

RESEARCH ARTICLE

송이 감염묘를 이용한 송이 발생 및 발생환경 분석

가강현^{1*}, 김희수², 허태철³, 박현⁴, 전성민⁵, 유림¹, 장영선¹¹국립산림과학원 화학미생물과, ^{2,5}개인연구자, ³한국산지보전협회, ⁴국립산림과학원 국제산림연구과Analysis of Environment and Production of *Tricholoma matsutake* in Matsutake-infected Pine TreesKang-Hyeon Ka^{1*}, Hee-Su Kim², Tae-Chul Hur³, Hyun Park⁴, Sung-Min Jeon⁵, Rhim Ryoo¹, Yeongseon Jang¹¹Division of Wood Chemistry and Microbiology, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea²Independent Researcher, Hongcheon-gun 25144, Korea³Korea Forest Conservation Association, Daejeon 35262, Korea⁴Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea⁵Independent Researcher, Incheon 21503, Korea

*Corresponding author: kasymbio@korea.kr

ABSTRACT

Tricholoma matsutake (Pine mushroom) is expensive, and its artificial cultivation has been tried in several countries. Until date, the only successful cultivation of artificial pine mushroom in pine forests uses matsutake-infected pine trees. The National Institute of Forest Science in Korea has been restudying this method since 2000. Success in fruit production and reproduction was achieved in 2010 and 2017, respectively, in the same locale. The successes proved that pine mushrooms could be cultivated artificially in the field using matsutake-infected pine trees. The fruiting of pine mushroom in October 2010 occurred 6 years, 6 months after the transplantation of matsutake-infected pine trees. Five pine mushrooms reoccurred in September 2017, 13 years, 5 months and 15 years, 5 months after the transplantation of the respective matsutake-infected pine trees. The distance between the matsutake-infected pine tree and the pine mushrooms was 12 cm at 6.6 years, 90~115 cm at 13.5 years, and 95 cm at 15.5 years. Fruiting bodies occurred 13~16 days after the underground temperature declined to below 19°C. In conclusion, the use of matsutake-infected pine trees remains the only way to artificially cultivate pine mushrooms. More knowledge of the environmental factors affecting matsutake fruiting would be beneficial.

Keywords: Environment, Fruiting, Matsutake-infected pine tree, *Tricholoma matsutake*

서론

송이(*Tricholoma matsutake*)는 전 세계적으로 중요한 상업적인 균근성 버섯이다. 20세기 중·후반에 이르러 송이 생산량의 감소에 따라 송이 생산성 향상을 위한 노력과 송이 인공재

OPEN ACCESS

Kor. J. Mycol. 2018 March, 46(1): 34-42
<https://doi.org/10.4489/KJM.20180005>

pISSN : 0253-651X
 eISSN : 2383-5249

Received: February 5, 2018**Revised:** February 25, 2018**Accepted:** February 25, 2018

© The Korean Society of Mycology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

배 시도가 일본과 한국에서 이루어졌고[1-6], 최근까지도 인공재배 연구가 지속되고 있다 [7-9]. 심지어 남반구에 위치한 뉴질랜드에서도 동아시아 지역의 송이 가치를 인정하고 재배를 향한 노력을 하고 있다[10].

송이 인공재배에 있어, 송이 감염묘 방법은 다른 방법에 비해 송이 특성을 가장 잘 반영하고 자연에 가장 근접한 방법이다[7]. 이 방법은 1983년 일본에서 한 번의 성공사례가 있었고, 그 이후에 보완적인 연구들이 있어왔지만 어려운 점이 많고 실용화에 많은 시간이 필요한 실정이다[4, 5].

Ka 등[8]은 우리나라의 실정에 맞게 송이 감염묘의 육성 방법, 이식 시기, 이식 방법, 송이균의 정착, 송이균의 확인 및 생존 기작에 대한 세부적인 결과를 제시하였다. 아울러 기존에 보고된 결과들에 비해 감염묘에서 획기적으로 송이균의 생존율을 높여 송이 인공재배의 가능성을 제시하였다. 그리고 Ka 등[9]은 송이 감염묘에서 송이균이 생장하여 송이균환을 형성한 사례를 보고하였다. 또한 송이 감염묘에서 송이균이 생존하는 소나무의 최소 크기를 제시하여 송이 감염묘 제작 방법의 개선을 시도하였다[11].

본 연구는 Ka 등[9]이 제시한 결과를 바탕으로 송이 감염묘에서 2010년 10월에 첫 번째 송이가 발생한 데 이어 2017년 9월에 두 번째 송이 발생이 재현됨으로써 이 방법이 송이 인공재배를 위해 유용하다는 것을 입증하는 결과를 얻어, 그 결과를 보고하는 것이다.

재료 및 방법

송이 감염묘에서 버섯 발생 확인

버섯 발생 조사는 2001년부터 2004년까지 강원도 홍천군 동면 노천리 국유림 93임반(Fig. 1B)에 이식했던 총 150본의 송이 감염묘를 대상으로 하였다[8]. 강원도 양양군 현북면 어성전리 국유림 196임반에서 육성한 송이 감염묘는 2001년 11월 2일 24본, 2002년 4월 15일 20본, 10월 31일 24본, 2003년 10월 30일 33본을 홍천 시험지에 각각 옮겨 심었다. 또한 강원도 홍천군 동면 노천리 93임반(Fig. 1A)에서 육성한 송이 감염묘 51본은 2004년 4월 22일 송이 시험지에 옮겨 심었다. 양양군과 홍천군에서 각각 육성한 송이 감염묘 총 152본 중 2본은 조사하지 않아 자료에서 제외하였다.

감염묘에서 송이균의 확인은 색대(직경 1.2 cm, 길이 30 cm)를 이용하여 2005년 5월과 2006년 6월에 조사하였으며[8], 2009년 10월에 송이 감염묘의 표면을 긁어 균환의 크기를 측정하였다[9]. 송이 버섯 발생은 9월과 10월에 매일 송이 감염묘 시험지를 방문하여 확인하였으며, 발생한 버섯의 형태적 특성을 조사함으로써 송이 여부를 판별하였다. 또한 송이 시험지는 4월부터 10월까지 산발적으로 1일 4톤의 관수 처리를 하였다.

기상자료 조사

송이 시험지는 호버 기상관측장치를 설치하여 대기 온습도와 지중 온습도를 1시간 단위로 측정하였다. 온도와 상대습도는 HOBO Pro H8 Temp/RH (Onset, Bourne, MA, USA), 토양의 온도와 수분은 12 bit Temperature smart sensor와 Soil moisture smart sensor (Onset), 광량은 HOBO Pendant light data logger (Onset)를 설치하였다. 특히 송이 버섯 발생 시점과 지온

이 19°C 이하로 떨어지는 시점 사이의 관계를 알아보고자 하였다. 강수량 자료는 홍천 기상 관측소의 자료를 사용하여 분석하였다[12].

결과 및 고찰

송이 감염묘에서 송이 발생

송이 감염묘법을 통해 감염묘 이식지(Fig. 1B)에서 2010년과 2017년에 각각 송이가 발생하였다. 2010년도에는 1개, 2017년도에는 5개의 송이가 발생하였는데, 2010년도에 발생한 송이(Songi-0)와 2017년도에 발생한 송이들(Songi-1, 2, 3, 4, 5)은 동일한 감염묘 이식지 내에서 다른 송이 감염묘 개체로부터 발생한 것으로 추정된다(Table 1).

첫 번째 송이 발생은 2010년 10월 4일로, 이 송이는 2004년 4월 22일에 이식한 송이 감염묘의 땅분 바로 옆에서 발생하였다(Fig. 2). 이 때 송이와 감염묘 사이의 거리는 12 cm이었다(Table 1, Fig. 2B). 그 당시 홍천 시험지는 30년생의 큰 소나무(가슴높이 지름 13.6 cm, 수고 7 m)가 생장한 곳이었다. Songi-0은 10월 9일에 채취하였고, 생중량 21.7 g, 갓 직경 4.9 cm, 대 길이 7.8 cm로 측정되었다(Table 1). 두 번째 송이 발생은 2017년 9월로, 총 5개가 발생하였는데 이 중 1개(Songi-3)는 발견한 지 3일 후 이분지털곰팡이(*Syzygites megalocarpus*)에 의해 감염되었다(Table 1, Fig. 3). 이 균은 드물게 송이 해균으로 관찰된다[13]. 동일한 송이 감염묘 개체(Identifying no. 1-21)에서 발생한 것으로 추정되는 Songi-1과 Songi-2의 경우, 송이와 감염묘 소나무와의 거리는 각각 115 cm와 110 cm인 것으로 측정되었다(Table 1). 송이 자실체의 형태적 특성을 조사한 결과, Songi-3을 제외한 버섯들의 생중량은 23.6~96.7 g, 갓 직경 5.5~11.6 cm, 대 길이 8.1~9.2 cm의 범위를 갖는 것으로 조사되었다(Table 1).

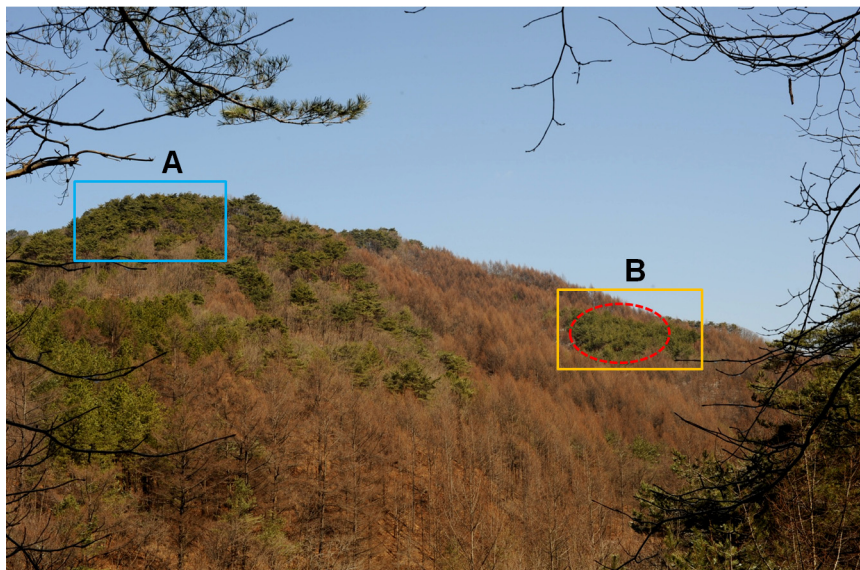


Fig. 1. Forest landscape of Hongcheon experimental site. Green color shown in the picture indicates natural *Pinus densiflora* stand and brown color indicates planted *Larix kaempferi* stand. A, An area where the pine tree was infected by *Tricholoma matsutake* mycelium (blue rectangle outline); B, Transplant area of matsutake-infected pine tree (yellow rectangle outline). Fruiting bodies of *T. matsutake* were formed in B area (dotted red circle).

Songi-1부터 Songi-4까지는 송이 감염묘를 이식하여 버섯이 발생하기까지 13년 5개월이 소요되었으며, 송이 감염묘는 매년 8 cm 정도의 속도로 생장한 것으로 측정되었고, Songi-5는 송이 감염묘를 이식한 지 15년 5개월 만에 버섯이 발생한 것으로 매년 6 cm 정도로 송이 감염묘가 생장한 것으로 측정되었다(Table 1). Songi-1부터 Songi-4는 송이 감염묘 생산지가 동일 지역인 홍천이었고, Songi-5는 송이 감염묘 생산지가 강원도 양양군 어성전리였다. 송

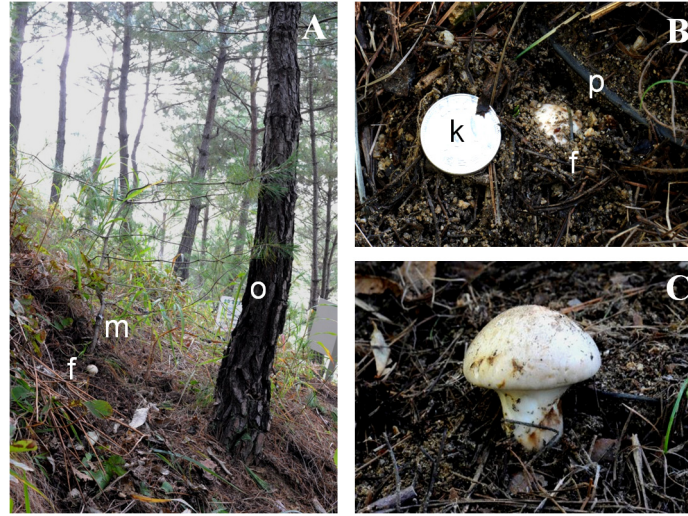


Fig. 2. Fruiting body of *Tricholoma matsutake* formed in October 2010. A, Formation of Songi-0 from the matsutake-infected pine tree which was transplanted in April 2004; B, Early stage of Songi-0 fruiting body (5 October in 2010). The size of fruiting body exposed above ground is similar with a Korean coin (diameter = 2.45 cm); C, Middle stage of Songi-0 fruiting body (9 October in 2010); f, fruiting body of *T. matsutake*; k, coin; m, matsutake-infected pine tree; o, old pine tree; p, mesh pot.

Table 1. Origin of matsutake-infected pine trees and morphological characteristics of *Tricholoma matsutake* fruiting bodies formed in Hongcheon experimental site

Name of mushroom	Matsutake-infected pine tree		Fruiting date of mushroom	Harvesting date of mushroom	Distance (cm) between matsutake-infected pine tree and fruiting body	Morphological characteristics of fruit bodies			Remarks
	Identifying no.	Transplanting date				Fresh weight of fruiting body (g)	Diameter of pileus (cm)	Length of stipe (cm)	
Songi-0	2-43	22 April, 2004	4 October, 2010	9 October, 2010	12	21.7	4.9	7.8	Immature
Songi-1	1-21	22 April, 2004	12 September, 2017	17 September, 2017	115	77.2	7.5	8.3	Immature
Songi-2	1-21	22 April, 2004	13 September, 2017	22 September, 2017	110	96.7	11.6	8.1	Mature
Songi-3	2-39	22 April, 2004	15 September, 2107	22 September, 2017	110	-	-	-	Rotted by <i>Syzygites megalocarpus</i>
Songi-4	2-49	22 April, 2004	27 September, 2017	30 September, 2017	90	23.6	5.5	8.1	Mature
Songi-5	N86	15 April, 2002	30 September, 2017	30 September, 2017	95	48.9	7.7	9.2	Mature

이 감염묘는 감염묘 육성 기간 2년 그리고 옮긴 후 버섯 발생까지 6.6년과 13.5년이 소요되는 것을 감안하면, 감염묘 육성에서 버섯 발생까지 약 10년 정도의 시간이 필요할 것으로 판단되었다. 2010년 발생한 Songi-0은 감염묘를 옮긴 후 6년 만에 송이가 발생한 일본의 결과와 유사하였다[4].

2010년도에 발생한 송이(Fig. 2C)와 2017년도에 발생한 송이들(Fig. 3B, 3D, 3F, 3H)의 자실체 색이 다르게 나타난 것은 송이 감염묘 시험지 내 광량 차이 때문에 발생한 것이다. 2010년 당시에는 시험지에 울타리가 없었기 때문에 외부인이 침입하여 미성숙된 송이를 무단 채취할 우려가 있었다. 미성숙된 Songi-0을 보호하고 성숙하기까지 버섯 위를 낙엽으로 덮은 결과, 광량 부족으로 버섯의 색깔이 흰색이 된 것으로 판단된다. 반면, 2017년 당시에는 이미 시험지에 울타리가 구축되어 있어 낙엽으로 덮지 않아도 송이를 보호할 수 있었기 때문에 빛을 충분히 받은 버섯이 갈색으로 변한 것이라 판단된다.

일본의 경우 1983년 송이 감염묘에서 1개의 버섯이 발생할 당시 단지 2개의 송이 감염묘에서 송이균이 생존해 있었는데, 송이 감염묘의 숫자가 너무 적어 지속적인 발생이 이루어지지 않은 것으로 추정된다. 본 연구에서 개발한 송이 감염묘법은 송이와 소나무의 상리공생 특성을 고려함과 동시에 송이균의 특성을 좀더 세밀하게 파악하여 그 결과를 적용한 것으로, 이와 같은 내용을 담아 산촌 주민들이 독자적으로 손쉽게 송이를 재배할 수 있도록 송이 감염묘 매뉴얼을 제작하였다[14, 15].

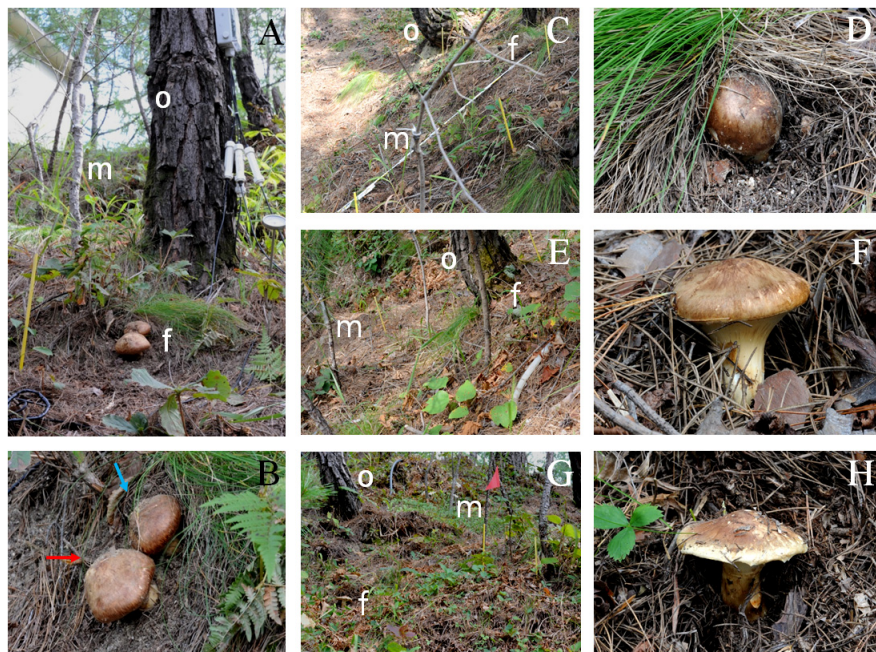


Fig. 3. Fruiting bodies of *Tricholoma matsutake* formed in September 2017. A, Two *T. matsutake* fruiting bodies (Songi-1 and Songi-2) formed from the same matsutake-infected pine tree which was transplanted in April 2004; B, Songi-1 (red arrow) and Songi-2 (blue arrow); C, Formation of Songi-3 from the matsutake-infected pine tree which was transplanted in April 2004; D, Middle stage of Songi-3 fruiting body; E, Formation of Songi-4 from the matsutake-infected pine tree which was transplanted in April 2004; F, Mature fruiting body of Songi-4; G, Formation of Songi-5 from the matsutake-infected pine tree which was transplanted in April 2002; H, Mature fruiting body of Songi-5; f, fruiting body of *T. matsutake*; m, matsutake-infected pine tree; o, old pine tree.

송이 발생과 온도와의 관계

Kinugawa [16]는 지온이 19°C 이하로 떨어지면 송이의 버섯 발생이 이루어지며, 원기 유도 후 2~3일간 균사층의 온도가 상승하면 송이 발생에 가장 해로운 것이라 말하고 있다. Kinugawa가 언급한 지온 19°C 이하의 송이 발생 조건을 근거로 송이 시험지에서 지온과 버섯 발생과의 관계를 살펴보았다. 2010년 지온 측정 결과, 9월 19일 이후 송이 원기가 형성되기 시작하는 온도로 알려진 19°C 이하로 지온이 떨어졌고, 송이 발생은 10월 4일에 관찰되어 지온이 19°C 이하로 떨어진 지 15일만에 관찰되었다(Fig. 4). 비록 9월 9일에 지온이 19°C를 나타내긴 했으나, 그 이후 지온이 22°C까지 상승했던 것으로 보아 Kinugawa가 제시했던 송이 발생 조건이 2010년 발생한 Songi-0의 원기 형성에는 직접적인 영향을 주는 조건이 아님을 알 수 있었다. 2017년은 2010년보다 지온이 떨어지는 경향이 매우 완만하였다. 8월 30일에 18°C로 하강한 이후 18~20°C 범위를 30일 정도 머물렀다. 3개의 송이는 9월 12일, 13일, 15일에 각각 땅 위로 솟아나오는 것을 관찰했고, 나머지 2개의 송이는 버섯이 땅 위로 나와 성숙된 것을 관찰하였다. 결론적으로 송이 발생은 지온이 19°C 이하로 하강한 후 13~16일이 경과한 시점에서 발생하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4).

송이 발생 기간

2010년 송이 감염묘로부터 버섯이 처음으로 발생한 시점부터 2017년 두 번째로 버섯이 발생하기까지 7년 정도의 기간이 소요되었다. 그 요인을 분석한 결과, 송이의 발생은 기상인자, 특히 9월 강수량과 버섯 발생 1개월 전 누적 강수량과 온도가 주요인인 것으로 추정된다[17, 18].

2010년 송이가 처음 발생하였을 때, 8월과 9월 두 달간 강수량 합계는 총 762 mm 이었다. 그 이후 2011년에는 240.5 mm, 2012년에는 558.9 mm, 그리고 두 번째로 송이가 발생한 해

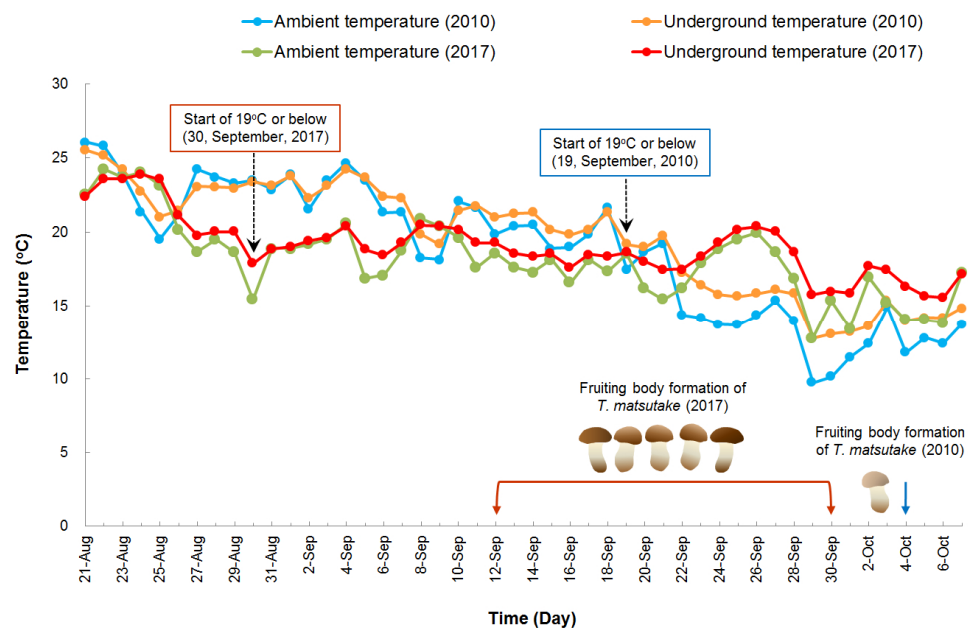


Fig. 4. Daily temperature data measured in Hongcheon experimental site from 21 August to 7 October in 2010 and 2017.

인 2017년에는 강수량이 376.5 mm를 기록했다(Table 2). 2012년 8, 9월 두 달간의 강수량 총계만을 보면 버섯이 재 발생하기에 최적 조건이기는 하였으나, 다른 해와 달리 7월과 8월에 대기온도가 35°C 이상 되는 날이 관측되었으며, 그에 따른 지중온도도 높게 나타난 것을 볼 수 있었다(Fig. 5). 특히 8월 초순에 기온이 상승함에 따라 지중 최고온도가 31~36°C까지 상승한 것으로 보아, 온도 상승에 따라 지표면 인접 송이균은 고온 피해를 받은 것으로 추정되었다. 또한 송이균은 31°C 이상이 되면 죽는 것으로 알려져 있기 때문에[19] 강수량이 풍부했음에도 불구하고 고온의 영향으로 인해 2012년에 송이가 발생하지 않았던 것으로 보인다. 이와 같은 과도한 지온 상승을 막고자 홍천 시험지 내 초본과 관목은 2013년도 이후부터 매해 9 월에만 제거하도록 관리하고 있다.

2010년에는 10월 4일, 2017년에는 9월 12일에 첫 송이가 홍천 송이 시험지 내에서 각각 발생하였다. 특히 2017년 시험지 내에서 발생한 송이는 홍천 지역의 송이 발생 시기와 비슷한

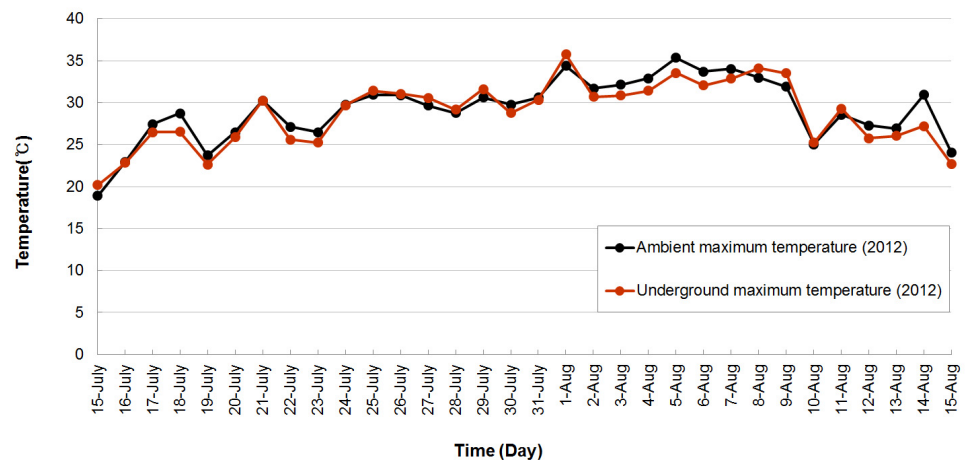


Fig. 5. Daily temperature data measured in Honcheon experimental site from 15 July to 15 August in 2012.

Table 2. Monthly data of precipitation measured in Hongcheon weather station from 2010 to 2017 (<http://www.weather.go.kr>)

	Monthly total precipitation (mm/month)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
January	23.5	1.5	4.1	24.8	5	7.6	0.1	10.5
February	35.7	34.6	0.2	47.6	13	12	35.4	7.8
March	56.9	18	37.9	38.5	9.3	11	39.7	18.8
April	57.5	141.3	136.6	58.2	33.1	97	76	48.6
May	87.2	74.5	43.1	94.6	45.5	31	98.6	22.8
June	59.6	346.1	62.6	84.6	58.2	51.7	54.5	41.3
July	150.2	694.5	279.4	637.6	182.8	198.6	429.4	578.4
August	349.9	189.1	397.9	105.5	164.1	114.6	38.5	326.1
September	412.1	51.4	161	132.5	103.6	42.5	61.4	50.4
October	38	31	65.3	9	54.3	41.1	69.6	40
November	22.1	48.2	51.9	54.2	23.6	116.8	9.9	27.3
December	12.8	9.4	37.8	15.2	11	16.1	54.8	20.2

시기에 발생하였기에 송이 감염묘의 송이균이 매우 안정화되었다고 판단된다.

적 요

송이는 매우 고가의 버섯이기 때문에 세계 여러 나라에서 인공재배를 시도하고 있다. 지금까지 야외 조건에서 인공적으로 송이 발생을 성공시킨 예는 송이 감염묘를 이용한 방법뿐이다. 국립산림과학원은 2000년부터 송이 감염묘 방법을 다시 연구하여 2010년과 2017년에 각각 송이 발생 재현에 성공하였다. 이 결과는 송이 감염묘를 이용하여 송이가 인공재배 가능하다는 것을 입증한 것이며, 세계 최초로 송이 인공재배가 성공한 사례가 된다. 송이 감염묘 이식 후 6년 6개월만인 2010년 10월에 송이가 처음 발생하였다. 그리고 또 다시 송이 감염묘 이식 후 13년 5개월 또는 15년 5개월이 경과된 시점인 2017년 9월에 송이 5개가 재 발생하였다. 송이 감염묘 소나무와 발생한 송이 사이의 거리는 12 cm (6.6년), 90~115 cm (13.5년), 95 cm (15.5년)으로 나타났다. 송이 버섯 발생은 지온이 19°C이하로 떨어진 이후 13~16일 사이에서 관찰되었다. 결론적으로 송이 감염묘법은 송이를 인공재배 할 수 있는 현재까지의 유일한 방법으로, 앞으로도 송이 자실체 발생에 영향을 끼치는 환경 인자들을 지속적으로 연구할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by grants (FP 0801-2013-01) from the National Institute of Forest Science, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Ogawa M, Umehara T, Kontani S, Yamaji K. Cultivating method of the mycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. (I) Growing method of the pine saplings infected with *T. matsutake* in the field. J Jpn For Soc 1978;60:119-28.
2. Kareki K. Cultivation of the pine saplings infected with *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. utilizing the mesh pot (I). Bull Hiroshima For Exp Stn 1980;15:49-64.
3. Lee TS, Kim KS, Shim WS, Kim SH, Ju YW, Oh SW, Jo JM, Lee JY. Studies on the artificial cultivation and propagation of pine mushroom (I). Res Rep For Inst Korea 1984;31:109-23.
4. Ogawa M, Ito I. Is it possible to cultivate matsutake. Tokyo: Sou Shin Press; 1989.
5. Masuhara K. Growth of pine saplings to be infected by *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. Bull Hiroshima For Exp Stn 1992;26:45-61.
6. Torigoe S. Progress in cultivation of *Tricholoma matsutake* and some other ectomycorrhizal fungi. Trans Mycol Soc Jpn 1998;39:113-6.
7. Ka KH, Koo CD. Research questions for artificial cultivation of *Tricholoma matsutake*. Trends Agric Life Sci 2002;2:1-6.
8. Ka KH, Hur TC, Park H, Kim HS, Bak WC, Yoon KH. Production and transplanting of ectomycorrhizal pine seedlings using the old fairy ring of *Tricholoma matsutake*. J Korean For Soc 2006;95:636-42.
9. Ka KH, Hur TC, Park H, Kim HS, Bak WC. Mycelial growth and fairy-ring formation of

- Tricholoma matsutake* from matsutake-infected pine trees. Kor J Mycol 2010;38:16-20.
10. Wang Y, Hall IR, Evans LA. Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies 1. *Tricholoma matsutake* and related fungi. Econ Bot 1997;51:311-27.
 11. Ka KH, Kim HS, Jeon SM, Ryoo R, Jang Y, Wang EJ, Jeong YS. Determination of the minimum size of seedlings with matsutake mycelia that can survive in the field for matsutake-infected pine tree production. Kor J Mycol 2017;45:188-95.
 12. Korea Meteorological Administration. Weather [Internet]. Seoul: Korea Meteorological Administration; 2018 [cited 2018 Jan 24]. Available from: <http://www.weather.go.kr>.
 13. Ka KH, Park H, Kim HJ, Lee MW. *Syzygites megalocarpus* (Mucorales): a necrotrophic mycoparasite of *Tricholoma matsutake*. Kor J Mycol 1999;27:345-8.
 14. Ka KH, Kim HS, Hur TC, Park H, Bak WC. Artificial cultivation of *Tricholoma matsutake* using matsutake-infected pine tree. Seoul: Korea Forest Research Institute; 2009.
 15. Ka KH, Kim HS, Hur TC, Park H, Jeon SM, Ryoo R, Jang Y. Artificial cultivation of *Tricholoma matsutake* using matsutake-infected pine tree. 2nd ed. Seoul: National Institute of Forest Science; 2017.
 16. Kinugawa K. Ecological studies on the development of fruit-body in *Armillaria matsutake* Ito et Imai: analysis of growth curves. Bull Univ Osaka Pref Ser B 1963;14:27-60.
 17. Park H, Kim KS, Koo CD. Effects of climatic condition in September on pine-mushroom (*Tricholoma matsutake*) yield and a method for overcoming the limiting factors in Korea. J Korean For Soc 1995;84:479-88.
 18. Kim HJ, Jung JH, Lee UK, Kim KS, Ka KH, Park H, Bae SW, Ryoo CI, Hur TC, Kim HS, et al. Development of management system for pine-mushroom forest by analyzing production pattern. Seoul: Korea Forest Research Institute; 1998.
 19. Ogawa M. Biology of matsutake mushroom. Tokyo: Tsukiji Shokan; 1978.