

눈꽃동충하초 (*Paecilomyces tenuipes*)의 균사생장조건 구명

박기범 · 박기병 · 부산 쓰레스타 · 성재모
강원대학교 생물환경학부

Investigation on favorable conditions for mycelial growth of *Paecilomyces tenuipes*

Gi-Beom Park, Gi-Byung Park, Bhushan Shrestha, and Jae-Mo Sung

Department of Environmental Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT : Distribution and in vitro growth characteristics of entomopathogenic *Paecilomyces* species were studied based on the specimens and isolates deposited in Entomopathogenic Fungal Culture Collection (EFCC), Kangwon National University, Chuncheon, Korea. *Paecilomyces* species were frequently collected from different mountains and valleys and were almost distributed uniformly. Collection period of *Paecilomyces* species ranged from July to September, with most of the collections at the end of September. *P. tenuipes* was mostly collected one among different *Paecilomyces* species. The optimum medium for mycelial growth of *P. tenuipes* was PDA, whereas in other media such as SDAY and HMA also produced similar growth. The optimum temperature and pH levels were 25C and 6.0~7.0, respectively. Best carbon and nitrogen sources were dextrose and tryptone, respectively, while KH₂PO₄ was the best mineral source for mycelial growth. Highest mycelial growth was observed when the C/N ratio was 20:1.

KEYWORDS : entomopathogenic, *Paecilomyces*, *Paecilomyces tenuipes*, carbon source, nitrogen source, C/N ratio

눈꽃동충하초 (*Paecilomyces tenuipes*)는 곤충을 기주로 하여 자실체를 형성하는 곤충기생균 (Entomopathogenic fungi)의 일종으로 거의 모든 곤충의 성충과 유충에 침입하여 자실체를 형성한다. 동충하초 (Cordyceps)는 자낭균문의 육좌균목 (Hypocreales), 맥각균과 (Clavicipitaceae)에 속하며 *Paecilomyces*속은 동충하초속 (*Cordyceps* spp.)의 불완전세대에 속하는 균으로 분생자병속에 포자를 형성한다. 이 균의 생활사는 거의 모든 곤충의 유충, 번데기, 성충 등의 전 생육 단계에 걸쳐 기주의 외피 (external cuticle)를 통하여 침입하며 균사는 충체내의 모든 기관의 영양이 소비될 때까지 생장을 지속한 후 단단하게 응축된 내생균핵 (endosclerotium)을 형성한다. 내생균핵으로 월동한 후 자실체 발생에 적합한 환경 조건을 만나면 곤충의 외부로 자실체를 형성하여 포자를 분산하는데 이 포자는 곤충에 병원성을 갖으며 또 다른 곤충으로 침입을 하게 된다 (Humber, 1990; Kobayasi, 1982; Lacey, 1997; Samson, 1995; Sung et al. 1993; 성, 1996). 동충하초는 고대로부터 중국에서 불로장생의 비약으로 결핵, 천식, 황달의 치료 및 아편 중독의 해독제, 병후의 보양 및 강장제, 면역 기능 강화제로서 이용되어 왔으며, 최근 국내에서도 항균, 항암 효과가 있는 약리 성분의 발견으로 인하여 동충하초를 이용한 건강보조식품의 개발과 이를 이용한 유용 약품 개발 그리고 이를 위한 유전자원의 수집 분류 동정에

도 상당히 많은 연구가 이루어지고 있다 (Kim et al, 2001; Yun, 2001; Yun et al, 2000; 성, 1996, 성등, 1998; 이 1996; 최 1999). 한편 화학 농약의 남용으로 인한 토양의 오염과 변화와 잔류독성 등의 문제로 대체 방법인 생물학적 방제의 개발이 절실하게 요구되고 있고 동충하초를 이용한 생물학적 방제법과 그 이용 가능성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Lee, 1996; 성, 1996).

그러나 한국에서는 이에 대한 연구가 아직은 미흡한 상태이므로 안정적인 인공 대량 재배의 기초자료를 제공하기 위하여 국내의 눈꽃동충하초의 분포 상황을 파악하고 채집된 동충하초의 균주를 분리하여 배양적 특성을 구명하였다.

재료 및 방법

눈꽃동충하초의 국내분포

눈꽃동충하초의 국내 분포조사는 강원대학교 동충하초은행 EFCC (Entomopathogenic Fungi Culture Collection)의 최근 5년간의 자료를 토대로 작성하였다. 조사는 강원도를 중심으로 하였으며 영서지역은 춘천에 소재한 강원대학교 연습림, 치악산, 오대산과 영동지역은 설악산을 중심으로 하였고 경기도내 용문산, 충남 칠갑산, 전남 함평, 백양사등지 15개 장소에서 조사하고 채집하였다. 동충하초의 채집은 1996년 6월부터 2000년 10월까지 실시하였으며, 채집시에는 채집장소, 채집년월일, 채집

*Corresponding author: <E-mail: jmsung@kangwon.ac.kr or cordyceps@nate.com>

장소의 임상분포, 기주곤충의 종류와 상태 등을 기술하였다. 채집된 동충하초의 균 분리는 분생포자를 떼어내어 PDA배지에서 발아시키어 분리하였다.

배양적 특성조사

공시 균주는 강원대학교 동충하초은행 EFCC에서 보존하고 있는 균주를 사용하였으며 보관중인 공시균주를 PDA(potato dextrose agar; Difco Co.) 평판배지에 접종한 후 25°C의 incubator에서 7일간 배양한 후 접종원으로 C240균주를 포함하여 5개 균주를 이용하였다(Table 1). 적정배지를 선발하기 위하여 PDA를 비롯한 9종의 배지를 이용하였다(Table 2). 각각의 배지는 121°C (1.2psi) 20분간 멸균한 후 87mm Petri-dish에 분주하여 균 배양에 사용하였으며 공시균주의 균사선단 부분을 5mm cork borer로 균층을 떼어내어 적정배지 선발을 위한 9종의 배지에 접종하였다. 접종된 배지는 25°C의 배양실에서 7일간 배양한 후 균사의 직경과 균사배양 밀도를 측정하였다. 배양 적정 온도를 선발하기 위하여 PDA를 이용하여 15°C

에서 35°C까지 공시균의 균사생장을 조사하였으며 배양 적정 pH 조사는 0.1N HCl과 0.1N NaOH로 pH 4.0부터 pH 9.0까지 조절된 MPDA배지를 87mm Petri-dish에 분주하여 조사하였다.

생리적 특성조사

균사생장에 적합한 탄소원을 선별하기 위하여 합성배지인 MPDA를 기본배지로 하여 maltose 등 이당류 3종, dextrin 등 다당류 2종 등 총 9종의 탄소원은 농도가 dextrose를 비롯하여 다른 탄소량도 10g가 되도록 배지를 조제하였다. 적합한 질소원을 선별하기 위하여 MPDA를 기본 배지로 하여 ammonium tartrate 등 무기태 질소원 6종, urea 등 유기태 질소원 8종, serine 등 아미노산 2종 등 총 14종의 질소원 농도를 peptone를 비롯하여 다른 질소원도 5g가 되도록 배지를 조제하였다. 적합한 무기염류를 선별하기 위하여 MPDA 배지를 기본 배지로 하여 CaCl₂ 외 9종의 무기염류 0.05%(w/v)를 첨가하여 배지를 조제하였으며 적합한 탄소원과 질소원의 함량비를 시험하고자 MPDA를 기본배지로 하여 탄소원으로는 dextrose와 질소원으로는 peptone의 농도를 40, 20, 10, 5, 2, 1 : 1로 하고 또한 1 : 1.5, 2, 2.5, 3 으로 배지를 조제하였다. 조제된 배지는 121°C (1.2psi)에서 20분간 고압살균 후 균주를 직경 5mm cork borer로 절취하여 petri-dish(87Ø × 15mm)의 중앙에 접종한 후 25°C의 항온기에 7일간 배양하여 균사의 성장정도 및 밀도를 측정하였다.

결 과

눈꽃동충하초의 국내분포

눈꽃동충하초의 수집은 자연 상태에서 본 균이 발생하는 시기인 주로 7~9월 사이에 하였으며 발생장소는 계곡을 끼고 양옆으로 발달한 습지를 이루는 침엽수림보다는 활

Table 1. List of *Paecilomyces tenuipes* used in this experiment

Isolate No.	Collected date(m/d/y)	Locality	Host
C240	8/14/1993	Mt. Chiak, Kangwon	Pupae
C4403	9/01/1999	Mt. Gujeol, Kangwon	Pupae
C4740	7/02/2000	Mt. Chiak, Kangwon	Pupae
C5235	7/23/2000	Mt. Hiryang, Kangwon	Pupae
C6261	3/28/2001	Imsil, Jeonbuk	Pupae

Table 2. Composition of culture media used this experiment

Nutritional reagents	medium(g/ℓ)								
	PDA	SDAY	YMA	HMA	MEA	MYA	SA	MA	MPDA
Potato	200								
Dextrose	20	20	10	20	20	4	20		10
Malt extract			3		20	10		20	
Peptone		5	5		1		10		5
Yeast extract		5	3	3		4			
MgSO ₄ · 7H ₂ O									0.5
KH ₂ PO ₄									1
Hyponex				3					
Ebiose				5					
Agar	20	15	20	20	20	15	20	20	20

PDA, potato dextrose agar; SDAY, sabouraud's dextrose agar plus yeast extract; YMA, yeast malt agar; HMA, hamada media; MEA, malt agar; MYA, malt extract yeast agar; SA, sabouraud's agar; MA, maltose agar; MPDA, matin's peptone dextrose agar.

엽수림이 발달한 지대로 공중습도가 높고 외부의 교란이 없으며 잡초가 비교적 적은 지역에서 주로 채집되었다. 채집당시의 형태는 번데기는 토양속에 있으며 자실체만이 외부로 나타난 형태를 갖추고 있었다. 자실체의 형태는 1개~여러 개의 나뭇가지나 빗자루 모양으로 외부로 돌출

되어 있었으며 무수히 많이 형성된 분생포자가 분생자병에 눈송이 모양을 나타낸다. 자실체의 크기는 30~75mm 정도이며 대개 흰색을 띄고 있었다. 다양한 곤충을 침입하는 *Paecilomyces* 속의 동충하초는 강원대학교 연습림인 구절산에서 가장 많이 채집되었으며 경기, 충청, 전라도의 지방에서도 다수 채집되었다. 이 결과 눈꽃동충하초는 완전세대의 동충하초와 비교하여 상대적으로 강한 환경 내성을 지니고 있는 것으로 사료되며 채집시기도 다른 동충하초에 비해 길게 나타났고 채집지역도 넓게 나타나고 있다. 눈꽃동충하초는 환경이 갖춰지는 곳이라면 한국의 거의 모든 산악 지역에 고루 분포하는 것으로 예상되며 발생 시기는 9월이며 개체와 종의 다양성도 많을 것으로 기대된다(Fig. 1, 2, Table 3).

동충하초는 완전세대의 유성생식 기관으로서 자낭포자를 형성할 뿐만 아니라 생활환의 일부로서 무성생식 기관인 분생포자를 형성하는 불완전세대를 갖는다. 이에 따라 동충하초균의 생활환을 밝히기 위한 방법으로서 분생포자를 배양함으로써 자낭포자를 형성시키려는 시도가 다각적으로 이루어져왔다.



Fig. 1. Map of collection sites.

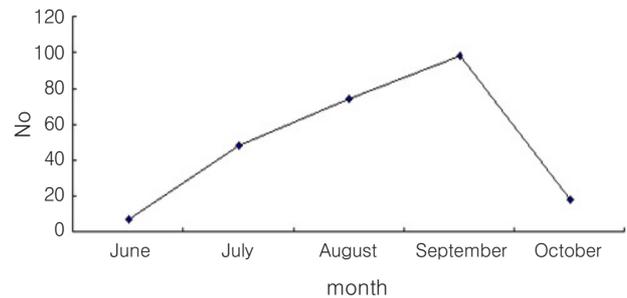


Fig. 2. Number of specimens of *Paecilomyces* species collected at different months during the periods 1996-2000.

Table 3. Geographic distribution of *Paecilomyces* spp. from 1996 to 2000

Species	<i>P. tenuipes</i>	<i>P. famosoroseu</i>	<i>P. farinosus</i>	<i>P. cicadae</i>	<i>Paecilomyces. spp</i>
Mt. Gujeol	53	1	1	.	34
Mt. Odae	10	.	.	.	16
Mt. Samak	16	.	.	.	8
Mt. Yongmoon	13	.	.	.	10
Mt. Chiak	5	.	.	.	16
Mt. Chilgab	11	.	.	.	5
Mt. Naejang	.	.	.	3	11
Mt. Hiryang	.	.	.	6	5
Mt. Seolak	4	.	.	.	5
Mt. Halla	5	.	.	.	.
Mt. Taegi	1	.	.	.	2
Mt. Chilsung	.	.	.	.	3
Mt. Gyeong	.	.	.	.	2
Mt. Obong	.	.	.	.	1
Mt. Wolchul	.	.	.	.	1

배양적 특성조사

눈꽃동충하초의 적정배지를 선발하기 위하여 PDA를 비롯한 9가지의 배지에 공시균주를 접종하여 배양한 결과, 군사생장이 높게 나타난 배지는 PDA이고 그 다음은 MPDA와 SDAY에서 군사생장이 좋았다(Fig. 3). 눈꽃동충하초의 군사배양에 적합한 온도를 조사하기 위하여 PDA배지를 이용하여 15℃부터 35℃까지 각각 조절되는 incubator에서 배양한 결과, 25℃에서 군사생장이 가장 양호했으며 35℃에서는 군사생장이 전혀 이루어지지 않았다(Fig. 4). 눈꽃동충하초의 군사배양에 적합한 pH범위를 조사하기 위하여 0.1N HCl과 0.1N NaOH로 pH 4.0부터 pH 9.0까지 조절하여 실험한 결과 pH 5.0부터 pH7.0까지의 배지에서 군사생장이 양호한 것으로 나타났다(Fig. 5).

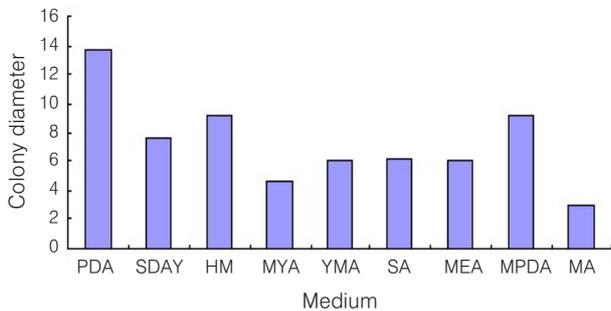


Fig. 3. Effect of different medium on mycelial growth of *Paecilomyces tenuipes*.

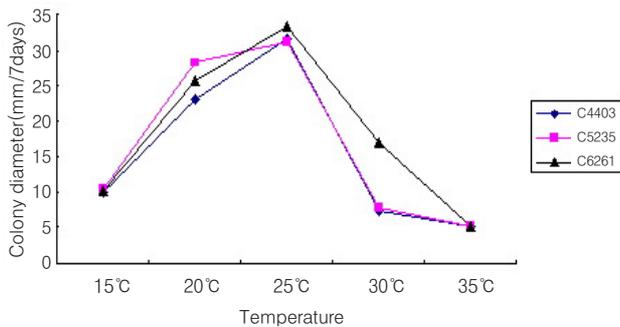


Fig. 4. Effect of temperature on mycelial growth of *Paecilomyces tenuipes* in PDA.

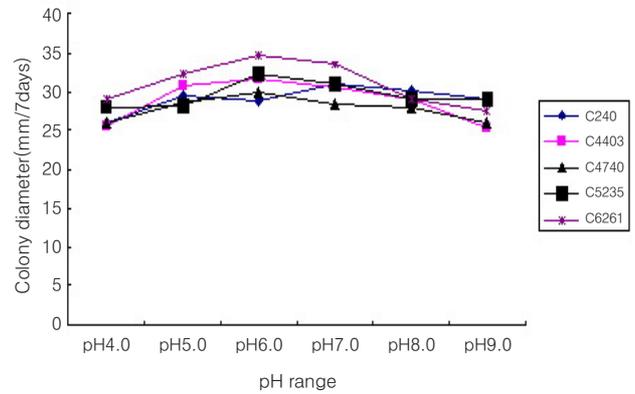


Fig. 5. Effect of pH ranges on mycelial growth of *Paecilomyces tenuipes* in PDA.

생리적 특성조사

눈꽃동충하초속의 군사생장에 적합한 탄소원을 선발하기 위하여 dextrose를 비롯한 9종의 탄소원을 실험한 결과, 군사생장은 lactose와 starch에서 우수하였으며 dextrose에서 군사생장이 가장 안정적이었다. 기중 군사의 밀도는 xylose를 제외한 모든 탄소원에서 유사한 밀도를 나타냈다(Table 4). 눈꽃동충하초속의 군사생장에 적합한 질소원을 선발하기 위하여 sodium nitrate를 비롯한 무기질소원 6종과 hemoglobin을 비롯한 유기질소원 8종을 각각 첨가하여 실험한 결과, 무기질소원 보다는 유기질소원에서 군사생장과 포자형성이 양호한 것으로 조사되었으며 hemoglobin과 tryptone에서 가장 높게 나타났다. 기중군사의 밀도와 포자형성은 tryptone에서 가장 높게 나타났다(Table 5). 눈꽃동충하초의 무기염류의 선발 시험한 결과 FeSO₄와 KH₂PO₄에서 군사생장이 가장 양호하였으며 다른 7종류의 배지에서도 군사생장은 이루어졌다(Table 6). 눈꽃동충하초의 군사생장에 적합한 탄소원과 질소원의 비율을 시험하고자 탄소원으로는 dextrose와 질소원으로는 peptone를 이용하여 C/N비의 차이를 주어 실험한 결과 20:1에서 군사생장이 가장 양호한 것으로 나타났다(Fig. 6).

Table 4. Effect of carbon sources on mycelial growth of C4403 and 5235 incubated at 25℃ for 7days

Isolate number	Carbon sources (colony diameter mm and mycelial density)								
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
4403	25.0	20.5	26.0	24.3	26.4	21.8	24.0	25.5	14.3
	+++	++	++	+++	++	+++	+++	++	+
5235	24.0	24.0	24.7	25.0	27.3	22.0	22.3	24.3	15.3
	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+

C-1 : dextrose, C-2 : maltose, C-3 : starch, C-4 : dextrin, C-5 : lactose,
 C-6 : mannose, C-7 : sucrose, C-8 : fructose, C-9 : xylose
 +++ : compact, ++ : moderate, + : thin

Table 5. Effect of nitrogen sources on mycelial growth of C4403 and 5235 incubated at 25°C for 7 days

Isolate number	Nitrogen sources(Colony diameter mm and mycelial density)													
	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12	N-13	N-14
4403	23.7 +++	22.0 +++	13.2 +++	11.2 +++	13.8 +++	12.0 +++	13.7 +++	10.3 ++	12.7 ++	26.7 +++	5.0 +	33.0 +	22.5 ++	20.8 +++
5253	24.5 +++	1976 +++	14.0 ++	11.2 +++	14.3 +++	11.0 +++	17.7 ++	10.8 ++	12.0 +++	28.7 +++	5.0 +	36.0 +	21.8 ++	19.3 ++

N-1 : peptone, N-2 : yeast extract, N-3 : ammonium tartrate N-4 : ammonium nitrate, N-5 : ammonium phosphate,
 N-6 : ammonium sulfate N-7 : glycine, N-8 : sodium nitrate, N-9 : potassium nitrate, N-10 : tryptone,
 N-11 : urea, N-12 : hemoglobin, N-13 : asparagine, N-14 : gelatin
 +++ : compact, ++ : moderate, + : thin.

Table 6. Effect of Mineral salts on mycelial growth of C4403 and 5235 incubated at 25°C for 7 days

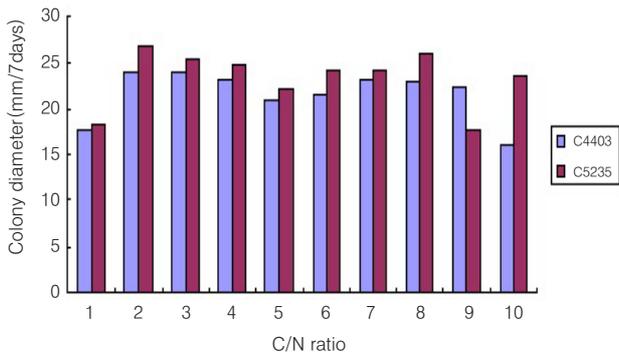
Isolate number	Mineral salts(Colony diameter mm and Mycelial density)								
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
Colony diameter (mm)	22.5	22.3	19.8	22.7	23.7	23.7	23.7	20.5	22.5
Mycelial density	+++	++	+++	++	++	+++	++	+++	++
Colony diameter (mm)	21.66	22.00	25.33	24.33	24.50	23.33	24.00	21.66	24.00
Mycelial density	+++	++	+++	++	++	+++	++	+++	++

M-1 : CaCl₂ · 2H₂O, M-2 : CaCO₃, M-3 : FeSO₄ · 7H₂O, M-4 : KCl, M-5 : K₂HPO₄, M-6 : KH₂PO₄, M-7 : MgSO₄,
 M-8 : MnSO₄ · 4~5H₂O, M-9 : NaCl.

고찰

곤충을 기주로 하여 자실체를 형성하는 곤충기생균 (Entomopathogenic fungi)의 일종인 눈꽃동충하초 (*Paecilomyces tenuipes*)는 인시목의 유충이나 번데기, 성충에 이르기까지 폭넓게 발생하는 불완전균문(Deuteromycota)의 불완전균사균강(Hyphomycetes), 분생자경속균목(Moniliales), 분생자경속균과(Stilbaceae)에 속하는 균으로 분생자경속에서 분생포자를 형성하는 것으로 쉽게 포자가 비산한다(Barnett and Hunter, 1998). 이 속균은 자실체 형성이 잘 되기 때문에 한국 중에서 동충하초 중에서 가장 먼저 산업화 된 동충하초이다.(Cho, 1999; Pacioni and Frizzi 1977; Petch, 1936).

눈꽃동충하초는 제일 처음에는 *Isaria tenuipes*로 보고되었다가 *Paecilomyces*로 Samson(1974)에 의하여 수정된 후 *Paecilomyces tenuipes*로 지금 사용되고 있다. 이 동충하초는 세계적으로 분포하는 종으로 한국에서도 가장 쉽게 채집되는 종이다(Kobayasi 1941; Samson et al 1988; 성, 1996). 본 조사에서는 15개 지역중에서 춘천근교에 있는 삼악산에서 가장 많이 채집되었고 시기적으로는 9월에 많이 발생하는 것으로 나타났다. 지역적으로 채집하는 시기에 따라 달리 나타날 수 있다. 그러나 9월에 많이 채집되는 것은 자실체의 형성이 적합하지 않아 불완전세대인 *Paecilomyces*를 형성하여 많은 곤충의 유충을 침입하여 번식을 하기 때문으로 생각되어진다.



	dextrose	peptone
1	40	1
2	20	1
3	10	1
4	5	1
5	2	1
6	1	1
7	1	1.5
8	1	2
9	1	2.5
10	1	3

Fig. 6. Effect of C/N ratio mycelial growth of *Paecilomyces tenuipes*.

눈꽃동충하초가 대량생산이 되고 산업화가 되어 많이 이용되고 있지만 이 동충하초에 대한 생리실험에 대한 기초 실험으로 눈꽃동충하초의 균사배양은 이제까지 사용하고 있는 배지 중에서 PDA배지와 SDAY, HMA배지에서 가장 우수한 성장을 나타내었다. 따라서 눈꽃동충하초의 배양은 많은 균에서 사용하고 있는 기본배지인 PDA를 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 적합한 온도는 25℃이며 pH 6.0과 7.0에서 가장 높은 균사생장을 나타냈다. 이 결과는 균사 생장의 최적온도는 24℃이며 균사생육 pH는 7.0으로 발표한 내용과 거의 일치하는 것으로 나타났다 (Ban 등, 1998; Han et al. 2001; Yamanaka et al. 1998).

모든 균이 자라는데 필수영양원인 탄소원은 lactose와 starch에서 우수하였으며 dextrose에서는 균사생장이 가장 안정적이며 균사밀도도 가장 높게 나타났다. 질소원은 hemoglobin과 tryptone에서 높게 나타났지만 hemoglobin에서는 균사생장은 높았으나 밀도가 낮게 나타났고, tryptone에서는 균사생장과 밀도가 모두 안정적으로 나타났다.

무기염은 FeSO₄와 KH₂PO₄에서 균사생장이 좋고 과 밀도도 높게 나타났으나 균주간에 차이도 있는 것으로 나타났다. 하지만 일반적으로 KH₂PO₄에서는 균주마다 고른 균사생장과 밀도를 나타냈다. 이러한 영양원을 선별하였을 지라도 질소원과 탄소원의 비율에 따라 다르게 되므로 알맞은 비율은 탄소원 20의 비율과 질소원 1의 비율에서 좋은 것으로 나타났다. 이것은 다른 균에서 보여 주는 것 보다는 비율이 낮은 것으로 나타났다(최, 1999).

눈꽃동충하초를 잘 성장하게 하려면 배지로는 PDA배지에 질소원과 탄소원의 비율을 20:1로 하고 pH를 7로 맞추고 25℃에서 배양하면 균사체를 많이 얻을 수 있다. 이러한 기본자료는 앞으로 눈꽃동충하초를 산업화하고 생리활성 연구를 하는데 잘 이용될 수 있으리라 본다.

적 요

본시험은 한국에서 채집되어 강원대학교 동충하초은행(EFCC)에서 보관 중인 눈꽃동충하초의 분포와 배양적 특성을 조사하였다. 눈꽃동충하초는 한국의 산이나 계곡에서 어렵지 않게 채집할 수 있으며 골고루 분포한다. 채집 시기는 7~9월로 나타났으며 9월말에 가장 많이 채집할 수 있으며 채집된 눈꽃동충하초의 종은 눈꽃동충하초(*P. tenuipes*)가 가장 높게 채집되었다. 눈꽃동충하초의 균사 배양 최적배지는 PDA배지이며 SDAY와 HMA배지에서도 생장은 가능하며 균사생장에 가장 적합한 온도는 25℃이며 pH는 6.0~7.0으로 나타났다. 적합한 영양원으로는 탄소원은 dextrose이었으며, 질소원은 tryptone가 가장 우수하였고, 무기염으로는 KH₂PO₄에서 가장 고른 성장을 보였다. C/N에서는 20 : 1의 비율이 가장 적합한 것으로 조사되었다.

감사의 글

이 논문은 과학기술부에서 시행하는 한국생명공학연구원 유전자원활용사업단의 동충하초은행연구결과로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Ban, K. W., Park, D. K., Shim, J. O., Lee, Y. S., Park, C. H., Lee, J. Y., Lee, T. S., Lee, S. S. and Lee, M. W. 1998. Cultural characteristics for inducing fruiting-body of *Isaria japonica*. Kor. J. Mycol. 26(3): 380-386
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. APS Press, 218 pp
- Cheng, K. T., Su, C. H., Chang, H. C. and Huang, J. Y. 1998. Differentiation of genuines and counterfeits of *Cordyceps* species using random amplified polymorphic DNA. Planta medica 64: 451-453.
- Chew, J. S. K., Stongman, D. B. and Mackay, R. M. 1997. RFLP analysis of rRNA intergenic spacer regions of isolates of the entomopathogen *Paecilomyces farinosus*. Can. J. Bot. 75:2038-2044.
- Cho, S. Y., Ji, S. D., Jung, I. Y. and Nam, S. H. 1999. Cultural condition and morphological characteristics of *Paecilomyces japonica* for the artificial cultivation. Kor. J. Seric. Sci. 41(1): 36-40.
- Fukatsu, T., Sato, H. and Kuriyama, H. 1997. Isolation, inoculation to insect host, and molecular phylogeny of an entomogenous fungus *Paecilomyces tenuipes*. J. Invertebr. Pathol. 70: 203-208.
- Han, M. S., Nam, S. H., Jung, I. Y. and Cho, S. H. 2001. Improvement of liquid culture methods of *Paecilomyces japonica*. Kor. J. Seric. Sci. 43(1): 33-36.
- Humber, R. A. 1990. Identification of fungal entomopathogens USDA-ARS Plant, Soil & Nutrient Lab. pp. 1-10.
- Kim, H. W., Nam, K. S., Jo, Y. S., Kim, Y. H., Hyun, J. H. 2001. Cytotoxic activities of acetoxyscirpenediol and ergosterol peroxide from *Paecilomyces tenuipes*. Life Sciences 69: 229-237.
- Kim, Y. H., Park, Y. H., Mon, E. K., Shin, Y. K., Bae, M. A. and Kim, J. G. 2000. Antitumor activity of *Paecilomyces japonica* is mediated by apoptotic cell death. J. Microbiol. Biotechnol. 10(1): 16-20.
- Kobayasi, Y. 1941. The genus *Cordyceps* and its allies. Sei. Rept. Tokyo Buntika Daigaku, sect. B.5: 53-260
- Kobayasi, Y. 1982. Keys to the taxa of the genera *Cordyceps* and *Torrubiella*. Trans. Mycol. Soc. Japan 23: 329-364.
- Lacey, L. A. 1997. Manual of techniques in insect pathology. Academic Press, California Pp 153-249.
- Pacioni, G. and Frizzi, G. 1977. *Paecilomyces farinosus*, the conidial state of *Cordyceps memorabilis*. Can. J. Bot. 56: 391-394.
- Petch, T. 1936. *Cordyceps militaris* and *Isaria farinosa*.

- Trans. Brit. Mycol. Soc.* 20: 216-224.
- Samson, R. A. 1974. *Paecilomyces* and some allied Hyphomycetes. *Studies in Mycology* 6: 31-36.
- Samson, R. A., Evans, H. C. and Latge J. P. 1988. Atlas of Entomopathogenic fungi. Springer-Verlag Pp: 18-133.
- Samson, R. A. 1995. Constraints associated with taxonomy of biocontrol fungi. *Can. J. Bot.* 73(S1): S83-S88.
- Sung, J. M., Kim, C. H., Yang, K. J., Lee, H. K, and Kim, Y. S. 1993. Studies on distribution and utilization of *Cordyceps militaris* and *C. nutans*. *Kor. J. Mycol.* 21(2): 94-105.
- Yamanaka, K. Inatomi, S. and Hanaoka, M. 1998. Cultivation characteristics of *Isaria japonica*. *Mycoscience*, 39: 43-48.
- Yun, J. S. 2001. The effect of *Cordyceps*, *Paecilomyces japonica*, on the cocoon quality of silkworm, *Bombyx mori*. *Kor. J. Entomology*. 31(2): 135-138.
- Yun, J. W., Bae, J. T., Jayanta, S., Park, J. P. and Chi, H. S. 2000. Optimization of submerged culture conditions for exo-biopolymer production by *Paecilomyces japonica*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 10(4): 482-487.
- 성재모. 1996. 한국의 동충하초. 교학사. 202-222 pp.
- 최인영. 2000. 동충하초屬菌의 類緣關係 分析 및 人工培養. 全北大學校 博士學位 論文. pp 112
- 이현경. 1996. 韓國産 冬蟲夏草의 分布와 分類 및 培養의 特性에 關한 研究. 江原大學校 碩士學位 論文. pp 96.
- 최영상. 2000. 먼데기冬蟲夏草의 培養의 特性과 人工栽培에 關한 研究. 江原大學校 碩士學位 論文. pp 63.