

병재배용 느타리 품종 『흑타리』의 배양온도에 따른 미발이 관계 규명

최종인* · 김정한 · 권희민 · 이윤혜 · 신복음 · 구 옥 · 하태문 · 정구현

경기도농업기술원 버섯연구소

Cause of undeveloped primordium formation according to incubation temperature of new oyster mushroom cultivar 『Heuktari』 for bottle cultivation

Jong In Choi*, Jeong Han Kim, Yun Hae Lee, Hee Min Gwon, Bok Eum Shin, Ok Gu, Tai Moon Ha, and Gu Hyun Jung

Mushroom Research Institute, Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services, Gwangju 12805, Korea

ABSTRACT: This experiment was conducted to solve the failure of fruiting body production in the bottle cultivation of the oyster mushroom cultivar ‘Heuktari’. The effects of incubation temperature on primordium formation and fruiting body yield of the oyster mushroom cultivar ‘Heuktari’ were investigated. The proper temperature for mycelium growth of ‘Heuktari’ on potato dextrose agar (PDA) medium is 23–26°C. The mycelial growth of ‘Heuktari’ was faster than that of Chunchu 2ho. During mycelial culture in sawdust medium, the temperature of the medium in the bottle initially increased, reached the highest point in the middle of the culture, and then decreased. The higher the set temperature, the shorter the incubation period. When the incubation temperatures were 20°C and 24°C, respectively, the undeveloped primordium formation rates were low (1.8% and 4.2%, respectively). However, the rate of undeveloped primordium formation increased, and the yield decreased at incubation temperatures of 16°C and 28°C. Mushroom farms that set incubation temperatures to 18°C and maintained the medium temperature at less than 28°C showed undeveloped primordium formation rates ranging between 0.3-0.8%. The rate of undeveloped primordium formation increased and the yield decreased in the farms with high incubation temperatures (above 28°C). We found that in order to reduce undeveloped primordium formation, the air inside the incubation room should be circulated continuously so that the temperature of the medium does not rise above 28°C, and dense incubation conditions should be avoided.

KEYWORDS: Heuktari, Incubation temperature, Oyster mushroom, Undeveloped primordium formation.

J. Mushrooms 2020 September, 18(4):317-322
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2020.18.4.317>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Jong In Choi(Reseracher), Jeong Han Kim(Reseracher), Yun Hae Lee(Reseracher), Hee Min Gwon(Reseracher), Bok Eum Shin (Reseracher), Ok Gu(Reseracher), Tai Moon Ha(Reseracher), and Gu Hyun Jung(Reseracher)

*Corresponding author

E-mail : cji190@gg.go.kr

Tel : +82-31-229-6127, Fax : +82-30-229-6139

Received December 6, 2020

Revised December 17, 2020

Accepted December 21, 2020

서론

국내 버섯 생산방식은 공조시스템을 이용하여 재배환경을 유지하기 때문에 외부환경을 차단하여 자연조건에 의존하지 않고 원하는 시기에 맞추어 버섯을 생산할 수 있는 방식이다. 느타리는 병재배 시스템이 도입되면서 대량 생산이 가능해졌으며 버섯재배시 배지, 온도, 상대습도, CO₂, 광 등을 인위적으로 관리할 수 있게 되었다(Lee *et al.*, 2015; Yoo *et al.*, 2016). 하지만, 이들 요인 중 하나라도 적절하게 조절되지 않을 경우 버섯의 생육 및 품질에 큰 영향을 미치는데 그중에서 온도가 버섯의 발생 및 생육에 가장 중요한 요인으로 여겨지고 있다(Yoon *et al.*, 2006; Chang and Miles, 2004). 균배양 중에는 병 내부의

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.

온도가 상승하는데 그 원인은 균사체가 배지내의 유기물을 분해하고 호흡과 생장을 하면서 열이 발생하기 때문이다. 큰느타리 배양시 배지온도가 평균 접종 후 상승하고 20일경에 병 내부온도가 최고 에 도달한다. 그리고 20일 이후부터는 점차 내려가 배양 완료 이후에 실내와 같은 온도로 하강 한다(이, 2001). 느타리 품종인 ‘춘추2호’, ‘수한1호’, ‘흑평’은 병재배에서 배양온도가 높으면 배양일수와 초발이 소요일수가 짧아지는데 ‘춘추2호’는 배양기간이 길어질수록 수량이 증가하고, ‘수한1호’는 수량이 감소한다(Ha *et al.*, 2003). ‘흑타리’는 2015년도에 경기도 버섯연구소에서 육성한 중고온성 품종으로 갓색이 진회색이며 대가 백색으로 고품질의 버섯으로 국내에 보급되고 있다. 자실체 조직은 탄력성이 우수하여 포장 및 유통시 파손이 적고, 식감이 좋아 시장수요가 증가하면서 재배농가가 점차적 증가하고 있는 추세이다. 하지만, ‘흑타리’는 기존 품종에 비하여 생육관리 방법에 다소 차이를 보이는데 국내의 느타리 재배방법은 ‘춘추2호’와 ‘수한1호’ 품종을 기반으로 하여 재배기술이 맞추어져 있어 새로운 품종이 개발되면 기존품종과 동일한 방법으로 재배할 경우 생육조건이 적합하지 않아 다양한 문제점들이 발생할 수 있다.

기존 재배 방식으로 ‘흑타리’를 재배하였을 때, 배양실에서 균사 배양은 잘 이루어진다. 하지만, 자실체 유기 시점에서 배지가 경화되고 배지표면에 흡습이 이루어지지 않아 자실체 원기가 형성되지 않는 현상이 발견되었다. 이 현상을 ‘미발이’라고 불리는데, 영양생장 단계에서 생식생장 단계로 전환이 이루어지지 않는 것이다. 미발이 원인은 아직도 명확하게 밝혀지지 않아 농가에서 버섯 재배에 많은 어려움을 겪고 있다. ‘흑타리’를 재배하고 있는 농가에서는 미발이 원인을 원균, 종균, 배지재료, 배양실 및 생육실의 환경 등 다양한 원인에 의해 발생한다고 추정하고 있다. 기존 느타리는 배양 온도를 20°C로 설정하고 소량의 환기를 하면서 균사를 배양하는데 ‘수한1호’와 ‘춘추2호’ 품종은 고온에 대하여 내성이 강하여 배양실에서 배지품온(병내부의 배지온도) 30°C 이상 상승하여도 버섯 생산에 문제점이 발생되지 않았다. 하지만, ‘흑타리’ 품종은 기존품종에 비하여 균사생장이 빠르고 호흡량이 많아 배양중에 병내부의 온도가 높아지면서 배양균사체가 고온 스트레스를 받아 버섯이 발생되지 못하는 것으로 추정하고 있다.

본 연구에서는 ‘흑타리’의 미발생의 원인으로 추정되는 배양실의 온도조건에 대하여 배양온도와 배지품온이 미발이에 미치는 영향을 알아보고 농가 현장조사를 통하여 미발이 원인을 구명하고자 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용한 느타리(*Pleurotus ostreatus*)는 경기도

농업기술원 버섯연구소에서 개발한 품종인 ‘흑타리’(품종 등록 제5309호)로 2015년 품종 등록한 버섯이다. 또한 느타리 품종 ‘춘추2호’는 국내에서 대량 재배되고 있는 품종으로 대조 품종으로 이용하였다.

온도별 균사 생장량

온도조건에 따른 ‘흑타리’ 균사생장을 알아보기 위하여 페트리디쉬에 PDA(Potato dextrose agar)배지를 제조한 후 균사를 접종하였다. 접종된 균사는 항온배양기에서 각각의 온도별(17°C, 20°C, 23°C, 26°C, 29°C, 32°C)로 7일간 배양하여 균사생장을 조사하였다.

종균 및 생육배지 제조

‘흑타리’ 원균은 PDA(potato dextros agar) 배지에 접종한 후 25°C 항온기에서 7일간 배양하였다. PDA 배지에서 배양이 완료된 균주는 종균배지에 접종하였다. 종균배지는 미루나무 톱밥과 미강을 80:20 (v/v) 비율로 혼합하여 수분함량을 65%로 조절하였다. 혼합된 종균배지는 배양병(1100 cc, Ø75, P.P)에 700 g씩 담아 121°C, 1.2기압에서 90분간 고압증기멸균을 하였다. 살균된 배지는 온도를 20°C까지 내리고 PDA배지에서 배양된 원균을 접종하여 배양실에서 25일간 배양하였다.

생육배지는 미루나무 톱밥 + 면실피 + 비트펄프 + 면실박(40:40:10:10 v/v)을 혼합하고 수분함량을 65%로 조절하였다. 생육배지는 종균제조 방법과 동일한 방법으로 실행하였다. 살균된 배지는 온도를 20°C까지 하강시키고 톱밥종균을 10~15 g씩 접종하여 배양기에서 배양하였다.

배양조건 및 생육특성 조사

느타리 품종 ‘흑타리’와 ‘춘추2호’ 톱밥종균을 생육용 배지에 접종하였다. 종균이 접종된 재배용 배양병은 16°C, 20°C, 24°C, 28°C로 설정된 배양기 내에서 배양을 실시하였다. 병내부 온도는 배지내에 온도센서(I-button)를 삽입하여 1분 단위로 배양이 완료 될 때까지 측정하였다. 배양이 완료된 후 노화균을 제거하고 생육실에서 환경을 조절하면서 버섯발생을 유도하였다. 생육특성을 조사하기 위해 생육일수, 유효경수, 갓크기, 갓색도, 대굵기, 대길이 등을 생육조사기준에 맞추어 조사하였다(국립종자원, 2006). 재배일수는 배양기간, 발이소요기간, 생육기간으로 나누어 계산하였다. 배양기간은 배지를 만들어 종균을 접종한 날로부터 균굽기(노화균 제거) 시점까지, 발이기간은 균굽기 이후 생육실에서 80%이상 버섯원기가 형성된 시기, 생육기간은 원기형성 후 버섯수확시점의 일수로 나타내었다. 또한, 버섯이 정상적으로 발생하는 것은 정상발이, 발생이 느린 것은 지연발생, 발생이 되지 않는 것은 미발이로 표기하였다.

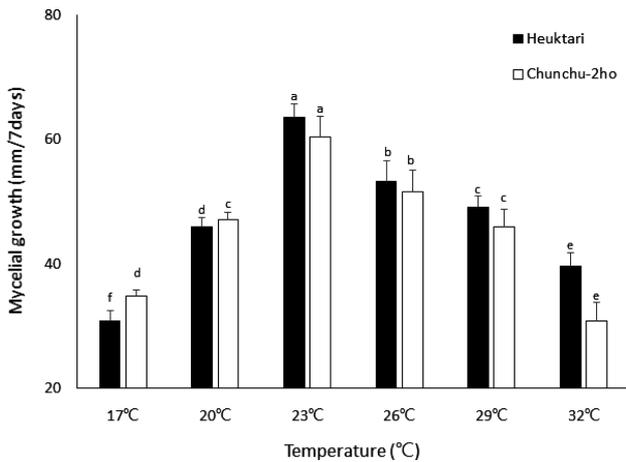


Fig. 1. Mycelial growth of oyster mushroom cultivar 'Heuktari' and 'Chunchu-2ho' in the different incubation temperature. Medium: PDA (potato dextrose agar); Different letters over error bars indicate significant differences among groups (same color bars) at $p \leq 0.05$ as determined by Duncan's multiple range tests.

배양온도에 따른 미발이율 농가검증

적정배양 온도 연구 결과를 바탕으로 '흑타리'를 재배하는 농가에서 배지품온(병내부의 배지온도)이 28°C 이상 발생되는지를 조사하고 배양실 온도와 배지품온을 비교하여 미발이율 관계를 규명하였다. 실증농가에서 배양기간, 발이기간, 생육기간을 조사하고 100병당 수량과 미발이율을 조사하였다.

결 과

온도별 균사생장량

'흑타리' 원균은 PDA 배지에 접종하여 각각의 설정된 배양온도에서 균사를 배양하였다(Fig. 1). '흑타리'의 균사생장은 17°C에서 30.8 mm, 20°C에서 46.0 mm, 23°C에서 63.6 mm, 26°C에서 53.2 mm, 29°C에서 49.32 mm, 32°C에서 39.6 mm으로 온도에 따라 균사생장정도의 차이가 있었다. '흑타리'는 23°C에서 가장 빠른 성장을 보였으며, 23°C 보다 높거나 낮을 경우 균사 생장은 유의하게 감소하였다. 32°C 고온에서는 '흑타리'가 '춘추2호'에 비하여 8.8 mm 이상 생장이 빠른 경향을 보였으며, 17°C의 저온에서는 '흑타리'가 '춘추2호'에 비하여 4 mm 정도 느려지는 경향을 보였다.

배양설정온도별 배지품온변화

'흑타리'의 배양 온도와 미발이의 상관 관계를 규명하기 위하여 배양 설정온도와 병내부 배지온도(배지품온) 변화를 조사하였다(Fig. 2). 배양온도 16°C 처리구에서는 배지품온의 최저값이 16°C였으며, 최대값이 17.5°C인데 평균

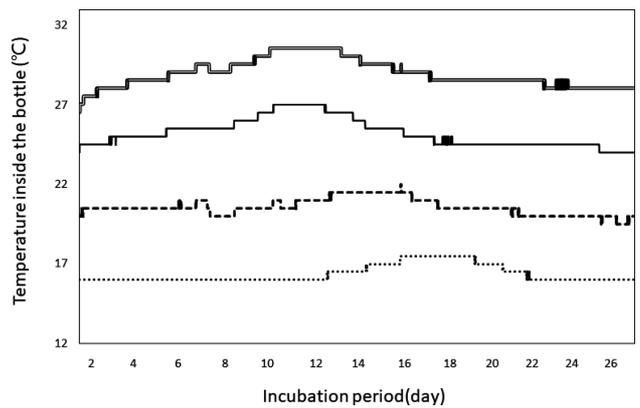


Fig. 2. Temperature change of the 'Heuktari' sawdust medium during bottle cultivation compared with set temperature. Set temperature of incubation room : 16°C(.....); 20°C(- - -); 24°C(——); 28°C(————).

접종후 배양 17일까지 온도가 서서히 상승하다가 점차적으로 감소하였다. 배양온도 20°C 처리구에서는 최저값이 19.5°C, 최대값이 22°C로 15일까지 지속적으로 온도가 상승하다가 감소하였다. 배양온도 24°C 처리구에서는 배지품온의 최저값이 24°C, 최대값이 27°C였으며, 11일까지 온도가 상승하다가 감소하였다. 배양온도 28°C 처리구에는 배지품온의 최저값이 28°C, 최대값이 31°C로 11일까지 온도가 상승하다가 감소하였다. 전체적으로 배양온도가 높아지면 배지품온이 빠르게 상승하였으며 배양기 내의 온도에 비하여 배지품온이 최대 3°C 이상 높아지는 경향을 보였다.

배양온도별 발이특성

배양온도에 따른 생육특성 조사 결과는 Table 1 과 같다. 배양온도 16°C 처리구에서 배양기간은 31일 정도 소요되었다. 또한 미발이율은 19.2%로 증가되었고 병당수량은 109.4 g으로 낮은 수량을 나타내었다. 배양온도 20°C 처리구에서는 배양기간이 25일 정도 소요되었으며,

Table 1. Comparison of growth of oyster mushroom cultivar 'Heuktari' in the different incubation temperature

Temperature (°C)	Incubation period (day)	Non-primordium formation rate (%)	Yield (g)
16	31 c ¹	19.2 b	109.4 b
20	25 b	1.8 c	139.4 a
24	20 a	4.2 c	132.1 a
28	18 a	31.4 a	101.2 b

※ Bottle size : 1,100 ml, φ75 mm, storage temperature 4°C and growth temperature 15-20°C. J : Different letters in the same column indicate significant differences among groups at $p \leq 0.05$ as determined by Duncan's multiple range tests.

Table 2. Cultivation characteristics and non-primordium formation rate of oyster mushroom cultivar 'Heuktari' according to temperature of the medium being cultured and indoor set temperature in incubation room of farm.

Farm	Set temp. (°C)	Temp. in the bottle (°C)		CO ₂ conc. of incubation room (ppm)	Period (day)			Yield of 100 bottle (g)	Non-primordium formation rate(%)
		Max.	Min.		Incubation	Primordium formation	Growth		
A	18±1	26.4	17.4	4,000~6,000	33	5	4	19,950 a [↓]	0.5 c
B	20±1	28.7	20.4	8,000~9,900	35	5	5	19,775 a	3.5 b
C	18±1	24.4	18.7	3,000~5,000	35	5	4	20,604 a	0.8 c
D	18±1	25.5	20.3	4,000~5,000	36	5	4	20,458 a	0.3 c
E	18±1	24.1	15.8	4,000~5,000	35	5	4	20,947 a	0.3 c
F	19±1	31.3	21.9	4,000~5,000	33	5	5	17,554 b	8.2 a

※ Bottle size: 1100 cc, φ75 mm

↓ : Different letters in the same column indicate significant differences among groups at p ≤ 0.05 as determined by Duncan's multiple range tests.

미발이율이 1.8%로 정도 낮게 나타났다. 병당수량은 139.4 g으로 16°C와 28°C 처리구에 비하여 높게 나타났다. 배양온도 24°C 처리구에서 배양기간은 20일 정도 소요되었으며, 미발생율은 4.2%, 병당수량은 132.1 g을 나타내었다. 배양온도 28°C 처리구에서 배양기간은 18일 만에 완료되었지만, 미발이율은 31.4%로 높게 증가하였으며, 수량은 101.2 g 으로 유의하게 감소하였다.

농가배양관리

‘흑타리’ 재배농가에서 배지품온과 미발이의 상관관계를 알아보았다(Table 2). 배양기간은 전체적으로 33일~36일이 소요되었으며, 초발이 소요일수는 5일, 생육일수는 4~5일 정도 소요되었다. A농가는 배양실 온도가 18°C로 배지품온이 17.4~26.4°C를 나타내었다. 미발이율은 0.5%로 확인되었으며, 수량은 19,950 g/100병 이었다. B농가는 배양실 온도가 20°C 이었으며, 환기가 잘 이루어지지 않아 배지 품온이 20.4~28.7°C 이었다. 미발이율은 3.5%로 높았으며, 수량은 19,775 g/100병 이었다. C, D, E 농가는 배양실 온도가 18°C였으며 배지품온이 15.8~25.5°C를 나타내었다. 미발이율은 0.3~0.8%였으며, 100당 수량은 20,458~20,947 g/100병 이었다. F 농가는 배양실 온도가 19°C였는데 배양실내의 공기 순환이 원활하지 못하여 배지 품온이 21.9~31.3°C로 배양실 온도보다 10°C 이상 높은 온도를 나타내었다. 미발이율은 8.2%로 높았으며 100당 수량은 17,554 g으로 낮은 생산성을 보였다.

고 찰

국내에서 육성된 느타리 품종 ‘흑타리’는 중고온성으로 기존품종에 비하여 온도에 민감한 특징을 가지고 있다. PDA 배지에서 균사 생장 적온은 23~26°C이며 ‘춘추2호’와 ‘수한1호’에 비하여 균사 생장이 빠른 편이다. 병재배

의 배양온도는 18°C로 다른 버섯에 비하여 1~2°C 낮게 관리되어야 하는데 그 이유는 균사 생장이 빠르고 호흡량이 많아 열발생량이 높기 때문이다. 원기형성온도는 22~24°C로 기존품종에 비하여 2~3°C 높게 유지되어야 발이가 정상적으로 이루어질 수 있다. 생육온도는 17~20°C 정도로 17°C 이하에서 생육시 자실체 생육이 느려지고 15°C 이하 온도에서는 생육기간이 기존 품종에 2배 이상 길어지는 특징이 있다. 자실체의 갓은 둥근형이며 진회색이고, 대는 백색으로 소비자와 생산자가 선호하는 특성을 가지고 있다. 자실체 조직은 탄력이 있어 파손이 적고 저장성이 우수하여 해외 수출과 유통에 유리한 장점들을 가지고 있다(Choi *et al.*, 2015).

PDA 배지에서 ‘흑타리’ 균사생장은 23°C에서 가장 빠른 생장을 보였으며 23°C보다 높거나 낮을 경우 균사 생장이 유의하게 감소되었다. 또한, 균사생장의 적온은 품종에 따라 차이를 나타내었다. 느타리 균사체는 PDA(potato dextrose agar) 배지에서 28°C와 40°C 온도를 처리 하였을 때, 균사체 내에 pal 1(phenylalanine ammonia-lyase) 유전자가 28°C에서 보다 40°C 고온에서 6배 이상 증가되었고, pal 2 유전자는 1.3배 정도 증가되었다. 또한, 28°C에서 균사체를 48시간 방치하면 고온스트레스에 의하여 H₂O₂ 와 이온 방출율(leakage)이 증가되고 활성산소(reactive oxygen species) 반응에 의하여 균사 세포에 산화적 손상이 발생된다(Hou *et al.*, 2019).

영지 균사체는 PDA 배지에서 40°C의 고온을 30분 이상 처리하면 균사생장이 느려지고 균사의 분지수가 감소된다. 또한, 액체배지에서 42°C, 6시간 이상 heat stress를 처리하면 ganoderic acids, squalene 그리고 lanosterol 함량이 증가한다(Zhang *et al.*, 2016b). 균사배양중에 고온에 장기간 노출되면 균사는 호흡량이 증가되고 배지내에 산소결핍 현상이 발생되며(Zhang *et al.*, 2016a), 세포사멸반응(apoptosis)과 같은 사멸세포가 활성화 된다(Song

et al., 2014). 또한 지질 퍼옥시다아제에 의하여 단백질 및 세포막 등에 손상이 발생된다(Ancin-Azpilicueta *et al.*, 2012). 표고 균사체에 24시간 동안 40°C의 고온스트레스를 주어 균사 생존 유무에 따라 고온 내성품종과 민감성 품종을 구별하였으며, 선발된 품종을 이용하여 고온스트레스 대한 발현 유전자와 단백질을 분석하여 IAA와 tryptophan 물질이 고온내성과 관련이 있다고 보고하였다(Wang *et al.*, 2018). 균사체는 heat stress에 대한 방어 기작으로 proline, glycine betaine 및 trehalose 와 같은 삼투 보호제가 생성되거나 균사 체내에 축적한다(Ribeiro *et al.*, 1999; Kong *et al.*, 2012a, b; Asthir, 2015). 비환원 이당류인 트레할로스(Trehalose)는 탄수화물의 보존 뿐만 아니라 단백질과 세포막의 불활성화와 변성을 막는 중요한 생리적 역할을 한다(Elbein *et al.*, 2003; Gancedo and Flores 2004).

병재배시 배양온도 16°C 처리구에는 미발이가 발생되고 수량이 낮아지는 경향을 보였다. 그 이유는 균사생장에 필요한 에너지 소비량이 생성량보다 높아 균사체 내에 에너지 축적이 이루어지지 못하여 발생된 것으로 추측된다. 버섯 균사는 최저온도 이하에서 균사 생장이 일어나지 않고, 최저온도에서는 균사체 내의 수송운반체 단백질 등이 저해를 받아 생장이 억제된다고 한다. 그리고 최적 온도에서는 효소 반응속도가 증가하여 성장속도가 빠르게 이루어지며, 최고온도에서는 생장이 정지하고, 최고온도 이상이 되면 균사체 내의 단백질이 변성되고 세포막이 파괴된다(유 등, 2010). 또한, 느타리 균사는 고온에 약한 성질을 가지고 있어 고온에 노출되면 노화가 빠르고 생산량이 낮아진다. 또한, 장기간 고온에 노출되면 균사와 자실체가 사멸된다(김, 2000). 배양중에 병내부 온도 변화는 다음과 같다. 종균 접종 후 서서히 상승하다가 배양 약 10~15일경 최고온도에 도달하며 15일전후로 점차적으로 병내부의 온도가 실내온도까지 떨어지는 경향을 보인다. 배양실내에서 공기유동이 충분한 배양실은 20°C의 설정 온도에서 최고온도 28°C 이하의 온도를 유지하지만, 배양량이 많고 공간이 좁은 배양실은 공기 유동이 잘 이루어지지 않아 30°C 이상까지 올라가는 고온현상이 발생하기도 한다. 병내부의 배지온도가 상승하는 이유는 균사가 배지에서 영양분을 얻기 위하여 배지를 분해하는 과정에 열을 발생하기 때문이다.

Ha 등 (2003)의 연구결과에 의하면, ‘춘추2호’는 배양중 병내부의 온도가 접종 7일 부터 상승하기 시작하여 접종 15~20일경에 최고의 온도에 도달한 후 다시 실내온도까지 하강한다. 병내부 최고온도는 배양실 온도와 약 5~10°C 정도 온도의 차이가 발생하는데 그 이유는 균사체가 배지내 영양분을 분해하면서 발생하는 호흡열과 에너지 때문이다.

느타리 균사 생육온도는 배지 품온 기준으로 25~28°C 가 적당하며 균사가 성장 하는 기간 동안은 일정한 온도

와 습도를 유지해 주어야 한다. 느타리 균사체는 PDA 배지에서 온도가 32°C 이상 상승하면 균사생장이 점차적으로 감소되고, 36°C 이상에서는 균사 생장이 중지된다. 또한, 세포내 H₂O₂와 catalase 활성은 32°C부터 증가되며, 40°C에서는 H₂O₂ 함량이 증가되고 catalase 활성이 급격히 감소되어 세포의 손상과 파괴가 이루어진다(Wang *et al.*, 2017). 고온에서 장기간 균사를 배양할 경우 균사의 생장은 증가하지만 균사의 호흡량이 증가되어 높은 열이 발생된다. 그로 인하여 균사체내에 저장되는 양분이 소모되는 양분보다 낮아져 자실체 생산에 영향을 미치게 된다. 이런 이유로 인하여 배양실 온도는 배지 품온에 맞추어 관리되어야 하며 배양실 내 배양물량과 외기의 온도 등을 감안하여 수시로 온도 관리를 해 주어야 한다.

따라서 ‘흑타리’의 미발이율을 감소시키기 위해서는 배양실 물량과 외기온도변화에 맞추어 배지온도가 28°C 이상 상승하지 않도록 배양실 온도를 관리하여야 한다. 국내의 느타리 농가 시설은 배양실 내부의 온도를 조절하기 위하여 냉동기와 내외부의 공기 치환 시스템이 설치 운영하고 있다. 하지만 대부분 배양실 크기에 비하여 배양량이 많고 밀식배양이 이루어지고 있다. 이런 이유로 인하여 배양실 내부의 공기는 원활하게 순환되지 못하고 일부 구역에서는 온도가 상승하게 되어 미발이 현상이 발생하는 것으로 추정된다. 미발이 발생을 해결하기 위해서는 배양실의 적정 배양량을 넣어 배양하고, 냉동기 용량은 배양실 규모와 배양물량에 맞추어 설치하여야 한다. 또한, 내부의 공기 순환이 원활히 이루어지도록 적절한 공간과 순환 장치 등이 구비되어야 한다.

적 요

느타리 ‘흑타리’ 품종의 배양 중 고온스트레스에 의해 발생하는 미발이 현상을 구명하기 위하여 배양온도에 따른 생육차이를 조사하였다.

PDA 배지에서 ‘흑타리’의 적정생육온도는 23~26°C였고, 균사생장속도는 ‘춘추2호’에 비하여 빠른편이었다. 병내 배지온도는 초기에 상승하여 배양 중반에 최고점에 도달한 후 온도가 하강하였다. 배양 온도가 높을수록 배양기간은 짧아졌다. 배양온도 20°C 처리구에서 배양기간은 25일 정도 소요되었으며, 미발이율은 1.8%, 수량은 139.4 g/병을 나타내었다. 배양온도 24°C 처리구에서 배양기간은 20일 정도 소요되었으며, 미발이율은 4.2%, 병당수량은 132.1 g/병을 나타내었다. 배양온도 16°C와 28°C처리구에서는 미발이율이 증가되었고 수량이 감소하였다. 이 결과를 바탕으로 농가에서 배양온도와 미발이율의 관계를 조사하였다. 배양실 온도를 18°C로 설정하고 배지품온을 28°C 미만으로 관리하는 농가는 미발이율이 0.3~0.8%를 나타내었다. 배양실내의 온도가 20°C 이상이며 환기가 잘 이루어지지 않은 농가에서는 미발이율이 3.5% 정도 발생되었

다. 배양실 온도가 19°C이며 배지 최고 품온이 31.3°C까지 상승하는 농가는 미발이율이 8.2%로 높게 나타났다. 배양중 병내부 온도가 28°C이상 상승하고 배양실내의 환기가 잘 이루어지지 않을 경우 미발이율이 증가하고 수량이 감소되는 경향을 보였다.

결과적으로, 배양실은 배지품온이 28°C 이상 상승하지 않도록 배양실 내부의 공기를 지속적으로 순환시키고, 배양공간에 맞는 최적의 배양량을 넣어 관리하여야 한다.

감사의 글

이 연구는 Golden Seed 프로젝트(과제번호: 213007-05-4-SB120) 연구사업의 지원에 의해 수행한 연구결과입니다.

REFERENCES

- Ancin-Azpilicueta C, Barriuso-Esteban B, Nieto-Rojo R, Aristizabal-Lopez N. 2012. SO₂ protects the amino nitrogen metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* under thermal stress. *Microb Biotechnol* 5: 654–662.
- Asthir B. 2015. Mechanisms of heat tolerance in crop plants. *Biol Plant* 59: 620–628.
- Chang S, Miles P. 2004. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact, 2nd edition. CRC Press, Florida, USA. 315-324.
- Choi JI, Lee YH, Ha TM, Jeon DH, Chi JH, Shin PG. 2015. Characteristics of new mid-high temperature adaptable oyster mushroom variety “Heuktari” for bottle culture. *J Mushrooms* 13: 74–78.
- Elbein AD, Pan YT, Pastuszak I, Carroll D. 2003. New insights on trehalose: A multifunctional molecule. *Glycobiology* 13: 17–27.
- Gancedo C, Flores CL. 2004. The importance of a functional trehalose biosynthetic pathway for the life of yeasts and fungi. *FEMS Yeast Res* 4: 351–359.
- Ha TM, Ji JH, Ju YC, Kim HD. 2003. Study on the characteristics of fruit body growth according to incubation temperatures and period for oyster mushroom. *Mushroom Sci Prod* 1(1): 34–43.
- Hou L, Wang L, Wu X, Gao W, Zhang J, Huang C. 2019. Expression patterns of two pal genes of *Pleurotus ostreatus* across developmental stages and under heat stress. *BMC Microbiol* 19(1): 231.
- Kong WW, Huang CY, Chen Q, Zou YJ, Zhao MR, Zhang JX. 2012a. Nitric oxide is involved in the regulation of trehalose accumulation under heat stress in *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis*. *Biotechnol Lett* 34: 1915–1919.
- Kong WW, Huang CY, Chen Q, Zou YJ, Zhang JX. 2012b. Nitric oxide alleviates heat stress-induced oxidative damage in *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis*. *Fungal Genet Biol* 49: 15–20.
- Korea seed and variety service. 2006. Test guidelines for the protection of new varieties of plants (*Pleurotus* spp.).
- 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. *Protect Horticult Plant Fact* 24: 128–133.
- Ribeiro MJS, Leao LSC, Morais PB, Rosa CA, Panek AD. 1999. Trehalose accumulation by tropical yeast strains submitted to stress conditions. *Antonie van Leeuwenhoek* 75: 245–251.
- Song C, Chen Q, Wu X, Zhang J, Huang C. 2014. Heat stress induces apoptotic-like cell death in two *Pleurotus* species. *Curr Microbiol* 69(5): 611–616.
- Wang GZ, Ma CJ, Luo Y, Zhou SS, Zhou Y, Ma XL, Cai YL, Yu HJ, Bian YB, Gong YH. 2018. Proteome and transcriptome reveal involvement of heat shock proteins and indoleacetic acid metabolism process in *Lentinula edodes* thermotolerance. *Cell Physiol Biochem* 50: 1617–1637.
- Wang L, Wu X, Gao W, Zhao M, Zhang J, Huang C. 2017. Differential expression patterns of *Pleurotus ostreatus* catalase genes during developmental stages and under heat stress. *Genes* 8(11): 335.
- Yoo YB, Oh MJ, Oh YL, Shin PG, Jang KY, Kong WS. 2016. Development trend of the mushroom industry. *J Mushrooms* 14(4): 142–154.
- Yoon YC, Suh WM, Lee IB. 2006. Analysis of environment factors in *Pleurotus eryngii* cultivation house of permanent frame type structure. *J Bio-Environ Control* 15(2): 125–137.
- Zhang RY, Hu DD, Zhang YY, Goodwin PH, Huang CY, Chen Q, Gao W, Wu XL, Zou YJ, Qu JB. 2016a. Anoxia and anaerobic respiration are involved in “spawnburning” syndrome for edible mushroom *Pleurotus eryngii* grown at high temperatures. *Sci Hortic* 199: 75–80.
- Zhang X, Ren A, Li MJ, Cao PF, Chen TX, Zhang G, Shi L, Jiang AL, Zhao MW. 2016b. Heat stress modulates mycelium growth, heat shock protein expression, ganoderic acid biosynthesis, and hyphal branching of *Ganoderma lucidum* via cytosolic Ca²⁺. *Appl Environ Microbiol* 82: 4112–4125.