

RESEARCH ARTICLE

한국 선충 포식성곰팡이 분류검색표 및 *Arthrobotrys flagrans* 와 *A. superba*의 재기재

서종민¹, 강헌일¹, 권기윤¹, 박남숙², 배창환³, 최인수^{1,2*}

¹부산대학교 생명자원과학대학 식물생명과학과 ²부산대학교 생명산업융합연구원 선충연구센터 ³환경부 국립생물자원관 생물자원활용부

Key to the Korean Nematode-Trapping Fungi with Additional Descriptions of *Arthrobotrys flagrans* and *A. superba*

Jongmin Seo¹, Heonil Kang¹, Giyoon Kwon¹, Namsook Park², Changhwan Bae³ and Insoo Choi^{1,2*}

¹Department of Plant Bioscience, College of Natural Resources and Life Science, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

²Nematode Research Center, Life and Industry Convergence Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

³Biological and Genetic Resource Assessment Division, National Institute of Biological Resource, Incheon 22689, Korea.

*Corresponding Author : ichoi@pusan.ac.kr



OPEN ACCESS

pISSN : 0253-651X
eISSN : 2383-5249

Kor. J. Mycol. 2019 September, 47(4): 291-301
<https://doi.org/10.4489/KJM.20190034>

Received: July 26, 2019
Revised: October 24, 2019
Accepted: November 01, 2019

© 2019 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.

ABSTRACT

Nematophagous fungi can capture, kill, and digest nematodes using a specific capturing organ. Of the nematophagous fungi, while *Arthrobotrys flagrans* and *A. superba* have been described previously, certain characteristics have not been described. For a detailed description of the two nematophagous fungi, the fungi were isolated from soil samples and produced in a pure culture. Morphological characteristics, such as predatory ability (according to the nematode species), shape, and size of predatory organ, conidia, and chlamyospore were investigated and they were used for identification of the fungal isolates along with molecular phylogenetic analysis. Furthermore, this study provides the classification key for 21 nematophagous species.

Keywords: *Arthrobotrys*, Classification key, Morphology, Nematophagous fungi, Taxonomy

서론

지구상 모든 토양에서 발견되는 선충은 토양 무척추동물 중에서 밀도가 가장 높은 생물군 중의 하나이다. 선충의 밀도는 m² 당 70만-500만 마리이며[1] 포식자 및 피포식자의 역할로서 토양 생태계 먹이사슬에서 중요한 역할을 한다[2,3]. 선충의 종수는 15,000여종으로 먹이 습성에 따라 식

세균성, 식균성, 식물기생성, 동물기생성, 포식성선충 등으로 나눌 수 있는데, 토양 중 가장 밀도가 높은 식세균성 선충은 세균을 먹이로 하여 토양 중으로 무기태 질소를 배출함으로써 토양 질소순환 작용에 관여하고, 식물 기생성선충은 식물에 기생함으로써 전 세계적으로 약 10%의 수량 감소를 가져오기도 하며[4], 포식성선충인 *Mononchida*류는 같은 선충을 포식하기도 한다.

토양중 대표적인 선충 포식성 생물로는 응애, 톡토기, 물곰, 포식성선충, 포식성곰팡이(nematode-trapping fungi, predacious fungi) 등이 알려져 있는데[5], 그 중 선충 포식성곰팡이는 균계인 곰팡이가 균사에 선충을 포획할 수 있는 특수한 기관(trap)을 만들고 이를 이용하여 동물계인 선충을 포획하고 죽은 선충으로부터 양분을 섭취한다. 선충을 잡는 포식기관은 끈끈이균사(adhesive hyphae), 끈끈이격자(adhesive column), 끈끈이그물(adhesive network), 끈끈이봉(adhesive knob), 비수축성올가미(non-constricting rings), 수축성올가미(constricting rings) 등 다양한 형태와 기능이 있다. 선충 포식성곰팡이는 1852년 *Arthrobotrys oligospora*가 발견된 이후[6], 지금까지 96종이 기록되었다[7].

선충 포식성곰팡이는 대부분 자낭균류 및 담자균류에 속하며 포자 및 포식기관의 형태에 따라 분류되는데, 지금까지 *Arthrobotrys*, *Dactylellina*, *Drechslerella*, *Monacrosporium*, *Dactylella*, *Gampsylella*, *Didymocephala*, *Trichothecium*, *Dactylaria*, *Candelabrella*, *Genicularia*, *Duddingtonia*, *Nematophagus*, *Monacrosporiella*, *Woroniuia* 등 학자에 따라 모두 15속으로 분류되었다[7]. 그러나 최근 분자생물학의 발전에 따라, 이들 포식성곰팡이들이 선충의 포식기관(trap)에 따라 명확하게 속이 구분되는 것이 밝혀지면서 15속의 포식성곰팡이가 4속으로 재정리되었다[8]. 즉, 3차원 끈끈이그물을 가진 *Arthrobotrys*, 수축성올가미를 가진 *Drechslerella*, 가지있는 끈끈이봉을 가진 *Dactylellina*, 가지 없는 끈끈이봉(혹은 2차원 끈끈이그물)을 가진 *Gampsylella* 등 4개 속이다[8].

국내에서의 포식성곰팡이 연구는, 1981년 이전 발표된 국내 주요 학술잡지에는 연구된 바가 없고, Lee(1982)의 “균학. 버섯 재배(p. 123-125).”에서 ‘우리 나라에는 아직 연구가 안되고 있다’고 하였으므로[9], Yoo 등(1981)이 경기도 인삼 밭에서 분리한 “6 균주의 *Arthrobotrys* sp.” 연구가 국내 첫 포식성곰팡이 연구로 보인다[10]. 국내에는 끈끈이그물을 형성하는 *Arthrobotrys*, *Dactylella*, *Monacrosporium*, 끈끈이봉을 가진 *M. candidum*, 수축성올가미를 가진 *A. dactyloides* 등 총 21종이 발견되었다.

그러나 국내 포식성곰팡이 연구는 아직 초기단계로 이들 21종에 대한 분류 체계나 분류 key는 아직 없다. 따라서 이 논문에서는 국내에서 발표된 21종을 검토하여 불확실한 종은 제외하고, 전체 종에 대한 분류 key를 제시함으로써 앞으로의 이 분야 연구에 기초 자료를 제공하고자 한다. 덧붙여 국내 미기록종 *A. flagrans* [11]와 *A. superba* [12]의 발표 시 생략된 포식기관 및 몇몇 주요 특성을 추가하여 기재하고자 한다.

재료 및 방법

선충 포식성곰팡이의 분리 및 포식력 검정

선충 포식성곰팡이는 토양으로부터 분리하고 potato dextrose agar (PDA)에 옮겨 25°C에서 순수배양하여 시험에 사용하였다. 선충 종류별 포식력은 5종의 선충, *Aphelenchus avenae*, *Acrobeloides* sp.,

Diplogasteritus sp., *Panagrolaimus apicatus*, *Meloidogyne incognita*을 이용하였다. 포식력 조사 방법은 1.5% water agar를 직경 d-60 mm Petri dish에 부어 굳힌 후, 미리 증식 시킨 포식성곰팡이를 Petri dish 중앙에 접종하고, 포식성곰팡이 주위에 미리 배양시킨 선충 약 100마리를 접종하였다. 선충과 포식성곰팡이가 접종된 Petri dish는 실온에 보관하면서 15일후 포식된 선충의 수를 조사하였다. 또한 포식기관의 형태 및 크기, 분생포자(Conidium)의 형태 및 크기, 분생포자병(Conidiophore)의 형태, 후막포자(Chlamydo-spore) 등을 해부현미경(SZX16, Olympus, Tokyo, Japan) 및 광학현미경(BX51, Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 조사하였다.

선충 포식성곰팡이의 DNA 추출 및 종 동정

선충 포식성곰팡이의 종 동정을 위하여 PDA배지에서 순수배양된 균주를 Zhu[13]의 DNA추출 방법으로 진행하였다. 종 동정을 위한 internal transcribed spacer (ITS) rDNA 염기서열 분석을 위해 18S rDNA와 28S rDNA 영역 사이에 있는 ITS 영역을 ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')과 ITS4 (5'-CCTCCGCTTATTGATATGC-3') primer를 사용하여 polymerase chain reaction (PCR)증폭하였다[14]. ITS 영역의 PCR 증폭은 94°C에서 2분간 반응한 다음 DNA의 열변성을 위해 94°C에서 40초, primer의 재결합을 위해 56°C에서 50초, DNA 가닥의 합성을 위해 72°C에서 2분의 과정을 35회 반복하고, 72°C에서 10분간 최종신장을 실시하였다. PCR 증폭 산물은 전기영동을 통해서 증폭을 확인하였고, DokdoPrep™ Gel Extraction Kit (ELPIS Biotech, Korea)를 이용하여 재추출하여 염기서열 분석을 실시하였다(Macrogen, Seoul, Korea). 종 동정을 위하여 ITS 영역의 염기서열을 the National Center for Biotechnology Information (NCBI) database의 Blast program을 이용하여 종을 확인하였으며, 각 염기서열의 정렬 및 계통도작성은 Mega X[15] 알고리즘을 이용하여 근린 결합법에 의거 계통분류학적 위치를 결정하였다.

국내 보고된 선충 포식성곰팡이의 색인표 작성

국내에서 보고된 선충 포식성 곰팡이는 21종으로 *A. flagrans*와 *A. superba*의 형태적 특성을 포함하여 형태적 특성 및 미세구조, 선충 포식기관 구조 등을 이용하여 쉽게 동정할 수 있는 색인표를 작성하기 위하여 선충 포식성곰팡이 기존 보고에 묘사되었던 형태적 특징을 기준으로 작성하였다.

결과 및 고찰

*A. flagrans*와 *A. superba*의 재기재

Arthrobotrys flagrans (Dudd.) Sidorova, Gorlenko & Nalepina, 1964.

≡ *Trichothecium flagrans* Dudd., 1949

≡ *Arthrobotrys flagrans* (Dudd.) Mekht., 1964

≡ *Duddingtonia flagrans* (Dudd.) Cooke, 1969

*A. flagrans*는 Adhikari 등(2018)이 밀양의 토양으로부터 분리하여 순수배양 후 rDNA ITS를 이용하여 종을 동정하였으며 배지에서의 배양적 특성과 포자 및 후막포자 형태를 기재함으로써 국내

미기록 *Duddingtonia flagrans* (KNU16-279)로 기재하였다[11]. 그러나 선충에 대한 포식여부, 포식 기관의 형태, 분생자병 등에 대한 기록이 없으므로 여기에 추가적인 특성을 기재한다.

A. flagrans #180516S는 경북 안동의 마 재배 포장의 토양으로부터 분리되었다. 이 종은 3차 원 끈끈이그물을 이용하여 선충을 포식하며(Fig. 2C), 선충의 종류 별로 Panagrolaimidae에 속하는 *Panagrolaimus apicatus*와 식물기생성 선충인 뿌리혹선충 유충은 잘 포식하나 곰팡이를 먹는 선충인 *Aphelenchus avenae*는 잘 포식하지 못하였고 Cephalobidae에 속하는 *Acrobeloides* sp.와 Diplogasteridae에 속하는 *Diplogasteritus* sp.는 중간 정도로 포식하였다(Fig. 1).

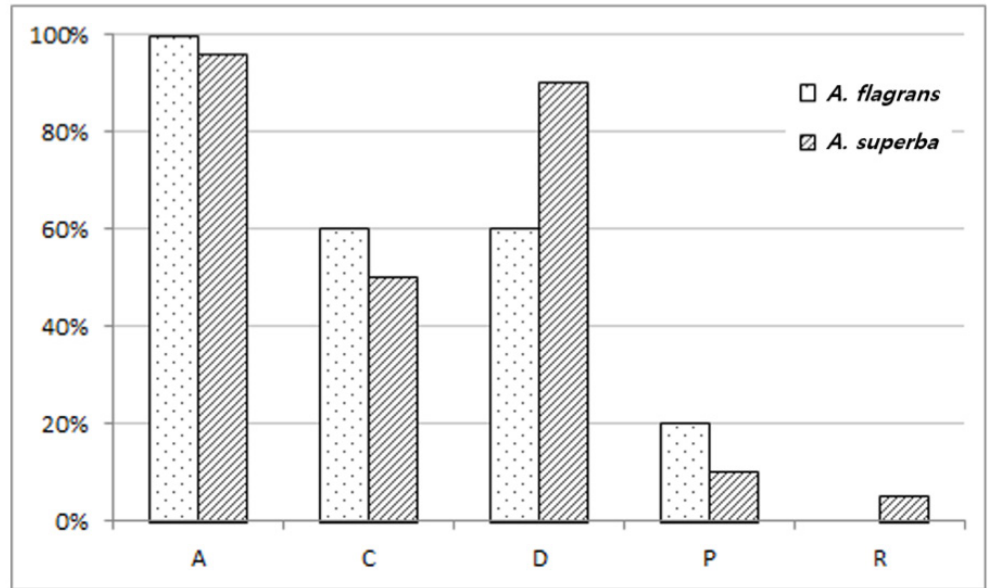


Fig. 1. Predacity of *Arthrobotrys flagrans* and *A. superba* for five nematode species. A, *Aphelenchus avenae*; C, *Acrobeloides* sp.; D, *Diplogasteritus* sp.; P, *Panagrolaimus apicatus*; R, Root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*.

포자는 길이 22.1-54.9(av. 40.7) μm \times 폭 9.7-17.3(av. 13.3) μm 이며 끝이 뿔뿔하며 포자의 크기와 모양이 균일하지 않고 다양한 형태적 변이를 보이는 것이 특징이다(Fig. 2A). 격막은 대부분이 1개 이나 약 2% 정도는 2개이다. 포자병은 다른 종에 비하여 매우 짧은 편이고(av. 155.1 μm), 후막포자가 풍부하게 형성되었다(av. 29.0 μm in diameter) (Table 1, Fig. 2A).

Table 1. Morphological characteristics of *Arthrobotrys flagrans* (All measurements are in μm)

Character	This study n = 30	Korean isolate by Adhikari et al., 2018	Cooke, 1969
Conidium length	22.1-54.9(av. 40.7)	29-41	25-50
Conidium width	9.7-17.3(av. 13.3)	13-17	10-15
No. of conidium spectrum	1-2	-	1
Conidiophore length	155.1	-	150
Chlamydospore	29.0	27-32	-
Trap type	3-D network	not shown	3-D network

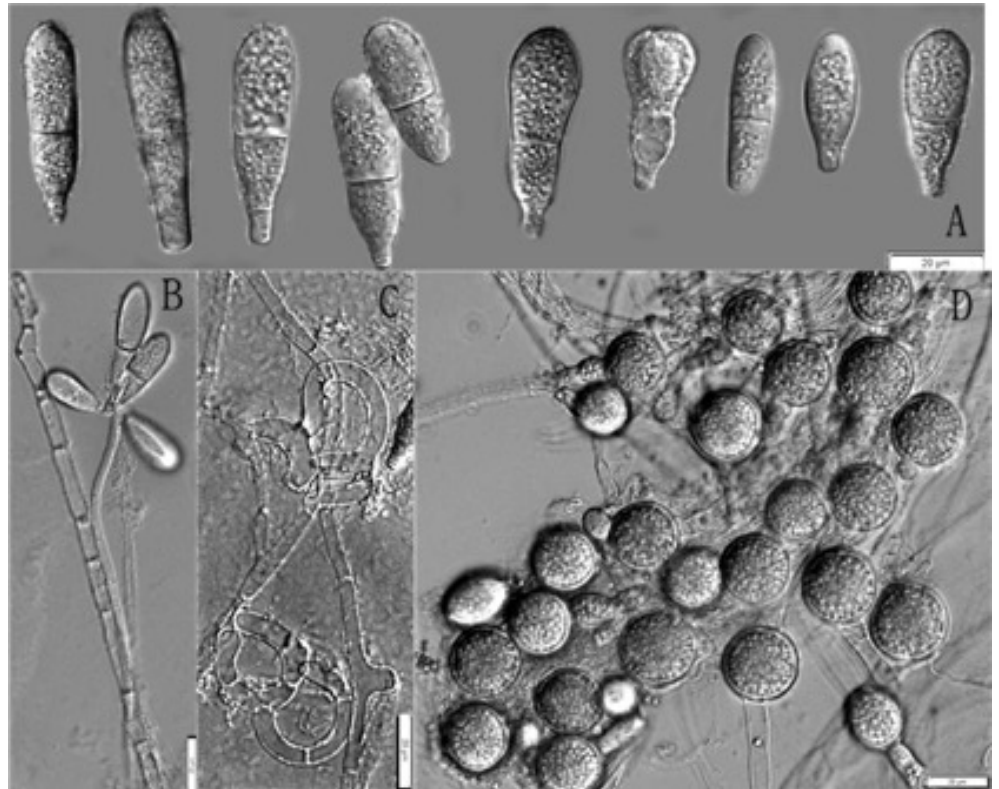


Fig. 2. *Arthrobotrys flagrans*. A, conidia; B, conidia attached to conidiophore; C, trap of 3-dimensional networks; D, chlamydospores (Scale bars = 20 μm).

Arthrobotrys superba Corda, 1839.

≡ *Didymo zoophaga superba* (Corda) Soprunov & Galiulina, 1951

*A. superba*는 Yoo(1984)가 퇴비로부터 분리하여 국내 처음으로 기재하였다[12]. 형태에 의하여 곰팡이를 동정하고 배양적 특성을 기록하였으며 포자를 전자현미경으로 관찰하였다. 그러나 분자생물학적인 종 확인, 선충에 대한 포식여부, 포식기관의 형태 등에 대한 기록이 없으므로 여기에 추가적인 특성을 기재한다.

*A. superba*는 경북 성주 월향의 참외재배 온실의 흙으로부터 분리되었다. 이 곰팡이는 3차원 끈끈이그물을 이용하여 선충을 포식하며(Fig. 3F) Panagrolaimidae에 속하는 *Panagrolaimus apicatus*와 식물기생성선충인 뿌리혹선충 유충은 잘 포식하나 곰팡이를 먹는 선충인 *Aphelenchus avenae*와 Diplogasteridae에 속하는 *Diplogasteritus* sp.는 잘 포식하지 못하였고 Cephalobidae에 속하는 *Acrobeloides* sp.는 중간 정도로 포식하였다(Fig. 1).

포자는 길이 17-26 (av. 21.5) μm × 폭 6-10 (av. 8) μm 이며 격막이 1개로 포자의 중간에 위치하고 모양은 상수리도토리 모양이다(Fig. 3C). 포자병은 210-400 (av. 305) μm 이고 후막포자는 발견되지 않았다(Table 2, Fig. 3).

이러한 형태적 특성을 가진 선충 포식성곰팡이인 두 종의 계통분류학적 위치를 확인하기 위하여 ITS rDNA 영역의 염기서열을 해석한 결과, *Arthrobotrys* 계통군에 속하는 균주임을 확인하였고 *A. flagrans*와 *A. superba*로 확인되어 GenBank 데이터베이스에 MN238824와 MN227308로 등록하

였으며, 균주는 농업미생물은행에 기탁하여 KACC No. 48733과 48734를 부여 받았다(Fig. 4).

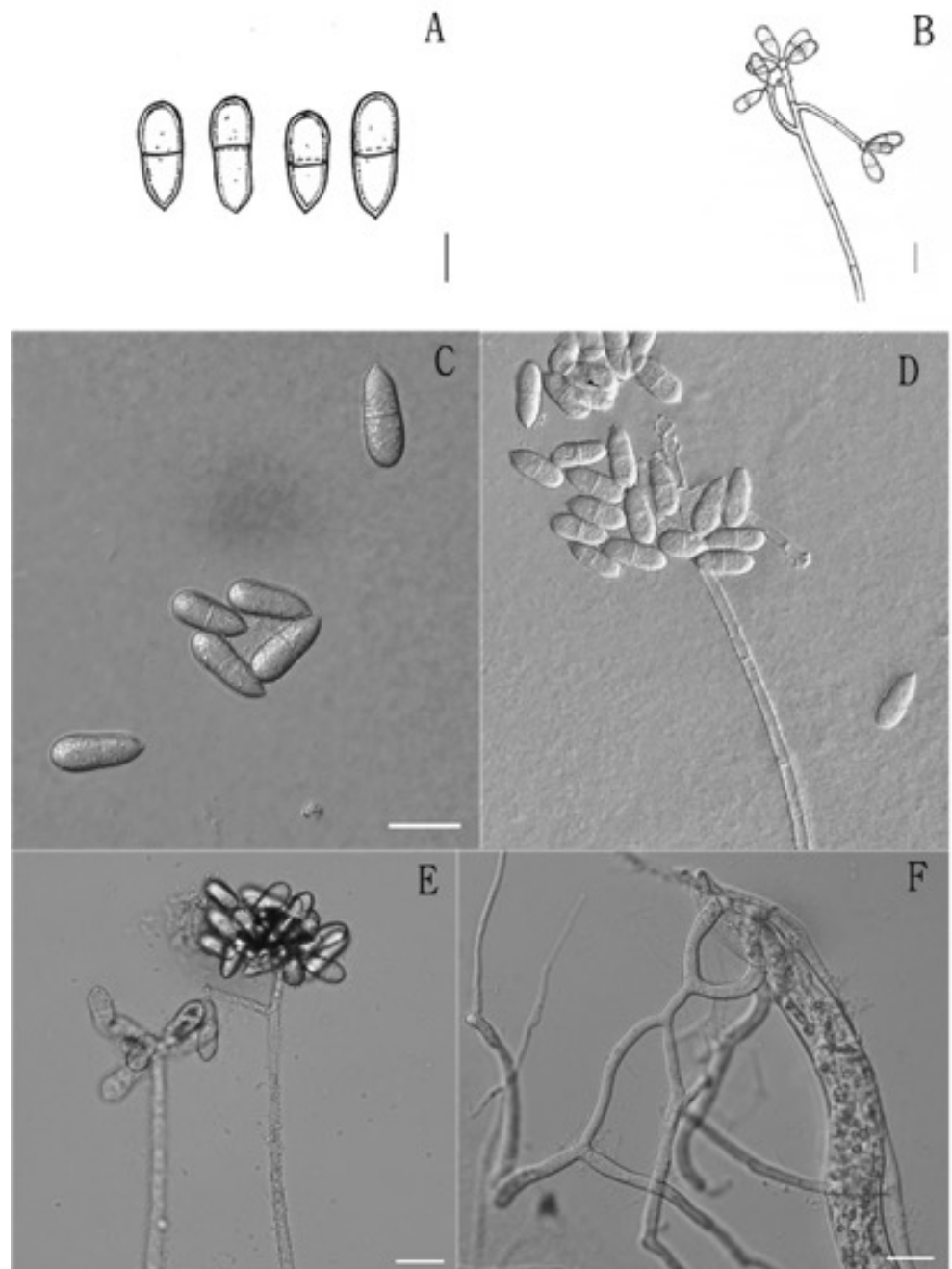


Fig. 3. *Arthrobotrys superba*. A, C, conidia; B, D, E, conidia attached to conidiophore; F, trapping organ of 3-dimensional networks and captured nematode (Scale bars = 20 μ m).

Table 2. Morphological characteristics of *Arthrobotrys superba* (All measurements are in μm)

Characters	This study n = 20	Korean isolate by Ryu, 1984	Drechsler(1937)	Prachtflora (1975)
Conidium length	17-26(av. 21 .5)	13.5-26.5	12-22(av. 17)	17-27(av. 22)
Conidium width	6-10(av. 8)	5.6-11.2	6-11(av. 8.5)	6-11(av. 8.5)
No. of conidium spectrum	1	1	1	1
Conidiophore length	210-400(av. 305)	200-500	100-300(av. 200)	200-360(av. 280)
Chlamydospore	unknown	-	unknown	not mentioned
Trap trap	3-D network	3-D network	3-D network	3-D network

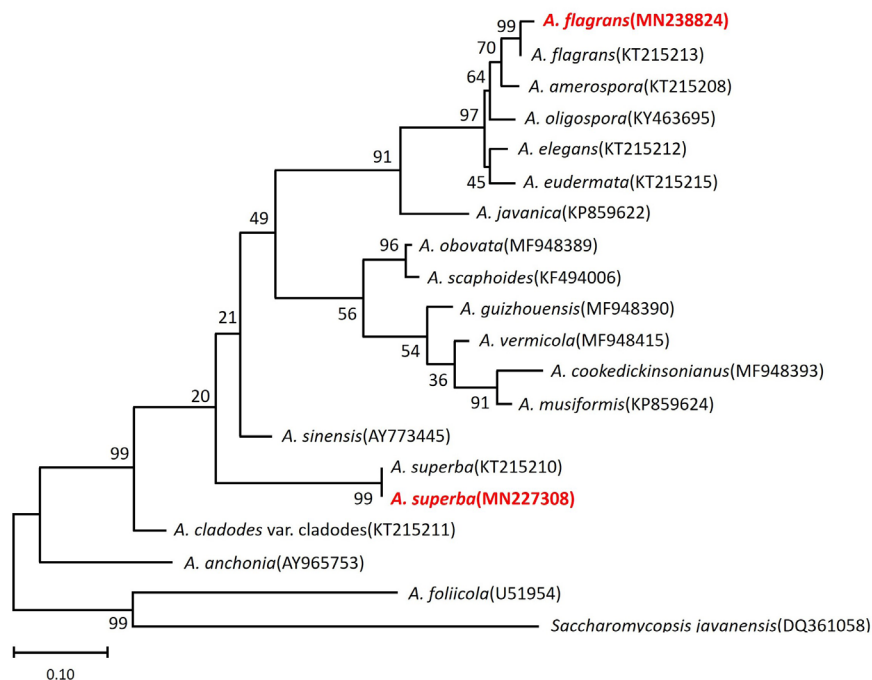


Fig. 4. Phylogenetic tree based on ITS rDNA sequences, showing the positions of *Arthrobotrys flagrans* and *A. superba*. Numbers at branches mean bootstrap values, derived only for the nodes supported by higher than 50% (1,000 replicates). Newly sequenced samples are indicated by red color and bold font. (Scale bar = 0.1, substitutions per site.)

국내 미기록종에서 제외되는 종

Arthrobotrys arthrobotryoides (Berl.) Lindau, 1906 (Jeong, 1987; Yoo, 1984)

= *Cephalothecium* Corda var. *arthrobotryoides* Berl. 1888

= *Arthrobotrys arthrobotryoides* (Berl.) Lindau, 1907

= *Didymozaophaga arthrobotryoides* (Berl.) Soprunov & Galiulina, 1951

*Arthrobotrys arthrobotryoides*는 Jeong(1987) 등에 의하여 국내 미기록종으로 발표되었다[16]. 그러나 De Hoog와 Van Oorschot(1985)는 포식성곰팡이들을 재검토하면서, *A. arthrobotryoides*에 대하여 기준 표본이 없고 원기재가 불확실함을 이유로 이 종을 미확인종으로 분류하였다[17]. Species fungorum에는 이 종이 유효한 종으로 등록되어 있으나[18], De Hoog와 Van Oorschot(1985)의 아래

의 서술을 근거로 국내에서도 미확인종으로 분류한다[17].

De Hoog와 Van Oorschot(1985)는 “기준 표본이 없는 경우에는 원기재에 대한 확인을 할 수 없다. Berlese의 균은 원기재에 분생자병은 조금 존재하고 증식하지 않았다고 설명되어있다. 따라서, 배양하여 동정할 수 있는 요소가 알려져 있지 않다. 1994년 Drechsler에 의해 설명된 균은 증식하는 분생자병을 형성했다[19]. 분리된 분생포자는 20-22×9-10 μm로 말단세포가 기저세포보다 길지 않지만 *A. oligospora*와 유사하였다. 그 종의 정체는 여전히 의심스럽다.”라고 보고했다[17].

국내 선충 포식성곰팡이 동정 검색표

- 1. - 포식기관이 끈끈이그물형이다 2
 - 포식기관이 끈끈이격자이다 10
 - 포식기관이 끈끈이봉이다 11
 - 포식기관이 수축성올가미이다 14
- 2. - 포자의 형태가 *Arthrobotrys* 형이다 3
 - 포자의 형태가 *Arthrobotrys* 형이나 포자 끝이 병의 주둥이 모양으로 뭉툭하다 8
 - 포자의 형태가 *Monacosporium* 형이다 9
- 3. - 포자에 격막이 없다(포자 크기= 23.6 x 15.9 μm) *Arthrobotrys amerospora* [20]
 - 포자에 격막이 1개이다 4
 - 포자에 격막이 2개이상이다 *A. vermicola* [21]
- 4. - 포자병 끝이 손바닥을 편 모양이다, 손가락 끝에 포자가 달린다 5
 - 포자병 끝이 둥글고 액간 팽창되었다 6
 - 포자병 끝이 불규칙적으로 울퉁불퉁하다, 포자는 줄참나무 도토리 모양이다(포자 크기=15.8 ×6.6 μm) *A. superba* [12]
- 5. - 포자는 길쭉한 물방울 모양이다(포자 크기= 27.9 x 8.8 μm) *A. javanica* [22]
 - 포자는 어름열매 모양이다(포자 크기= 30.9 x 10.3 μm) *A. musiformis* [23]
- 6. - 포자는 포자병 끝에 뭉쳐서 달린다 7
 - 포자병이 위로 자라면서 포자가 연속하여 달린다, 포자는 상수리나무 도토리 모양이다, 23 x 12.1 μm *A. oligospora* [16]
- 7. - 포자는 길쭉한 물방울 모양이다(포자 크기= 28.4 x 11.8 μm) *A. conoides* [24]
 - 포자는 상수리나무 도토리 모양이다(포자 크기= 24.1 x 13.9 μm) *A. koreensis* [25]
- 8. - 포자병 > 150 μm; 포자에 격막이 75% 위치(포자 크기= 30-45 x 8-11 μm) *A. pseudoclavata* [26]
 - 포자병 <150 μm; 포자에 격막이 50%에 위치(포자 크기= 25-50 x 10-15 μm) *A. flagrans* [11]
- 9. - 포자에 3 격막(1-4); 포자 크기= 36.2×20.2 *A. thaumasia* [27]
 - 포자에 2-3 격막(1-3); 포자 크기= 27.6×20 μm *A. sinensis* [28]
- 10. - 포자에 3-4 격막(2-6); 포자 크기= 45×16 μm *Dactylellina gephyropaga* [29]
 - 포자에 3-4 격막(2-6); 포자 크기= 35-60×13-21 μm *D. cionopaga* [29]
- 11. - 끈끈이봉에 가지가 없다 12
 - 끈끈이봉에 가지가 있다 13

12. - 포자 3 격막; 포자 크기= $32-54 \times 8-12 \mu\text{m}$ *D. lobata* [16]
 - 포자 3-4 격막(1-5); 포자 크기= $62.3 \times 24.7 \mu\text{m}$ *D. phymatopaga* [30]
13. - 포자 4 격막(2-4); 포자 크기= $48.3 \times 13 \mu\text{m}$ *D. ellipsospora* [16]
 - 비수축성올가미+끈끈이봉; 포자 4 격막(2-5); 포자 크기= $35 \times 9 \mu\text{m}$ *D. candida* [31]
 - 포자 2 격막(1-4); 포자 크기= $26.5 \times 8.7 \mu\text{m}$ *D. ullum* [20]
14. - 포자에 격막 3(1-3); 포자 크기= $20-45 \times 5-12.5 \mu\text{m}$ *Drechslerella brochopaga* [32, 33]
 - 포자에 격막이 1개이며 50%에 위치; 포자 크기= $35-51 \times 6.5-8 \mu\text{m}$ *D. dactyloides* [32]

적요

선충 포식성곰팡이는 선충 포획 기관을 만들어 선충 포획 후 양분을 섭취하는 곰팡이다. 이들 중 *Arthrobotrys flagrans*와 *A. superba*에 대한 특성들 중 보고될 때 생략된 것이 있어 두 종을 토양으로부터 분리하고 순수배양하여 추가적으로 조사하였다. 선충 종류별 포식력, 포식기관의 형태·크기, 분생포자의 형태·크기, 분생포자병의 형태, 후막포자 등을 조사하였으며, ITS rDNA 염기서열의 분자계통학적 분석을 토대로 종 동정을 실시하였다. 또한 1981년 처음으로 선충 포식성곰팡이가 국내에서 보고된 이래로 현재까지 총 21종이 발견되었으나 이들에 대한 분류 체계와 주요 식별 형질이 없는 상황이었기에 제공하였다. 이를 바탕으로 아직 연구가 많이 진행되지 않은 국내 선충 포식성곰팡이 연구에 기초자료가 될 수 있기를 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Department (Project No. PJ013428012019)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Yeates GW. Soil nematodes in New Zealand pastures. *Soil Sci* 1977;123:415-22.
2. Ferris H. Contribution of nematodes to the structure and function of the soil food web. *J Nematol* 2010;42:63-7.
3. Yeates GW. Nematodes in ecological webs. *eLS* 2010.
4. Whitehead AG. Plant nematode control. 8th ed. Oxon: CAB International; 1998.
5. Yeates GW, Bongers T, Goede RGM, Freckman DW, Georgieva SS. Feeding habits in soil nematode families and genera - an outline for soil ecologists. *J Nematol* 1993; 25:315-31.
6. Fresenius G. Beitrage zur Mykologie (Heft 1-2). 2th ed. Frankfurt: Heinrich Ludwig Brönnner Verlag; 1852.
7. Zhang KQ, Hyde KD. Nematode-trapping fungi. Dordrecht: Springer; 2014.
8. Markus S, Gregor H, Annemarie R. A reevaluation of predatory orbiliaceous fungi. II. A new generic concept. *Sydowia* 1999;51:89-113.
9. Lee JY. Mycology and cultivation of mushrooms. 3rd ed. Seoul: Daegwangmunhwasa; 1996.
10. Yoo KH, Choi YH, Lee HH. Isolation of nematode destroying fungi. *Kor J Mycol* 1981;9:193-7.

11. Adhikari M, Gurung SK, Bazie S, Lee HG, Kosol S, Lee HB, Lee YS. Seven unrecorded fungal species from field soils in Korea. *Kor J Mycol* 2018;46:9-21.
12. Yoo HS. *Arthrobotrys arthrobotryoides* and *Arthrobotrys superba* with new addition to the Korea nematode trapping fungi [dissertation]. Hannam University; 1984.
13. Zhu H, Qu F, Zhu LH. Isolation of genomic DNAs from plants, fungi and bacteria using benzyl chloride. *Nucleic Acids Res* 1993;21:5279-80.
14. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ, editors. *PCR Protocols: a guide to methods and applications*. San Diego: Academic Press; 1990. p. 315-22.
15. Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol Biol Evol* 2018;35:1547-9.
16. Jeong MJ. Isolation of nematophagous fungi and evaluation of their biological control potential against *Meloidogyne hapla* Chitwood in pepper [dissertation]. Gyeongsang National University; 1987.
17. De Hoog GS, Van Oorschot CAN. Taxonomy of the *Dactylaria* complex, V. A review of *Arthrobotrys* and allied genera. *Stud Mycol* 1985;26:61-96.
18. Species fungorum. CABI database [Internet]. Index Fungorum Partnership; 2019 [cited 2019 Nov 4]. Available from <http://www.indexfungorum.org/>.
19. Drechsler C. A species of *Arthrobotrys* that captures springtails. *Mycologia* 1944;36: 382-99.
20. Kim DG, Ryu YH, Hwang HG. First report of two nematode-trapping fungi, *Monacrosporium ullum* sp. nov. and *Arthrobotrys amerospora*, from Korea. *Plant Pathol J* 2006;22:174-8.
21. Kim DG, Lee JK, Lee YK, Choi YC, Kim YG. Description on five species of *Arthrobotrys* (Corda) Schenck, Kendrick & Pramer in Korea and their key. *RDA J Crop Prot* 1997;39:33-41.
22. Wu HY, Kim DG, Zhou XB. First report on the nematode-trapping fungus, *Arthrobotrys javanica*, from the soil of Ulleung Island, Korea. *Afr J Microbiol Res* 2012;6:7332-4.
23. Cho CW. A study on screening of the genetic resources of fungi trapping plant-parasitic nematodes and their practical application [dissertation]. Chungnam National University; 2007.
24. Park JS, Park YG. Electron microscopic observations on the trapping of nematode by *Arthrobotrys conoides*. *Korean J Microbiol* 1984;22:19-28.
25. Wu HY, Kim DG, Ryu YH, Zhou XB. *Arthrobotrys koreensis*, a new nematode-trapping species from Korea. *Sydowia* 2012;64:129-36.
26. Kim DG, Lee JH, Kim HO. An unrecorded species of nematode-trapping fungus, *Dactylella pseudoclavata* in Korea. *Plant Pathol J* 2007;23:210-1.
27. Park SD, Choo YD, Jeong KC, Sim YG, Choi YY. Field application of egg and larval parasitic fungi and chemicals for controlling. *Korean J Appl Entomol* 1993;32:105-14.
28. Ha J, Kang H, Kang H, Kim D, Lee D, Kim Y, Choi I. First report of an unrecorded nematode-trapping fungus, *Arthrobotrys sinensis* in Korea. *Korean J Appl Entomol* 2019;58:9-13.
29. Kim JI, Lee HW, Kim CH, Han SC. Identification and distribution of egg-parasitic and trapping fungi of root-knot nematode. *Research reports of the Rural Development Administration* 1992;34:91-5.
30. Wu HY, Kim DG. First report of an unrecorded nematode-trapping fungus species *Monacrosporium phymatopagum* in Korea. *Plant Pathol J* 2010;26:264-6.
31. Wu HY, Kim DG, Zhou XB. First report of an unrecorded nematode-trapping fungus species *Dactylellina candidum* in Korea. *Afr J Microbiol Res* 2012;6:203-5.

32. Han SC, Lee HW, Kim JI. Collection, identification and classification of natural microbial enemy for plant-parasitic nematode. In: Proceeding of the Korean Society Applied Entomology; 1990; May 19; Jeonju, Korea: Korean Society Applied Entomology; 1990. p. 148.
33. Cho CW, Kang DS, Kim YJ, Whang KS. Morphological and phylogenetic characteristics of a nematophagous fungus, *Drechslerella brochopaga* Kan -23. Korean J Microbiol 2008;44:63-8.