

병재배 팽이버섯의 스마트팜 재배를 통한 생육환경 분석

이관우^{1,*} · 전종옥¹ · 이경준¹ · 김영호¹ · 이찬중² · 장명준³

¹충청북도농업기술원

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

³공주대학교 산업과학대 식물자원학과

Analysis of growth environment of *Flammulina velutipes* using the smart farm cultivation technology

Kwan-Woo Lee^{1,*}, Jong-Ock Jeon¹, Kyoung-Jun Lee¹, Young-Ho Kim¹, Chan-Jung Lee², and Myoung-Jun Jang³

¹Chungcheongbuk-Do Agricultural Research & Extension Services, Cheongju, 28130, Korea

²Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Eumseong, Chungbuk, 27709, Korea

³Department of Plant Resource, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

ABSTRACT: In this study, smart farm technology was used by farmers cultivating 'CHIKUMASSHU T-011' in order to develop an optimal growth model for the precision cultivation of bottle-grown winter mushroom and the results of the same are mentioned herein. Farmers participating in the experiment used 60 m² of bed area with 4 rows and 13 columns of shelf shape, 20 horsepower refrigerator, 100T of sandwich panel for insulation, 6 ultrasonic humidifiers, 12 kW of heating, and 20,000 bottles of *Flammulina velutipes* mushroom spores. The temperature, humidity, and carbon dioxide concentrations, which directly affect the growth of the mushroom, were collected and analyzed from the environmental sensors installed at the winter mushroom cultivation area. The initial temperature was found to be 14.5°C, which was maintained at 14°C to 15°C until the 10th day. In the restriction phase, the initial temperature was 4°C and was maintained between 2°C and 3°C until the 15th day, while during the growth phase, it was maintained between 7.5°C to 9.5°C. Analysis of the humidity data revealed initial humidity to be 100%, which varied between 88% to 98% during primordia formation period. The humidity remained between 77% to 96% until the 15th day, in the restriction phase and between 75% to 83% during the growth phase. The initial carbon dioxide concentration was 3,500 ppm and varied between 3,500 ppm to 6,000 ppm during primordia formation period and was maintained at 6,000 ppm until the 15th day. During the growth phase, the carbon dioxide concentration was found to be over 6,000 ppm. Fruiting body characteristics of 'CHIKUMASSHU T-011' cultivated in the farmhouse were as follows: Pileus diameter of 7.5 mm and thickness of 4.1 mm, stipe thickness of 3.3 mm, and length of 154.2 mm. The number of valid fruiting bodies was 1,048 unit per 1,400 mL bottle, and the individual weight was 0.71 g per unit. The yield of fruiting bodies was 402.8 g per 1,400 mL bottle.

KEYWORDS: *Flammulina velutipes*, Growth environment, Smart farm technology

서론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 분류학적으로 담자균문(Basidiomycota), 담자균강(Agaricomycetes), 주름버섯목(Agaricales), 뿔나무버섯과(Physalacriaceae), 팽이버섯속(*Flammulina*)에 속하는 목재부후균으로 한국을 비롯한 온대에서 한대에 걸친 지역에 널리 분포한다(Im *et al.*, 2018). 팽이버섯은 우리나라 대표적인 식용버섯 중 하나로 생산량은 28,532톤으로 큰느타리, 느타리 다음으로 생산량이 많으며(2018 특용작물생산실적), 전체 버섯 수출량의 60%를 차지한다(2018 농림수산물 수출입동향 및 통계).

J. Mushrooms 2019 December, 17(4):197-204
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2019.17.4.197>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : toolia18@korea.kr
 Tel : +82-43-220-5702

Received December 5, 2019
 Revised December 20, 2019
 Accepted December 23, 2019

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

팽이버섯의 인공재배는 800년경 최초로 시작하여 (Chang, 1993), 1928년 Morimoto가 톱밥을 이용한 인공 재배를 시도하였으며(Chang, 1978), 1990년대 초반 기계화 및 자동화 설비가 구축됨에 따라 계절에 관계없이 연중 생산이 가능하게 되었다. 짧은 기간 내에 집중적인 생산을 목표로 하는 재배적 특성 때문에 재배시설이 외부 환경에 영향을 덜 받는 방향으로 발전되어 왔으며, 이러한 재배 시설 및 환경의 변화는 팽이버섯 재배에 첨단 정보통신기술(ICT)를 적용하여 재배사 내부의 생육환경을 분석하고 안정적으로 관리하는 기술의 적용이 가능하게 만들었다(Kim *et al.*, 2018). 최근 이러한 첨단기술이 융합된 재배시설을 스마트팜이라고 표현한다.

스마트팜은 정보통신기술(ICT, IoT)을 이용하여 작물의 파종부터 수확까지 온습도, 이산화탄소, 일조량, 지온 등 생육환경관련 정보와 작물의 초장, 수량, 당도, 엽면적 등 생육특성관련 정보를 데이터베이스화 및 분석을 통하여 작물의 최적 생육관리 모델을 설정하므로 작물의 수량과 품질을 향상시키며, 동시에 에너지, 노동력, 경비비 등을 절감하고 편리한 영농을 할 수 있는 농업경영 방식을 말한다(Choi, 2000; Park, 2000; Carlos *et al.*, 2001; Kim, 2002; Kong *et al.*, 2003). 버섯은 품목 뿐만아니라 품종에 따라 요구되는 재배환경이 매우 다르며, 일반적으로 버섯에 적합한 생육관리를 위해서는 온도, 상대습도, CO₂ 농도 등의 관리가 중요하다(Suh *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2015; Yoo *et al.*, 2016). 팽이버섯의 표준재배법에서 발이조건은 온도 12~15°C, 습도 90~95%이며, 발이 후 버섯이 10 mm 정도 성장하면 4~5°C의 억제실에서 7~10일간 유지하고, 버섯이 분지되고 발이량을 증가시켜 생육속도를 균일화하면서 생육온도를 6~8°C를 유지하면 수량성 및 품질이 가장 좋아지는 것으로 알려져 있다(Cha *et al.*, 1998). 버섯의 생육은 온도, 습도, CO₂농도 등의 재배환경 변화에 큰 영향을 받기 때문에 효율적인 재배를 위해서는 재배사 내 환경 제어장치가 구축이 되어 있어야 하며, 실시간 환경요소 데이터 값이 중요한 요인이 되고 있다(Moon *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2019). 이와 같이 버섯 재배에서 환경요인은 매우 중요한 요소이며,

정보통신기술을 활용해서 최적의 버섯 재배환경을 효율적으로 설정하여 누구나 쉽게 조작할 수 있다면 노동력을 감소시키는 동시에 버섯의 품질을 향상시키고 생산량을 증가시키는데 중요한 역할을 할 것이다.

본 연구는 병재배 팽이버섯 정밀재배를 위한 최적 생육 모델 개발을 위하여 팽이버섯 농가를 대상으로 스마트팜 기술을 적용하여 생육환경을 분석하였으며 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

농가 재배 현황

병재배 팽이버섯 농가의 재배사 구조 및 생육환경을 조사하기 위하여 충청북도 음성의 팽이버섯 재배 농가를 선정하여 실험을 하였다. 선정된 농가는 3년째 팽이버섯을 재배하고 있으며, 재배 품종은 국내에서 많이 재배되고 있는 ‘치쿠마쉬 T-011’ 품종을 재배하고 있고, 가락동 농수산물 시장에 출하하여 높은 가격을 수취하는 농가이다. 팽이버섯 재배에서 온도, 습도, CO₂농도는 버섯의 생육 및 품질을 위해 필수적인 요소이기 때문에 팽이버섯 재배사의 구조 및 생육환경을 조사하였다.

생육환경 관리 데이터 수집

팽이버섯 재배사 내 생육환경 자료를 수집하기 위하여 균급기한 배지를 입상한 후 수확할 때까지의 환경을 매분 간격으로 측정할 수 있는 생육환경 데이터 수집 장치를 사용하여 기록하였다(Table 1). 팽이버섯 생육환경 데이터를 수집하는 장치는 환경센서 수집부, 영상장치부 및 시설제어부로 구성하였다. 환경센서부는 버섯의 생육에 가장 직접적으로 영향을 미치는 온도, 습도, CO₂농도를 수집하는 센서로 구성되어 있고, 센서로부터 측정된 환경 데이터를 서버로 저장 및 공유하기 위하여 아날로그 데이터를 디지털로 변환하여 저장 및 전송하는 데이터로거 및 환경전송기로 구성되었다. 영상장치부는 사용자가 버섯 생육을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 장치이며 원격에서 컨트롤 할 수 있는 카메라와 저장장치로 구성되었다. 제

Table 1. Status on collection device of environmental data for bottle-grown winter mushroom

Division	Measuring device	Standard
Sensor collecting section	Temperature sensor	o -30 ~ 80°C
	Humidity sensor	o 0 ~ 100%RH
	CO ₂ sensor	o 0 ~ 6,000ppm
	Sensor node	o Data transmitter
Video device unit	CCTV	o 2 million pixels, 1/4 C Mo S o V5640, 2592×1944
	DVR	o BCM2836 ARMv7 Quad Co re
Facility controller	Log control	o 8 channels
		o In-and-out fan, humidifier

Table 2. Current status of cultivation facilities of *Flammulina velutipes* ‘CHIKUMASSHU T-011’

Varieties	Shelf area	Shelf shape	Refrigerator	Insulation	Humidifier	Heating	Bottle number
CHIKUMASSHU T-011	60 m ²	4row 13columns	20HP	sandwich panel 100T	6 ultrasonic humidifiers	12kW	20,000



Fig. 1. Smart farm device installed at *Flammulina velutipes* ‘CHIKUMASSHU T-011’ cultivator.

Table 3. Practical primordia formation environmental conditions of *Flammulina velutipes* ‘CHIKUMASSHU T-011’

Division	1day	2days	3days	4days	5days	6days	7days	8days	9days	10days
Temperature(°C)	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Humidification(min)			on 8 off 2					on 5 off 5		
CO ₂ concentration(ppm)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500

어장치는 버섯재배사의 온도, 습도, CO₂농도 등의 환경을 원격 또는 로컬에서 제어할 수 있는 구동기 패널 및 환경 제어기로 구성되었다.

생육 및 자실체 특성 조사

재배시험은 충청북도 음성의 팽이버섯 ‘치쿠마쉬 T-011’ 품종을 재배하는 농가에서 수행하였다. 버섯 재배용 배지의 수분함량은 65% 내외로 조절하였고, PP(Polypropylene) 병은 1,400 ml를 사용하였다. 배지조성은 콘코브:미강:소맥피:대두피:과옥쇄:폐화석(40:40:5:5:5:5, w/w)이었으며, 입병된 배지는 121°C에서 90분간 고압살균 후 15~18°C 내외로 냉각하고 종균을 접종하였다. 배양은 온도 15°C, 상대습도 60%로 조절된 배양실에서 25~26일간 배양하였다. 배양이 완료된 배지는 균굽기를 한 후 발이실로 옮겨 자실체 발생을 유도하였으며, 버섯 발생 후 자실체 생육을 고르게 하기 위하여 2~3°C 온도에서 억제단계를 거쳤다. 억제단계 후 생육실로 이동하여 생육하였다. 생육조사는 갓 직경, 갓 두께, 대 직경, 대 길이, 개체중 등 자실체의 형태적 특성과 유효경수, 수량 등 수량성을 조사하였다.

결과 및 고찰

농가 재배사 현황

실험 농가는 팽이버섯 ‘치쿠마쉬 T-011’를 병재배하는 농가로 재배사 규모는 균상면적이 60 m², 균상형태는 4열 13단, 냉방기는 20마력, 단열은 샌드위치 판넬 100 T, 가습기는 초음파 가습기 6대, 난방은 12 kW를 사용하였고 20,000병을 입병하여 재배하고 있었다(Table 2). 그리고 농가에 설치된 스마트팜 환경조절장치는 Fig. 1과 같다.

농가 재배 환경조건

농가 관행 생육조건은 배양이 완료된 병을 균굽기 후 발이실로 옮겨 입상 10일차까지는 14~15°C의 온도를 유지하였고, 버섯 발생 후 11일차부터 15일차까지 2~4°C의 온도를 유지하며 자실체가 균일하게 생육되도록 억제과정을 거쳤다. 가습은 타이머를 이용한 on-off로 조절하였으며, 입상 4일차까지는 8분(on)-2분(off)로 조절하였고, 5~10일차에는 5분(on)-5분(off)로 가습량을 줄였으며, 억제단계인 11~15일차에는 2분(on)-10분(off)로 가습량을 더욱 줄여주었다. 이산화탄소는 입상 10일차까지는 2,500 ppm 수준으로 유지하였으며 11~13일차까지는 3,500 ppm 수준을 유지하였고, 14~15일차에는 환기를 하지 않고 5,000 ppm 이상으로 유지하였다(Table 3, Table 4). 발이 과정 중 광은 조사하지 않았다. 버섯 발생 후 생육실로 옮겨 입상 16일차부터 수확 전까지 7.0~8.0°C의 온도를 유지하였고, 가습과 광조사는 하지 않았다. 생육실 내 이

Table 4. Practical restriction environmental conditions of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'

Division	11days	12days	13days	14days	15days
Temperature(°C)	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Humidification(min)			on 2 off 10		
CO ₂ concentration(ppm)	3,500	3,500	3,500	5,000	5,000

Table 5. Practical growth environmental conditions of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'

Division	16days	17days	18days	19days	20days	21days	22days	23days	24days	25days	26days	27days	28days
Temperature(°C)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Humidification(min)	Humidification												
CO ₂ concentration(ppm)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

Table 6. Fruit body characteristics of *Pleurotus ostreatus* *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'

Variety	Individual weight (g/unit)	No. of available stipes (ea/bottle)	Pileus(mm)		Stipe(mm)		Yields (g/bottle)
			Diameter	Thickness	Diameter	Length	
CHIKUMASSHU T-011	0.71	1,048	7.5	4.1	3.3	154.2	402.8

Bottle size(diameter of mouth): 1,400 ml(Ø 85)

산화탄소 농도를 높여주기 위하여 생육실로 이동 후에는 환기는 실시하지 않았으며 5,000 ppm 이상을 유지하였다 (Table 5).

농가 재배버섯 자실체 특성 및 수량

농가에서 재배하고 있는 팽이버섯 '치쿠마쉬 T-011'의 자실체 특성을 조사한 결과는 표 6과 같다. 갓 직경은 7.5 mm, 갓 두께는 4.1 mm이며, 대 굵기는 3.3 mm, 대 길이는 154.2 mm 였다. 개체중은 0.71 g 이었으며, 유효경수는 1,048개였고 수량은 402.8 g 이었다(Table 6, Fig. 2).

농가 생육환경 관리 데이터 분석

팽이버섯 재배농가에서 생육환경 데이터를 수집하기 위하여 설치한 환경센서부로부터 버섯의 생육에 직접적으로 영향을 미치는 온도, 습도, CO₂ 농도를 수집한 결과를 분석하였다. 발이단계에서 수집한 온도자료를 분석한 자료

는 그림 3과 같으며, 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯의 발이온도인 12~15°C와는 크게 차이가 없었으나, 억제온도인 4~5°C와는 다소 차이가 있었다. 배양이 완료된 병을 균균기한 후 입상 시 온도는 14.5°C에서 시작하여 버섯이 발생된 10일차까지는 14~15°C를 유지하였다. 발이 후 억제단계인 11일차에 온도를 4°C로 낮춰 억제를 시작하였으며 12일차부터 15일차까지는 2~3°C를 유지하였다. 입력데이터 값과 측정데이터 값의 오차범위는 냉방기의 제상시간의 오차값을 제외하면 -0.8~1.6°C로 나타났다(Fig. 3).

팽이버섯 생육단계에서 수집한 온도자료를 분석한 자료는 그림 4와 같으며, 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯의 생육온도인 6~8°C와는 크게 차이가 없었다. 발이가 완료된 버섯은 생육실로 옮겨 7.5°C에서 시작하여 수확 전까지 7.5~9.5°C 범위를 유지하였다. 입력데이터 값과 측정데이터 값의 오차범위는 냉방기의 제상시간의 오차값을 제외하면 -1.0~1.0°C로 나타났다(Fig. 4).

팽이버섯 발이단계에서 수집한 습도자료를 분석한 자료는 그림 5와 같다. 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯의 발이습도는 발이단계에서 90~95%, 억제단계에서 80~85%로 나타났으나 실제 측정값과는 다소 차이를 보였다. 배양이 완료된 병을 균균기한 후 입상 시 습도는 거의 100%에 가까웠고, 4일차까지는 96~98%를 유지하였다. 5~10일차에는 가습량을 줄여 88~98%를 유지하였으며, 11일차 이후 억제단계에서는 가습량을 더욱 줄여 77~96% 범위로 유지하였다. 실제로 농가에서는



Fig. 2. Fruit body of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011' grown on farmhouse.

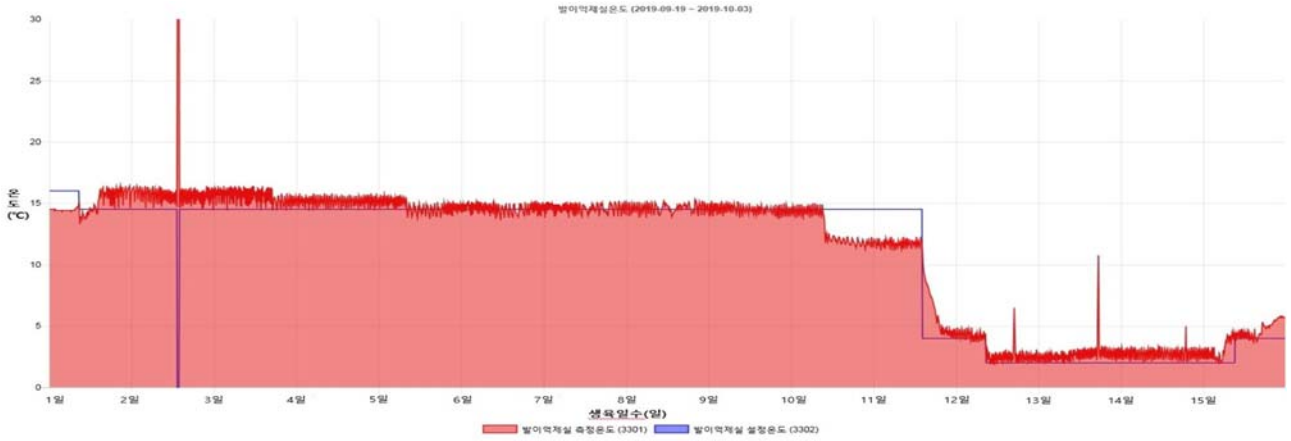


Fig. 3. Temperature data of the primordia formation process of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'.

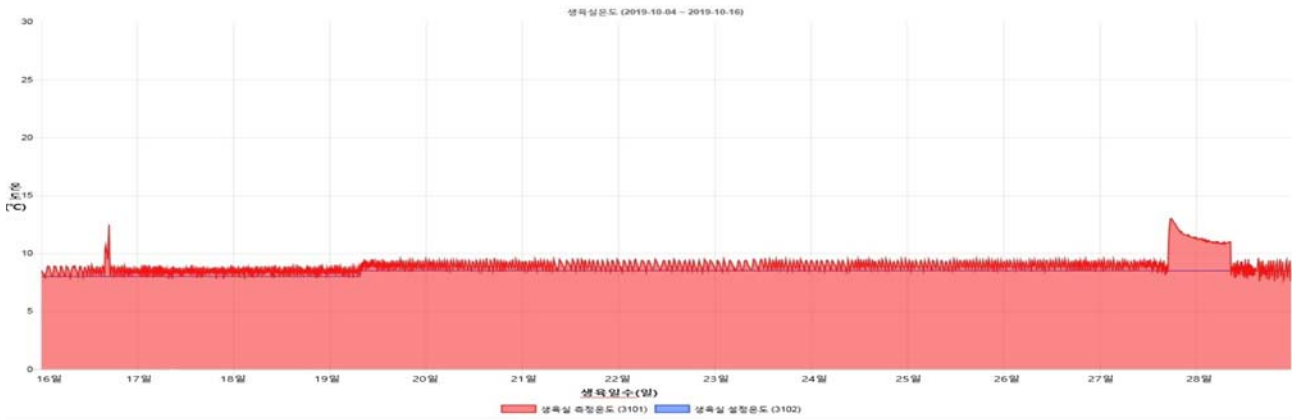


Fig. 4. Temperature data of the growing process of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'.

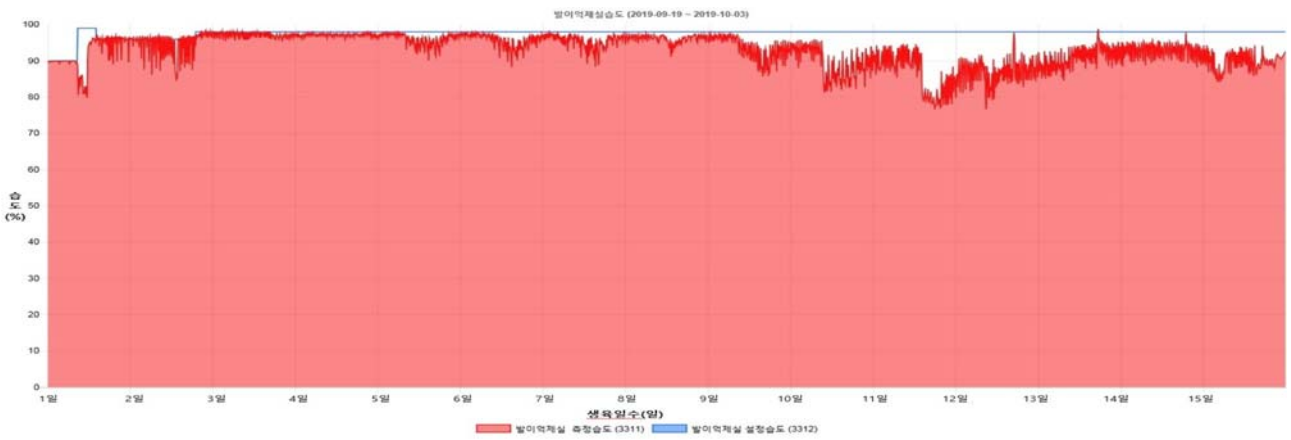


Fig. 5. Humidity data of the primordia formation process of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'.

가습을 on-off로 조절하고 있었지만 습도센서로 수집한 결과는 버섯 발생단계에서는 88~100%, 억제단계에서는 77~96%의 습도를 유지하였다(Fig. 5). 따라서 팽이버섯 병재배에서는 습도센서를 이용하여 습도를 조절하는 것은 정확성에서 많이 떨어질 것으로 판단된다.

팽이버섯 생육단계에서 수집한 습도자료를 분석한 자료는 그림 6와 같다. 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯의 생육습도는 70~75%로 나타났으나 실제 측정값과는 다소 차이를 보였다. 생육 중반기까지는 가습을 하지 않아 75~83%를 유지하였고 생육 후반기에는

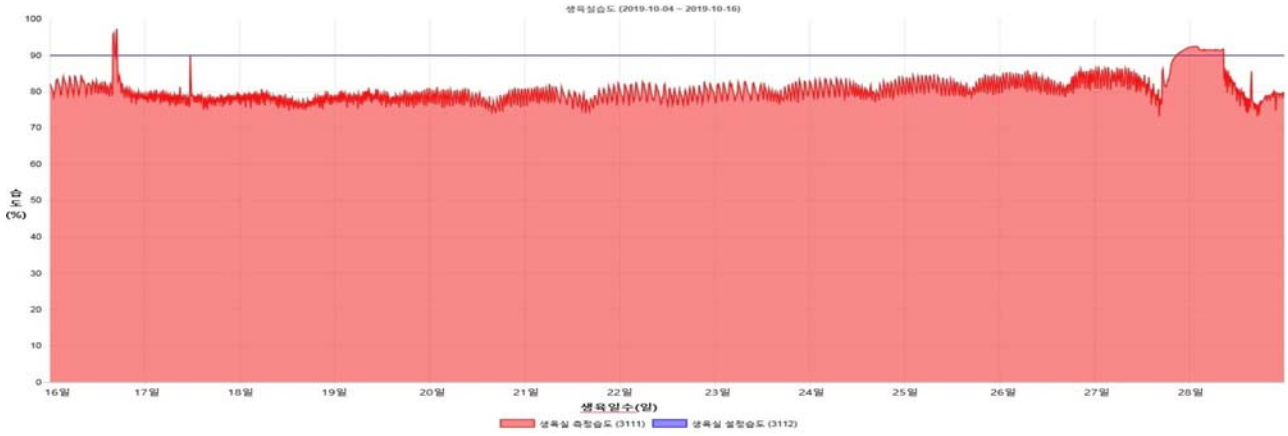


Fig. 6. Humidity data of the growing process of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'.

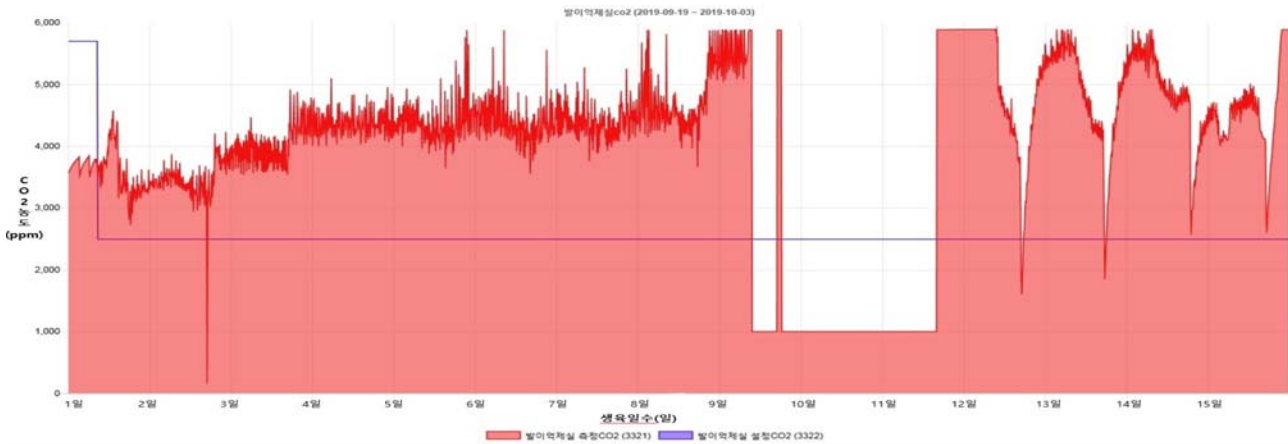


Fig. 7. CO₂ data of the primordia formation process of *Flammulina velutipes* 'CHIKUMASSHU T-011'.

약간의 가습을 주어 78~87% 수준을 유지하였다(Fig. 6). 팽이버섯 발이단계에서 수집한 CO₂농도 자료를 분석한 자료는 그림 7과 같다. 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯 발이 및 억제단계의 CO₂농도는 1,000~1,500 ppm으로 조절하여야 한다는 내용과는 차이가 있었다. 배양이 완료된 병을 균급기한 후 입상 시 3,500 ppm에서 시작하여 발이단계에서는 3,500~6,000 ppm 범위였고 평균적으로 4,500 ppm 수준을 유지하였다. 억제단계 11~12일차는 CO₂농도 수집센서의 오류가 발생하였으나 6,000 ppm 수준이었고, 13~15일차에는 단시간 환기를 해주어 2,000~6,000 ppm 범위였다(Fig. 7). 팽이버섯 생육단계에서 수집한 CO₂농도 자료를 분석한 자료는 그림 8과 같다. 일반적으로 표준영농교본(RDA, 2010)에 있는 팽이버섯 생육단계의 CO₂농도는 2,500~3,000 ppm으로 조절하여야 한다는 내용과는 많은 차이가 있었다. CO₂농도 수집센서의 최대값이 6,000 ppm이었기 때문에 6,000 ppm 이상으로 올라갔을 시 수집센서의 오류가 발생하였다. 실제 생육실의 CO₂농도 값을 주기적으로 조사한 결과 생육 초반에는 4,000~5,000 ppm

범위를 유지하다가 생육 후반에는 6,000 ppm 이상을 지속적으로 유지하였다(Fig. 8). CO₂농도는 재배과정에서 대의 길이와 밀접한 관련이 있으므로 생육단계에서 팽이버섯 대의 길이를 길게 하기 위하여 거의 환기를 하지 않았고, 이후 추가 실험에서 CO₂농도 수집센서를 최대값이 10,000 ppm인 센서로 교체한 후 생육실의 CO₂농도를 측정된 결과 6,500~7,000 ppm 수준을 유지하였다.

적 요

본 연구는 병재배 팽이버섯 '치쿠마쉬 T-011'의 정밀재배를 위한 최적 생육모델 개발하기 위하여 팽이버섯 병재배 농가를 대상으로 스마트팜 기술을 적용하여 생육환경을 분석한 결과를 보고하고자 한다. 실험농가의 균상면적은 60 m², 균상형태는 4열 13단, 냉동기는 20마력, 단열은 샌드위치 판넬 100 T, 가습dms 초음파 가습기 6대, 난방은 12 kW를 사용하였고, 20,000병을 입병하여 재배하고 있었다. 팽이버섯 재배농가에서 생육환경 데이터를 수집하기 위하여 설치한 환경센서부로부터 버섯의 생육에

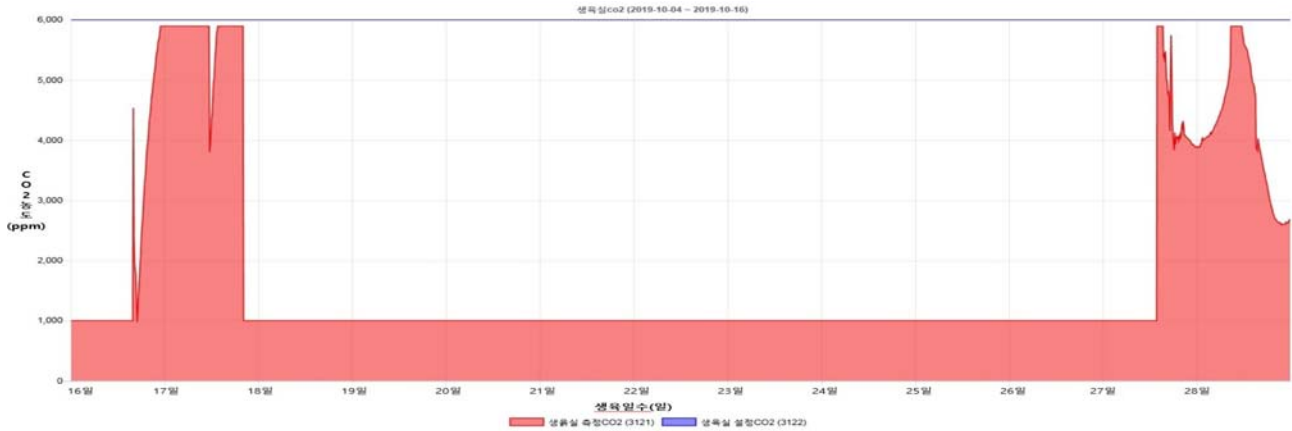


Fig. 8. CO₂ data of the growing process of *Flammulina velutipes* ‘CHIKUMASSHU T-011’.

직접적으로 영향을 미치는 온도, 습도, CO₂농도를 수집 분석하였다. 온도는 발이단계에서 배양이 완료된 병을 균 급기한 후 입상 시 14.5°C에서 시작하여 10일차까지 14~15°C를 유지하였고, 억제단계에서는 4°C에서 시작하여 15일차까지 2~3°C를 유지하였다. 생육단계에서는 7.5~9.5°C를 유지하면서 버섯을 수확하였다. 습도는 균 급기한 후 입상 시 거의 100%에 가까웠고, 팽이버섯 발생 단계에서 습도는 88~98%의 범위를 유지하였고, 억제단계에서는 77~96%, 생육단계에서는 75~83% 범위를 유지하였다. CO₂농도는 발생단계에서 입상 시 3,500 ppm에서 시작하여 10일차까지는 3,500~6,000 ppm을 유지하였고, 억제단계에서는 6,000 ppm 수준이었으며 생육단계에서는 6,000 ppm 이상을 유지하였다. 농가에 재배하고 있는 ‘치쿠마쉬 티-011’의 자실체 특성은 갓 직경 7.5 mm, 갓 두께 4.1 mm이며, 대 굵기 3.3 mm, 대 길이 154.2 mm 였다. 병 당 유효경수는 1,048개, 개체중은 0.71 g/unit이었으며 수량은 402.8 g/1,400 ml로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품 연구개발사업 공동연구과제 ‘1세대 스마트팜 적용 성과분석(319010011SB010)’에서 수행한 연구결과로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

Serodio C, Cunha JB, Morais R, Couto C, Monteiro J. 2001. A networked platform for agricultural management systems. *Comput Electro Agri* 31: 75-90.
 Cha DY, Yu CH, Kim KP. 1998. The latest mushroom cultivation technology. 335-353.
 Chang ST. 1993. The impact on mushroom industry and mushroom products. In S.T. Chang, J. A. Buswell & S. W. Chiu. (ed.), *Mushroom Biology and Mushroom Products*,

The Chinese University Press. China.
 Chang ST, Hayes WA. 1978. *The biology and cultivation of edible mushroom*. Academic Press, New York.
 Choi JH. 2000. Design and implementation of remote control on internet. MS thesis. Hongik University, Seoul, Korea (in Korean).
 Im JH, Jang KY, Oh YL, Oh MJ, Lee SK, Raman J, Kong WS. 2018. Breeding of a new cultivar of *Flammulina velutipes*: ‘Baeke’. *J Mushrooms* 16: 299-303 (in Korean).
 Kim DU. 2002. Design and implementation of realtime monitoring for remote control based on clinet/server. MS thesis. Pukyong National University, Busan, Korea (in Korean).
 Kim IY, Kwon HI, Hwang IH, Lee WH, No JH, Choi SG, Ko HK, Koo CD. 2018. Research of environmental condition using ICT-based smart cultivation system during high temperature period. *J Mushrooms* 16: 79-85 (in Korean).
 Kong DG, Ryu KH, Jin JY. 2003. Development of database for environment and control information in greenhouse. *J Agri Machin* 28: 59-64 (in Korean).
 Korea Agricultural Trade Information (KATI). <http://www.kati.net/>
 Lee CJ, Park HS, Lee EJ, Kong WS, Yu BK. 2019. Analysis of growth environment by smart farm cultivation of oyster mushroom ‘ChunChu No 2’. *J Mushrooms* 17: 119-125 (in Korean).
 Lee IB, Suh WM, Kim TK, Choi MG, Yoon YC. 2007. Survey and analysis on operation of equipments for environmental control in *Pleurotus eryngii* cultivation facilities. *J Agric Life Sci* 41: 47-53 (in Korean).
 Lee SH, Yu BK, Kim HJ, Yun NK, Jung JC. 2015. Technology for improving the uniformity of the environment in the oyster mushroom cultivation house by using multi-layered shelves. *Protected Hort Plant Fac* 24: 128-133 (in Korean).
 Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2018. *Cash Crop Production Records*.
 Moon SM, Kwon SY, Lim JH. 2015. Improvement of energy efficiency of plants factory by arranging air circulation fan and air flow control based on CFD. *J Internet Comput Serv* 16: 57-65 (in Korean).
 Park BH. 2000. Teleoperation control for greenhouse via the world wide web. MS thesis. Yeungnam University,

Gyeongsan, Korea (in Korean).
RDA (Rural Development of Administration). 2010. Standard farming textbook of mushroom cultivation.
Suh WM, Yoon YC, Kim YW. 2002. Technical development of environment control complex of micro-climatic factors for

oyster mushroom cultivated in protected environment. *Proc 2002 Ann Con Kor Soc Agric Eng* 121-124 (in Korean)
Yoo YB, Oh MJ, Oh YL, Shin PG, Jang KY, Kong WS. 2016. Development trend of the mushroom industry. *J Mushrooms* 14: 142-154 (in Korean).