

한국에서 채집된 동충하초의 분포와 분류

성재모* · 이현경 · 최영상 · 김용욱 · 김상희 · 성기호

강원대학교 농생물학과 균학실험실

Distribution and Taxonomy of Entomopathogenic Fungal Species from Korea

Jae-Mo Sung*, Hyun-Kyung Lee, Young-Sang Choi,
Yong-Yuk Kim, Sang-Hee Kim and Gi-Ho Sung

Mycological Lab., Department of Agricultural Biology,
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT: Thirty three entomopathogenic species belonging to twelve genus were collected throughout 16 collecting sites from 1990 to 1996. Among those collected species, 14 unrecorded species such as *Cordyceps bifusispora*, *C. martialis*, *C. oxycephala*, *C. paludosa*, *C. pentatomi*, *C. rosea*, *C. ryogamiensis*, *Shimizuomyces paradoxa*, *Akanthomyces aculeatus*, *Polycephalomyces ramosus*, *Tilachliidiopsis nigra* were added to Korean entomopathogenic species through this study. In nature, occurrence of *Cordyceps nutans*, *C. sphecocephala* and *Paecilomyces tenuipes* were from early June to late September. On the other hand, *C. militaris*, *C. kyushuensis* and *C. pruinosa* were mainly found from mid July to mid August when relative humidity are increased. Nine species of the genus *Cordyceps* including *C. bifusispora* and four deuteromycetous species were isolated. As a result of cultural test using six *Cordyceps* species, anamorph of *C. militaris*, *C. kyushuensis* were proved as *Verticillium* sp. *C. pruinosa* as *Acremonium* sp., *C. sphecocephala* as *Hymenostilbe* sp. and *C. scarabaeicola* as *Beauveria* sp., respectively.

KEYWORDS: Entomopathogenic species, Anamorph, *Cordyceps*, *Verticillium*, *Acremonium*, *Hymenostilbe*, *Beauveria*.

동충하초는 살아있는 곤충을 침입하여 이를 기주로 자실체를 형성하거나 충체위에 포자과를 형성하는 곤충기생균으로 AD 800년경 Fungus-born wasp로 서양서에 최초로 기록되었다(Kobayasi et Shimizu, 1983). 동충하초는 거의 모든 곤충군의 전 생육단계에 걸쳐 기주의 외피(cuticle)를 통하여 침입하며 균사는 충체내의 모든 기관이 소비될 때까지 성장을 지속한 후 단단하게 응축된 내생균핵(endosclerotium)을 형성한다. 휴면기관으로서 는 내생균핵, 후막포자, 접합포자 또는 난포자를 충체내에 형성하여 포자를 분산하는데 곤충에 병원성을 갖는 것으로 알려진 동충하초균은 전세계적으로 분포하며 현재까지 약 100속 750여종이 알려지고

있다(Arora et al., 1991). 기초적으로 본 균에 관한 연구는 분류학적 연구와 아울러 이용면에서 일부 약리효과가 인정된 충초의 약용이용, 자실체의 성분 분석을 통한 유용 생리 활성 물질의 구명, 미생물 살충제로서의 개발에 관한 광범위한 연구가 이루어지고 있다. 자실체를 형성하는 대표적인 동충하초속인 *Cordyceps*속은 1723년 Linnaeus에 의하여 *Clavaria*속으로 보고되었다(Kobayasi et al., 1940, 1983). 동충하초균의 학술적 발표는 1727년에 최초로 이루어졌는데 중국산 동충하초인 *Clavaria militaris*, *Clavaria ophioglossoides* 등이 발표되었다(Kobayasi et al., 1983). 1801년 Persoon은 *Cordyceps*속을 *Spharia*속에 위치시켰고 1823년 E. Fries는 *Spharia*속을 다수의 절로 나누어 이종의 한절을 *Cordyceps*라고 명명한 바 있

*Corresponding author

다. 1925년부터 1960년 사이는 동충하초의 분류에 있어 상당한 진척이 있었던 시기로 T. Petch (1931~1941), Y. Kobayasi(1940), E. B. Mains (1958~1959) 등의 대표적인 분류학자들에 의하여 이루어졌다. Petch는 곤봉형의 자낭과 가는 방추형의 분절하지 않는 자낭포자를 가진 종들을 *Ophiocordyceps*속으로 배치하였으며 1931년부터 1941년까지 180여종의 곤충기생균들을 발표하였다 (Petch, 1930, 1931, 1939, 1941). 1982년 Kobayasi는 "Keys to the taxa of the genera *Cordyceps* and *Torrubiella*"에서 *Cordyceps*속 282종과 *Torrubiella*속 73종에 관한 분류 검색표 및 불완전세대와 완전세대의 관계, 기주와 병원균간의 관계에 관한 발표를 하였다(Kobayasi *et al.*, 1983). 한국에서도 성(1996)에 의하여 한국의 동충하초 도감에서 76종의 동충곤충기생균을 발표하였다.

동충하초는 완전세대의 유성생식 기관으로서 자낭포자를 형성할 뿐만 아니라 생활환의 일부로서 무성생식 기관인 분생포자를 형성하는 불완전세대를 갖는다(Evans *et al.*, 1982; Kobayasi *et al.*, 1983). 이에 따라 동충하초균의 생활환을 밝히기 위한 방법으로서 완전세대의 자낭포자로부터 분생포자를 형성시키고 분생포자를 배양함으로써 자낭포자를 형성시키려는 시도가 다각적으로 이루어져 왔다(Hywell-Jones, 1995; Kenderick *et al.*, 1979; Pacioni *et al.*, 1977; papierok, 1982; Samson *et al.*, 1983). Tulasne 이후 *Cordyceps*속의 불완전세대는 *Isaria*속이라는 단일의 독립된 속으로 취급하여 왔는데 Petch(1931, 1939, 1941), Kobayasi(1940, 1983) 등에 의하여 다양한 형태의 다른 속의 불완전세대가 보고되었다. 현재까지 *Cordyceps*속의 불완전세대로서 알려진 속으로는 *Akanthomyces*, *Cephalosporium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Isaria*, *Nomuraea*, *paecilomyces*, *Paraisaria*, *Pseudogibellula*, *Sporothrix*, *Stilbella*, *Verticillium*, *Beauveria*속 등이 있다.

동충하초의 분류에 관한 연구는 현재까지 균의 병원성을 고려한 분류체계라기 보다는 형태적 유사성에 근거하여 이루어져 왔으며 전 세계적으로도 지속적인 신종 발표와 종·속 관계의 구명 등이 활발

히 이루어지고 있다. 그러나, 국내에서의 본 균에 관한 연구는 수종의 국내 미기록종의 보고와 기초적인 수준의 연구가 시작된 단계로 본 연구에서는 국내에 분포하는 동충하초를 채집하여 이를 기초로 분포상을 파악하고, 분류동정하여 국내에 자생하는 동충하초균을 보고함과 동시에 향후 이용을 위한 유용유전자원의 확보차원에서 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

동충하초의 채집과 분리

조사지 개요 본 연구의 조사지는 강원도를 중심으로 하였으며 영서지역은 춘천군에 소재한 강원대학교 연습림을 주 대상으로 그 외에 학교근교, 청평사, 치악산, 오대산, 대룡산 등지에서 채집하였으며 영동지역은 설악산을 중심으로 하여 구룡산 등 강원도내 13개 장소와 경기도내 용문산, 명지산 등 2개 장소, 충남 칠갑산 등 총 16개 장소에서 조사하고 채집하였다. 주 탐색 대상지역이었던 강원대 연습림은 3,050,56 ha의 면적을 지니고 있으며 특히 본 조사지는 잣나무와 일갈나무의 인공조림지로 국내에 알려진 곳이기도 하고 산림식물대상 온대 중부에 속하며 서어나무, 느티나무, 상수리나무, 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무, 층층나무, 피나무, 물박달나무, 생강나무 등 40과 80속 214종의 목본 식물들이 자생하고 있는 곳으로 수령이 다양하여 많은 종류의 곤충이 서식하므로 많은 고등균류와 동충하초가 채집되는 곳이다.

조사방법과 분리법 동충하초의 채집은 1990년 6월부터 1996년 10월까지 16개소의 채집지에서 실시하였으며, 동충하초의 채집시에는 채집장소, 채집년월일, 채집장소의 임상분포, 기주곤충의 종류와 상태 등을 기술하였다. 채집된 균주의 분리는 동충하초에 의하여 이병된 곤충위에 분생포자만이 형성된 경우는 분생포자를 직접 떼어내어 PDA배지에 이식하였으며 이병된 기주위에 자실체가 형성된 경우는 자실체를 water agar가 들어있는 petri-dish의 뚜껑에 tape로 고정시켜 뚜껑을 덮은 후 water agar상에 떨어진 자낭포자를 분리하여 이를 PDA 배지에 이식해서 모균주로 이용하였다.

채집된 동충하초 및 불완전균의 형태적 특징조사와 분류

채집된 동충하초들은 채집직후 외부 형태적 특징 및 광학 현미경을 통한 미세구조적 특징들을 관찰하여 기술하였다. 채집된 동충하초의 외부 특징들로는 자실체의 크기와 색깔, 자낭각이 자좌에 부착된 형태(매생, 반매생, 나생), 자낭각이 존재하는 가임성 부위(Fertile part)의 길이 및 부속사(appendage)의 존재유무 등을 조사하였다. 또한 동충하초와 불완전균의 미세구조적 특징들의 관찰을 위해서 해부 현미경하에서 각 동충하초와 불완전균들의 자실체로부터 몇개의 자낭각 혹은 균사체를 분리하여 Lactophenol이나, 1% Congo red와 1% Phloxine으로 염색시킨 슬라이드를 만들어 광학 현미경하에서 관찰하였다. 동충하초는 자낭각의 모양 및 크기 등을 관찰하고 자낭각을 터뜨려 방출된 자낭과 자낭포자의 특징, 이차포자로의 분열여부 등을 조사하여 기술하였으며 불완전균은 외부적 형태 및 무성생식포자인 분생포자의 모양과 분생자경의 형태 등을 관찰하였다. 채집된 동충하초와 불완전균의 분류동정은 관찰된 형태적 특징들을 기초로하여 Kobayasi(1982)의 "Keys to the taxa of the genera Cordyceps and Torrubiella"와 Samson 등(1988)에 의한 "Atlas of Entomopathogenic Fungi"에 서술된 분류법에 근거하였다.

완전세대와 불완전세대의 관계조사 자낭균류에 속하는 동충하초는 완전세대의 유성생식 포자인 자낭포자를 형성함과 동시에 생활환의 일부로서 불완전세대의 무성생식포자인 분생포자를 형성하는 생식환을 갖는데 본 연구에서는 분리된 *Cordyceps*속 6종의 균주(*C. militaris*, *C. kyushuensis*, *C. scarabaicola*, *C. pentatomi*, *C. pruinosa*, *C. sphecocephala*)를 공시균주로하여 동충하초의 완전세대와 불완전세대의 관계를 구명하였다. 실험법으로는 채집된 균주의 자낭포자로부터 분리하여 증식시킨 균사를 water agar상에 접종하여 약 7일간 배양하여 형성된 분생포자를 광학 현미경과 주사전자현미경(SEM)상에서 관찰하였다. 주사전자현미경 촬영을 위한 시료는 water agar상에 분생포자가 형성된 부위를 직경 5×5 mm 가량으로 직접 절취하여 1% Glutaraldehyde에 overnight시킨 후

wash buffer를 이용하여 3회 세척한 후 2% Osmic acid에 2시간 동안 고정시켰다. 고정시킨 시료는 꺼내어 다시 wash buffer로 3회 세척한 후 Ethanol의 농도를 50%, 75%, 90%, 95%, 100%로 높이면서 각각의 용액에 1시간씩 침지시켜 탈수시켜 주었다. 이어 Ethanol로 탈수시킨 시료를 Amylacetate에서 2회 1시간씩 침지시켜 임계점 건조기로 건조시킨 후 Gold-palladium으로 coating하고 난 시료를 S-570 주사전자현미경(Hitach Inc.)을 이용하여 관찰하였다.

결 과

채집된 동충하초의 종류와 분포상

동충하초균주의 수집은 야생에서 본 균이 발생하는 시기인 6월 초순부터 10월 초순까지 강원도 일대의 산지를 중심으로 총 16개소의 채집지에서 이루어졌다. 동충하초의 채집지는 계곡을 끼고 양옆으로 발달한 습지가 주 탐색 대상지가 되었는데 침엽수림보다는 활엽수림이 우점한 지대로 공중습도가 높고 외부의 교란이 없으며 잡초가 비교적 적은 지역에서 주로 채집되었다. 채집된 동충하초로는 자낭균류의 *Cordyceps*속 19종과 *Shimizuomyces*속 1종, *Torrubiella*속 1종을 포함하여 불완전 균류인 *Hymenostilbe*속 1종, *Tilachlidiopsis*속 1종, *Beauveria*속 1종, *Verticillium*속 1종, *Paecilomyces*속 2종, *Metarhizium*속 1종, *Polycephalomyces*속 1종, *Akanthomyces*속 1종 등 총 12속 33종으로 분류동정 되었다. 채집된 동충하초의 지리적 분포를 보면 자낭균류의 *Cordyceps agriota*는 유충을 기주로 유충의 복부마디로부터 단일 또는 2분의 자실체를 형성하는데 총 22개체가 채집되었으며 가장 많이 채집된 지역은 강원대 구내 뒷산으로 93년 7월 8일 12개체가 채집되었다. *C. bifusispora*는 번데기를 기주로 하여 총생의 자실체를 형성하는데 94년 8월 31일 춘천 동산면 강원대 연습림에서 1개체가 채집되었다. *C. formicarum*은 개미를 기주로 개미의 두부와 흉부마디로부터 단일 또는 2~3분의 자실체를 형성하며 총 13개체가 채집되었는데 홍천군 북방면 강원대 연습림에서 94년 7월 6일에 10개체가 채집되었다. *C. kyushu-*

*ensis*는 박각시의 유충을 기주로하여 단일 또는 총생의 자실체를 형성하는데 총 45개체가 채집되었다. 가장 많이 채집된 지역으로는 강원대 구내 뒷산으로 91년 9월 17일~19일까지 13개체, 92년 8월 15일에 10개체, 92년 9월 3일 3개체, 92년 9월 8일 1개체, 92년 10월 8일 2개체 등 총 29개체가 채집되었다. *C. kyushuensis*는 한 장소에서 여러 개체가 군집하여 자실체를 형성한 것이 발견되었다. *Cordyceps*속의 type species이기도 한 *C. militaris*는 인시목의 번데기를 기주로 단일 또는 총생의 곤봉형 자실체를 형성하는데 자실체는 외관상 *C. kyushuensis*의 자실체와 유사하나 반나생형의 자낭각을 형성하며 총 365개체가 채집되었다. 가장 많이 채집된 지역은 충남 칠갑산으로 93년 8월 27일 129개체가 채집되었고, 그 다음으로는 설악산에서 93개체가 채집되었다. *C. militaris*는 주로 공중습도가 높은 계곡 주변과 대기가 습해지는 시기에 주로 채집되는 것으로 미루어 보아 다른 종의 동충하초에 비하여 특히 공중습도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. *C. nigrella*는 딱정벌레목의 유충을 기주로 1~2본의 자실체를 형성하는데 92년 8월 9일과 92년 9월 6일 춘천 청평사에서 각각 2개체씩 총 4개체가 채집되었다. *C. nutans*는 노린재의 흉부 배측으로부터 단일 또는 2~3본의 자실체를 형성하는데 총 443개체가 채집되었다. 본 동충하초는 *C. sphecocephala*, *Paecilomyces tenuipes*와 함께 동충하초가 채집되는 전 시기에 걸쳐 가장 많이 채집되었으며 채집지에 관계없이 널리 분포하는 것으로 나타났다. 가장 많이 채집된 지역은 치악산으로 194개체가 채집되었다. *C. oxycephala*는 벌의 성충을 기주로 가는 침상의 병위에 원통형의 두부를 형성하는데 부속사(appendage)를 가지고 있는 것이 *C. sphecocephala*와 비교하여 특징적이다. 본 동충하초는 94년 7월 18일 춘천군 지암리에서 1개체가 채집되었다. *C. paludosa*는 인시목의 유충을 기주로하여 자실체를 형성하며 93년 8월 21일 오대산에서 한 개체가 채집되었다.

*C. pentatomi*는 노린재의 흉부배측으로부터 측생형의 자실체를 형성하는데 94년 7월 24일 지암리에서 1개체가 채집되었다. *C. pruinosa*는 번데기를 기주로하여 단일 또는 2~3본의 붉은 곤봉형의

자실체를 형성하는데 총 13개체가 채집되었으며 가장 많이 채집된 지역은 양양군 갈촌으로 4개체가 채집되었다. *C. ryogamiensis*는 딱정벌레목의 유충을 기주로하여 자실체를 형성하며 94년 7월 18일 지암리에서 1개체가 채집되었다. *C. rosea*는 유충의 두부로부터 단일의 자실체를 형성하는데 기주가 되는 유충이 지하부에 직립하여 존재하는 것이 특징이다. 94년 7월 3일 오대산 월정사 입구에서 군집하여 발생한 자실체 16개체를 채집하였다. *C. scarabaeicola*는 풍뎡이의 성충을 기주로하여 단일 또는 2~3본의 자실체를 두부와 흉부마디로부터 형성하는데 93년 8월 20일 양양군 갈촌에서만 총 12개체가 채집되었다. *C. sphecocephala*는 벌목의 성충을 기주로 단일 또는 2~3본의 자실체를 벌의 흉부와 복부마디로부터 형성하는데 본 동충하초는 채집된 동충하초중 가장 많은 수인 총 591개체가 채집되었다. 벌 동충하초는 전 채집시기에 걸쳐 발생하며 전 채집지역에 걸쳐 고루 분포하는 것으로 나타났다. 가장 많이 채집된 지역은 오대산으로 총 141개체가 채집되었다. *C. tricentri*는 거품벌레 성충을 기주로 흉부배측으로부터 자실체를 형성하는데 총 273개체가 채집된 것 중에 268개체가 오대산에서 채집되었다. 본 동충하초는 매년 오대산 같은 장소에서 군집하여 자실체가 다수 발생하는 것이 발견되었다. *Shimizuomyces paradoxa*는 청가시덩굴의 종자를 기주로 단일 또는 3~4본의 자실체를 형성하는데 94년 7월 18일과 8월 3일 춘천 지암리에서 8개체가 채집되었다. *Torrubiella*는 거미성충을 기주로 기주의 표면에 돌기형태의 자실체를 다수 형성하는데 총 5개체가 채집되었다. 불완전균류의 동충하초로 *Akanthomyces aculeatus*는 나방성충을 기주로 가는 실모양의 흰색 자실체를 다수 형성하는데 자실체는 지표근처에서 발견되었으며 갈촌, 오대산과 홍천군 북방면 강원대 연습림 등에서 총 4개체가 채집되었다. *Beauveria*속에 의하여 감염된 곤충은 총 6개체가 채집되었는데 기주곤충의 표면은 흰색의 분생포자에 의하여 뒤덮혀 있으며 기주는 유충, 벌, 하늘소, 바구미, 무당벌레, 매뚜기 등 다양한 곤충에서 발견되었다. *Hymenostilbe odonatae*는 잠자리성충을 기주로 기주의 흉부 또는 복부마디로부터 소형의 자실체를 다수 형성하

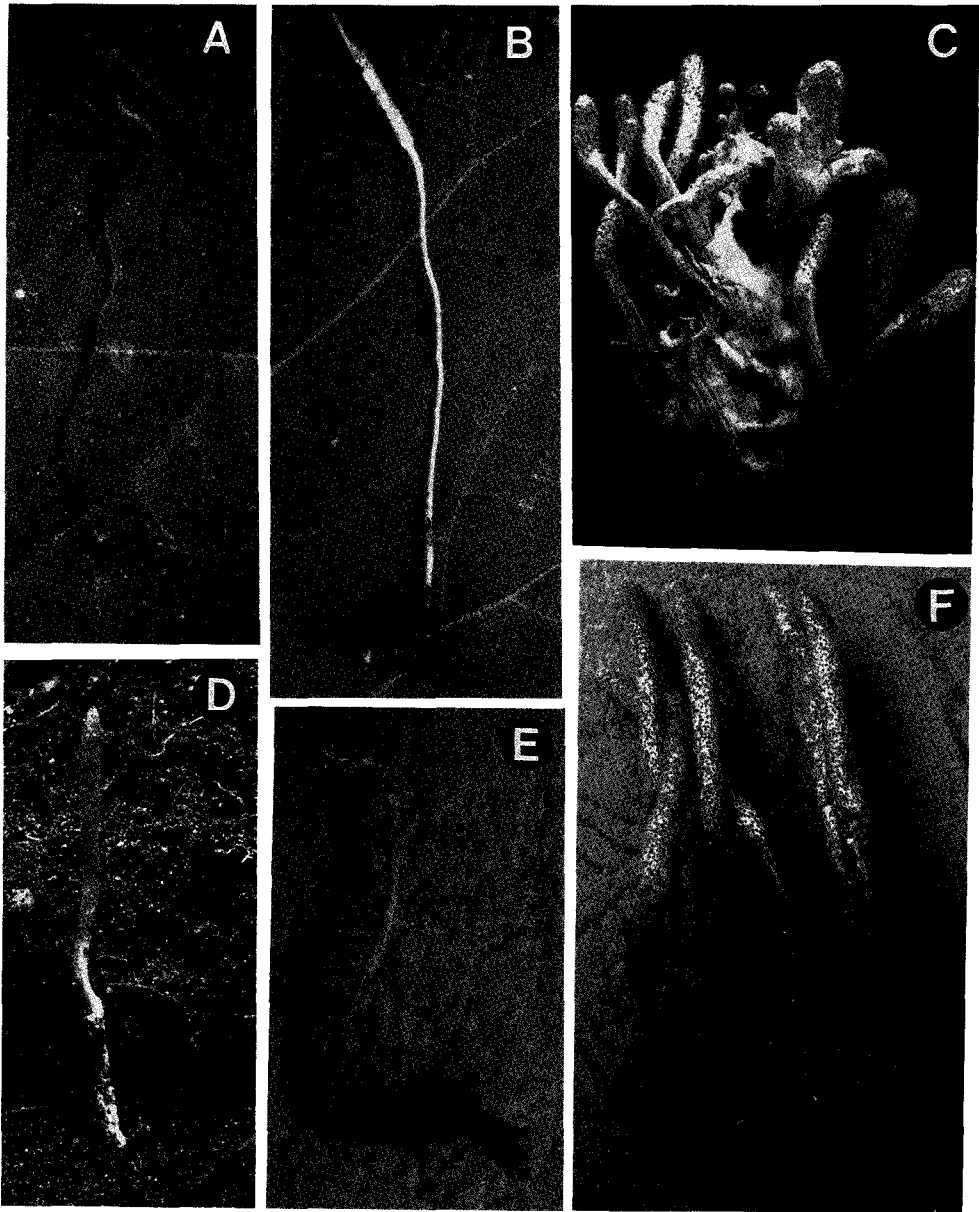


Fig. 1. Fruting body of entomopathogenic species.

A. *Cordyceps paludosa*, B. *C. oxycephala*, C. *C. bifusispora*, D. *C. rosea*, E. *C. ryogamiensis*, F. *C. martialis*.

인시목의 유충을 기주로 하여 기주의 머리부분으로부터 단일의 곤봉형 자실체를 형성하는데 크기가 24×2 mm인 유충은 땅속에 직립하여 존재하며 자실체는 붉은빛을 띤 황색으로 크기가 22×2 mm인 병부와 진한 주황색을 띤 크기가 12×3 mm인

두부로 이루어져 있으며 두부와 병부의 경계는 불명료하다. 유공자낭각은 매생형이며 크기는 $240 \sim 270 \times 140 \sim 170$ μ m이다. 유공자낭각은 자실체의 정단부로 갈수록 조밀하게 분포하며 기부쪽으로 가면서 다소 성글게 분포한다. 자낭은 $100 \times 3 \sim 4$ μ m,

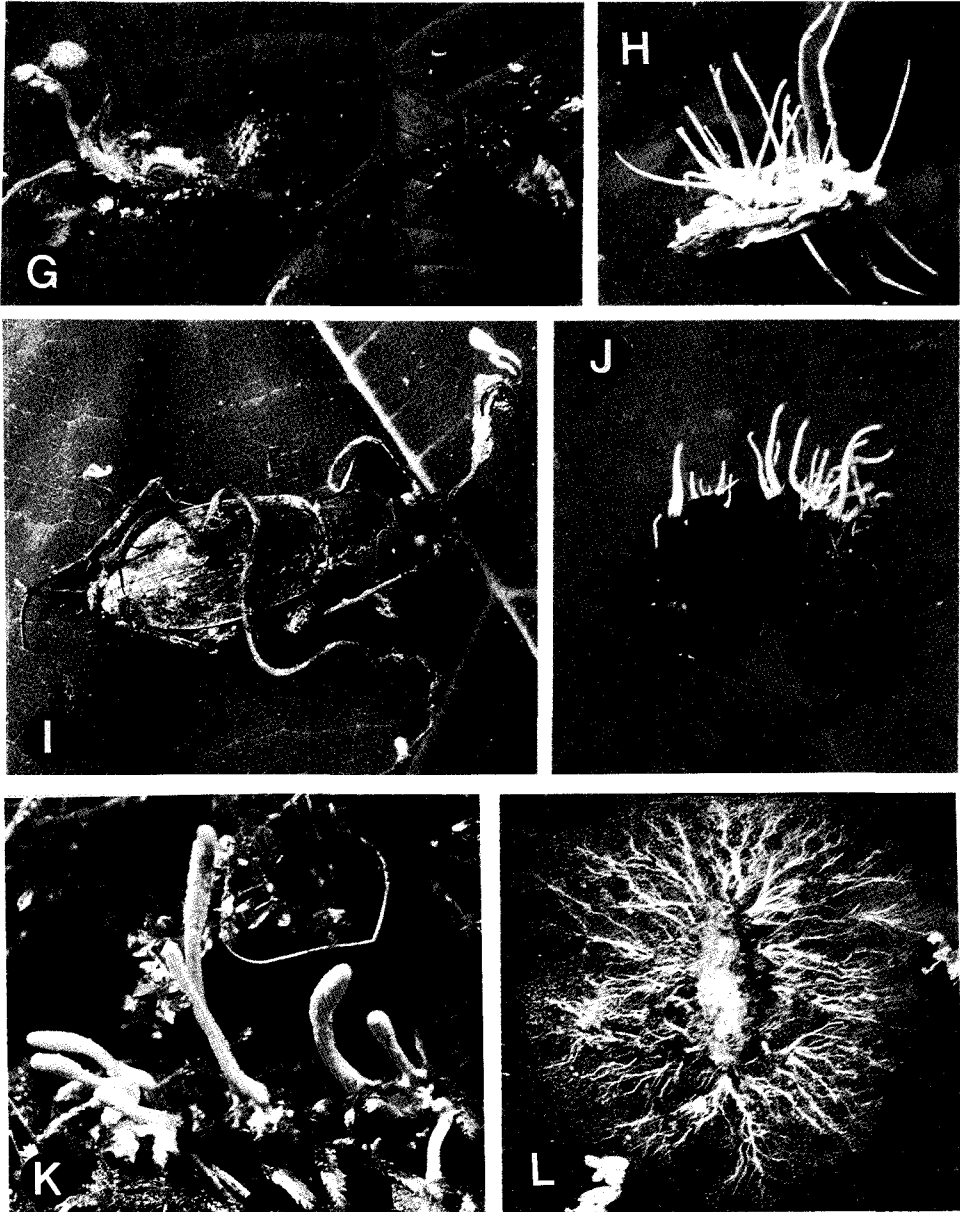


Fig. 2. Fructing body of entomopathogenic species.

G. *C. pentatomi*, H. *Akanthomyces aculeatus*, I. *Tilachlidiopsis nigra*, J. *Polycephalomyces ramosus*, K. *Shimizuomyces paradoxa*, L. *Verticillium leconii*.

자낭포자는 $120 \times 1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 로 이차포자로는 분열하지 않는다. 94년 7월 3일 오대산 월정사 근처에 비교적 잡초가 적은 침엽수림대로 낙엽이 두텁게 쌓여 있는 부식토의 제한된 범위내에 군생하는 자실체가 16개체 채집되었다.

Subgenus Eucordyceps. Sect. Laterals

C. pentatomi Kovol in Nov. Sist. Niz. Rast (1964)(노린재측생 동충하초(신칭)) 노린재의 흉부 배측으로부터 단일의 자실체를 형성한다. 지상부의 높이는 30 mm 가량으로 자좌는 흑색의 병부에 측

생으로 존재하는 타원형의 두부로 이루어져 있다. 병부는 정단부로 갈수록 가늘어지며 말단부는 불임성 조직으로 이루어져 있다. 두부는 엷은 황색을 띠며 매생형의 자낭각이 조밀하게 분포한다. 유공자낭각은 서양배 모양이며 $680\sim 820\times 330\sim 390\ \mu\text{m}$ 이다. 사상의 자낭포자는 이차포자로 분열한다. 1994년 7월 24일 춘천시 춘천댐 부근 야산에서 채집되었다.

Subgenus Eucordyceps. Sect. Racemella. subsect. Sparsae

C. ryogamiensis Kobayasi et Shimizu, in BNSM, Ser. B, 9(1): 4 (1983) (유충황색점박이 동충하초(신칭)) 딱정벌레목의 유충을 기주로 한본의 자실체를 형성하며 자좌의 크기는 $17\times 1\ \text{mm}$ 정도로 담황색을 띤다. 자낭각은 난형으로 역시 담황색을 띠며 $300\sim 450\times 250\sim 300\ \mu\text{m}$ 가량이다. 94년 7월 18일 춘천 지암리에서 채집되었다.

Subgenus Eucordyceps. Sect. Racemella. subsect. Pseudoimmersae

C. bifusispora Ove Eriksson in Mycotaxon vol. XX, pp 185-186(번데기황색다발 동충하초(신칭)) 인시목의 번데기를 기주로 하여 총생하는 곤봉형 자실체를 형성하는데 기주가 되는 번데기의 크기는 $23\times 10\ \text{mm}$ 가량이며 자실체는 담황색을 띠며 크기가 $10\sim 20\times 1\sim 2\ \text{mm}$ 인 병부와 엷은 황색을 띠는 크기가 $7\times 2\ \text{mm}$ 인 두부로 이루어져 있다. 자낭각은 두부에 반매생하여 조밀하게 분포하며 달걀형으로 크기는 $550\sim 620\times 250\sim 330\ \mu\text{m}$ 이다. 자낭포자는 양끝이 두툽고 가운데 연결부분은 실과 같이 가는 구조로 연결된 듯한 형태를 취하는 것이 특징적이며 말단부는 3~4개의 격막에 의하여 분열되어 있다. 1994년 8월 31일 춘천 동산면 강원대 연습림에서 채집되었다.

Subgenus Eucordyceps. Sect. Cremastocarpon subsect. Carnosae

C. martialis Spazzini, in Eol. Acad. Nac. Cordova 11 (1889) (흙빛다발 동충하초(신칭)) 인시목 유충의 복부마디나 구기 등으로부터 수분의 자실체를 형성하는데 기주의 크기는 $30\times 11\ \text{mm}$ 이

며 자실체는 다소 흙빛이 도는 주황색을 띠며 크기가 $22\times 3\ \text{mm}$ 인 두부와 암흑색을 띠며 크기가 $36\times 3\ \text{mm}$ 인 병부로 이루어져 있다. 유공자낭각은 사매생형으로 두부에 밀생하며 $560\sim 700\times 330\sim 400\ \mu\text{m}$ 이다. 유공자낭각이 매생된 두부와 병부의 경계는 명확하지 않으며 자실체의 조직은 육질이다. 자낭은 크기가 $28\sim 35\times 3\sim 5\ \mu\text{m}$ 이며 사상의 자낭포자는 크기가 $340\times 10\ \mu\text{m}$ 로 포자는 측면을 따라 출아세포(blastospore)와 같은 형태로 발아한다. 1994년 7월 18일 춘천 지암리에서 채집되었다.

Subgenus Neocordyceps

C. oxycephala Penz. et Sacc, in Malpighia XI: 821. (1897) (가시벌 동충하초(신칭)) 벌의 복부로부터 단일 또는 2~3본의 자좌를 형성하며 자좌는 엷은 황색을 띠고 크기가 $85\times 1\ \text{mm}$ 인 병부와 크기가 $14\times 2\ \text{mm}$ 이며 유공자낭각을 사매생한 두부로 이루어져 있는데 두부는 중간생으로 병부의 정단에는 불임성부속사가 존재한다. 유공자낭각은 크기가 $700\sim 800\times 220\sim 280\ \mu\text{m}$ 이며 벌 동충하초의 자낭포자와 유사한 형태의 자낭포자는 방추형의 이차포자로 분열한다.

Shimizuomyces속

Shimizuomyces paradoxa Y. Kobayasi, in BNSM, Ser. B, 7(1): 1 (1981) (청가시종자 동충하초(신칭)) 청가시덩굴(*Smilax sieboldii*)의 과실에 기생하여 단일 또는 3~4본의 자실체를 형성한다. 과실의 표면은 백색의 균사막으로 덮혀 있으며 자실체는 곤봉형으로 연회색을 띠며 두부에는 자낭각이 조밀하게 매생하고있다. 두부의 크기는 $27\times 2\sim 5\ \text{mm}$ 이며 이를 지지하는 병부는 크기가 $52\times 10\ \text{mm}$ 이다. 유공자낭각은 서양배 모양으로 $350\sim 370\times 160\sim 200\ \mu\text{m}$ 이며 4~8개의 자낭포자가 결합되어 있으며 자낭포자는 $60\sim 70\ \mu\text{m}$ 가량의 장방추형으로 자낭포자의 중앙세포는 다소 부풀어 있으며 격막이있고 외벽과 내벽으로 이루어져 있다. 자낭포자는 이차포자로 발아하지 않는다. 춘천근교 지암리에서 채집되었다

Deuteromycetes 불완전균강

대부분의 곤충기생성균인 동충하초가 포함되는 분류군으로 분생포자를 형성하여 곤충에 감염을 일으키며 본 연구를 통하여 8속 9종의 동충하초가 채집되었으며, 본 연구를 통하여 4종의 국내 미기록종이 채집되었다.

Akanthomyces aculeatus Lebert in Zeitschr. Wiss. Zool. 9: 447. (1858) (나방흰가시 동충하초(신칭)) 나방의 성충을 기주로서 하여 충체 표면위에 실모양의 자실체를 총생으로 형성한다. 자좌의 길이는 10-35×1 mm 가량으로 흰색을 띠며 94년 7월 3일 오대산에서 1개체가 채집된 것을 포함하여 총 4개체가 채집되었다.

Polycephalomyces ramosus (Peck) Mains, in Mycologia 45: 414. (1948) (유충봉형 동충하초(신칭)) 유충을 기주로서 하여 복부마디로부터 총생의 자실체를 형성한다. 자좌는 7~10×1 mm 가량으로 병부의 상단에는 1×1 mm인 구형의 두부가 부착되어져 있다. 병은 담황색을 띠며 두부는 회색을 띠는 황갈색을 띠는데 두부는 분생자병속(synemmata)으로 형성되어 있다.

Tilachlidiopsis nigra Yakusiji et Kumazawa, in Bot. Mag. Tokyo XLIV: 461 (1930) (검은병총생 동충하초) 홍단딱정벌레(*Damasier smaragdinus* CF)의 성충을 기주로서 하여 성충의 흉부 또는 복부마디로부터 검은색의 딱딱하고 질긴 자좌를 여러본 형성한다. 자좌는 흑색침상의 딱딱한 병부와 백색의 곤봉형 두부로 이루어져 있는데 지상부의 높이는 20~40 mm이다. 분생포자는 흰색 곤봉형 정단부의 주위에 다수 발생한다.

Verticillium lecanii Nees (운생결가지 포자균) 분생자병은 직립하거나 또는 영양균사(vegetative hyphae)로부터 분화되어 있지 않으며 대개는 운생하며 송곳 모양의 병목을 형성한다. 병목은 기부가 다소 두터워진 형태이며 병목위에 형성된 분생포자는 단세포이고, 투명하며, 부드러운 벽을 가지고 있다. 분생포자는 때로 chain상으로 형성되기도 한다. 본 사진의 종은 나무속에 있는 유충에 감염된 것으로 유충의 표면 전반부가 균사에 의하여 뒤덮힌 후 나무 표면으로도 균사가 뻗어나가고 있는 모습이다.

완전세대와 불완전세대의 관계

6종의 *Cordyceps*속 동충하초의 자낭포자로부터 분리된 균주를 이용하여 water agar상에서 불완전세대를 관찰한 결과 *Cordyceps militaris*, *C. kyushuensis*는 *Verticillium*속의 분생포자인 dry conidia와 slime conidia를 모두 형성하였으며, 풍뎅이를 기주로한 *C. scarabaeicola*는 *Beauveria*속의 분생포자를 형성하였다. *C. pentatomi*는 *Hirsutella*속의 분생포자를 형성하였는데 형태적으로 *Hirsutella nutans*와 유사한 모양으로 분생자병위에 병목은 운생의 형태로 4~6가지로 분지하며 그 위에 방추형의 체인상 분생포자를 착생하고 있었다. *C. pruinosa*는 분지하지 않는 분생자병위에 타원형의 분생포자가 평행으로 쌓여진 형태인 *Acremonium*속의 분생포자를 형성하였으며 벌을 기주로한 *C. sphecocephala*는 작은 원통형의 분생포자형성세포(conidiogenous cell)위에 곤봉형의 분생포자를 착생한 전형적인 *Hymenostilbe*속의 분생포자를 형성하였다(Table 1, Fig. 3, 4).

고 찰

본 연구를 통해서 1990년부터 1996년까지 16개소의 채집지에서 채집된 동충하초는 벌의 성충을 기주로 자실체를 형성한 미동정된 *Cordyceps* sp.와 불완전균류인 *Paecilomyces* sp.를 포함하여 총 12속 33종으로 분류되었다. 자낭균류의 *Cordyceps*속 동충하초는 *C. agriota*를 포함하여 19종, *Shimizuomyces*속 1종, *Torrubiella*속 1종 등 21종으로 그 중 *C. bifusispora*, *C. martialis*, *C. oxycephala*, *C. paludosa*, *C. pentatomi*, *C. rosea*, *C. ryogamiensis*, *Shimizuomyces para-*

Table 1. Telemorph and anamorph connections of *Cordyceps* species

Telemorph	Anamorph
<i>Cordyceps militaris</i>	<i>Verticillium</i> sp.
<i>Cordyceps kyushuensis</i>	<i>Verticillium</i> sp.
<i>Cordyceps scarabaeicola</i>	<i>Beauveria</i> sp.
<i>Cordyceps pentatomi</i>	<i>Hirsutella</i> sp.
<i>Cordyceps pruinosa</i>	<i>Acremonium</i> sp.
<i>Cordyceps sphecocephala</i>	<i>Hymenostilbe sphecocephala</i>

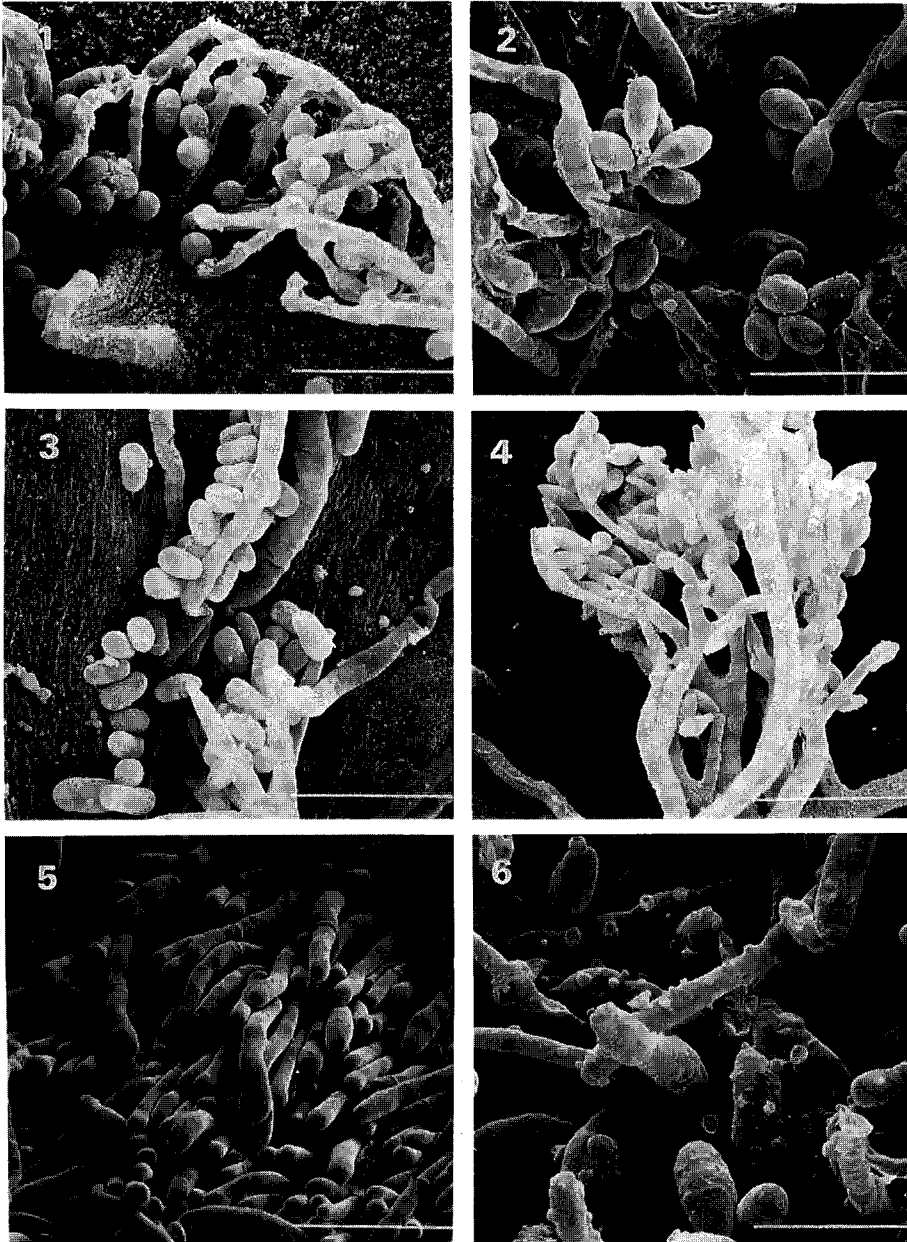


Fig. 3. Scanning electron microscope of entomopathogenic species. 1. *Verticillium* sp. (anamorph of *C. militaris*, $\times 3000$, bar; $10 \mu\text{m}$), 2. *Beauveria* sp. (anamorph of *C. scarabaeicola*, $\times 4000$, bar; $7.5 \mu\text{m}$), 3. *Acremonium* sp. (anamorph of *C. pruinosa*, $\times 3500$, bar; $8.6 \mu\text{m}$), 4. *Hirsutella* sp. (anamorph of *C. pentatomi*, $\times 3000$, bar; $10 \mu\text{m}$), 5. Sclerotia of *C. sphecocephala* ($\times 1500$, bar; $20 \mu\text{m}$), 6. *Hyphomycetes sphecocephala* (anamorph of *C. sphecocephala*, $\times 1700$, bar; $17.6 \mu\text{m}$).

doxa 등은 본 연구를 통하여 채집된 국내 미기록종이다. 불완전균류에는 *Akanthomyces*속을 포함하여 8속 9종의 동충하초가 채집되었으며 이중

Akanthomyces aculeatus, *Polycephalomycetes ramosus*, *Tilachlidiopsis nigra* 등은 국내 미기록종이다. 채집된 동충하초의 분류동정은 Kobayasi,

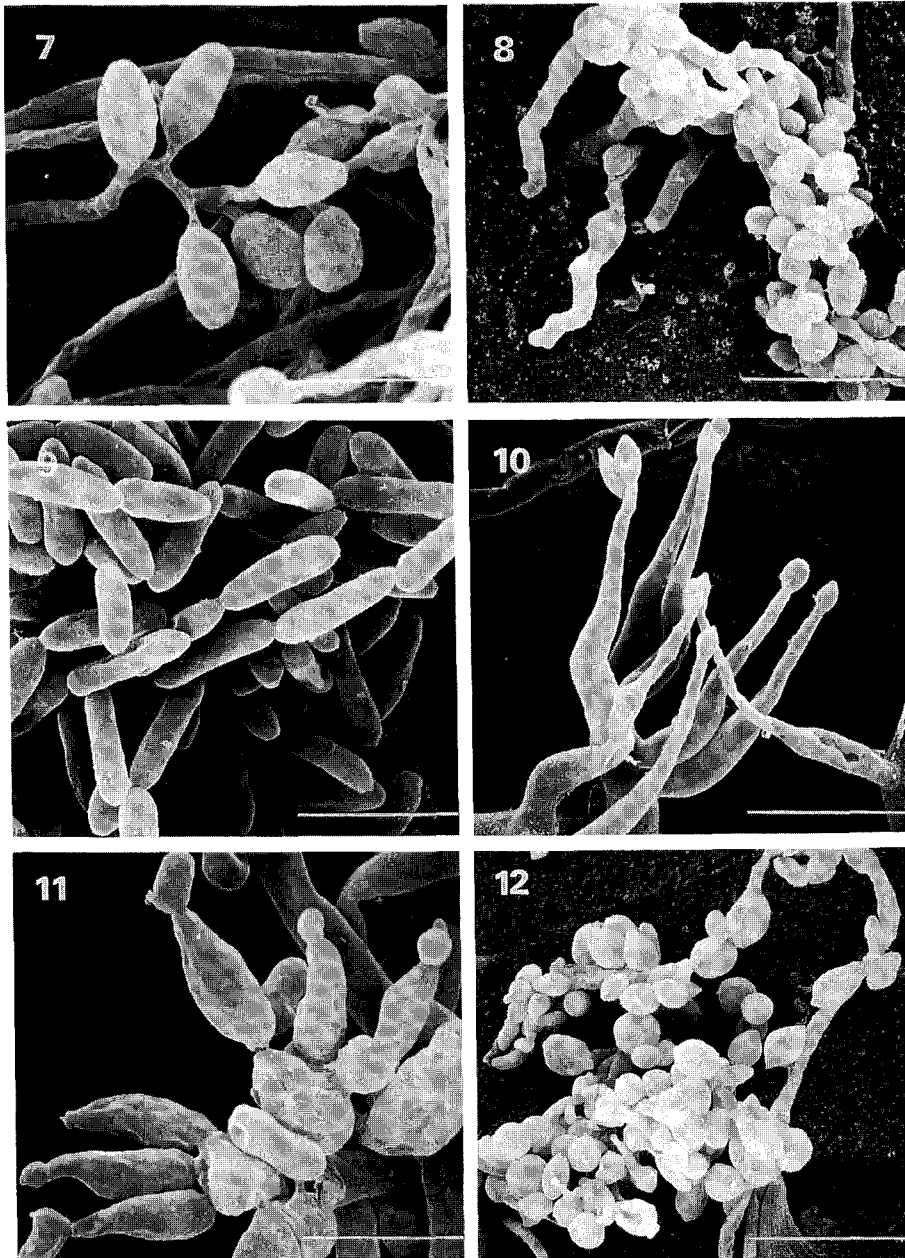


Fig. 4. Scanning electron microscope of entomopathogenic species. 7. *Beauveria bassiana* ($\times 8000$, bar; $3.8 \mu\text{m}$), 8. *Beauveria* sp. ($\times 3000$, bar; $10 \mu\text{m}$), 9. *Metarhizium anisopliae* 9×4000 , bar; $7.5 \mu\text{m}$), 10. *Hirsutella nutans* ($\times 3500$, bar; $8.6 \mu\text{m}$), 11. *Paecilomyces* sp. ($\times 7000$, bar; $4.3 \mu\text{m}$), 12. *Paecilomyces tenuipes* ($\times 2000$, bar; $15 \mu\text{m}$).

Mains, Sevear, Shimizu, Samson 등의 분류체계를 참고로 하였다. 현재까지의 분류는 균의 병원성 관계에 의한 분류체계가 아닌 형태적 특징들을 바탕으로 한 분류체계로 동충하초의 특징적인 자실체

를 형성하는 자낭균류에 속하는 동충하초의 경우 자실체의 외부형태, 자낭각의 모양 및 자좌에 부착한 형태, 자낭과 자낭포자의 모양 및 이차포자로의 분열여부 등이 기초가되며 불완전 균류의 경우는

무성생식포자인 분생포자의 모양 및 분생자경의 형태에 따라 분류되어져 왔다. 1983년 Kobayasi의 분류 검색표(Kobayasi, 1982)에 따르면 그는 자실체를 형성하는 자낭균류의 대표적인 동충하초속인 *Cordyceps*속을 다시 세계의 아속과 7개의 절로 나누었는데 이에 따르면 국내에서 채집된 *Cordyceps*속의 동충하초는 *Ophiocordyceps*아속에 *C. rosea*를 포함하여 2종, *Eucordyceps*아속에 *C. agriota*를 포함하여 12종, *Neocordyceps*아속에 *C. sphecocephala*를 포함하여 4종으로 각각 분류동정되었다. 동충하초의 주 탐색대상지역은 계곡을 끼고 양옆으로 발달한 습지로 낙엽이 쌓이고, 잡초가 비교적 적으며 외부의 교란이 적은 곳이었다. 특히, 밝은 빛깔의 특징적인 자실체를 형성하는 *Cordyceps*속의 동충하초는 상당한 정도의 기주 특이성을 갖는 종들이 포함되는데 이들은 외부의 교란이 없는 안정된 생태계를 선호하는 것으로 나타났으며 당해에 특정지역에서 대발생한 종이라도 서식환경의 파괴나 기후변화, 기주곤충의 감소등은 수년간 자실체의 발생을 억제하는 요인이 되는 것으로 추정된다. 반면 분생포자를 형성하는 불완전 균류의 경우 서식 환경에 크게 영향을 받지 않고, 동충하초가 다양한 종류의 곤충을 기주하여 발견되었다. 이는 이들 균이 기주가 없는 토양과 같은 부생적 환경속에서도 상당기간 생존이 가능한 비특이적인 조건적 기생균(unspecialized facultative parasite)이며 기주곤충과 함께 상호 진화되어온 *Cordyceps*속의 동충하초(obligate parasite)와 달리 비특이적으로 진화되어온 것으로 생각되며 잠재적으로 생물적 방제재로서의 개발 가치를 가지고 있는 것으로 추정된다.

자연상태에서 동충하초의 발생은 6월부터 9월까지로 *C. nutans*, *C. sphecocephala*, *Paecilomyces tenuipes* 등과 같이 자실체가 환경에 내성이 강한 종들의 경우는 전 채집시기에 걸쳐 고루 분포하며 가장 많이 채집되었다. 반면 *C. militaris*, *C. kyushuensis*, *C. pruinosa* 등과 같이 자실체의 발생이 환경조건으로서 대기내 습도에 강하게 영향을 받는 종들의 경우는 장마철이 시작되면서 상대습도가 높아지는 7월 중순부터 8월 중순까지 다수 분포하는 것으로 나타났다.

채집된 동충하초중 분리된 종은 *C. bifusispora*를 포함하여 *Cordyceps*속 9종, 불완전 균류의 *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces tenuipes*, *Verticillium lecanii* 등 총 13종으로 각각 water agar상에서 발아한 자낭포자와 분생포자로부터 분리하였다. 반면 *C. agriota*를 포함한 14종은 배지상에서 포자가 발아하지 않아 분리할 수 없었는데 이들 종의 경우는 포자의 성공적 발아 및 지속적 생장과 관련하여 필요한 영양원 구명등이 요구된다. 자낭균류의 동충하초는 유성생식포자로서 자낭포자를 형성할 뿐만 아니라 생활환의 일부로서 무성생식포자인 분생포자를 형성하는 생식환을 갖는데 이들 자낭포자로부터 분리된 *Cordyceps*속의 균주를 이용하여 완전세대와 불완전세대의 관계를 구명하였다. 현재까지 알려진 *Cordyceps*속의 불완전세대는 *Akanthomyces*, *Cephalosporium*, *Hirsutella*, *Hymenosyilbe*, *Isaria*, *Paraisaria*, *Pseudogibellula*, *Sporothrix*, *Stilbella*, *Verticillium*, *Beauveria*, *Nomuraea*, *Paecilomyces*속 등으로 본 연구의 결과 *C. militaris*와 *C. kyushuensis*는 *Verticillium*속으로, *C. pruinosa*는 *Acremonium*속으로, *C. sphecocephala*는 *Hymenostilbe*속으로, *C. scarabaeicola*는 *Beauveria*속으로 각각 밝혀졌다. 이중 박각시 유충을 기주로 자실체를 형성하는 *C. kyushuensis*의 불완전세대가 *Verticillium*속이며, 풍뎅이 성충을 기주로 자실체를 형성하는 *C. scarabaeicola*의 불완전세대가 *Beauveria*속이라는 것이 본 연구를 통하여 새롭게 밝혀졌다. 이렇게 자낭포자로부터 분생포자의 형성을 유도하여 동충하초의 완전세대와 불완전세대의 관계를 구명하는 것은 비교적 용이하였으나, 반대로 기지의 표준 배지상에서 분생포자로부터 자낭포자의 형성을 유도한 예는 거의 없었으며 상당히 어려워 자연상태에서도 이관계는 상당히 복잡한 어떤 요인이 작용하는 것으로 생각된다.

적 요

1990년부터 1996년까지 16개소의 채집지에서 채집되어 분류동정된 동충하초는 12속 33종으로

이중 *Cordyceps bifusispora*, *C. martialis*, *C. oxycephala*, *C. paludosa*, *C. pentatomi*, *C. rosea*, *C. ryogamiensis*, *Shimizuomyces paradoxo*, *Akanthomyces aculeatus*, *Polycephalomyces ramosus*, *Tilachlidiopsis nigra* 등 14종은 국내 미기록종이다. 주로 다수 채집된 동충하초인 *C. nutans*, *C. specocephala*, *Paecilomyces tenuipes* 등은 전 채집시기에 걸쳐 고루 분포하였다. *C. militaris*, *C. kyushuensis*, *C. pruinosa* 등과 같이 자실체의 발생이 환경조건으로서 대기내 습도에 강하게 영향을 받는 종들의 경우는 주로 장마철이 시작되면서 상대습도가 높아지는 7월 중순부터 8월 중순까지 분포하는 것으로 나타났다. 채집된 동충하초중 분리된 종은 *C. bifusispora*를 포함하여 *Cordyceps*속 9종, 불완전 균류의 *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces tenuipes*, *Verticillium lecanii* 등 총 13종이며, 분리된 *Cordyceps*속 동충하초를 이용하여 완전세대와 불완전세대의 관계를 구명한 결과 *C. militaris*와 *C. kyushuensis*는 *Verticillium*속으로, *C. pruinosa*는 *Acremonium*속으로, *C. specocephala*는 *Hymenostilbe*속으로, *C. scarabaeicola*는 *Beauveria*속으로 각각 밝혀졌다.

감사의 글

본 논문은 1995~1997년에 걸쳐 한국과학재단 핵심연구과제 연구비 지원에 의해 수행된 결과로 한국과학재단에 감사를 드립니다.

참고문헌

川村清一. 原色日本 菌類圖鑑. 風問書房. pp 821-845.
 Arora, D. K., Ajello, L. and Mukerji, K. G. Hand book of applied mycology. 1991. Marcel Dekker, Inc. 2: 547-663.
 CMI description of pathogenic fungi and Bacteria. 1978. CMI, Kew, Surrey, England.
 Evans, H. C. 1982. Entomogenous fungi in tropical forest ecosystem: an appraisal. *Ecological Entomology* 7: 47-60.
 Evans, H. C. and Samson, R. A. 1982. *Cordyceps* species and their anamorphs pathogenic on

ants (Formicidae) in tropical forest ecosystems 1. The Cephalotes (Myrmicinae) complex. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 79(3): 431-453.
 Hywell-Jones, N. 1995. *Cordyceps specocephala* and a *Hymenostilbe* sp. infecting wasps and bees in Thailand. *Mycol. Res.* 99(2): 154-158.
 Kenderick, B., Samuels, G. J., Webster, J. and Luttrell, E. S. 1979. The Sexual-Asexual Synthesis in The whole fungus. National Museum of Natural Sciences, National Museum of Canada and the Kananaskis Foundation. 2: 635-651.
 Kobayasi, Y. 1940. The genus *Cordyceps* and its allies. *Sci. Rept. Tokyo Bunrika Daikaku, 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.
 Kobayasi, Y. and Shimizu, D. 1983. Iconography of vegetable wasps and plant worms. Hoi-kusha Publishing Company Ltd. Osaka, p 280.
 Mains, E. B. 1937. A new species of *Cordyceps* with notes concerning other species. *Mycologia* 29: 674-677.
 Mains, E. B. 1940. *Cordyceps* species from British Honduras. *Mycologia* 32: 16-21.
 Mains, E. B. 1957. Information concerning species of *Cordyceps* and *Ophionectria* in the Lloyd Herbarium. *Lloydia* 20(4): 210-227.
 Mains, E. B. 1958. North American entomogenous species of *Cordyceps*. *Mycologia*, 50: 169-222.
 Mains, E. B. 1959. *Cordyceps* species. *Bulletin of the torrey botanical club.* 86(1): 46-58.
 Pacioni, G. and Frizzi, G. 1977. *Paecilomyces farinosus*, the conidial state of *Cordyceps memorabilis*. *Can. J. Bot.* 56: 391-394.
 Papierok, B. 1982. Les champignons se developpant en cote-d'ivoire sur la fourmi *Paltothyreus tarsatus* F. Relation entre l'hypohymycete *Tilachlidiopsis catenulata* sp. Nov. et l'ascomycete *Cordyceps myrmecophila* Cesati 1846. *Mycotaxon* 14(1): 351-368.
 Petch, T. 1931a. Notes on entomogenous fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 16: 55-75.
 Petch, T. 1931b. Notes on entomogenous fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 16: 209-245.
 Petch, T. 1939. Notes on entomogenous fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 23: 127-148.
 Petch, T. 1941. Notes on entomogenous fungi.

- Trans. Br. Mycol. Soc.* : 250-265.
- Samson, R. A., Evans, H. C., and Latge, J. P. 1988. Atlas of Entomopathogenic Fungi. Springer. Heidelberg. p 189.
- Samson, R. A. and Brady, B. L. 1983. *Paraisaria*, a new genus for *Isaria dubia*, the anamorph of *Cordyceps gracilis*. *Trans. Br. mycol. Soc.* **81**(2): 285-290.
- Shimazu, M., Mitsuhashi, W. and Hashimoto. H. 1988. *Cordyceps brongniartii* sp nov., the telemorph of *Beauveria brongniartii*. *Trans. mycol. Soc. Japan* **29**: 323-330.
- Shimizu, D. 1994. Color iconography of vegetable wasps and plant worms. Seibundo Shin-kosha. Japan. p 381.
- Su, C. H. and Wang, H. H. 1986. *Phytocordyceps*, a new genus of the clavicipitaceae. *Mycotaxon* **26**: 337-344.