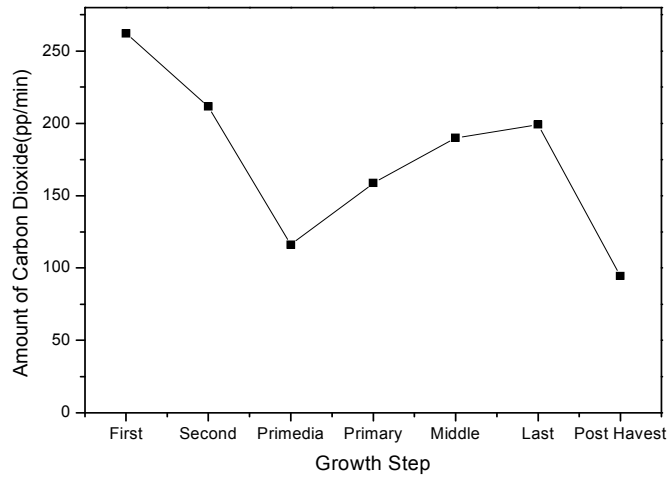


그림 14. 새송이 버섯의 생육단계별 호흡량 분포도.

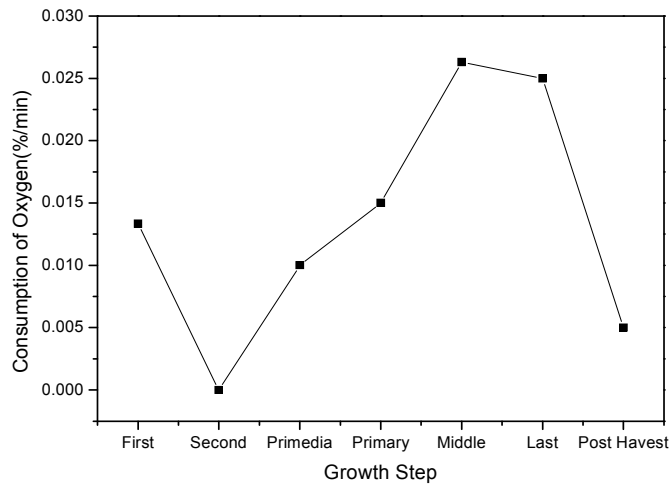


그림 15. 새송이 버섯의 생육단계별 산소 소모 분포도.

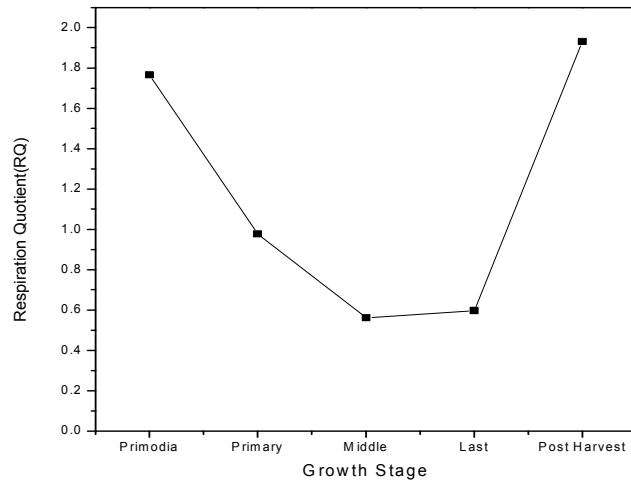


그림 16. 새송이 버섯의 생육단계별 호흡율 분포도.

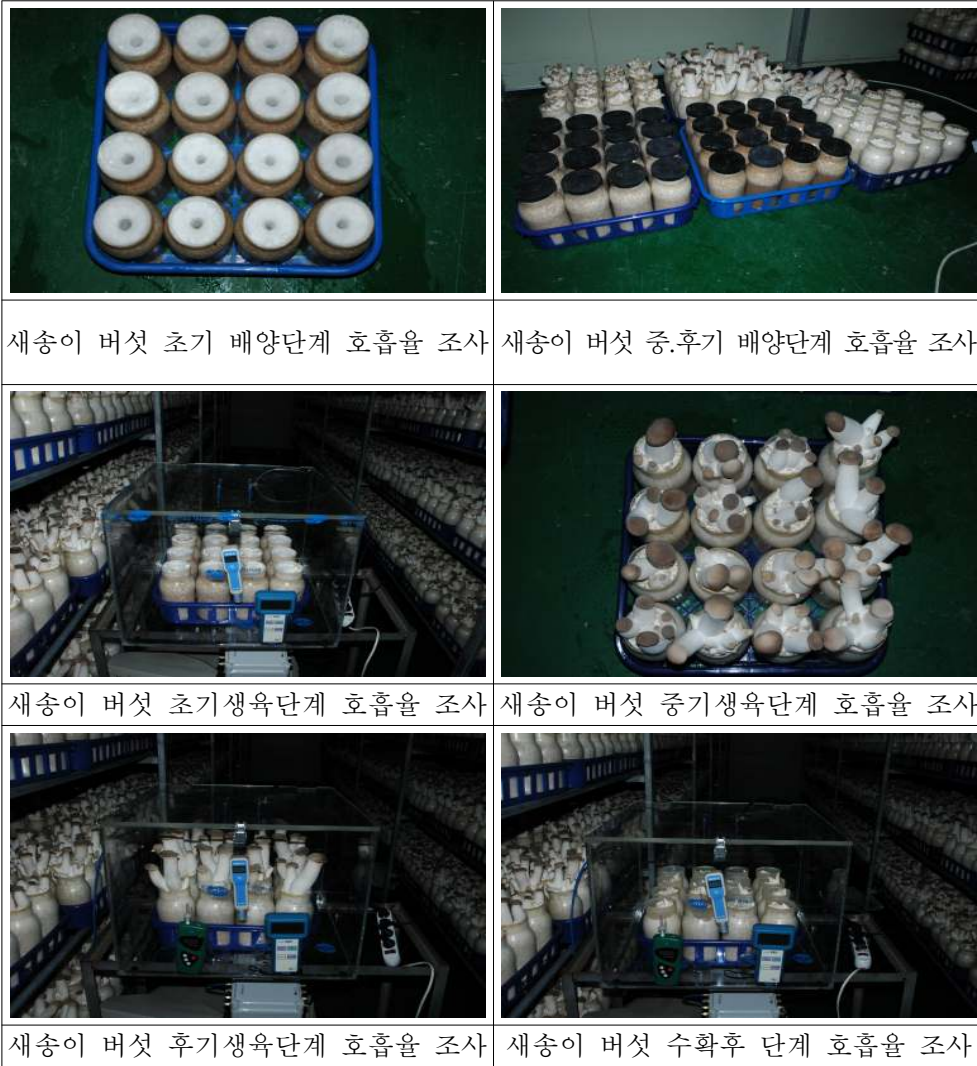


그림 17. 새송이 버섯의 생육단계별 호흡율 조사 현황도.

3. 팽이 버섯

팽이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 각각 그림 18 및 그림 19와 같았다. 팽이버섯의 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 군사배양 초기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 198.9ppm이며 1병당 12.43ppm/min. 이고 1시간에 745.88ppm/1병이므로 배양실에 2,500병이 있다면 1,864,687ppm/1시간의 이산화탄소가 발생한다. 그러므로 배양초기에 배양실내 적정 이산화탄소함량인 600 ± 100 ppm으로 맞추기 위해서는 신선한 공기가 배양실로 얼마만큼 유입되어야 하는가를 계산식으로 나타낼 수 있는 것이다. 군사배양 중기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 260.9ppm이며 1병당 16.31ppm/min.으로 배양초기 호흡량보다 배양이 진행됨에 따라 호흡량이 증가하였다. 군사배양 후기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 273ppm이며 1병당 17.1ppm/min.으로 배양초기, 중기 호흡량보다 배양이 진행됨에 따라 호흡량이 증가하였다. 버섯발이초기 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 115ppm이며 1병당 7.19ppm/min.이고 1시간에 431.3ppm/1병이다. 버섯발이초기 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 115ppm이며 1병당 7.19ppm/min.이고 1시간에 431.3ppm/1병이다. 버섯발이중기 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 87.1ppm이며 1병당 5.4ppm/min.이고 1시간에 326.6ppm/1병이다. 버섯발이후기 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 75ppm이며 1병당 4.69ppm/min.이고 1시간에 281.3ppm/1병이다. 발이초기에서 후기로 갈수록 호흡량이 감소하는 경향을 나타내었다. 버섯생육초기는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 115ppm이며 1병당 7.19ppm/min.이고 1시간에 431.3ppm/1병이었다. 버섯생육중기단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 151ppm이며 1병당 9.44ppm /min.이고 1시간에 566.3ppm/1병이었다. 버섯생육 후기단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 169ppm이며 1병당 10.56ppm/min.이고 1시간에 633.8ppm/1병이다. 생육초기보다 후기로 갈수록 호흡량이 증가하는 경향을 보였다.

버섯 수확 후 단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 64.6ppm이며 1병당 4.03ppm/min.이고 1시간에 242.3ppm/1병이었다. 버섯 군사배양에서 생육, 수확단계까지 전체 경시적인 변화를 보면 배양초기 보다 후기로 갈수록 높아지며, 발이단계는 초기에서 후기로 갈수록 점차 감소하다가 생육초기에서 후기로 갈수록 조금씩 호흡량이 증가하다가 수확 후에 급속하게 감소하는 경향이였다.

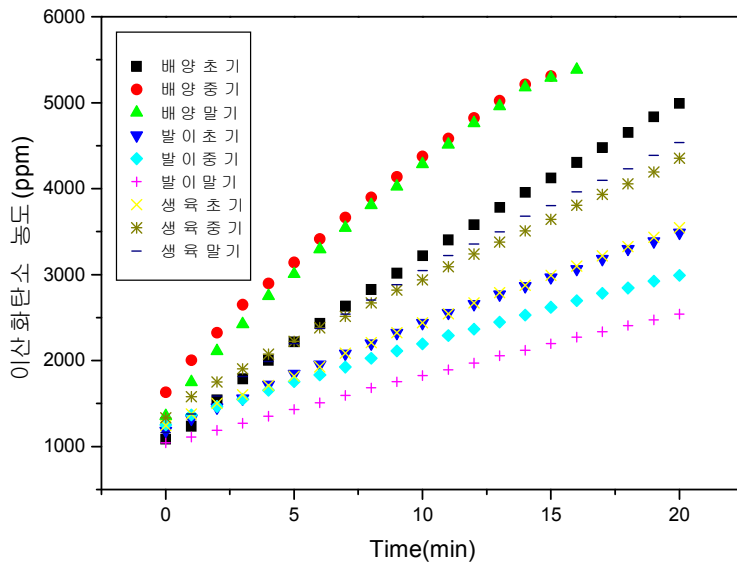


그림 18. 팽이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량

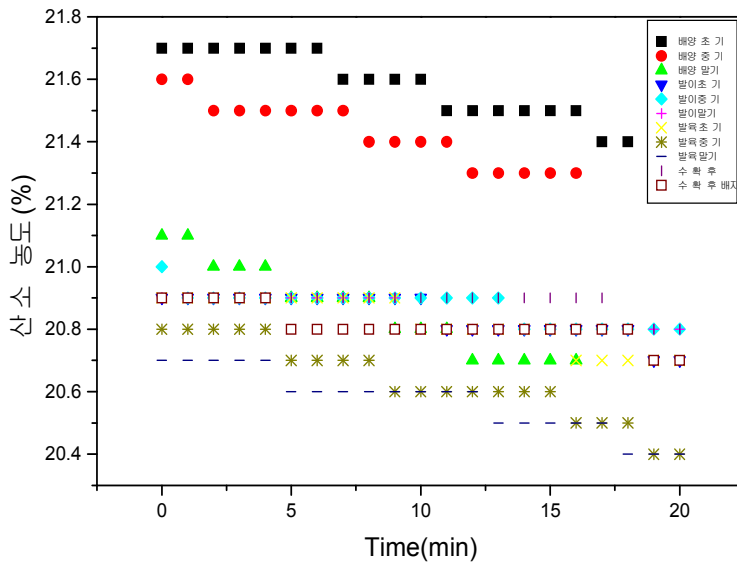


그림 19. 팽이 버섯의 시간에 따른 산소 소모량

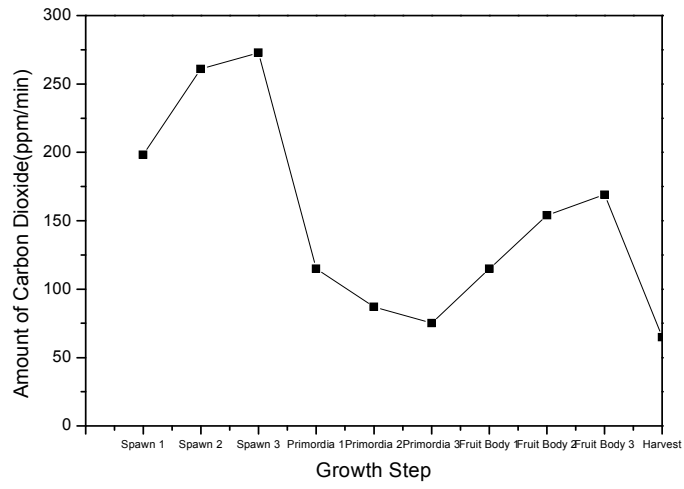


그림 20. 팽이 버섯의 생육단계별 호흡량 분포도.

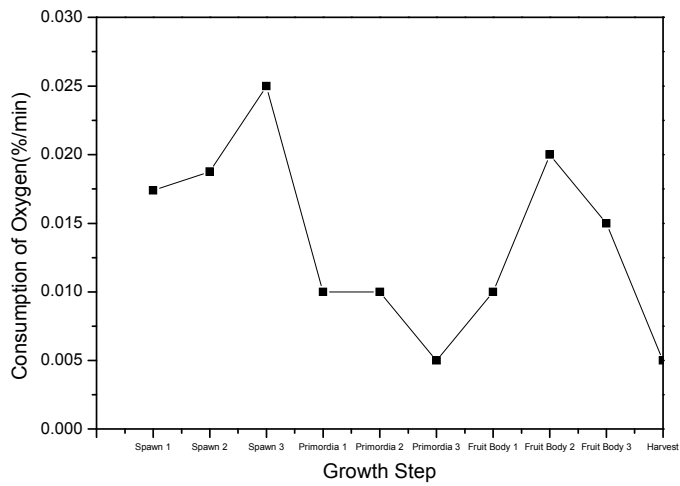


그림 21. 팽이 버섯의 생육단계별 산소 소모 분포도.

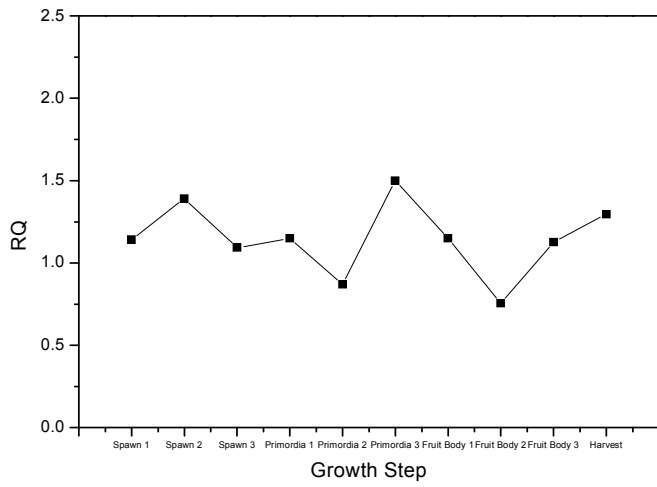


그림 22. 팽이버섯의 생육단계별 호흡율 분포도.



그림 23. 팽이버섯의 생육단계별 호흡율 조사 현황도

4. 양송이 버섯

양송이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 그림 24 및 그림 25와 같았다. 양송이 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 생육초기 단계는 45×45cm에서 1분당 호흡량이 98.1ppm이고 1평에 1,569.6ppm의 이산화탄소가 발생하였다. 생육중기는 850cc병 45×42cm에서 1분당 호흡량이 36.6ppm(45×45cm)으로 1평에 585.6ppm의 이산화탄소가 발생한다. 양송이 생육초기에 비하여 중기에 현저히 호흡량이 감소하였다. 생육후기는 850cc병 45×42cm에서 1분당 호흡량이 100.4ppm(45×45cm)으로 1평에 1,606.4ppm의 이산화탄소가 발생한다. 양송이 생육초기에 비하여 중기에 현저히 호흡량이 감소하였다가 후기에 증가하는 경향이 있었다. 생육과정에서 수확 후 단계는 850cc병 45×42cm에서 1분당 호흡량이 64.6ppm(45×45cm)으로 1평에 1,033.6ppm의 이산화탄소가 발생하였다. 양송이 생육초기에 비하여 중기에 현저히 호흡량이 감소하였다가 후기에 증가하는 경향이 있었다.

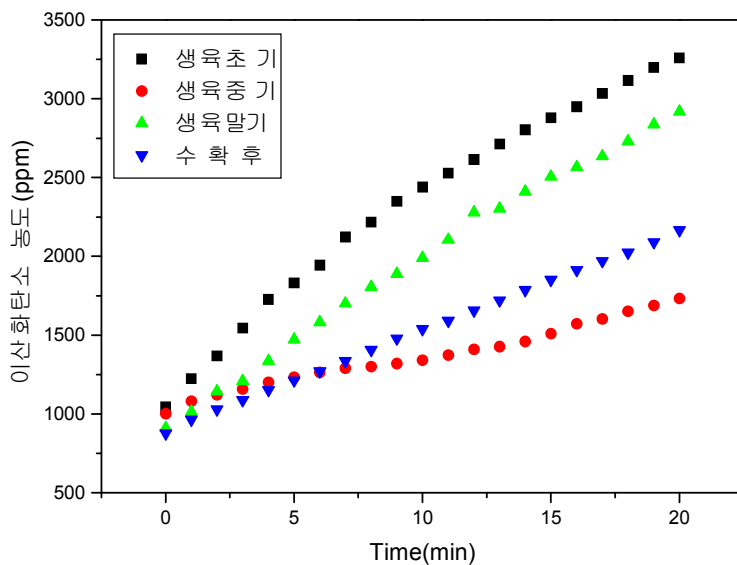


그림 24. 양송이 버섯의 시간에 따른 이산화탄소 발생량

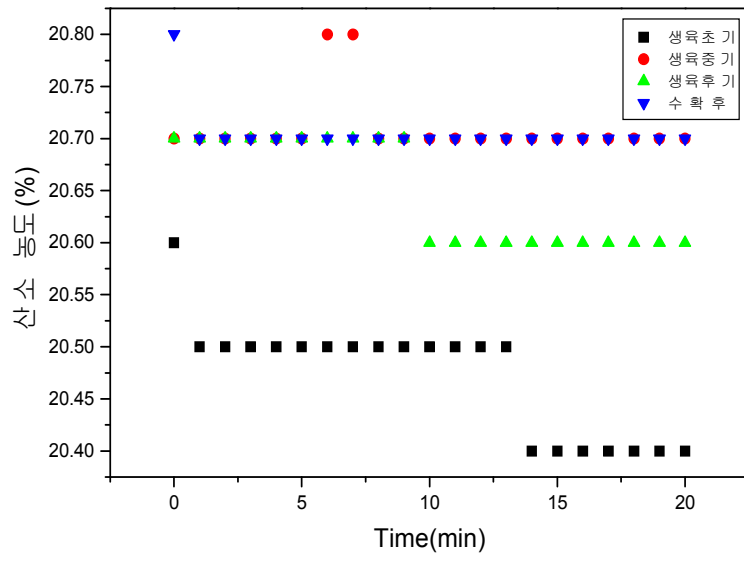


그림 25. 양송이 버섯의 시간에 따른 산소 소모량.

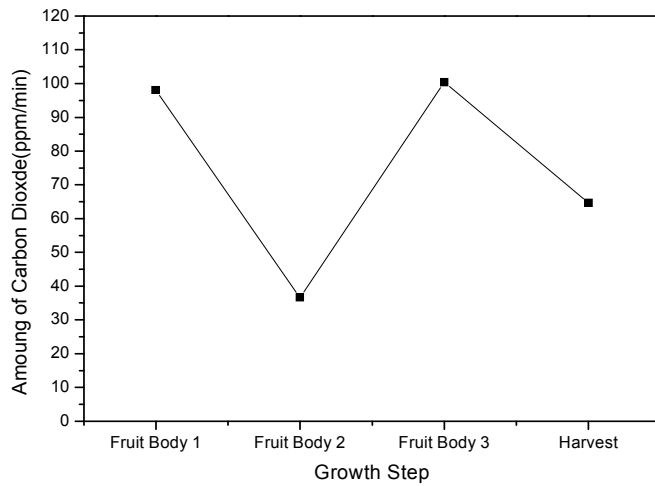


그림 26. 양송이 버섯의 생육단계별 호흡량 분포도.

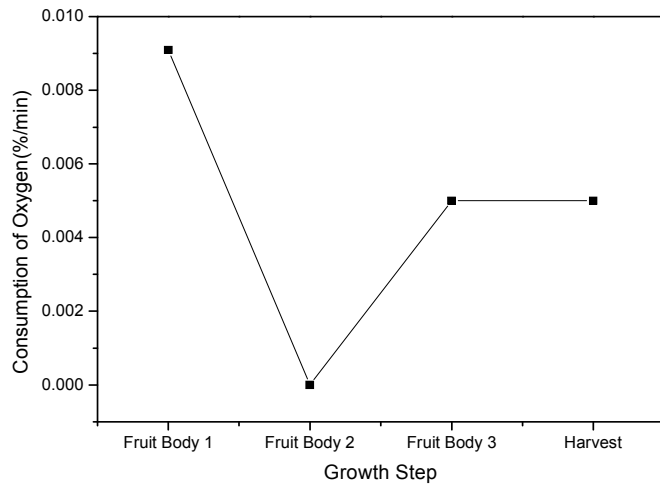


그림 27. 양송이 버섯의 생육단계별 산소 소모 분포도.



그림 28. 양송이 버섯의 생육단계별 호흡율 분포도.



그림 29. 양송이버섯의 생육단계별 호흡율 조사 현황도

5. 영지버섯

영지버섯의 생육단계에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 그림 30 및 그림 31에 나타내었다. 영지버섯의 발이단계에서는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 139.16 ppm 이었으며, 1시간에 8349.6 ppm/1목 이었다. 버섯 생육중기단계는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 31.2 ppm이며, 1시간에 1,872 ppm/1목 이었다. 영지버섯의 산소소모량은 발이단계에서는 산소소모량이 급격하게 증가하고 있으나, 생육중기에서는 0.012%/min으로 서서히 증가하는 경향을 보였다.

영지버섯의 자실체를 수확하여 포장할 때 발이단계 만큼 산소를 소모한다. 그러나 수확을 한후에는 요구하는 만큼 산소를 공급하면 오히려 자실체의 신선도가 떨어지므로 산소 소모를 억제함으로써 저장기간을 연장하고 신선도를 향상시키는데 도움이 된다. 버섯의 장기보존은 영양원 억제, 산소공급의 제한과 동결 등을 이용한다. 호기성 미생물의 대사를 지연시킬 수 있는 가장 효과적인 방법은 이용 가능한 산소의 공급을 막는 것이다. 곰팡이 균주를 간단하고 효과적으로 보존하는 방법으로서 미세알 오일을 이용하여 보존용기 내의 균사에 산소를 차단시켜 보존연장을 통상적으로 한다. 그림 28에 요약한 바와 같이 영지버섯의 생육단계별 호흡율은 발이단계에서 1.15967로 가장 높았으며, 생육 중기 단계에서 0.7800의 호흡율을 나타내었다.

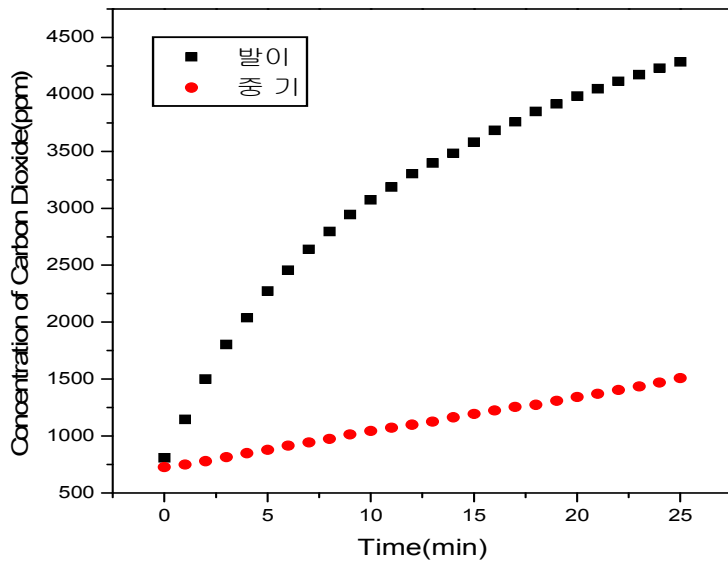


그림 30. 영지버섯의 발이단계 및 생육증기단계의 이산화탄소 발생 분포도.

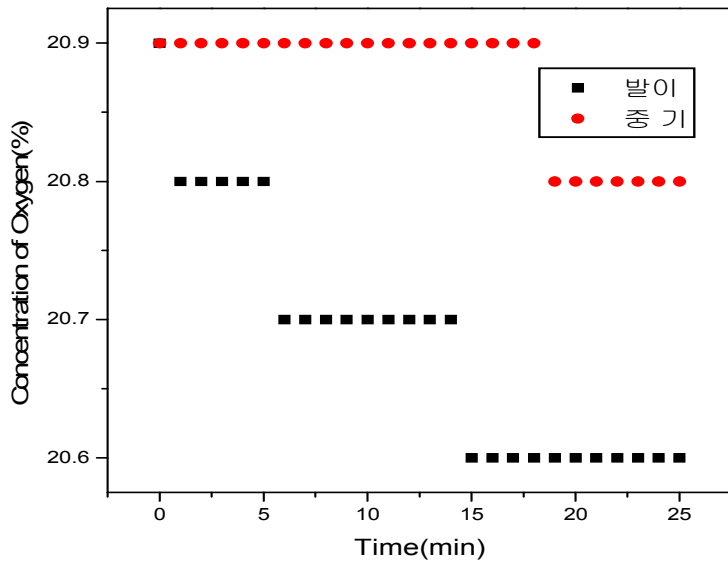


그림 31. 영지버섯의 발이단계 및 생육증기단계의 산소 소모 분포도.

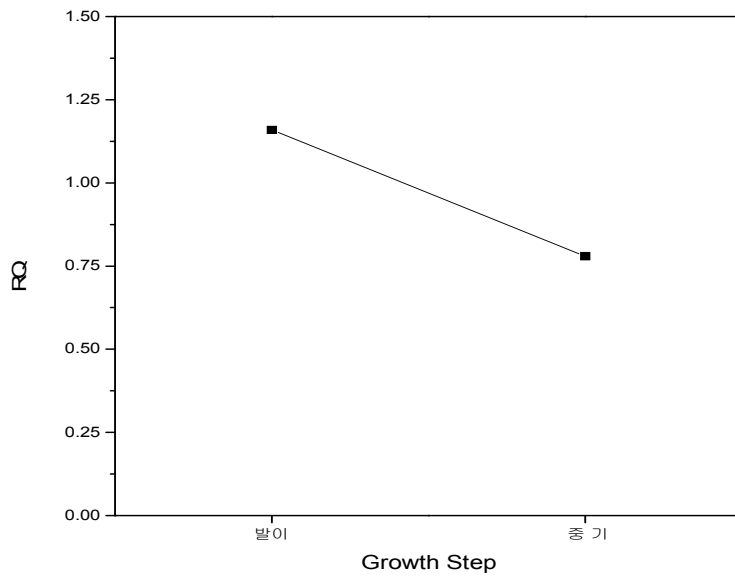


그림 32. 영지버섯의 발이단계 및 생육중기단계의 호흡율 분포도.



그림 33. 영지 버섯 재배사 내부.

6. 동충하초

동충하초의 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 이자리아는 배양단계에서 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 이산화탄소 배출량이 125.3 ppm 이었으며, 1병당 7.83ppm/min 이고, 1시간에 469.9ppm/병 이므로 배양실에 2,500병이 있다고 가정하면 1,174,687ppm/hr의 막대한 양의 이산화탄소를 배출한다. 그러므로 배양단계에서 실내 적정 이산화탄소 농도인 600 ± 100 ppm을 맞추기 위하여 환기의 정도를 알 수 있다. 또한 생육 말기 단계는 버섯생육말기단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 111.65ppm이며 1병당 6.98ppm/min. 이고 1시간에 418.69ppm/1병으로 배양단계와 생육 말기 단계의 이산화탄소 발생량에서 비슷한 경향을 보였다(그림 34). 그러나 밀리타리스는 배양단계에서 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 이산화탄소 배출량이 73.55 ppm 이었으며, 1병당 4.60ppm/min이고, 1시간에 275.81ppm/병 이므로 배양실에 2,500병이 있다고 가정하면 689,531ppm/hr의 이산화탄소를 발생한다. 또한 생육 말기 단계는 버섯생육말기단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 156.15ppm이며 1병당 9.76ppm/min. 이고 1시간에 585.56ppm/1병으로 배양단계보다 생육말기 단계에서 더 많은 이산화탄소를 배출하였다(그림 35).

동충하초의 생육단계별 산소 소모량은 그림 36 및 그림 37과 같았다. 배양단계에서 이자리아와 밀리타리스 각각 0.0105%/min, 0.0095%/min의 산소 소모량을 나타내다가 생육말기로 생육단계가 변화되면서 산소 소모량이 급격하게 상승하여 이자리아와 밀리타리스 각각 0.0158%/min, 0.019%/min로 최고 정점을 이루었다. 그러므로 동충하초 생육 일생 중 생육중기와 말기에 신선한 산소공급의 요구도가 가장 높음을 알 수 있다.

따라서, 동충하초의 생육 단계별 호흡율은 그림 38에서와 같이 이자리아는 배양단계에서 최고의 호흡율을 나타내었고, 밀리타리스는 생육 말기에서 최고 호흡율을 나타내는 경향을 나타내었다.

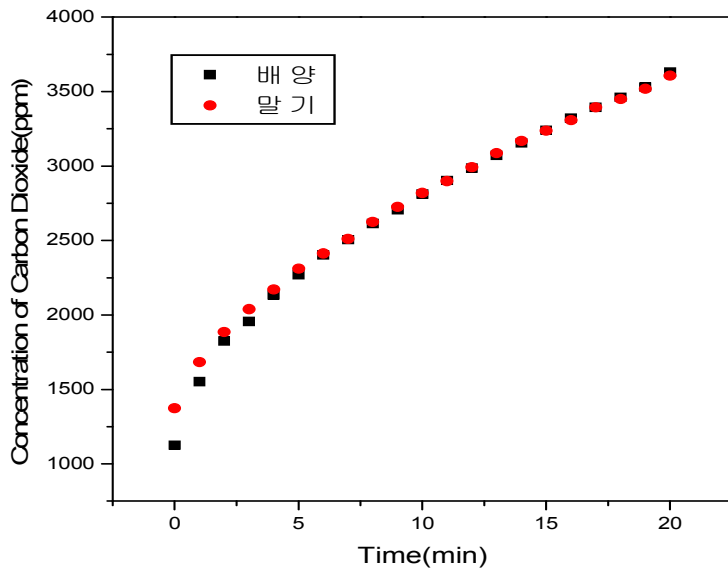


그림 34. 동충하초 이자리아의 생육단계별 이산화탄소 발생 분포도.

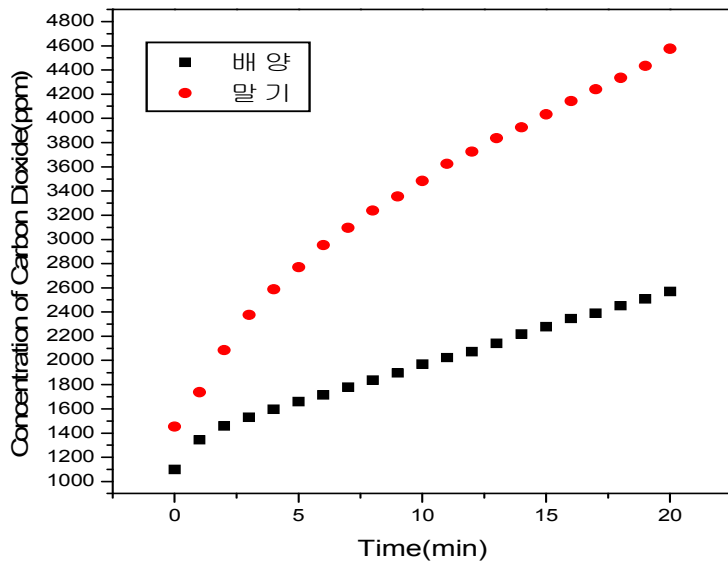


그림 35. 동충하초 밀리타리스의 생육단계별 이산화탄소 발생 분포도.

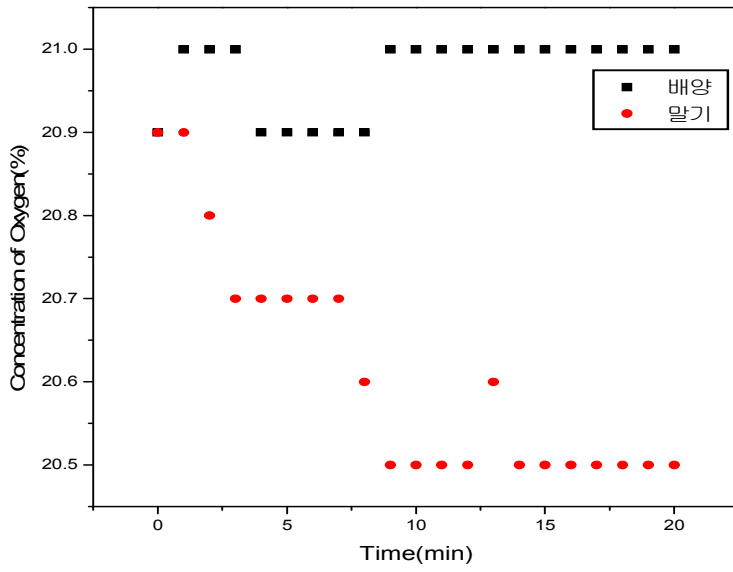


그림 36. 동충하초 이자리아의 생육단계별 산소소모 분포도.

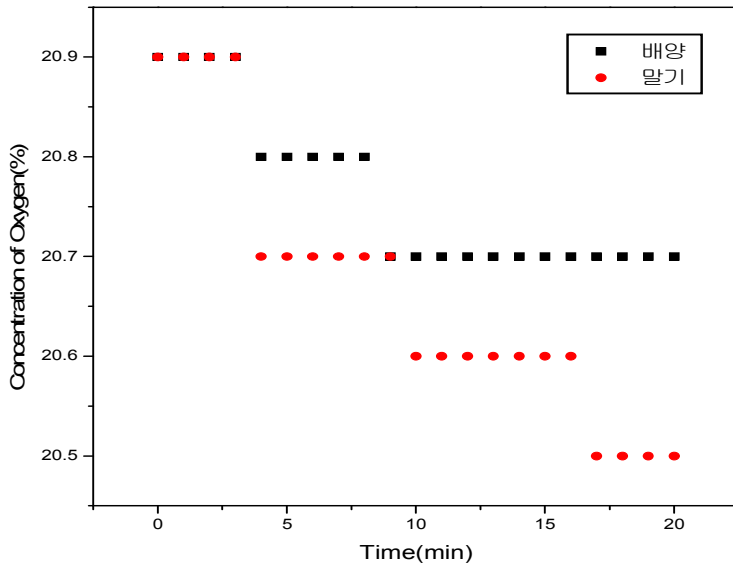


그림 37. 동충하초 밀리타리스의 생육단계별 산소소모 분포도.

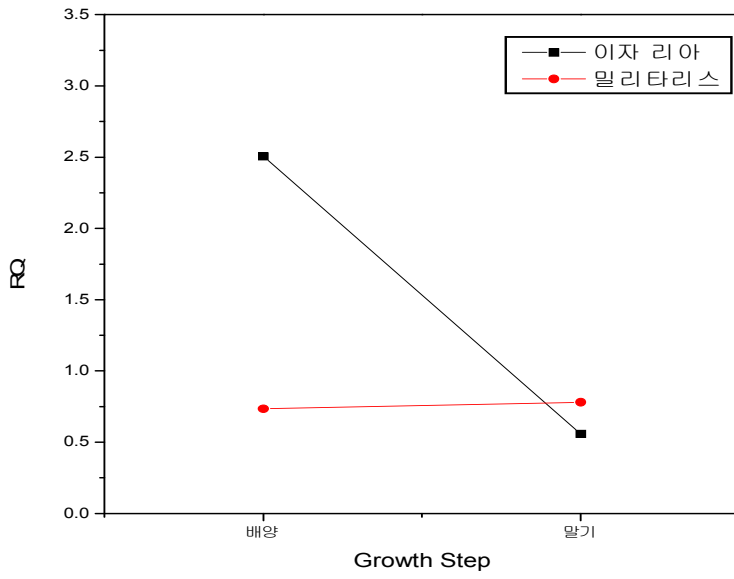


그림 38. 동충하초 미자리아 및 밀리타리스의 생육단계별 호흡율



그림 39. 현장조건의 동충하초 이자리아와 밀리타리스.

7. 꽃송이 버섯

꽃송이 생육단계별 호흡량을 측정한 결과, 군사배양단계는 850cc병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 51.9ppm이며 1병당 3.24ppm/min.이고 1시간에 194.64ppm/1병이므로 배양실에 2,500병이 있다면 486,607.1ppm/1시간의 이산화탄소가 발생한다. 그러므로 배양단계에 배양실내 적정 이산화탄소함량인 600 ± 100 ppm으로 맞추기 위해서는 신선한 공기가 배양실로 얼마만큼 유입되어야 하는 가를 정량적으로 알 수 있는 것이다. 발이단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 66.5ppm이며 1병당 4.16ppm/min.으로 배양단계보다 이산화탄소 발생량이 약간 많다가 생장이 진행됨에 따라 호흡량이 감소하였다. 버섯생육초기는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 85.4ppm이며 1병당 5.34ppm/min.이고 1시간에 320.25ppm/1병이었다. 버섯생육중기단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 128.7ppm이며 1병당 8.04ppm/min.이고 1시간에 482.6ppm/1병이었다. 버섯생육말기단계는 850CC병 16병(1बाट)에서 1분당 호흡량이 101.75ppm이며 1병당 6.36ppm/min.이고 1시간에 381.56ppm/1병이었다. 그림 40과 같이 버섯 군사배양에서 생육단계까지 전체 경시적인 변화를 보면 배양단계부터 생육중기단계까지 점차 증가하다가 생육 말기단계에 급속하게 감소하는 경향이었다. 꽃송이 버섯의 생육단계별 산소 소모량은 그림 41과 같았다. 배양단계에서 0.04%/min.의 산소 소모량을 나타내다가 생육초기 단계에서는 산소 소모량이 급격하게 저하된다. 꽃송이 생육초기에서 생육중기와 말기로 생육단계가 변화되면서 산소 소모량이 급격하게 하강하여 0.02%/min로 최고 정점을 이룬다. 그러므로 꽃송이 생육 일생 중 생육중기와 말기에 신선한 산소공급의 요구도가 가장 높음을 알 수 있다. 꽃송이 버섯의 생육단계별 호흡율은 그림 42와 같았다. 생육중기단계에서 1.287로서 꽃송이 생육 일생 중 가장 높다. 그러다가 생육말기에 생육 일생 중 가장 낮아진다. 그 이후 배양, 발이, 초기까지 0.545, 1.230, 0.854로서 거의 일정한 호흡계수를 나타내었다. 탄수화물 R.Q값은 1이고, 지방은 0.7로 알려져 있다. 버섯은 포자 발아시 부터 자실체 형성까지 여러 단계의 호흡계수가 결정되어 있다. Hou(1972) 등이 양송이의 호흡계수를 측정한 것을 보면 외부 호흡계수로 자실체 조직은 0.7, 군사는 0.93, 원기는 0.9라고 하였다. 1차년도에 호흡율을 측정한 양송이 발이단계 0.9에 비하면 꽃송이 발이단계는 1.7651로서 약 2배가 높다. 이는 꽃송이의 발이단계에 이산화탄소가 양송이 발이단계에 비하여 2배에 가깝도록 더 필요하다는 결론이었다.

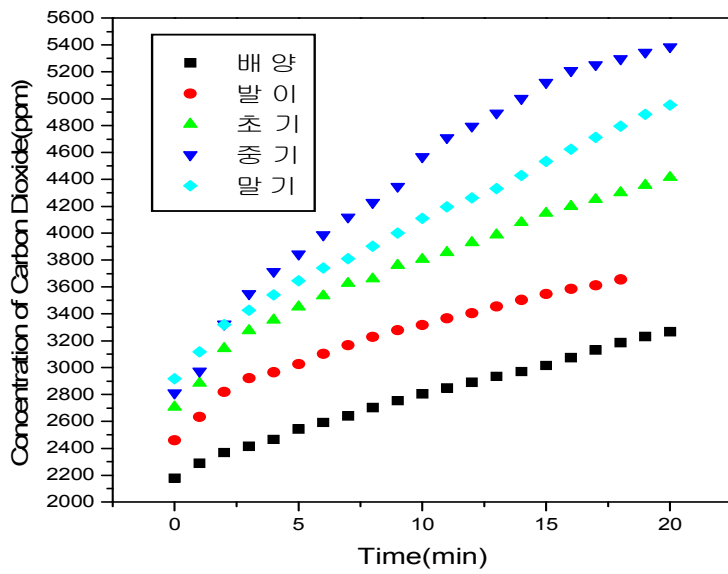


그림 40. 꽃송이 버섯의 생육단계별 이산화탄소 발생분포도.

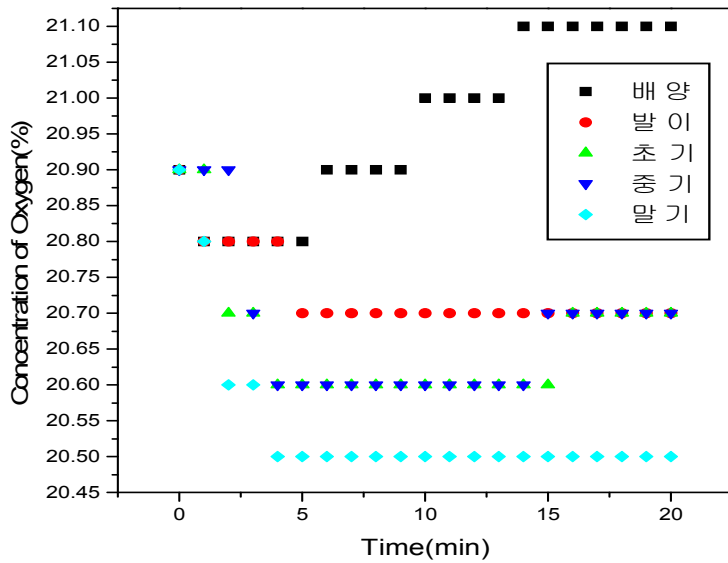


그림 41. 꽃송이 버섯의 생육단계별 산소 발생 분포도.

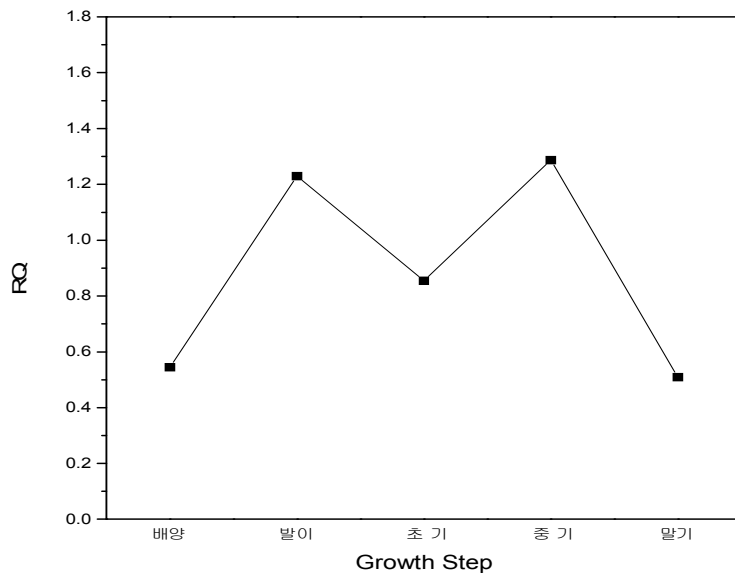


그림 42. 꽃송이 버섯의 생육단계별 호흡율의 변화도.



그림 43. 꽃송이 버섯의 현장 조건의 측정도

8. 상황버섯

상황버섯의 생육단계에 따른 이산화탄소 발생량과 산소소모량에 대한 분포도는 그림 44 및 그림 45에 나타내었다. 상황버섯의 발이단계에서는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 121.64 ppm 이었으며, 1시간에 7298.4 ppm/1목 이었다. 버섯 생육초기단계는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 12.2 ppm이며, 1시간에 732 ppm/1목 이었다. 버섯 생육중기단계는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 9.56 ppm이며, 1시간에 573.6 ppm/1목 이었다. 버섯 생육말기단계는 버섯 1목에서 1분당 호흡량이 19.56 ppm이며, 1시간에 1,173.6 ppm/1목 이었다. 상황버섯의 산소소모량은 생육단계별로 0.036%/min, 0.012%/min, 0.004%/min, 0.008%/min으로 발이단계에서 산소를 최대로 소비하며, 생육 초기부터 말기까지는 서서히 산소소모속도가 증가하는 경향을 보였다. 상황버섯의 자실체를 수확하여 포장할 때 발이단계 만큼 산소를 소모한다. 그러나 수확한 후에는 요구하는 만큼 산소를 공급하면 오히려 자실체의 신선도가 떨어지므로 산소 소모를 억제함으로써 저장기간을 연장하고 신선도를 향상시키는데 도움이 된다. 버섯의 장기보존은 영양원 억제, 산소공급의 제한과 동결 등을 이용한다. 호기성 미생물의 대사를 지연시킬 수 있는 가장 효과적인 방법은 이용 가능한 산소의 공급을 막는 것이다. 미네랄 오일은 보존용기 내의 균사에 산소를 차단시켜 보존연장을 한다고 알려져 있다. 그림 46에 요약한 바와 같이 상황버섯의 생육단계별 호흡율은 발이단계에서 0.33789%/min로 가장 높았으며, 생육 초기부터 말기까지 각각 0.10167%/min, 0.23900%/min, 0.24450%/min을 나타내는 경향을 보였다.

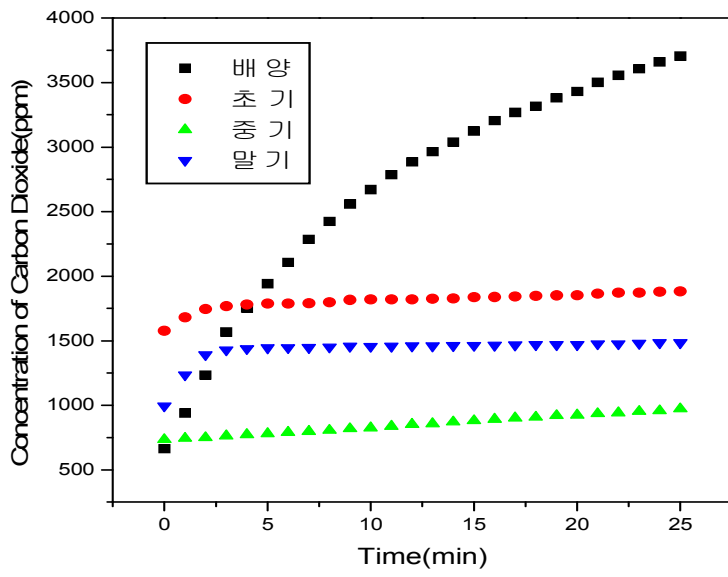


그림 44. 상황버섯의 생육 단계별 이산화탄소 분포도

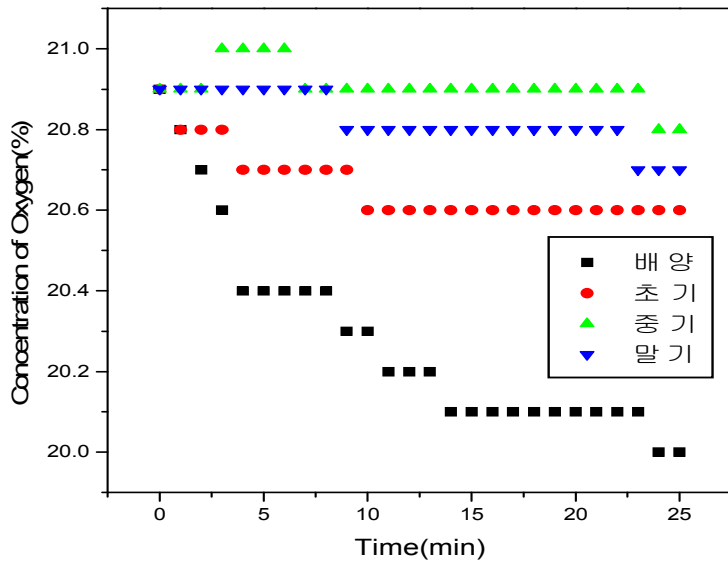


그림 45. 상황버섯의 생육 단계별 산소 소모 분포도

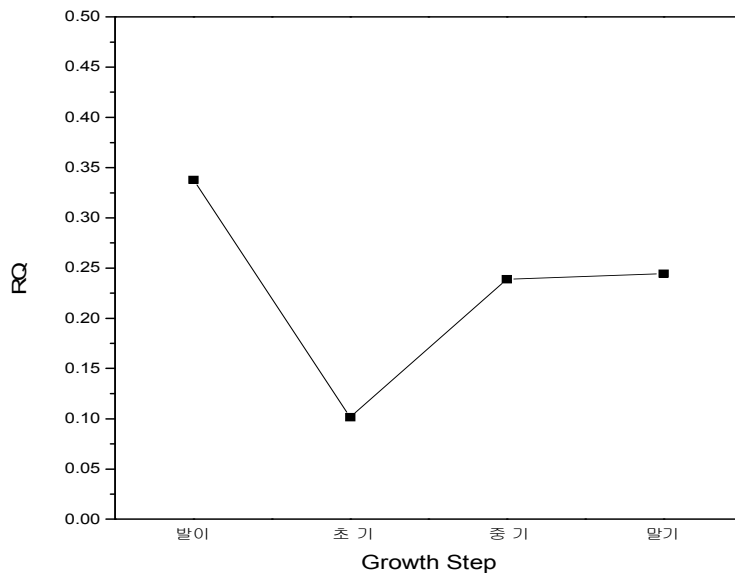


그림 46. 상황버섯의 생육단계별 호흡율.

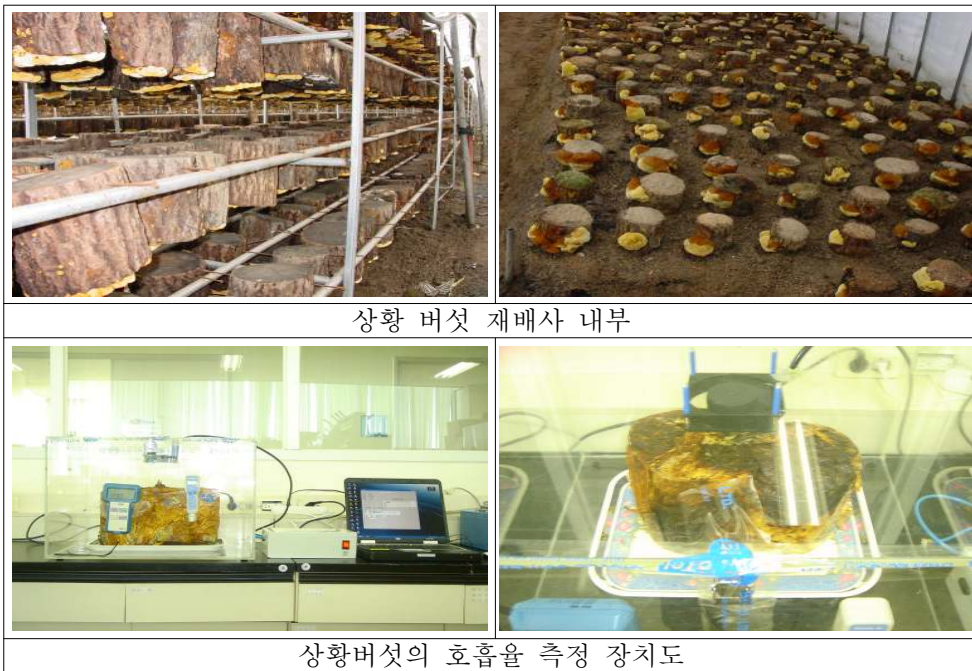


그림 47. 상황버섯의 생육 단계별 호흡율 측정 장치도

제 3 절 식용 및 약용 버섯의 현장 적용 평가

1. 느타리 버섯(Pleurotus Ostreatus)의 현장 적용 평가

생육실내 CO2농도를 500, 1,000, 1,500, 2,000ppm으로 조절한 춘추느타리 2호의 CO2 농도별 생육특성에 관하여 결과를 보았다. CO2농도별로 초발이 소요일수는 4일로 차이가 없었고, 병당 유효경수는 500ppm에서 23.4개 많았고 2,000ppm에서 16.4개로 적었다. 또한 1,500ppm 이상의 농도에서는 대가 구부러지거나 휘어지고 갓이 뒤집어지는 현상이 발생하여 품질이 떨어지는 현상을 나타내었으며 수량에 있어서 병당수량은 137.4~149.1g으로 CO2농도별로 큰 차이가 없으나, 상, 중, 하 3등급으로 자실체의 상품성 수량을 구분하여 조사해보면 500~1,000ppm범위에서 상품(上品)이 95.3~99.2g으로 1,500ppm과 2,000ppm범위보다 우수한 품질의 버섯을 생산할 수 있다. 춘추느타리2호의 생육기 CO2농도가 1,000ppm 이하의 범위가 적당하였지만, 생육기 전 기간에 걸쳐 1,000ppm 이하로 관리하면 좋은 품질의 버섯을 만들어 낼 수 없었다. 원기형성 이후 약 2일까지는 1,500~2,000ppm 정도의 범위를 유지시키면 대의 길이 생장이 이루어지며, 버섯수확 약 2일전(원기형성 3~4일후)부터 환기량을 극대화시켜 탄산가스농도를 1,000ppm 이하로 관리하는 것이 중요하였다. 만약 수확기에 접어들어 환기량이 적어 탄산가스농도가 높아지면 대가 비틀리거나 휘는 증상과 대가 늘고 약하며 갓의 생장이 억제되는 등의 탄산가스 장해 현상이 발생하였다.

또한, 생육실내부의 공조 방식은 흡기와 배기가 강제로 동시에 이루어지는 강제흡배기식 공조시스템이 생육실내부에서 발생하는 탄산가스를 신속하게 배출할 수 있었다. 1990년대 초반에 팽이버섯 재배를 목적으로 건축된 병재배사의 경우 강제흡기 자연배기 공조방식이 많다. 이러한 공조시스템의 경우 재배사 내부의 탄산가스배출이 신속히 이루어지지 않으며, 느타리버섯의 호흡량이 최대로 많아지는 생육후기에는 외부로 배출되는 양보다 생성되는 양이 많아지므로 강제흡기·자연배기 공조방식은 느타리버섯 병재배에 적합하지 않다.

한편 버섯생육온도는 자실체 생육속도에도 영향을 주지만 갓의 색깔과도 밀접한 관계가 있다. 생육온도를 생육적온보다 다소 낮게 관리하면 갓의 색깔이 짙은 회색~회청색으로 변하고 생육적온보다 높으면 회백색으로 갓의 색깔이 열린다. 따라서 발이유도기부터 수확 약 1~2일전까지 15℃의 생육온도를 유지하다가 수확 1~2일전 13.5℃ 정도로 생육온도를 낮추어 관리하면 짙은 회색의 버섯을 만들어 낼 수 있다.

경기도 농업기술원에서 발간한 느타리 버섯재배기술 자료에 의하면, 생육습도는 80~85% 정도로 발이유도기 보다는 낮게 관리하는 것이 좋다. 생육습도가 너무 높으면 세균성 갈변병의 발생위험이 높아진다.

호흡율에 의한 환기 및 산소공급 시스템의 현장평가는 춘추2호 느타리버섯을 대상으로 경기도 평택시 진위면에 위치하여 시설 병재배를 하고 있는 대주농산의 재배사 두 개 동을 협조받아 실시하였다. 앞서 언급한 바와 같이 재배사 내의 춘추느타리 2호의 생육기 CO₂농도가 1,000ppm 이하의 범위가 적당하지만, 재배사 현장에서의 CO₂농도는 1,200~1,300ppm으로 문헌치보다 높았다. 다만 고정식 받침대의 시설 병재배이며 단의 높이별 온도로 인하여 생육상태의 차이가 있었으며, 재배사내의 생육조건의 불균일로 재배사의 생육차이가 심하여 작업인원이 육안검수를 통하여 같은 생육시기의 버섯 병들을 모으고 생육이 빠른 버섯들은 높은 층으로 생육이 늦은 버섯들은 낮은 층으로 분류하여 생육상태를 관리하는 방식을 이용하고 있었다. 따라서, 버섯수확 약 2일전(원기형성 3~4일후)부터 환기량을 극대화시켜 이산화탄소 농도를 1,000ppm 이하로 관리하는 것이 중요하다. 이때에 산소발생기를 이용하여 재배사내로 산소를 공급함으로써 RQ(Respiration Quotient, 호흡율) 값을 최적의 상태로 유지하여 수확기에 환기량이 적어 탄산가스농도가 높아지면 대가 비틀리거나 휘는 증상과 대가 가늘고 약하며 갖의 생장이 억제되는 등의 현상을 방지함으로써 생산비용 절감 및 버섯 수확량 향상이 가능하였다. 춘추2호 느타리버섯의 생육 단계중 호흡량이 가장 많은 최적의 생육 단계를 사전 자료조사와 현장 관리인 및 전문가의 조언을 토대로 원기형성 후 3~4일 후를 최적의 생육 시기로 결정하였다. 시설 재배사내의 춘추 2호 느타리버섯은 다단식 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있었다. 생육환경의 불균일로 인해 재배사내의 춘추 2호 느타리버섯의 생육상태가 불균일하므로 작업인력이 일일이 손으로 육안 검사를 통한 숙기를 실시하였다. 따라서, 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거치고 생육정도가 비슷한 재배사 2동을 선택하여 실험군과 대조군으로 현장 평가를 실시하였다. 현장 평가를 위하여 재배사내의 산소농도는 주관기관의 산소측정기인 Handy O₂ (BT-1024)를 이용하여 측정하였다. 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 설정조건에 환기 및 습도와 온도를 제어하였다. 실험군 재배사의 경우 습도와 온도 환기는 동일하게 재배사에 설치된 온도 조절기 및 환기장치를 사용하였고, 최적의 호흡율 유지를 위한 산소공급장치로서 그림 48과 같은 대

용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다.



그림 48. 버섯 재배사용 대용량 산소발생기

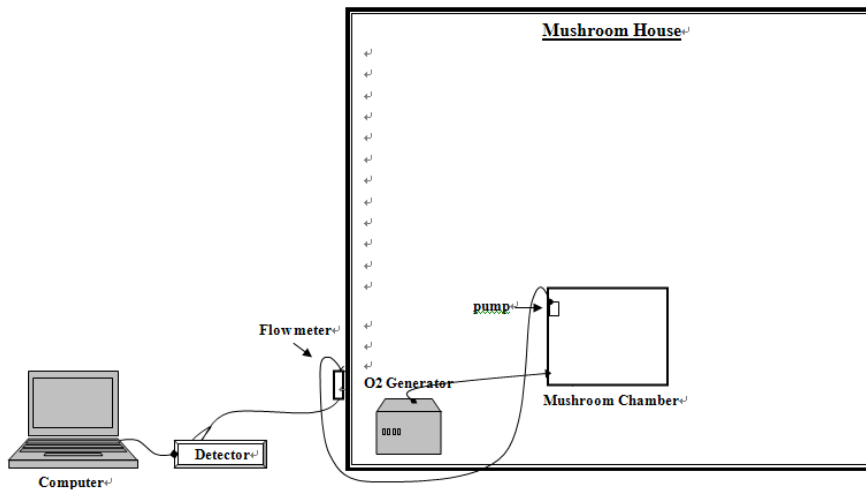


그림 49. 현장 평가 시스템 구성도

그림 49는 현장평가의 시스템 구성도로서 생육기간동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하고, 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소 발생기를 ON/OFF제어가 가능하도록 장치를 설계하였다. 또한, 그림 50과 같이 산소 및 이산화탄소 측정장치와 컴퓨터를 RS232 케이블로 연결하여 RS232 Data Logger를 이용하여 데이터 저장 기능을 갖도록 하였다. 또한, 수분이 과도한 버섯 재배사를 고려하여 수분으로부터 장치의 오작동을 방지하기 위하여 산소 및 이산화탄소 측정장치와 Sampling 펌프에서 연결된 공기 튜브사이에 수분제거장치를 설치하여 수분이 제거된 Sampling 공기가 장치로 유입되도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가기였으므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하였다. 생육이 완료될 때까지 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다.



그림 50. 데이터 저장을 위한 컴퓨터 연결

춘추 2호 느타리 버섯의 생육단계에 따른 호흡율의 변화를 그림 51에 나타내었다. 호흡율이 감소하는 경향이 나타날 때 산소를 공급함으로써 호흡율이 저하되는 것을 방지하였으며 생육이 종료될 때까지 호흡율의 변화에 의한 산소의 공급의 계속 진행하였다. 호흡율을 유지하기 위하여 산소를 공급한 실험군과 대조군의 성장 상태를 비교하기 위하여 표 2에 전체 병배지의 무게 변화를 나타내었다. 총 40시간동안 진행된 현장평가를 통하여 실험군의 병배지가 대조군의 병배지에 비하여 무게 감소율이 크게 나타났으며, 이것은 버섯 자실체의 무게 증가를 나타내는 결과이었다. 따라서 수확이 가능한 버섯의 무게를 측정하였을 때, 기존 환경에서 생육시킨 대조군에 비하여 산소를 공급하여 호흡율을 최적으로 일정하게 유지시킨 실험군의 무게는 약 123%가 향상하는 결과를 나타내었다. 또한 그림 52에 나타낸 것과 같이 육안으로 확인하여도 갖의 크기 및 색깔, 대의 길이 등을 고려하여도 대조군과 비교하여 우수한 상품성을 확보할 수 있었다.

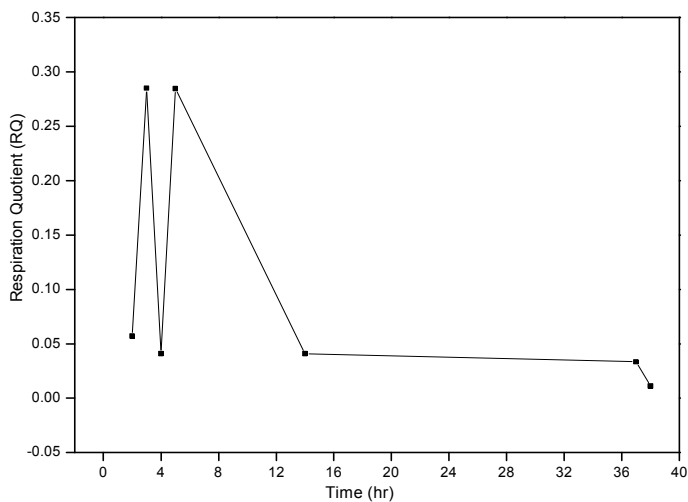


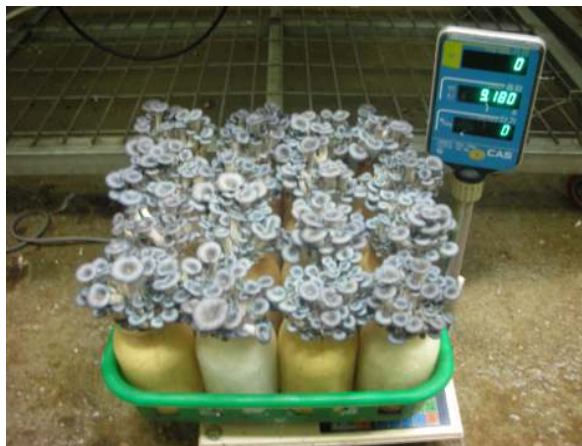
그림 51. 느타리 버섯의 호흡율 변화.

표 2. 실험군과 대조군의 버섯 무게 측정

시 간(Hr)	무게(g/basket)	
	실험군	대조군
0	9,335	9,410
16	9,150	9,330
25	9,040	9,280
40	8,820	9,180



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 52. 느타리 버섯의 실험군과 대조군의 비교

2. 새송이 버섯(Pleurotus Eryngii)의 현장 적용 평가

경기도 버섯 연구소의 자료에 의하면, 새송이 버섯의 발이유기¹⁾ 최적조건은 온도 14-15℃, 상대습도 90% 이상, CO₂농도 1,000ppm 이하, 조도 100-200 Lux로서 배양 시기의 환경조건과는 달리 저온, 과습, 광조사 등 환경의 변화를 줌으로서 자극을 유도해 생식생장으로 전환시키고자 하는 것이다. 새송이 버섯의 특성상 자실체가 워낙 크고 발생된 개체의 균질성이 매우 떨어지므로 병재배에 있어서는 개체의 크기를 작게 하고 개체수를 늘여 균질성을 높이는 것이 가장 중요하다. 그러므로 정교한 발이유기기술로 어린자실체의 발생을 유도하는 과정이 재배의 성패를 좌우하는 갈림길이 된다. 발이유기시 배지표면의 온도, 습도, CO₂농도 등이 상호 복합적으로 지대한 영향을 미치므로 배지표면의 미기상을 적절하게 보호해 줄 필요가 있다. 생력화의 측면에서 어려움이 많지만 스펀지를 제거한 병마개를 단아 주거나, 신문지, 유공폴리에틸렌 시트, 우레탄 시트, 거즈 등으로 병입구를 덮어 주거나, 병을 거꾸로 세워 두는 등 배지표면의 미기상을 보호해주기 위해서는 이러한 배려를 반드시 요구한다. 그리고 이들 덮개는 항상 마르지 않도록 적당한 습기를 유지해주어야 하며, 수시로 원기형성상태와 어린자실체의 발생상태를 점검하여 어린자실체가 덮개에 닿아 기형자실체를 형성하는 일이 없도록 적당한 시기에 덮개를 제거해 주는 것이 중요하다. 발이유기 후 7~8일이 지나면 배지표면에 낱알모양의 원기가 덩어리로 형성되고, 계속해서 원기덩어리가 솟아오름과 동시에 원기 선단부가 갓으로 분화되기 위해 흑갈색으로 착색되어 작은 구슬모양을 하면서 9~10일 쯤에 어린자실체가 형성된다. 이때부터 자실체의 생육단계로 들어가면 된다.

발생된 어린자실체를 최대한 끌어 올려 고품질 다수확에 성공을 하기 위해서는 자실체생육에 가장 좋은 환경을 만들어 주는 것이 중요한데 최적 환경조건은 온도 13~14℃, 상대습도 85% 전후, CO₂농도 800ppm 이하, 조도 100-200Lux로서, 발이유기시보다 온도를 1~2℃ 정도 떨어뜨리고 상대습도를 5~8% 정도 낮은 상태로 유지해주면 된다. 이러한 환경조건에서 9~11일 정도의 기간이 지나면 수확이 가능하다. 생육후기에는 온도와 환기량으로 생육실 전체를 조절하여 품질이 가장 좋은 자실체의 형태로 분화시키는 것이 바람직하다. 예를 들어 버섯의 대가 너무 길게 자랄 경

1) 발이유기란 균굽기에 의해 제거된 새로운 배지표면에 균사를 재생시켜 어린자실체의 원기를 형성시키기 위한 단계를 말한다.

우 온도를 내려 주고 환기량을 늘여 갖의 전개를 유도한다. 새송이 버섯은 다른 버섯에 비해 자실체생육기의 공정이 상대적으로 용이한 편이었다.

새송이 버섯을 대상으로 호흡율에 의한 환기 및 산소공급 시스템의 현장평가는 경기도 안성시 미양면에 위치한 머쉬하트사의 시설 병재배를 하고 있는 버섯농장의 생육실 두 개 동내에서 실험을 실시하였다. 발생된 어린자실체를 최대한 끌어 올려 고품질 다수확에 성공을 하기 위해서는 자실체생육에 가장 좋은 환경을 만들어 주는 것이 중요한데 경기도 농업기술원 버섯연구소에서 제시한 최적 환경조건은 온도 13~14℃, 상대습도 85%, CO₂농도 800ppm 이하, 조도 100~200Lux로서, 발이유기시보다 온도를 1~2℃ 정도 떨어뜨리고 상대습도를 5~8% 정도 낮은 상태로 유지하는 것이지만, 실제 현장에서는 온도 15.2℃, 상대습도 95%, O₂ 농도 20.5%, CO₂농도 985ppm이었다.

새송이 버섯의 현장 평가를 위하여 호흡량이 가장 많은 최적 생육 단계를 사전 자료 조사와 현장 관리인 및 전문가의 조언을 토대로 최적 생육 시기를 결정하였다. 시설 재배사내의 새송이 버섯은 다단 이동 받침대를 이용하여 재배하고 있었으며, 재배사내의 재배환경조건이 불균일하여 새송이 버섯의 생육상태도 불균일하므로 작업 인력이 일일이 손으로 육안 검사를 통한 숙기를 실시하므로 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험군과 대조군의 재배사를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 휴대용 산소측정기 Handy O₂ (BT-1024)를 측정하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 제어조건에 환기 및 습도와 온도가 제어되었다. 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하였다. 최적의 호흡율 유지를 위한 산소 공급 장치는 그림 48과 같은 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다.

또한, 그림 49와 같은 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간 동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하였고, 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하였다. 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산

소의 적절한 공급을 확인하였다.

새송이 버섯의 생육단계에 따른 호흡율 변화를 그림 53에 나타내었다. 호흡율이 감소하는 경향이 나타날 때 산소를 공급함으로써 호흡율이 저하되는 것을 방지하였으며 생육이 종료될 때까지 호흡율의 변화에 의한 산소의 공급의 계속 진행하였다. 호흡율을 유지하기 위하여 산소를 공급한 실험군과 대조군의 성장 상태를 비교하기 위하여 표 3에 전체 병배지의 무게 변화를 나타내었다. 총 6시간동안 진행된 현장평가를 통하여 실험군의 병배지가 대조군의 병배지에 비하여 무게 감소율이 크게 나타났으며, 이것은 버섯 자실체의 무게 증가를 나타내는 결과이다. 따라서 수확이 가능한 버섯의 무게를 측정하였을 때, 기존 환경에서 생육시킨 대조군에 비하여 산소를 공급하여 호흡율을 최적으로 일정하게 유지시킨 실험군의 무게는 약 600%가 향상하는 결과를 나타내었다. 또한 그림 54에 나타낸 것과 같이 육안으로 확인하여도 갓의 크기 및 색깔, 대의 길이 등을 고려하여도 대조군과 비교할 때 상대적으로 우수한 상품성을 확보할 수 있었다.

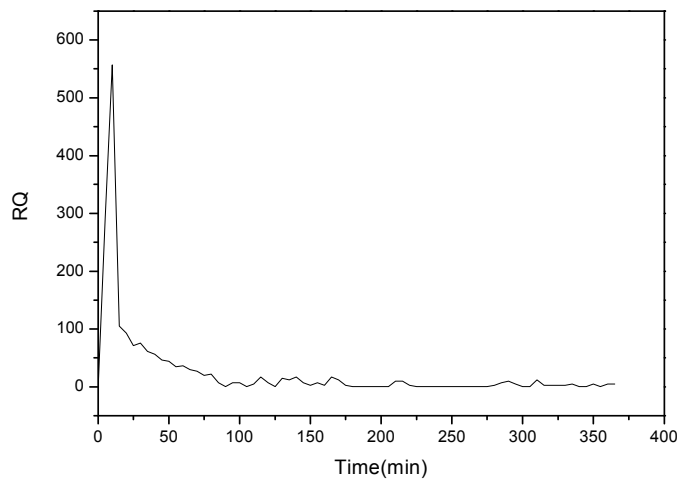


그림 53. 새송이 버섯의 호흡율 변화

표 3. 새송이 버섯의 실험군과 대조군 무게 측정.

시 간(Hr)	무게(g/basket)	
	실험군	대조군
0	11,015	10,910
6	10,980	10,905



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 54. 실험군과 대조군의 비교.

3. 팽이 버섯(Flammulia Velutipes)의 현장 적용 평가

팽이 버섯은 생육단계별 요구온도의 차이가 있다. 경기도 버섯연구소의 자료에 의하면, 영양생장단계인 균사체 생장기 온도범위는 5~32℃이고 적온은 25℃ 내외이다. 그러나 실제 배양실의 온도는 16~20℃범위에서 관리가 되며 이는 병 내부에서 발생되는 호흡 열로 인하여 배지내부 온도가 상승하기 때문에 실제 배양 적온보다 낮게 관리하는 것이다. 생육단계로 전환되는 시기로 볼 수 있는 자실체 발생온도는 15℃ 내외이다. 또한 자실체 발생이후 억제 시 온도는 4℃ 내외이며, 생육온도는 7℃ 내외가 적당하다. 균사생장 시 배양실의 습도는 65~70%가 적당하고 습도가 너무 높을 경우 세균 또는 곰팡이 등의 잡균발생 가능성이 높고 너무 낮으면 배지표면이 건조되어 균 생장이 억제될 수 있다(버섯연구소 주요버섯의 병재배 기술 생육환경-습도). 발이유기시의 습도는 85~90%로 유지하고 자실체 발생이후에는 습도를 낮추어 관리해야 한다. 발이 및 생육시 습도가 너무 높으면 세균성병(흑부병, 갈변병)이 발생할 가능성이 높다. 균사생장시기와 버섯발생이 되기 전까지는 CO₂농도의 영향을 적게 받지만, 자실체가 형성된 이후부터는 CO₂가스에 민감하게 반응하므로 환기관리에 신중을 기해야 한다. 발이 및 억제시의 적정 CO₂농도는 1,000~1,500ppm, 생육실은 2,500~3,000ppm이 적합하다. 광은 균사배양단계에서는 필요하지 않으며, 생육 시는 100~500lux의 산광이 필요하며 직사광선을 쬐면 죽는다. 억제 시에는 백색형광등으로 1일 2시간을 24시간으로 나누어 순간 순간 광을 비추어 주면 효과적이다. 억제²⁾ 조건은 온도 4±1℃, 습도 80~85%, CO₂농도 1,000ppm이 되도록 유지하면서, 단과 단 사이에 광(100~200lux)과 바람(40~50cm/sec.)을 일으키는 억제기를 설치하여 광에 의해 갓의 생장억제와 대의 생육촉진을 유도하고, 바람에 의해서 배지표면에 수분을 증산시켜 버섯이 발생되지 않은 부분에 버섯이 발생되도록 유도시키고 먼저 발생한 버섯생육을 억제시키는 효과를 발휘하게 된다. 봉지 씌우기는 억제단계가 끝나고 버섯이 약 2cm정도 자랐을 때 실시한다. 봉지 씌우기의 목적은 봉지내부에 CO₂가스를 가두어 됨으로써 CO₂ 농도를 높여 대의 생육을 촉진시키고, 갓의 생육을 억제시키는 효과를 얻기 위해서 이다. 권지재료는 흡습성이 있어야 하며 생육온도는 7±1℃, 습도는 75~80%, CO₂농도는 1,500~2,000ppm 범위로 유지하여야 한다. 버섯 수확은 자실체의 갓 부분이 봉지 윗부분과 일치하는 시기가 적당하다. 수확 전 환기

2) 투입된 병 전체가 균일하게 생육하도록 하기 위해 버섯이 약1cm가량 자랐을 때 온도, 바람, 광 등으로 자실체 생육을 지연시키는 과정이다.

와 풍속을 조절하여 물 버섯이 되지 않게 하며, 갓 크기가 작도록 하여야 상품가치를 높일 수 있다(버섯연구소 주요버섯의 병재배 기술 생육환경-봉지씌우기).

팽이 버섯의 현장 평가를 위한 대상으로, 경기 평택시 진위면에 위치하여 팽이버섯 시설 병재배를 하고 있는 대주농산의 재배사 두 개 동내에서 실험을 실시하였다. 팽이버섯의 호흡량이 가장 많은 최적 생육 단계를 사전 자료조사와 현장 관리인 및 전문가의 조언을 토대로 최적 생육 시기를 결정하였다. 시설 재배사내의 팽이버섯은 다단식 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있었으며, 재배사 내의 팽이버섯의 생육상태가 불균일하므로 작업 인력이 일일이 손으로 육안 검사를 통한 숙기를 실시하므로 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험군과 대조군의 재배사를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 휴대용 산소 측정기 Handy O2 (BT-1024)를 사용하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 설정조건에 환기 및 습도와 온도가 제어되며, 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도는 동일하나 산소발생기를 통하여 30%의 산소를 공급하였다. 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하였으며, 최적의 호흡을 유지할 위한 산소 공급 장치는 그림 48과 같은 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다.

또한, 그림 49와 같은 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하고, 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하였다. 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다.

팽이 버섯의 생육단계에 따른 호흡율 변화를 그림 55에 나타내었다. 산소를 공급함으로써 호흡율이 저하되는 것을 방지하였으며 생육이 종료될 때까지 호흡율의 변화에 의한 산소공급을 계속 진행하였다. 팽이 버섯의 실험군과 대조군의 무게 감소량의 자실체의 중량 증가를 고려할 때, 무게 감소량은 실험군이 높았지만(표 4), 봉지 씌우기의 목적은 봉지내부에 CO₂ 가스를 가두어 덩으로써 CO₂ 농도를 높여 대의 생육을 촉진시키고, 갓의 생육을 억제시키는 효과를 얻기 위해서인데, 본 연구에서는 고농도의 산소를 공급했음에도 불구하고, 그림 55과 같이 CO₂ 가스에 의하여 생육

이 촉진되는 팽이 버섯에 대하여는 생육과정에서 갓의 크기, 버섯의 성장속도 등의 상품성이 떨어지는 현상을 보였다. 그러므로 팽이 버섯의 경우 호흡율에 의한 제어 시 산소의 공급을 지양하고 이산화탄소를 공급함으로써 최적의 호흡율로 제어가 가능할 것으로 예측된다.

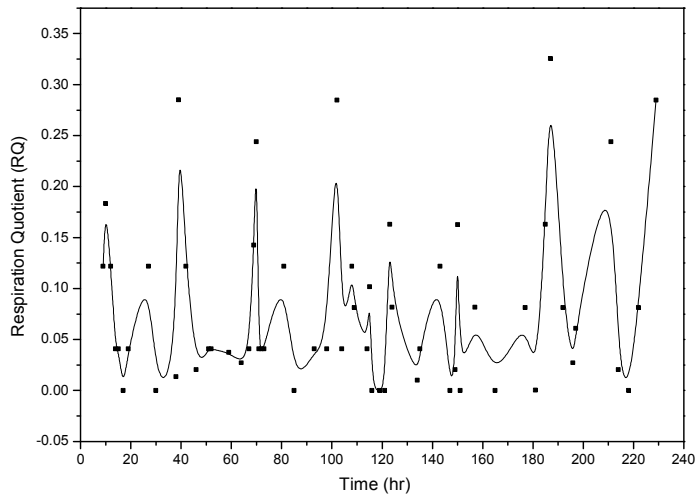


그림 55. 팽이버섯의 호흡율 변화.

표 4. 실험군과 대조군의 팽이 버섯 무게 측정 비교

시간(Hr)	무게(g/basket)	
	실험군	대조군
0	9,750	9,690
244	8,530	9,360



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 56. 팽이 버섯의 실험군과 대조군의 비교

4. 양송이 버섯(Agaricus Bisporus)의 현장 적용 평가

양송이 재배 주기별 CO₂ 발생량은 1주기에 발생량이 가장 많다. 한국 버섯연구회 자료에 의하면, CO₂ 배기와 산소공급을 원활히 함으로써 고품질화 증수가 예상된다. 1, 2, 3 주기는 버섯 수량이 많은 만큼 CO₂ 발생량이 많으며, 1, 2, 3주기의 CO₂ 발생량은 4주기 이후보다 2~3배가 CO₂가 많이 발생한다. 산소흡수량이 클수록 수확량이 많다(월간 ‘버섯 영농과 삶’ 2000.1월호 59쪽). 양송이발생기의 배지내 CO₂ 농도는 1~3%가 좋으며 그래야 복토상면의 적정농도의 CO₂ 유지가 된다. 신선한 대기층의 CO₂ 농도는 0.035%이며, 양송이 발생이 잘되는 CO₂ 농도는 0.08% 이하이나 버섯발이수가 많아지고 버섯이 잘아지고 조기 개열하여 저 품질이 되므로 품종과 재배기술에 따라 다르나 현장에서는 약간 높인다. CO₂ 0.2%(2,000ppm) 이상에서 원기 유도가 저해되기 시작하고 CO₂ 0.3%(3,000ppm)이상이면 원기 및 버섯은 죽고 다시 영양생장단계로 되돌아가 또다시 균사생장이 시작된다. 따라서 버섯발생은 CO₂ 0.10~0.12%(1,000~1,200ppm)에서 시키고 버섯이 크면서 적은 범위내에서 실내온도를 낮추고 CO₂는 그대로 0.1%선 유지하되 산들바람급 공기순환을 시킨다. 버섯이 클수록 CO₂가 많이 발생하므로 버섯이 커져감에 따라 단계별로 균사 →편형성기 17℃, 버튼기 15℃, 버섯생육→수확기 13~14℃로 온도를 버섯 크기에 역비례해 낮추어 CO₂ 발생 억제 관리한다.

양송이 버섯의 현장 평가를 위하여 대상으로 경북 경주시 건천읍 모량리에 위치하여 시설 균사재배를 하고 있는 양송이 버섯농장의 재배사 두 개 동내에서 실험을 실시하였다. 양송이버섯의 호흡량이 가장 많은 최적 생육 단계를 사전 자료조사와 현장 관리인 및 전문가의 조언을 토대로 최적 생육 시기를 결정하였다. 시설 재배사내의 양송이 버섯은 2단 터널식 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있었으며, 재배사내의 재배환경조건이 불균일하여 양송이버섯의 생육상태도 불균일하므로 작업 인력이 일일이 손으로 육안 검사를 통한 수확을 실시하고 있었다. 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험군과 대조군의 재배사를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 Handy O₂ (BT-1024)로써 측정하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 설정조건에 환기 및 습도와 온도가 제어되며, 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하였다. 최적의 호흡을 유지를 위한 산소 공

급 장치는 그림 48과 같은 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다. 또한, 그림 49와 같은 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하고 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다. 그림 57에 양송이 버섯의 호흡율을 나타내었다. 호흡율에 따라서 산소발생기의 가동여부를 제어하여 산소를 공급하였다. 양송이 버섯의 양송이 버섯의 경우 1.2m × 1.2m 크기의 기본 판상을 기본으로 판상 재배방법으로 버섯을 생산하고 있었기에 실험군과 대조군의 현장 평가 전후의 무게를 비교하는데 장애가 되었다. 따라서 양송이 버섯의 경우에 한하여 기본 판상의 버섯 자실체 개체수로 호흡율에 의한 환기 제어 효과를 평가하였다. 표 4에 양송이 버섯의 실험군과 대조군의 개체수를 비교하였으며, 실험군이 평가 후의 개체수 변화량이 약 150% 향상된 결과를 나타내었다. 그림 58을 통하여 호흡율에 의한 재배사 대기환경에 따른 실험군과 대조군의 차이를 나타내었다.

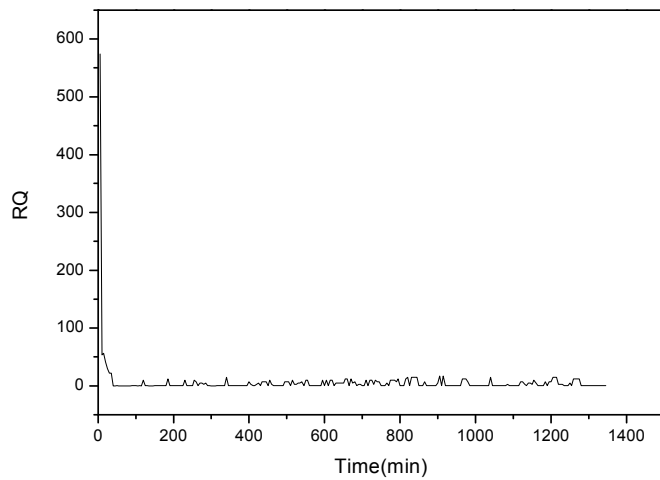


그림 57. 양송이 버섯의 호흡율 변화.

표 5. 양송이 버섯의 개체수 변화 비교

시간(Hr)	개체수	
	실험군	대조군
0	61	43
21	132	124



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 58. 양송이 버섯의 실험군과 대조군 비교.

5. 영지 버섯(*Ganoderma lucidum*)의 현장 적용 평가

영지 버섯은 활엽수 고사목과 그루터기에 자생하는 목재부후균으로 북반구 온대 이북에 광범위하게 분포하고 있으며, 자실체는 예로부터 한국, 중국, 일본 등지에서 귀한 약제로 이용되어 왔다. 갓과 색택에 의해 적지(赤芝), 흑지(黑芝), 황지(黃芝), 자지(紫芝), 청지(靑芝), 백지(白芝)의 6종으로 분류하고 있으나 근래에 와서는 분류학적으로 60여종이 있다고 발표되었다(버섯연구소 영지버섯 재배기술-생태적 특성). 영지버섯중 적지(赤芝)의 모양은 줄기와 갓의 표면에 광택이 있는 1년생의 버섯으로 분류학상 자루곰팡이류 원숭이안장버섯과에 속하는 버섯으로 갓은 보통 바퀴무늬가 있는 말굽형이나 타원형이다. 갓의 표면은 처음에 황백색을 띠고 있으나 성장하면서 적갈색~자갈색으로 먼저 자란 부분부터 색택이 변하여 간다. 갓의 뒷면은 황백색을 띠고 구멍이 많으며 줄기는 갓의 표면과 같은 색으로 약간 굴곡이 생긴다. 영지버섯은 활엽수를 기주로 하며 6월~9월의 고온기에 활엽수 그루터기 부위에서 발생한다. 또한 영지버섯은 각종 성분을 함유하고 있는데, 다당체 및 다당체 단백질 결합체와 쓴맛을 내는 테르페노이드(terpenoid)계통의 물질이 주요 약효성분이며 고혈압, 면역활성, 항암활성에 대한 효과가 보고된 바 있다(버섯연구소 영지버섯 재배기술-재배환경 조건). 영지의 군사생장 가능온도는 10~38℃이며, 최적온도는 25~32℃이고 35℃이상과 10℃이하에서는 군사생장이 현저히 감소된다. 군사생장에 알맞은 원목의 수분함량은 42~45% 내외가 적당하며 원목의 조직세포가 고사된 상태에서 영지의 군사생장이 양호하게 된다. 생육 시에 빛이 필요하나 군사생장 시에는 빛이 없어도 군사생장에 영향을 주지 않는다. 군사생장 시에는 산소를 반드시 필요로 하나 다른 버섯보다 산소요구량이 크지 않다. 원목 매몰 후 원기가 형성되어 대가 자랄 때는 환기가 억제되어야 하고 대가 어느 정도 자란 후 갓이 형성될 때는 측창 또는 출입문을 열어 환기량을 늘려야 한다.

영지버섯의 현장 평가를 위한 대상으로 경북 경주시 건천읍에 위치하여 시설 봉지재배를 하고 있는 영지 버섯농장의 재배사 두 개 동내에서 현장 평가를 실시하였다. 생육단계에 따라서 호흡율이 변화된다고 할 때 영지버섯의 호흡량이 가장 많은 최적 생육 단계를 사전 자료조사와 현장 관리인 및 전문가의 조언을 토대로 최적 생육 시기를 결정하였다. 시설 재배사내의 영지버섯은 다단 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있었으며, 재배사 내의 재배환경조건이 불균일하여 영지버섯의 생육상태도 불균일하므로 작업 인력이 일일이 손으로 육안 검사를 통한 수확을 실시하므로 비슷한

시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험군과 대조군의 재배사를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 Handy O2 (BT-1024)로써 측정하였고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 제어조건에 환기 및 습도와 온도가 제어되며, 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하나 대용량 산소발생기를 통하여 30%의 산소를 공급하였다. 최적의 호흡율 유지를 위한 산소 공급 장치는 그림 48과 같은 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다. 또한, 그림 49와 같은 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간 동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하였다. 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다. 그림 59에 영지 버섯의 호흡율을 나타내었다. 호흡율의 변화에 따라 대용량 산소발생기의 가동여부를 제어하여 산소공급장치를 제어하였다. 평가 결과는 갓이 형성되지 않은 영지 버섯에서는 육안으로 관찰했을 때 변화가 없었지만, 갓이 피운 버섯에서는 갓의 색을 결정하는 갈색 체액이 더 많이 나오는 것을 육안으로 확인할 수 있었다(그림 60). 또한 표 6에 나타낸 바와 같이 실험군과 대조군의 무게를 측정하여 비교한 결과, 역시 대조군과 비교하여 원목 1개당 8.33% 더 향상된 증가율을 나타내어 호흡율에 의한 산소의 공급이 영지 버섯의 생육에 있어서 긍정적 효과를 미치는 것을 확인하였다.

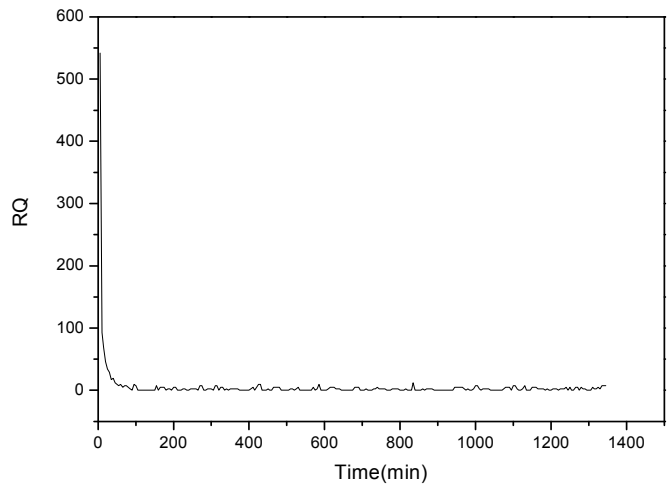


그림 59. 영지버섯의 호흡율 변화

표 6. 실험군과 대조군의 영지버섯 무게 비교

시간(Hr)	무게(g/원목)	
	실험군	대조군
0	10,090	9,240
23	10,025	9,180



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 60. 영지버섯의 실험군과 대조군 비교.

6. 상황 버섯(*Phellinus Linteus*)의 현장 적용 평가

원목 매몰을 마치고, 모래표면의 마른 부분이 젖을 정도로 매일 2회 정도 관수하여 실내 습도를 90~95%까지 높이고, 실내 온도는 25~27℃로 유지한다. 버섯 발생 시에는 탄산가스의 농도가 1.5~2.0%가 알맞으므로 가능한 환기를 억제하고 재배사내부의 온도가 높을 때만 환기를 실시한다. 진흙버섯은 다년생이기 때문에 5~7년 성장한 것이 상품성이 우수하다. 재배사 내부에서는 3~4년 성장한 것을 수확하여야 하나 조기 수확하고자 할 때는 2년 성장한 것을 수확할 수 있으며, 1개체의 무게가 20g 이상인 것을 수확한다. 배양이 완료된 병은 보온덮개 재배사부나 패널 재배사로 옮겨놓고 재배사 내부의 온도를 25~30℃ 범위 내로 유지하여 2~3일 경과한 다음 병뚜껑을 제거하고 실내습도를 90~98%로 유지한다. 재배사내부의 온도차가 심하면 병 안에 응결수가 형성되고 따라서 세균이 번식하여 소기의 성과를 기대할 수 없다. 또한 재배 과정 중 온도차가 심하면 버섯 표면에 굴곡이 심하여 품질이 저하된다.

버섯 생육 기간 중의 실내습도는 80~90%로 유지하는 것보다는 이보다 높은 90~98%로 유지할 때 자실체 수량이 높으나 잡균 발생의 위험이 있으므로 90~95%로 유지하는 것이 안전하다. 균사체 덩이 형성 시에 환기량을 증대시켜 실내 탄산가스 농도를 낮게 유지하면 덩이의 두께가 얇고 수량이 낮아진다. 따라서 덩이 형성량을 많게 하기 위해서는 각 단마다 비닐을 씌워 배지 표면의 CO₂ 농도를 0.3~0.6%로 유지하여야 한다. 재배사내부의 온도 및 습도와 CO₂ 농도가 알맞으면 덩이 유기일로부터 10~15일이 경과할 때 덩이가 형성되기 시작하여 23~30일 후에는 버섯표면이 단단해져 생육이 정지되므로 이 시기에 수확하여 건조한다.

상황 버섯의 현장평가를 위하여 경기도 화성시 송산리에 위치한 화성상황버섯농장내의 원목재배사 내에서 실시하였다. 매일 1회 정도 관수하여 실내 습도를 90~95%까지 높이고, 실내 온도는 25~27℃로 유지하고 있었으며, 환기는 자연환기를 이용하고 있었다. 시설 재배사내의 상황 버섯은 모래배지 위에서 원목재배를 하고 있으며, 재배사내의 조건은 스프링쿨러를 이용한 수분공급만 제어하고 있었다. 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험균과 대조균의 재배사를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 Handy O₂ (BT-1024)로써 측정하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조균 재배사의 경우 시설 재배의 제어조건에 환기 및 습도와 온도가

제어되며. 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하나, 최적의 호흡을 유지할 위한 산소 공급 장치는 그림 48과 같은 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다. 또한, 그림 49와 같은 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간 동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하고, 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간 동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하고 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다. 그림 61에 상황버섯의 호흡율을 나타내었다. 호흡율에 따라서 산소공급장치를 제어하여 산소를 공급하였으며, 이에 따른 버섯의 생육상태를 무게를 통하여 표 7에 나타내었다. 다년간의 생육기간을 고려할 때 무게 감소량을 자실체의 무게 증가량으로 보기는 힘들겠지만, 동면에서 다시 생육기로 접어드는 시기의 버섯의 활성도를 높이는 효과를 상황버섯의 색깔 변화로 알 수 있었다(그림 62).

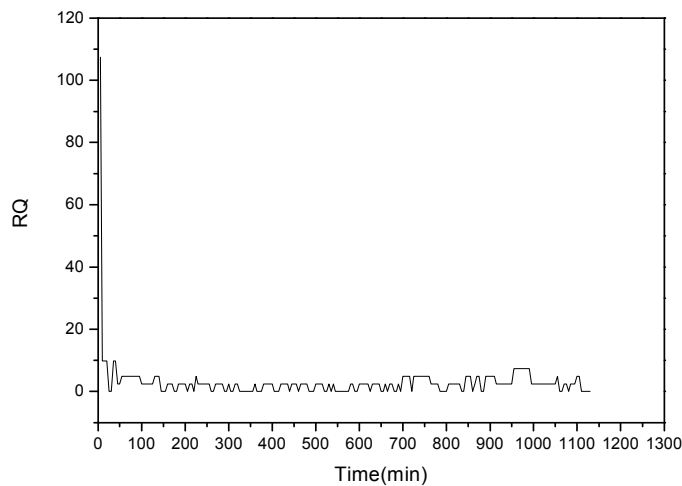


그림 61. 상황버섯의 호흡율 변화.

표 7. 상황버섯의 실험군과 대조군의 무게 비교

시간(Hr)	무게(g)	
	실험군	대조군
0	4,385	2,990
98	4,158	2,916



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 62. 상황버섯의 실험군과 대조군 비교.

7. 동충하초 버섯(Cordyceps Militaris)의 현장 적용 평가

동충하초는 버섯이 발생되도록 환경조건을 유지시켜 주어야 한다. 이때의 온도는 15~20℃이며 습도는 70~90%를 유지시켜 주어야 한다. 또한 광도는 높게 1,000~3,000룩스를 비추어 가면서 5~10일간 관리하여야 한다. 이와 같이 환경조건은 대체적으로 눈꽃 동충하초보다 높고 강하게 유지시켜야 하는 점이 특징이라고 할 수 있다. 특히 광도를 높게 유지 조절시켜 주는 것이 핵심기술이라고 할 수 있다. 버섯 발생 소요기간은 5~10일 정도이다. 버섯이 발생될 때에는 균사가 흰색에서 황색으로 변한 후 다시 시간이 지나면 적갈색으로 변화하는 것이 특징이다. 버섯 발생율이나 수율은 눈꽃 동충하초보다 약간 떨어지는 경향이다. 생육시의 환경조건으로서 온도 및 습도로서는 버섯발생시의 조건과 동일하게 관리하면 된다. 그러나 광도만큼은 약간 강하게 하고 오래 지속시켜주어야 한다. 광도조절은 형광등 또는 백열등으로 조절하여 주었다. 버섯이 생육하는데 소요되는 기간은 15~40일 정도로서 긴 기간이 요구된다. 버섯이 발육되면 생육조건만 맞으면 큰 무리 없이 생육될 수 있다. 이때에도 가장 유의할 점은 빛과 충분한 수분이 유지되어야 하는 것이 중요한 사항임을 다시 한번 강조한다. 실내 습도는 90% 정도로 높게 유지하여야 한다. 그러나 버섯 성장 시에 실내 습도가 이보다 높게 되면 병마개를 4시간 정도 열었다가 다시 닫아주어야 한다. 버섯이 병 입구까지 성장하였을 때 또는 자실체가 45~50mm 정도로 성장하면 수확할 수 있다. 동충하초 버섯은 발생된 형태 그대로 건조시키는 것이 상품 가치가 높고 모양도 양호함으로 이점에 주의하여야 한다. 버섯 발생 및 수확시기까지의 수확된 버섯의 수율은 접종된 배양 병을 기준으로 하여 85% 정도로 약간 낮은 것이 특징이다. 동충하초의 현장 평가를 위하여 번데기 동충하초를 실험시설 병 재배를 하고 있는 강원대학교 생물환경학부 성재모 교수의 균 연구실의 재배사 한 개 동내에서 실험을 실시하였다. O₂농도 20.9%, CO₂ 1,154ppm으로 공급하였다. 온도는 18~19℃를 유지하고 있었다. 재배사내의 번데기 동충하초는 다단식 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있었다. 재배사 내의 번데기 동충하초는 2~3일의 간격으로 배양되어 자실체 형성이후의 전 생육단계에 걸친 동충하초의 생육상태를 확인할 수 있었다. 동일 재배사 내의 동일생육단계 균일한 크기의 동충하초 재배병을 12개씩 비교군과 대조군 2 바구니를 선택하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 Handy O₂ (BT-1024)로써 측정하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설

재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. CAS전자의 전기식 지시저울을 이용하여 바구니를 포함한 산소처리 시험전 대조군과 실험군 번데기 동충하초 12병 (바구니포함)의 중량을 각각 측정하였다. 또한, 대조군 번데기 동충하초 12병은 재배사 내의 받침대의 높이차로 인한 온도 오차를 없애기 위해 실험군 번데기 동충하초 12병과 같은 높이와 누출된 산소 농도의 영향을 피하기 위해 거리가 2m 이상 떨어진 위치에 옮겨놓고 평가를 실시하였다. 실험군 번데기 동충하초 12병은 환기팬과 (주)동양전기산업사의 배출펌프가 설치된 챔버(44cm×44cm×42cm)안에 넣고 덮개를 닫은 후 재배사 내의 받침대의 높이차로 인한 온도 오차를 없애기 위해 대조군과 같은 높이와 누출된 산소 농도의 영향을 피하기 위해 거리가 2m이상 떨어진 위치에 옮겨놓고 평가하였다. 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF 제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정 간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하고 생육이 완료될 때까지 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다.

그림 63에 동충하초의 호흡율을 나타내었다. 동충하초의 호흡율을 바탕으로 다양한 접종일(즉, 다양한 단계의 생육단계)의 샘플을 취하여 평가하였다. 평가 결과 동충하초의 무게 변화를 표 8에 나타내었다. 무게 감소를 자실체의 생장 무게라고 가정하면 총 생육기간인 40~50일중 35~40일이 가장 산소의 호흡율이 높으며 고농도 산소에 의한 자실체의 생장 효과를 볼 수 있었다. 또한, 버섯의 모양이 그대로 보존되어야하는 동충하초의 특성상 실험군과 대조군의 외형적 상품가치를 확인하기 위하여 실험군과 대조군의 비교를 그림 64에 나타내었다.

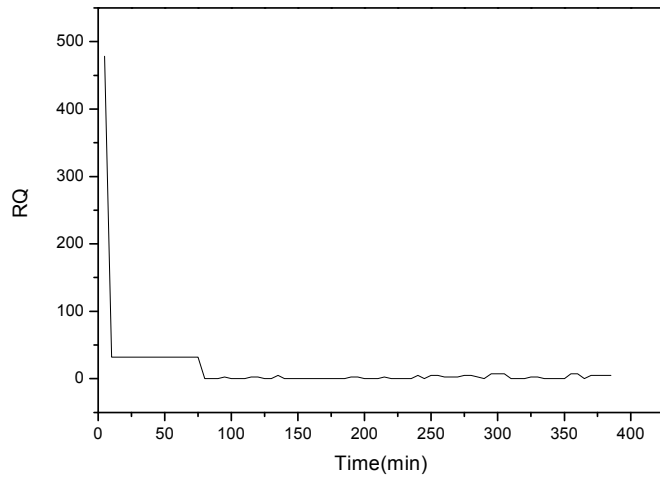


그림 63. 번데기 동충하초의 호흡을 변화.

표 8. 동충하초의 실험군과 대조군의 무게변화.

접종일	실험군			대조군		
	실험전(g)	실험후(g)	무게변화(g)	실험전(g)	실험후(g)	무게변화(g)
3/1	158	158	0	160	162	+2
3/4	154	152	-2	160	162	+2
3/6	154	152	-2	146	148	+2
3/8	152	150	-2	152	154	+2
3/11	142	142	0	158	158	0
3/13	156	156	0	152	152	0
3/15	164	162	-2	146	146	0
3/18	166	164	-2	162	162	0
3/22	172	172	0	172	172	0
3/27	168	168	0	170	170	0
3/29	168	166	-2	170	170	0
4/1	164	164	0	160	162	-2



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 64. 번데기 동충하초의 실험군과 대조군 비교.

8. 꽃송이 버섯(*Sparassis crispa*)의 현장 적용 평가

꽃송이 버섯은 담자균의 민주름버섯목 꽃송이 버섯과에 속하는 갈색부후균으로 낙엽송을 비롯한 침엽수림에서 여름철에 발생한다. 꽃송이 버섯 자실체는 위궤양이나 식도암 등의 질병에 큰 효과가 있는 것으로 보고되어 왔으며(Mao와 Jiang, 1993), 꽃송이 버섯에 특히 많이 함유되어 있는 β -글루칸은 항암활성이 뛰어나(Ohno 등, 2000) 난치병인 암의 치료 및 예방에 큰 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Harada 등, 2002a; 2002b). 따라서 버섯 재배자들은 물론 일반인도 꽃송이버섯에 대한 관심이 고조되고 있으나 초기 생장이 늦어 재배 소요기간이 길고 재배조건이 까다로워 널리 재배되지 못하고 있는 실정이다. 꽃송이 버섯은 재배되는 일반 식용버섯과 달리 활엽수 원목에서는 자실체를 형성하기 어렵고 침엽수 그루터기 등에서 자실체를 형성하고 있는 점을 감안하여 침엽수 톱밥을 기본배지로 사용하였다. 6개월간 야적하였던 낙엽송(*Larix leptolepis*)과 미송(*Pseudotsuga menziesii*) 톱밥을 이용하여 기본배지를 준비하였다. 기본 배지에 첨가제로 소맥분, 옥수수, 비트, 면실박 등을 사용하였고 배지의 수분조절은 물엿 10% 용액이나 수돗물을 사용하였다. 효모 추출물이 꽃송이버섯의 균사 생장에 영향을 준다는 특성에 따라 밀의 배유성분을 제분하여 만든 중력분 밀가루(소맥분), 사탕무의 주원료로 당분과 무기질이 풍부한 비트(sugar beet), 그리고 목화씨에서 기름을 짜고 남은 찌꺼기인 면실박을 각각 첨가물로 사용하였다. 톱밥배지는 121°C, 1.2기압에서 120분 동안 멸균한 후, 18°C로 냉각시켜서 미리 준비된 접종원을 접종하였다. 접종된 톱밥배지는 명배양 조건에서 23 ± 2°C로 배양하였다. 배양이 완료되어 원기가 형성된 배지된 배지는 4°C에서 24시간 저온처리 후 발생실로 옮겼다. 발생온도는 23 ± 2°C로 유지하였고, 습도는 초기 2일간은 환기를 정지시킨 상태에서 100%로 조절하다가 3일 이후에는 환기를 시키면서 95 ± 5%로 조절하였다. 배양이 완료된 배지는 발이를 유도하기 위하여 배지를 4가지 방법으로 저온충격을 실시하였다. 4°C에서 1일과 7일, 18°C에서 1일과 7일 처리하여 발이 유도하였다. 발생실로 옮긴 배지는 원기가 형성된 기부가 7일 후부터 표면이 노란빛으로 변해가면서 서서히 작은 꽃을 피우다가 15일 후가 되면 기부 전체에 자실체가 만들어진다. 이렇게 성장한 자실체는 30일 정도가 되면 완전한 흰색 또는 옅은 노란색의 꽃모양으로 성숙하여 버섯수확이 가능해진다. 꽃송이 버섯의 호흡율을 이용한 버섯 재배사 대기 환경 제어의 현장 평가를 위하여 경기도 연천군 미산면에 위치하여 시설 병재배를 하고 있는 (주)하나바이오텍 농장의 재배사 두 개 동내에서 실험을 평

가하였다. 시설 재배사내의 꽃송이 버섯은 다단 고정 받침대를 이용하여 재배하고 있으며, 재배사내의 재배환경조건이 불균일하여 꽃송이 버섯의 생육상태도 불균일하므로 작업 인력이 일일이 손으로 육안 검사로 수확하므로 비슷한 시기에 종균 접종 및 배양을 거친 생육단계에 있는 실험군과 대조군의 재배사를 평가하였다. 현장 재배사내의 산소농도는 주관기관의 Handy O2 (BT-1024)로써 측정하고 이산화탄소는 TSI사의 이산화탄소측정기 Indoor Air Quality Meter(Model 8732)를 이용하여 측정하였다. 습도와 온도는 시설재배이므로 제어장치의 표시를 확인하고 기록하였다. 대조군 재배사의 경우 시설 재배의 제어조건에 환기 및 습도와 온도가 제어되며, 실험군 재배사의 경우는 습도와 온도 환기는 동일하나 최적의 호흡을 유지를 위하여 대용량 산소발생기를 이용하여 30% 산소를 공급하였다. 또한, 현장평가의 시스템을 구성하여 생육기간동안에 산소 및 이산화탄소의 농도를 측정하고, 이를 이용하여 호흡율을 계산하여 최적의 호흡율을 유지하도록 산소발생기를 ON/OFF제어하였다. 또한, 현장 평가 기간동안 산소 및 이산화탄소의 측정 데이터가 저장되어 호흡율 데이터의 DB구축이 가능하도록 하였다. 장시간 진행되는 현장평가이므로 장치의 정상 작동 유무와 일정간격으로 저장되는 실험데이터를 확인하고 생육이 완료될 때까지 정상 호흡율 측정 및 이에 따른 산소의 공급을 유지하였다.

그림 65에 꽃송이 버섯의 호흡율을 나타내었다. 호흡율에 따라서 산소공급장치를 제어하여 산소를 공급하였으며, 이에 따른 버섯의 생육상태를 무게를 통하여 표 9에 나타내었다. 무게의 변화량이 자실체의 생육정도를 나타낸다고 할때 실험군의 꽃송이 버섯은 대조군과 비교하여 약 266%의 향상된 생육정도를 나타내었다. 따라서 호흡율에 의한 산소농도의 제어가 대체적으로 꽃송이 버섯의 생육에 긍정적이 효과를 나타내었다. 또한 상품의 가치평가를 위하여 그림 66에 실험군과 대조군을 비교하여 나타내었다.

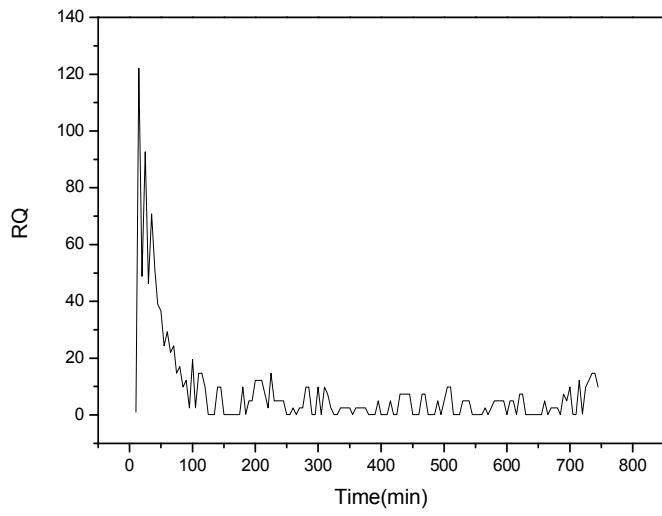


그림 65. 꽃송이 버섯의 호흡율 변화.

표 9. 꽃송이 버섯의 실험군과 대조군의 무게비교.

시간(Hr)	무게(g)	
	실험군	대조군
0	7,795	6,415
12	7,740	6,400



(a) 실험군



(b) 대조군

그림 66. 꽃송이 버섯의 실험군과 대조군의 비교.

제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

본 연구의 최종 목표는, 버섯 재배의 생산성 향상과 균일한 품질관리를 위하여, 버섯의 생육단계별 호흡율을 국내 최초로 측정하고 이를 측정 및 제어하는 장치를 개발하는 데 있었다. 연구 버섯은 식용 4가지(느타리, 팽이, 양송이, 새송이버섯)와 약용 4가지(영지, 동충하초, 꽃송이, 상황 버섯)이었다. 각 버섯을 통상적으로 알려진 최적의 온도 및 습도 조건에서 실험 재배하면서, 국내 최초로 생육단계별로 호흡율을 실시간으로 측정하여 8가지 버섯의 최적 생산에 필요한 호흡율을 각각 구하였다. 관련 기술을 버섯 전문 재배농가 8곳을 대상으로 현장 실증시험을 수행하여 기술의 효율적인 사업화를 추구하였다. 값싸게 호흡율을 측정 및 제어하는 장치를 개발함으로써 버섯 재배농가의 수익 향상에 이바지할 것으로 예상된다.

총 3년간 진행된 본 연구개발은 1차년도와 2차년도를 통하여 각각 식용버섯 및 약용버섯의 생육환경에 대한 실험 데이터를 확보하는데 주력하였다. 산소소모량, 이산화탄소 발생량 및 호흡율의 변화와 같은 실험데이터를 결과물로 얻었을 뿐 아니라 식용버섯 4가지, 약용버섯 4가지에 대한 생육환경에 대한 데이터를 구하고 DB화 하였다. 또한 버섯의 호흡율을 측정하고 결과에 따라 공기장치를 제어하여 최적의 호흡율을 유지하도록 하고, 그의 데이터를 저장할 수 있는 장치 및 소프트웨어를 개발하였다.

최종 3차년도 연구에서는 8개의 식용 및 약용 버섯에 대하여 대량으로 생산하고 있는 농장의 협조를 받아 개발한 시스템의 현장 평가를 실시하였다. 이를 통하여 현장 적용을 위한 장치의 평가 및 실제 버섯에서의 효과를 입증하였고 이에 대한 DB를 구축하였다. 또한 버섯의 호흡율에 의하여 공기를 제어하여 제어 포인트를 일원화함으로써 보다 정확한 공기제어가 가능하도록 하였다.

따라서, 본 연구개발의 결과를 활용함으로써 버섯의 생산력이 향상되는 가능성을 제시하였다.

제 5 장 연구 개발 결과의 활용계획

1. 연구결과의 활용성

본 연구개발의 결과를 통하여 호흡율의 변화를 통하여 공기를 제어할 때 산소를 공급함으로써 버섯의 생산성 및 품질이 향상되는 것을 확인하였다. 그러나 팽이버섯과 같이 버섯 재배과정중 산소에 의한 생육이 아니라 이산화탄소의 농도에 의해서 생육이 촉진되는 것에 대한 추가 연구의 필요성이 제기되었다. 식용버섯 중에서 느타리버섯의 경우 호흡율에 민감하였으므로 이의 생산성을 본 기술로 쉽게 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 고가이면서 생육기간이 짧은 약용 버섯에 본 기술을 적용한다면 그의 기술 경제적 효과는 크리라 예상된다.

2. 기업화 추진방향

본 연구개발의 결과는 버섯 생산과 관련하여 큰 결과물이다. 팽이를 제외한 버섯의 생산성 및 품질이 급격히 향상되어 기존의 방법과 비교하여 수확량이 증가하였기 때문이다. 이와같은 결과는 같은 목표를 두고 재배하였을 때 더욱 빠르게 생산하여 출하할 수 있는 경쟁력을 갖는다. 따라서 본 연구개발의 결과를 활용하여 단일 시스템으로 콤팩트하게 구성하여 버섯 재배 농가를 대상으로 보급한다. 먼저 국내 버섯 농가중 연간 10억원 이상의 매출액을 갖는 중대형의 농가에 집중적으로 개발 시스템을 공급한다. 사용상의 문제점을 개선하고 300만원 이내의 가격으로 생산 안정화를 이룩하여 연간 5억원 내외의 매출을 하는 국내 200여개 버섯 농가에게 집중적으로 보급한다. 또한 개발제품의 디자인을 개선하고 시스템을 집적화하고 각종 인증마크를 획득한 후 동남아 및 유럽 등으로 제품을 수출한다. 이때 주관연구기관인 (주)바이오텔과 영업적으로 제휴중인 유럽의 OxyMat 및 일본의 ICST 등을 활용한다.

제 6 장 참고문헌

- Annette, K., Li, Y., Szaro, T. and Bruns, T. D. 1996. Internal transcribed spacer from 38 recognized species of *Suillus* sensu lato: Phylogenetic and taxonomic implications. *Mycologia* 88: 776-785.
- Chang, T. T. and T. Chen. 1984. *Ganoderma formosanum* sp., nov on Formasan Sweet Gum in Taiwan. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 82, 731-733.
- Chen, X., Romaine, C. P., Ospina-Giraldo M. D. and Royse, D. J. 1999. A polymerase
- Chen, Y-Q., Wang, N., Zhou, H. and Qu, L-H. 2002. Differentiation of medicinal *Cordyceps* Species by rDNA ITS sequence analysis. *Planta Med.* 68:635-639.
- Dai, Y. C. and Xu, M. Q. 1998. Studies on the medicinal polypore, *Phellinus baumii*, and its kin, *P. linteus*. *Mycotaxon* 67: 191-200.
- Gillbertson, R. L. and L. Ryvardeen, 1986. North American polypores, Vol. 1. *Fungiflora*, Oslo.
- Harada, T., Miura, N., Adachi, Y., Nakajima, M., Yadomae T. and Ohno, N. 2002a. Effect of SCG, 1,3- β -D-glucan from *Sparassis crispa* on the hematopoietic response in cyclophosphamide induced leukopenic mice. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 25(7): 931-939.
- Harada, T., Miura, N., Adachi, Y., Nakajima, M., Yadomae T. and Ohno, N. 2002b. IFN- γ induction by SCG, 1,3- β -D-glucan from *Sparassis crispa*, in DBA/2 Mice *in vitro*. *Journal of Interferon & Cytokine Research* 22: 1227-1239.

- Hou, H. H. and Wu, L. C., 1972. Respiratory changes in the cultivated mushroom, *Agaricusbisporus*, Mushroom sci., 9(1), 37,
- Jeong, W. J., Lim, Y. W., Lee, J. S. and Jung, H. S. 2005. Phylogeny of *Phellinus* and Related Genera Inferred from Combined Data of ITS and Mitochondrial SSU rDNA Sequences. J. Microbiol. Biotechnol. 15: 1028–1038.
- Kim, B. K., H. S. Chung, K. S. Chung and N. S. Yang. 1980. Studies on antineoplastic components of Korea basidiomycetes. Kor. J. Mycol. 8 : 107–113.
- Kim, H. K., Lee, H. D., Kim, Y. K., Han, G. H. and Kim, H. G. 2001. Comparison of characteristics of *Ganoderma lucidum* according to geographical origins(I): Consideration of growth characteristics. The Korean Journal of Mycology 29(1): 1–6.
- Kim, H. K., Seo, G. S. and Kim, H. G. 2001. Comparison of characteristics of *Ganoderma lucidum* according to geographical origins(II): Consideration of morphological characteristics. The Korean Journal of Mycology 29(2): 80–84.
- Kim, H. K., Shim, M. Y., Seo, G. S. and Kim, H. G. 2002. Comparison of characteristics of *Ganoderma lucidum* according to geographical origins(III):
- Kim, K. S. 1998. Genetic relationships and development of strains in *Ganoderma* species. Ph. D. Thesis. Keong–Sang University.
- Kim, M. O., Kim, G. Y., Nam, B. H., Jin, C. Y., Lee, K. W., Park, J. M., Lee, S. J. and Lee, J. D. 2005. Development of Species–specific Primers for Rapid Detection of *Phellinus linteus* and *P. baumii*. Mycobiology 33: 104–108.
- Lim, Y. W., Lee, J. S. and Jung, H. S. 2003. Type studies on *Phellinus baumii* and *Phellinus linteus*. Mycotaxon 85: 201–210.

- Mao, X. I. and Jiang, C. P. 1993. Economic macrofungi of Tibet. Beijing Science and Technology Press. Beijing.
- Nam, B. H., Kim, G. Y., Park, H. S., Lee, S. J. and Lee, J. D. 2002. Molecular Detection of *Phellinus linteus* and *P. baumii* by PCR Specific Primer. Mycobiology 30: 197-201.
- Ohno, N., Miura, N., Nakajima, M., and Yadomae, T. 2000. Antitumor 1,3- β -glucan from cultured fruit body of *Sparassis Crispa*. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 23(7): 866-872.
- Seo, G. S. 1995. In vitro photomorphogenesis and genetic diversity in the basidiomycete, *Ganoderma lucidum*. Ph. D. Thesis. Tottori University.
- Shen, Q., Geiser, D. M. and Royse, D. J. 2002. Molecular phylogenetic analysis of *Grifola frondosa*(maitake) reveals a species partition separating eastern north american and asian isolates. Mycologia 94: 472-482.
- Shim, J.-O., Son, S.-G., Yoon, S.-O., Lee, Y.-S., Lee, T.-S., Lee, S.-S., Lee, K.-D. and Lee, M.-W. 1998. The optimal factors for the mycelial growth of *Sparassis crispa*. *The Korean Journal of Mycology* 26(1): 39-46.
- Shin, G. C., Park, Y. H., Seo, G. S. and Cha, D. Y. 1986. Morphological characters of *Ganoderma lucidum*. (Fr) Karsten grown naturally in Korea.
- Zhao, J. D., L. W. Xu, and X. Q. Zhang. 1983. Taxonomic studies on the family Ganodermataceae of China II, *Acta Mycol. Sin.* 2: 159-167.
- 今關, 大谷, 本脚. 1988. 日本のきのこ山と 溪谷社, 東京.

- 杜徒伋外 4 1986. 冬虫夏草及 人工培養虫草菌糸菌体抗癌作用的研究. 四川省 藥研究所藥理室. 中藥通. 11(7):51-54
- 小林義雄. 清水 大典. 1983. 冬虫夏草図鑑. 保育社. 280 pp.
- 神戸中医学研究会. 1983. 漢藥의 臨床 応用. 医歯漢出版株式会社. 東京. 昭和 58:326-327
- 예운. 1985. 冬虫夏草及 人工虫草菌糸研究概況. 海軍医学研究所. 中藥通. 10(12):51-54.
- 有賀久雄. 1979. 昆虫病理汎論. 養賢堂. 東京 487pp
- 清水 大典. 1981. 冬虫夏草. 東京. 昭和 56.
- 清水大典. 1994. 原色 冬虫夏草図鑑. 誠文堂新光社. p 377.
- 가강현. 2003. 유망 임산버섯 재배. pp. 95-113. 박현(편). 임산버섯 재배의 이론과 실제. 한국임산버섯연구회 2003 세미나 자료집. 134p.
- 김성운, 이재운, 김기영, 박재민, 김문옥, 이태호, 이재동. 2004. ITS염기서열에 기초한 차가버섯과 근연속간 유연관계분석. 한국 균학회지 32: 152-157.
- 박 현, 이봉훈, 가강현, 박원철, 오득실, 박준모, 천우재. 2006. 증기 처리한 침엽수 톱밥을 이용한 꽃송이버섯 재배. 목재공학 34(3) : 84-89.
- 박 현, 이봉훈, 오득실, 가강현, 박원철, 이학주. 2005. 보릿가루가 첨가된 침엽수 톱밥을 이용한 꽃송이버섯 재배. 임산에너지 24(2) : 31-36.
- 버섯, 한국버섯연구회, 2001, 5(1), 153~154.

- 서상영, 유영진, 정기태, 류정, 고복래, 최정식, 김명곤. 2005. 꽃송이버섯의 균사생장 최적화. 한국버섯학회지 3(2): 45-51.
- 성재모, 이현경, 양근주. 1995. 동충하초균의 형태적인 특징과 단백질 Pattern에 의한 계통 분류. 한균지 23권 1호.
- 성재모, 1996, 한국의 동충하초, 교학사, p320.
- 오득실. 2003. 꽃송이버섯의 균사생장 최적화를 위한 배지조성 및 배양조건에 관한 연구. 전남대학교 대학원 석사학위 청구논문. 33p.
- 월간 '버섯 영농과 삶', 2001, 1월호p59.
- 정지원, 김기영, 하명규, 이태호, 이재동. 1999. Ribosomal DNA의 Internal Transcribed Spacer(ITS)부위의 염기서열분석에 의한 *Phellinus*속의 계통분석에 관한 연구. 한국 균학회지 27: 124-131.
- 정학성. 1974. 한국산 민주름목 균류에 대한 검토. Ms. Thesis Seoul National University.
- 조소연, 제금련, 성락선, 이종필, 박주영, 강인호, 조창희, 이동미, 한현정, 이송득. 2003. 상
- 하효철, 김현표, 심지영, 장윤희, 김현수. 2004. *Phellinus baumii* 자실체 열수 추출물의 Sarcoma-180에 대한 항암 및 면역효과. 한국버섯학회지 2: 169-174.
- 하효철. 2005. 버섯을 이용한 새로운 건강기능식품 개발. 한국조리과학회 춘계학술대회: 34-39.
- 황의 규격 제정 연구. 식품의약품 안전청연구보고서 7: 510-514.
- 현진원, 최웅철, 김병각, 1990. 한국산 고등균류의 성분 연구(제 67보)-영지버섯.