

누에 품종에 따른 눈꽃동충하초 배양 특성

조유영* · 권해용 · 이광길 · 김현복 · 김기영
농촌진흥청 국립농업과학원 잠사양봉소재과

Effect of silkworm varieties on *Paecilomyces tenuipes* culture

You-Young Jo*, HaeYong Kweon, Kwang-Gill Lee, Hyun-bok Kim and Kee-Young Kim
Sericultural & Apicultural Materials Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 565-851, Korea

(Received September 17, 2015, Revised October 21, 2015, Accepted October 26, 2015)

ABSTRACT

There is no specific data on Entomogenous fungus (DongChungHaCho) in accordance with the silkworm varieties, despite of very high value industrial use as functional materials at domestic and abroad. In this study, we investigated culture condition and characteristics of *Paecilomyces tenuipes* in 3 silkworm cultivars and 2 specific silkworm breeds. Infection rate of *P. tenuipes* for silkworm varieties was the highest Kumokjam, followed by Baegokjam, Daeseongjam, Golden silk, Yeonnokjam in that order. The optimum culture conditions were as follows: dark condition, $22^{\circ}\text{C} \pm 1$, and about 4 cm^2 in planting density per pupa. Also, we have developed annual production technologies of *P. tenuipes*. First, in order that the moisture content of the infection pupa became 3% or less in the natural condition. Second, the dried pupa must be vacuum-packed and was kept under 4°C . Finally, by restoring the moisture content of the dried pupa and culture in optimal condition, the technique for annual production of the *P. tenuipes* was achieved. Therefore, we expect that the use of Kumokjam and annual production technique will contribute significantly to farm income.

Key words: *Paecilomyces tenuipes*, Silkworm, Cultivars, Cultural characteristics

서 론

농촌진흥청의 연구로 1990년대 후반에 동충하초 인공 재배에 성공하였다(Cho 2000). 이는 동충하초균의 일종인 *Paecilomyces tenuipes*를 5령 누에에 접종하여 감염시킨 뒤 감염번데기로부터 자실체인 버섯이 나오도록 재배한 것이다. 이 동충하초는 종자산업법에 따라 품종명은 “누에동충하초”로 작물명은 “눈꽃동충하초”로 등록되어 있으며, 식품공전에 등재되어(1998년 7월) 식품원료로 사용이 가능하다. 동충하초는 항암효과(Park et al. 2000), 면역력 증강효과(Kim et al. 2012), 혈전용해 활성(Ahn et al. 2012), 혈당강하효과(Kim and Choe 2005), 비만억제효과(Heo et al. 2009), 간기능개선효과(Jo et al. 2008) 등 탁월한 효과가 있으며 이외에도 만성기침, 가래, 당뇨 등 더 많은 질환에도 효과가 있다고 한다(Cho 2000). 그러나, 2013년 기능성 양잠산업현황 조사에 따르면 동충하초의 판매가격은

30만원(생동충하초)으로 생누에 평균가격 13,143원에 비해 약 23배의 부가가치가 있지만, 누에동충하초를 재배하는 농가는 전국에 28농가 밖에 되지 않는 실정이다.

본 연구에서는 농가에 보급되어 재배되고 있는 누에동충하초의 생산성을 향상시키고, 누에 사육철이 아닌 기간에도 언제든지 소비자가 원하는 시기에 동충하초를 생산하여 보급할 수 있도록 하기 위하여, 보급잠종 누에품종을 중심으로 눈꽃동충하초의 감염률과 자실체 길이, 자실체 무게 등 자실체 형성, 그리고 동충하초 연중생산을 위한 번데기 보관법 및 재배법 등 누에 품종에 따른 눈꽃동충하초 배양특성에 대해 연구하였다.

재료 및 방법

1. 시험균주

본 실험에서 사용한 동충하초 균주는 국립농업과학원

*Corresponding author. E-mail: yyjo@korea.kr

잠사양봉소재과 보존균주로 *Paecilomyces tenuipes* (눈꽃 동충하초) 균주를 사용하였다. 균주를 PDA(Potato Dextrose Agar) 배지에 접종하여 25°C 배양기에서 14일 동안 정지 배양하여 접종원으로 사용하였다.

2. *P. tenuipes* 균사체 배양

14시간 물에 침지하고 1시간 동안 체에 받쳐 물기를 제거한 현미를 삼각 플라스크에 분주하고 121°C에서 25분 멸균하였다. 여기에 14일 동안 PDA배지에서 배양된 *P. tenuipes* 균사체 콜로니를 접종하여 25°C에서 20일 이상 균사체를 배양하였다.

3. 누에 품종 별 *P. tenuipes* 접종 및 동충하초 균주 감염률 조사

눈꽃동충하초 균주를 누에에 접종하기 위하여 배양된 *P. tenuipes*의 균사체의 수를 개수한 다음, 10⁷/ml의 농도로 5령 기잠 누에에 분무하여 접종하였다. 누에가 고치를 짓도록 한 다음, 수견하고 5일 후 고치의 상부를 칼로 조심스럽게 자르고 번데기를 꺼내어 동충하초균에 대한 감염률을 확인하였다. 눈꽃동충하초 균주 접종을 위해 사용된 누에 품종은 현재 보급잡종으로 사용되고 있는 대성잠, 금옥잠, 백옥잠과 특수품종으로 개발된 골든실크와 연록잠을 사용하였다. 각 품종 별 사용된 누에는 100마리씩 3반복으로 수행하였다.

4. 누에 품종에 따른 동충하초 재배 및 자실체 형성에 미치는 영향

감염된 번데기를 재배상에 올리고 습도를 90%이상, 온도 19~25°C 유지하여 번데기가 마르지 않도록 재배하였다. 20일 정도 배양하여 자실체가 발생한 후 자실체 전체 무게, 번데기 당 자실체 무게, 자실체 길이, 자실체 개수 등을 조사하였다.

5. 눈꽃동충하초 최적 재배 밀도 확립

눈꽃동충하초 재배 시 최적 재배밀도를 확립하기 위하여, 감염된 번데기를 미니키트에 저밀도(7.7 cm²/번데기), 중밀도(3.9 cm²/번데기), 고밀도(2.5 cm²/번데기)로 배치하여 재배하였다. 온도는 21°C와 25°C에서 재배하였으며, 재배 기간 동안 습도는 90%를 유지하였다.

6. 눈꽃동충하초 연중재배 기술 개발

눈꽃동충하초 연중재배 기술을 개발하기 위하여 감염된 번데기의 저장 시 함수율, 보관방법, 저장기간, 저장온도에 따른 균사체 형성 및 자실체를 관찰하였다.

7. 통계학적 분석

각 실험은 최소 4회 이상 반복 실험을 수행하였다. 통계분석(STASTICA)은 mean ± SD로 표시하였다.

결과 및 고찰

5령 기잠에 눈꽃동충하초균을 감염시켜 잠업농가에서 동충하초 인공재배를 할 수 있도록 하였지만 2013년, 2014년 농림부 통계에 따르면 동충하초 생산량은 12년 5,661 kg, 13년 2,436 kg, 14년 1,784 kg으로 해마다 급격히 감소하고 있는 추세이다. 동충하초는 생누에(13,143원/kg)에 비하여 kg당 30만원으로 그 부가가치는 매우 높지만(2013년 기능성 양잠산업현황조사, 농림축산식품부 자료) 생육 시기가 한정되어 있고 생육조건이 까다로우며 농가 생산량이 줄고 있는 것으로 생각된다. 따라서 동충하초 생산성이 향상되고, 연중 생산이 가능하다면 부가가치가 높은 동충하초를 재배하는 농가는 늘어날 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 먼저 국내 양잠농가에서 가장 많이 사육하고 있는 누에 품종인 백옥잠, 대성잠, 금옥잠과 기능성을 갖을 것으로 예상되는 특수품종 누에인 연록잠, 골든실크를 바탕으로 누에 품종에 따른 눈꽃동충하초균(*Paecilomyces tenuipes*) 감염률 및 자실체 형성에 미치는 영향 등을 조사하였다. 5령기잠 누에(백옥잠, 금옥잠, 대성잠, 연록잠, 골든실크)에 눈꽃동충하초균을 접종하여 수견 후 5일째 되는 날 고치의 상부를 칼로 조심스럽게 자르고 꺼낸 번데기의 동충하초균 감염율을 확인하였다. 감염되지 않은 번데기는 무르며, 감염된 번데기는 눌렀을 때 단단하고 반점이 형성되었다. 각 품종 별 눈꽃동충하초균에 대한 감염률은 표 1과 같이 금옥잠 > 백옥잠 > 대성잠 > 골든실크 > 연록잠 순으로 감염되었다. 각 감염된 번데기를 미니키트에 넣어 90% 이상의 습도를 공급하며 19~25°C에서 번데기 밀도를 달리하여 재배하고 자실체 무게와 자실체 길이를 측정하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 21°C에서 재배 시, 동충하초 자실체 무게는 번데기를 뺀 상태로 놓아 재배한 고밀도(2.5 cm²/pupae)에서 높았다. 하지만 자실체 길이는 품종마다 최적 재배 밀도조건이 달랐으나 주로 중

Table 1. Infection rate on the 5th instar larvae of the silkworm inoculated with *Paecilomyces tenuipes*

Variety	Infection rate(%)
Baegokjam	80 ± 2.0
Kumokjam	84 ± 2.3
Daeseongjam	78 ± 2.1
Golden silk	70 ± 0.8
Yeonokjam	67 ± 1.8

Table 2. Productivity of *Paecilomyces tenuipes* depending on planting density and temperature (21°C)

Variety	Planting density	Weight of fruiting body (g)	Length of fruiting body (mm)
Baegokjam	Low ¹⁾	6.96	10.73 ~ 31.2
	Middle ²⁾	10.6	10.8 ~ 36.63
	High ³⁾	14.83	8.47 ~ 35.6
Daeseongjam	Low	6.43	13.53 ~ 41.5
	Middle	12.3	10.23 ~ 36.97
	High	17.46	10.93 ~ 39.37
Kumokjam	Low	6.53	8.9 ~ 37.23
	Middle	13.13	11.6 ~ 43.73
	High	16.83	11.27 ~ 40.57
Yeonnokjam	Low	6.1	13.93 ~ 38.57
	Middle	11.96	9.77 ~ 32.5
	High	15.66	9.03 ~ 40.17
Golden silk	Low	4.06	9.23 ~ 38.53
	Middle	7.8	10.87 ~ 30.67
	High	10.86	6.2 ~ 28.4

Planting density of infected pupa is ¹⁾7.7 cm²/pupa, ²⁾3.85 cm²/pupa, and ³⁾2.5 cm²/pupa.

Table 3. Productivity of *Paecilomyces tenuipes* depending on planting density and temperature (25°C)

Variety	Planting density	Weight of fruiting body (g)	Length of fruiting body (mm)
Baegokjam	Low ¹⁾	6.23	13.7 ~ 44.97
	Middle ²⁾	10.6	9.4 ~ 44
	High ³⁾	16.06	10.73 ~ 42.77
Daeseongjam	Low	7.63	13.15 ~ 52.65
	Middle	11.78	13.1 ~ 46.4
	High	18.23	12.95 ~ 46.7
Kumokjam	Low	7.86	11.03 ~ 41.43
	Middle	12.08	11.6 ~ 46.45
	High	15.78	11.1 ~ 44.25
Yeonnokjam	Low	5.98	8.85 ~ 36.3
	Middle	11.93	12.7 ~ 46.45
	High	18.53	11.7 ~ 41
Golden silk	Low	-	-
	Middle	8.73	13.1 ~ 23.2
	High	-	-

Planting density of infected pupa is ¹⁾7.7 cm²/pupa, ²⁾3.85 cm²/pupa, and ³⁾2.5 cm²/pupa.

밀도(3.85 cm²/pupae)에서 길게 자랐다. 자실체 평균무게는 대성잠이 가장 높았고 금옥잠과 큰 유의차는 없었다. 25°C 재배 시(표 3), 역시 고밀도에서 재배한 동충하초의 자실체 무게가 가장 많이 나갔으며, 자실체 길이는 저밀도와 중밀도에서 좋은 것으로 나타났다. 모든 결과를 종합해 볼 때 동충하초 재배의 최적 조건은 번데기 당 재배밀도 4 cm², 압조건, 온도 22 ± 1°C, 습도 90%였다. 국내농가에서 사용하고 있는 누에 품종은 2009년 백옥잠 88%, 대성잠 7%, 금옥잠 5%, 2010년 백옥잠 93%, 대성잠 3%, 금옥잠 3%, 2011년 백옥잠 70%, 대성잠 25%, 금옥잠 4%, 2012년 백옥잠 25%, 대성잠 34%, 금옥잠 38%로, 백옥잠 사육 비율이 매우 높았으나 대성잠과 금옥잠 사육 비율

이 점차 높아지면서 최근 들어 3종류의 품종이 고르게 재배되고 있다. 앞의 연구결과를 바탕으로 동충하초 균주 감염률과 자실체 발생 성적을 종합하여 볼 때 동충하초를 재배할 목적으로 사육하는 누에는 금옥잠을 사용하는 것이 바람직할 것으로 여겨지며, 농가의 금옥잠 재배비율도 해마다 높아지고 있어 동충하초 재배에 적절히 이용할 수 있을 것이다.

동충하초 재배농가가 연중 동충하초를 재배할 수 있도록 하기 위하여 동충하초 수시 재배법을 연구하였다. 동충하초를 수시 재배하기 위해서는 동충하초에 감염된 번데기를 보관 후 원하는 시기에 언제든지 꺼내어 재배하였을 때, 동충하초균의 활력이 복원되어야 한다. 동충하

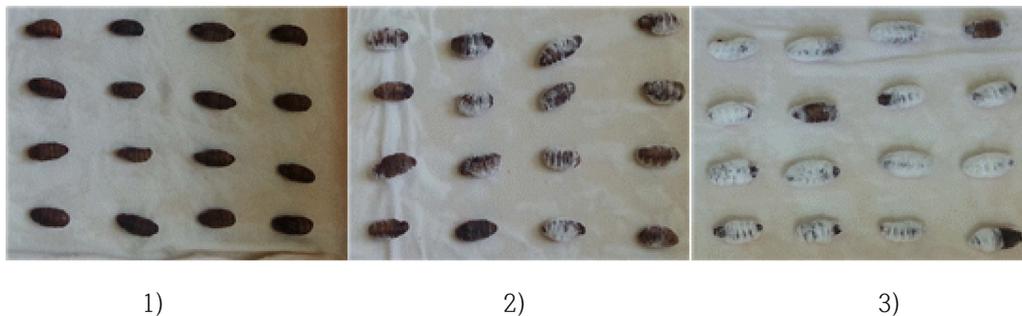


Fig. 1. Mycelium formation of *P. tenuipes* on the storage temperature (After 60 days). 1) 4°C storage 2) 4°C storage after drying 3) -20°C storage after drying

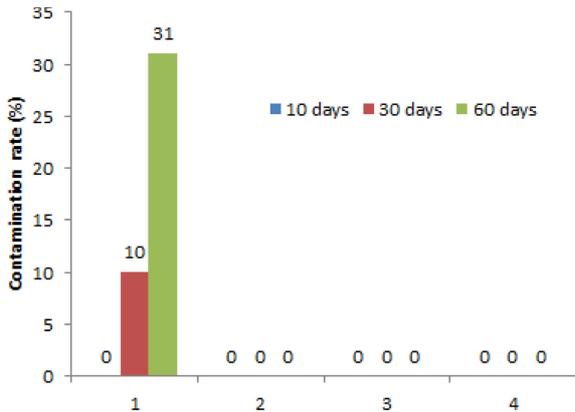


Fig. 2. Contamination rate on the vacuum and storage temperature. 1: (non-treated) 4°C storage 2: (non-treated) -20°C storage 3: (Vacuum treated) 4°C storage 4: (Vacuum treated) -20°C storage

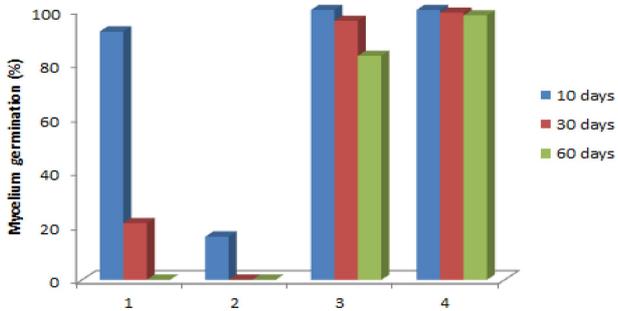


Fig. 3. Restoration of cultivable ability depending on the vacuum and storage temperature. 1: (non-treated) 4°C storage 2: (non-treated) -20°C storage 3: (Vacuum treated) 4°C storage 4: (Vacuum treated) -20°C storage

초균에 감염된 번데기의 저장 전 건조 여부에 따른 균사체 형성여부를 살펴보았다(그림 1). 눈꽃동충하초균에 감염된 번데기를 건조 또는 무처리하여 60일 동안 4°C와 -20°C에 저장한 후 재배상에 올렸을 때, 건조시키지 않은 번데기에서는 균사체가 전혀 발생하지 않았으며, 건조 후 4°C 이하에 보관된 번데기의 균사체는 거의 100% 발생하였다. 특히 건조 후 -20°C에 보관된 번데기의 균사체 활력이 4°C에 보관된 번데기에 비하여 월등히 좋았다. 건조된 동충하초균 감염 번데기의 보관 전 진공처리여부에 따른 오

염율을 조사하였다(그림 2). 건조된 번데기이지만 진공처리를 하지 않고 4°C에 보관시에는 30일 보관시 10%, 60일 보관시 31%의 오염율을 보였지만, 60일 동안 보관하였을 때, 진공처리를 하지 않더라도 -20°C에 보관한 것과 진공처리를 한 것은 전혀 오염 번데기가 발생하지 않았다. 하지만 그림 3에서 보는 바와 같이 진공처리하지 않고 -20°C에 보관된 번데기에서는 균사체 발아율이 현저히 낮아져 다시 재배하기 위한 활력이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 눈꽃동충하초를 연중 재배하기 위해서는 그림 4에 요약한 것과 같이 먼저 동충하초균에 감염된 번데기 체내의 수분함량을 자연건조를 통하여 3% 이하로 낮추고, 이를 진공포장 후 4°C 이하에서 보관하는 3단계의 과정이 필수적이다. 이렇게 저온에 보관되어 있는 감염번데기는 연중 필요한 시기에 언제든지 물에 침지하여 번데기 내의 함수율을 원래대로 복원 시킨 다음 최적 재배조건에서 재배하여 동충하초를 생산할 수 있게 함으로써 연중생산이 가능하다. 이상의 연구 결과에 따라 최근 재배가 늘고 있는 금옥잠 누에를 기반으로 눈꽃동충하초의 연중생산을 하게 될 경우 잠업농가의 소득이 크게 증가될 수 있을 것이라 기대한다.

적 요

동충하초는 곤충의 몸속에 들어가 버섯이 발생하는 곤충 기생성 약용 버섯으로 세계적으로 인체에 유용한 활성물질이 확인되었으며, 이를 누에를 이용하여 인공재배할 수 있는 기술이 개발되어 활용되고 있다. 그러나 누에 품종에 따른 동충하초의 생산성에 대한 연구 보고는 없는 실정이다. 본 연구에서는 장러품종 3품종(백옥잠, 금옥잠, 대성잠)과 특수품종 2품종(연록잠, 골든실크)을 이용하여 눈꽃동충하초의 재배조건과 특징을 조사하였다. 눈꽃동충하초 균주(*P. tenuipes*)에 대한 감염율은 금옥잠이 가장 높았으며, 백옥잠, 대성잠, 골든실크, 연록잠 순으로 감염율이 높았다. 눈꽃동충하초를 재배하기 위한 최적조건은 어두운 장소에서 번데기 당 약 4 cm²의 재배밀도로

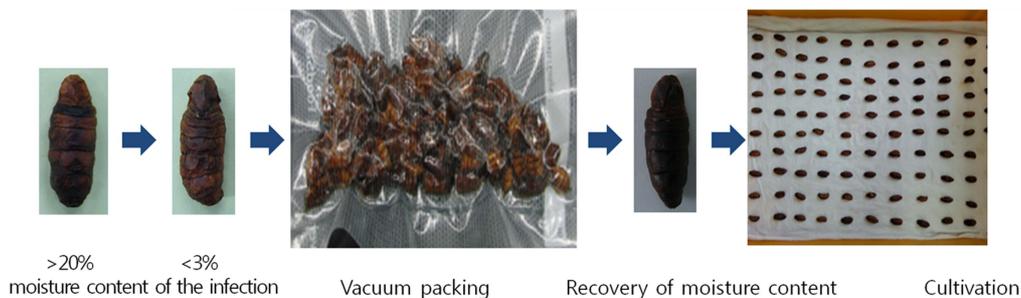


Fig. 4. Year-round cultivation of *Paecilomyces tenuipes*.

22°C ± 1를 유지해 주는 것이었다. 또한 우리는 농가소득 향상을 위해, 동충하초의 수요가 있을 때 마다 수시로 재배할 수 있는 연중재배 기술을 개발하였다. 연중재배 방법은 먼저 동충하초균에 감염된 번데기 체내의 수분함량을 자연건조로 3% 이하로 낮추고, 이를 진공포장 후 4°C 이하에서 보관하는 3단계의 과정이 필수적이다. 이렇게 저온에 보관되어 있는 감염번데기는 언제든지 물에 침지하여 번데기 내의 함수율을 원래대로 복원 시킨 다음 최적 재배조건에서 재배하여 동충하초를 생산할 수 있게 함으로 연중생산이 가능하다. 그러므로 우리는 동충하초 재배농가가 누에 품종 중 금옥잠을 이용하고 연중생산 기술을 활용하여 소득증대를 이룰 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ010817)의 지원에 의해 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

References

- Ahn HY, Lee JH, Kang MJ, Cha JY, Cho YS (2012) Fibrinolytic activity and chemical properties of cordycepin-enriched *Cordyceps militaris* JLM 0636. J life science **22**, 226~231.
- Cho SY (2000) Silkworm-Dongchunghacho, pp.20, Shinilbooks, Korea.
- Heo K, Myoung KS, Lee JH, Huh CS (2009) Anti-obestic effects of cathepsin S inhibitory fraction derived from *paecilomyces tenuipes* in mice fed a high-fat diet. Korean J Food Sci Technol **41**, 446~451.
- Jo WS, Nam BH, Oh SJ, Choi YJ, Kang EY, Hong SK, Lee SH, Jeong MH (2008) Hepatic protective effect and single-dose toxicity study of water extract of *cordyceps militaris* grown upon *protaetia dreujtarsis*. Korean J Food Sci Technol **40**, 106~110.
- Kim HJ, Lee TH, Kwon YS, Son MW, Kim CK (2012) Immunomodulatory activities of ethanol extract of *cordyceps militaris* in immunocompromised mice. J Korean Soc Food Sci Nutr **41**, 494~500.
- Kim HS, Choe M (2005) Hypoglycemic effect of *Paecilomyces japonica* in NIDDM patients. J Korean Soc Food Sci Nutr **34**, 821~824.
- Park KH, Moon EK, Shin YK, Bae MA, Kim JG, Kim YH (2000) Antitumor activity of *Paecilomyces japonica* is mediated by apoptotic cell death. J Microbiol Biotechnol **10**, 16~24.