

## Community Analysis of Endophytic Fungal strains Isolated from the Roots of Plants Inhabiting Mujechi-neup

Woo-Jae Cheon<sup>1†</sup>, Hye-Rim Choi<sup>1†</sup>, Hyun Kim<sup>1</sup>, Yoon-Jong Nam<sup>1</sup>, Yoosun Oh<sup>1</sup>, Minji Jeong<sup>1</sup>, Nan-Yeong Lee<sup>1</sup>, Sang-Chul Ha<sup>2</sup> and Jong-Guk Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Life Sciences and Biotechnology, Institute for Microorganisms, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>2</sup>Department of Hotel Culinary Arts, Daegu Future College, Gyeongsan 38607, Korea

Received September 26, 2016 / Revised December 23, 2016 / Accepted December 27, 2016

Wetlands exhibit intermediate characteristics of both terrestrial and aquatic ecosystems, and the biodiversity is rich in these unique biological habitats. The symbiotic relationships between plants and fungi that inhabit these wetlands play an important role in natural resource management, biodiversity, and conservation. Accordingly, the mujechi, having academic value for the study of the natural environment, was investigated in terms of genetic diversity of endophytic fungi, which inhabit the roots of wild plants. The internal transcribed spacer (ITS) region was amplified to identify fungal strains. In total, 226 strains were isolated and categorized into three phyla, seven classes, 10 orders, 22 families, and 31 genera. In plants by endophytic fungi were classified in *Isachne globosa* (Ig) to 19 genera, *Scirpus karuisawensis* (Sk) to 11 genera, *Utricularia racemosa* (Ur) to 19 genera, and one incertae sedis, *Eriocaulon decemflorum* (Ed) to 11 genera. The fungal taxa was identified the genera *Acephala* (19.9%), *Tolypocladium* (16.3%), *Neopestalotiopsis* (11.5%), and *Perenniporia* (7.1%). The fungal group isolated from *Isachne globosa* (Ig) grew the largest number of isolated fungal strains. After comprehensive evaluation, the endophytic fungal group from *Utricularia racemosa* (Ur) ranked highest in diversity analyses. From the roots of wild plant in mujechi-neup, it confirmed the distribution and diversity of endophytic fungi. This study provides the basic data to understand fungal community structure in peat wetlands.

**Key words** : Endophytic fungi, fungal diversity, Mujechi-neup, Mountain wetland

### 서 론

산지습지는 산에 형성된 습지를 말하며 일반적으로 내륙 습지에 속한다(Ministry of Environment Republic of Korea, 1999). 산지습지의 생태계는 육상 생태계와 수중생태계의 중간 특성을 띠고 있어, 독특한 생물 서식처로 생물다양성이 풍부하다. 또한 탄소 저장능력이 뛰어나며, 독성물질을 눈에 가두는 능력이 있어 수질을 정화시키는 데 중요한 역할을 한다 [20, 30]. 이러한 특성이 잘 나타나있는 무제치늪은 자연환경을 연구할 학술적 가치가 매우 크기 때문에 생태계 보전지역 (Ministry of Environment Republic of Korea, 1998) 및 람사르 습지로 지정되었다.

무제치늪의 토지적 환경조건에 따라 산림식생, 산지습원식생의 군락종조성이 미묘하게 다르며, 구성 식물종이 식물군락

에서 연속적으로 나타남을 보이고 있다. 이러한 산림식생유형과 생장특성 및 과거식생을 통한 기후변화를 알기 위한 화분 분석 연구는 1996년부터 이루어 졌지만, 산지습지의 식생과 관련된 미생물에 대한 연구는 이루어지지 않았다[21, 24, 25].

최근에 우리나라에서 습지의 보호와 환경 보존을 위하여 갯벌, 해안 사구 및 해안 염습지와 그곳에 자생하는 염생식물을 대상으로 식물과 공생 및 공존하는 미생물에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있지만, 식물과 내생균류에 대한 연구는 거의 없는 실정이다[16, 17, 22].

내생진균은 식물과 공생 및 공존하는 미생물로서 천연 자원 관리, 종 다양성, 보존 및 복원에 중요한 역할을 한다. 공생관계에 대한 연구가 수행되면서, 식물과 균류사이의 생리학적 상호 작용의 메커니즘에 대한 이해가 증가했다. 하나의 식물에 많은 균을 형성 할 수 있으며, 하나의 균은 여러 식물을 연결 할 수 있다[7, 9, 32]. 또한, 식물과 내생진균이 가지고 있는 환경적으로 다른 특성과 균류에 의한 유전적 다양성이 함께 영향을 미쳐서, 균이 식물 뿌리에서 기능을 할 수 있도록 해주어 서로 상호 의존적인 기능을 하게 하는 것이다. 즉, 식물과 내생하는 균류의 상리공생은 식물에게 있어 종 다양성을 풍부하게 만들어주고, 식물 뿌리에 공생하는 곰팡이의 종 다양성을 풍부하게 만들어주며, 자연생태계에서 살아남을 수 있는 생존력과 경쟁력을 갖출 수 있게 해 주는 것이다[1, 28].

†Authors contributed equally.

\*Corresponding author

Tel : +82-53-950-5379, Fax : +82-53-955-5379

E-mail : kimjg@knu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 연구에서는 내생진균의 분포 및 다양성 분석을 통하여 유연관계를 확인하기 위해 무제치늪에서 자생하는 식물 뿌리의 내생진균류를 형태적으로 순수분리하여 동정하였고, 다양성지수(diversity index)를 확인하였다.

### 재료 및 방법

#### 식물 채집

울산 울주군 웅촌면 고령리에 위치한 무제치늪 중 제 3늪에서만 식물채집이 이루어졌으며, 채집한 4종의 식물은 우리나라 담수습지에서 많이 자생하는 산지습지 식물이다. 4종의 식물은 기장대풀(*Isachne globosa* Kuntze), 솔방울고랭이(*Scirpus karuisawensis* Makino), 이삭귀개(*Utricularia racemosa* Wall.), 좁개수염(*Eriocaulon decemflorum* Maxim.)이며(Table 1), 이 4종의 식물들은 3늪에 많은 군락을 이루고 있어 이 외 다른 식물들을 채집하는데 어려움이 있다. 따라서, 채집된 위의 식물들을 본 연구에 사용하였다.

#### 내생진균 분리 및 배양

먼저 채집한 식물 뿌리의 토양을 제거하기 위해 물로 세척하였다. 뿌리를 약 3~4 cm 절단하여 표백제인 과염소산(1% Perchloric acid)을 사용하여 10분간 처리하고 멸균증류수로 세척하였다. 그 뒤 계면활성제(Tween 80)를 10분간 처리하여 멸균증류수로 세척하였다. 전처리 된 식물 뿌리에서 내생진균류를 분리 배양하기 위해 스트렙토마이신(Streptomycin, 80 ppm)이 함유된 Hagem Minimal media (HM) 최소배지를 사용하여 25°C 조건에서 배양하였다[33, 35]. 배양된 뿌리의 끝 단면에서 뺀어 나온 내생진균류의 균사를 HM 배지에 확산도 말법을 이용하여 25°C에서 배양하였다. 그리고 HM 배지에 배양된 내생진균류를 Potato Dextrose Agar (PDA) 배지에 계대배양을 하여 순수분리를 하였다. 순수 분리된 내생진균은 Potato Dextrose Broth (PDB) 배지에 7~14일 동안, 25°C 조건에서 100 rpm으로 진탕배양하였고, 내생진균의 균체를 여과하여 5일 동안 동결건조 하였다. 동결건조된 시료는 내생진균을 동정하기 위해 사용하였다[18, 19, 37].

#### 내생진균의 DNA 추출 및 PCR

DNeasy Plant mini kit (QIAGEN, Valencia, CA, USA)를 이용하여 동결건조 된 균체의 Genomic DNA를 추출하였다. PCR 프라이머는 ITS1 (5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG

G-3')과 ITS4 (5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3')를 이용하였다. PCR 조건은 predenaturation (95°C, 2 min), 35 사이클의 denaturation (95°C, 30 sec), annealing (55°C, 1min), extension (72°C, 1 min), 그리고 final extension (72°C, 7 min)으로 수행하였다[36]. PCR 산물은 전기영동 후, Ethidium Bromide (EtBr)으로 염색하여 분석하였다. 염기서열 결정을 위하여 ABI PRISM BigDye Terminator Cycle Sequencing Kit (PE Biosystems Foster, CA, USA)과 ABI 310 DNA sequencer (Perkin Elmer, Foster, CA, USA)를 사용하여 내생진균의 염기서열을 결정하였다. 이러한 과정을 거친 rDNA-ITS 영역의 염기서열을 NCBI의 BLASTN으로 확인하였다.

#### 내생진균의 계통분석 및 다양성지수 분석

내생진균류의 유연관계를 확인하기 위해 분석한 ITS영역 염기서열을 Bioedit program의 ClustalW를 사용하여 염기서열을 정리하였다. 또한, MEGA6 program의 neighbor-joining (NJ) 방법으로 분석하여 계통수를 작성하였다. 계통수의 신뢰성 평가를 위해 1,000의 replication을 적용한 bootstrap 분석을 하였다[31].

내생진균의 다양성 분석은 각 식물의 속(Genus)을 대상으로 하였다. 각 식물군에 대한 내생진균의 다양성 지수를 분석하기 위해, Shannon diversity index (H'), 그리고 Simpson's index(1-D)를 사용하였다[12, 13, 15]. 그리고, 종 풍부도를 분석하기 위해 Margalef's index (Dmg), Menhinick's index (Dmn)를 적용하였다[12] (Table 2).

### 결과 및 고찰

#### 내생진균류의 동정 및 계통학적 유연관계

무제치늪에서 자생하는 4종류의 습지식물로부터 형태학적으로 다른 내생진균류 226주를 분리 및 선별하였다. 선별된 내생진균류는 기장대풀(Ig)로부터 83주, 솔방울고랭이(Sk)로부터 44주, 이삭귀개(Ur)로부터 71주, 좁개수염(Ed)로부터 28주가 분리 동정되었다. 내생진균류의 염기서열은 NCBI의 GenBank에 등록하여 모든 내생진균류에 대한 accession number [KX108999~KX109224]를 부여받았다(Table 3).

식물별 내생진균은 Ig에서 19속, Sk에서 11속, Ur에서 19속과 분류체계가 명확하지 않은 Incertae sedis에 속하는 1속, Ed에서 11속이 분류되었다(Table 4).

내생진균류의 계통분석은, Ig에서 자낭균문(Ascomycota),

Table 1. The scientific name, abbreviated plant name, and habitat of 4 plants

No.	Scientific name	Plant code	Habitat
1	<i>Isachne globosa</i> (Thunb.) Kuntze	Ig	Mujechi-neup 35°27'26.10"N, 129°08'03.51"E
2	<i>Scirpus karuisawensis</i> Makino	Sk	
3	<i>Utricularia racemosa</i> Wall.	Ur	
4	<i>Eriocaulon decemflorum</i> Maxim.	Ed	

Table 2. The diversity index formulas used in this study

Diversity indices	Formula	Description
Shannon's diversity index ( $H'$ )	$H' = - \sum_{i=1}^R pi \cdot \ln pi$	P, the proportion of objects of a particular species
Simpson' index of diversity (1-D)	$D = \sum_{i=1}^R \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$	N, total number of the individuals in each sample
Menhinick' index ( $Dmn$ )	$Dmn = \frac{S}{\sqrt{N}}$	S, the species number
Margalef's index ( $Dmg$ )	$Dmg = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$	S, the number of different genera in a sample

Capnodiales목에 속하는 *Cladosporium*속, Pleosporales목에 속하는 *Microsphaeropsis*속, Eurotiales목에 속하는 *Paecilomyces*속, Helotiales목에 속하는 *Acephala*속, Pezizales목에 속하는 *Desmazierella*속, Hypocreales목에 속하는 *Clonostachys*속, *Metapochonia*속, *Trichoderma*속, *Penicillifer*속, *Tolypocladium*속과 Xylariales목에 속하는 *Neopestalotiopsis*속, *Pestalotiopsis*속, *Microdochium*속과 분류체계가 명확하지 않는 *incertae sedis*에 속하는 *Pseudeurotium*속이 확인되었다. 담자균문(Basidiomycota), Polyporales목에 속하는 *Perenniporia*속, *Phanerochaete*속과 Ustilaginales목에 속하는 *Ustanciosporium*속이 확인되었으며, 접합균문(Zygomycota)에서는 Mucorales목에서 속하는 *Mucor*속, *Umbelopsis*속이 확인되었다. Sk에서 Ascomycota문, Capnodiales목에 속하는 *Cladosporium*속, Eurotiales목에 속하는 *Penicillium*속, Helotiales목에 속하는 *Acephala*속, Hypocreales목에 속하는 *Clonostachys*속, *Trichoderma*속, *Penicillifer*속, *Tolypocladium*속과 Xylariales목에 속하는 *Neopestalotiopsis*속이 확인되었으며, Basidiomycota문, Polyporales목에 속하는 *Perenniporia*속, *Trametes*속과 Ustilaginales목에 속하는 *Ustanciosporium*속이 확인되었다. Ur에서 Ascomycota문, Capnodi-

ales목에 속하는 *Cladosporium*속, *Pseudocercospora*속과 Pleosporales목에 속하는 *Leptosphaeria*속, *Saccharicola*속, *Microsphaeropsis*속, *Paraphaeosphaeria*속과 Helotiales목에 속하는 *Acephala*속, Pezizales목에 속하는 *Desmazierella*속, Hypocreales목에 속하는 *Clonostachys*속, *Trichoderma*속, *Myrothecium*속, *Tolypocladium*속과, Xylariales목에 속하는 *Neopestalotiopsis*속, *Pestalotiopsis*속과 분류체계가 명확하지 않는 *incertae sedis*에 속하는 *Colletotrichum*속, *Stilbella*속이 확인되었다. Ed에서 Ascomycota문, Pleosporales목에 속하는 *Leptosphaeria*속, *Saccharicola*속, *Curvularia*속과 Eurotiales목에 속하는 *Paecilomyces*속, *Penicillium*속과 Helotiales목에 속하는 *Acephala*속, Hypocreales목에 속하는 *Trichoderma*속, *Penicillifer*속, *Tolypocladium*속과 Xylariales목에 속하는 *Neopestalotiopsis*속이 확인되었으며, Basidiomycota문, Ustilaginales목에 속하는 *Sporisorium*속이 확인되었다(Fig. 1, Fig. 2). 그다음으로 내생진균류 226균주를 문으로 분류하였을 때, Ascomycota이 197주로 가장 많은 부분을 차지하였으며, 그다음으로 Basidiomycota이 27주, Zygomycota문이 2주를 차지하였다. 생물 분류체계로 보면, Ascomycota은 5강(classes), 7목(orders), 17과(families),

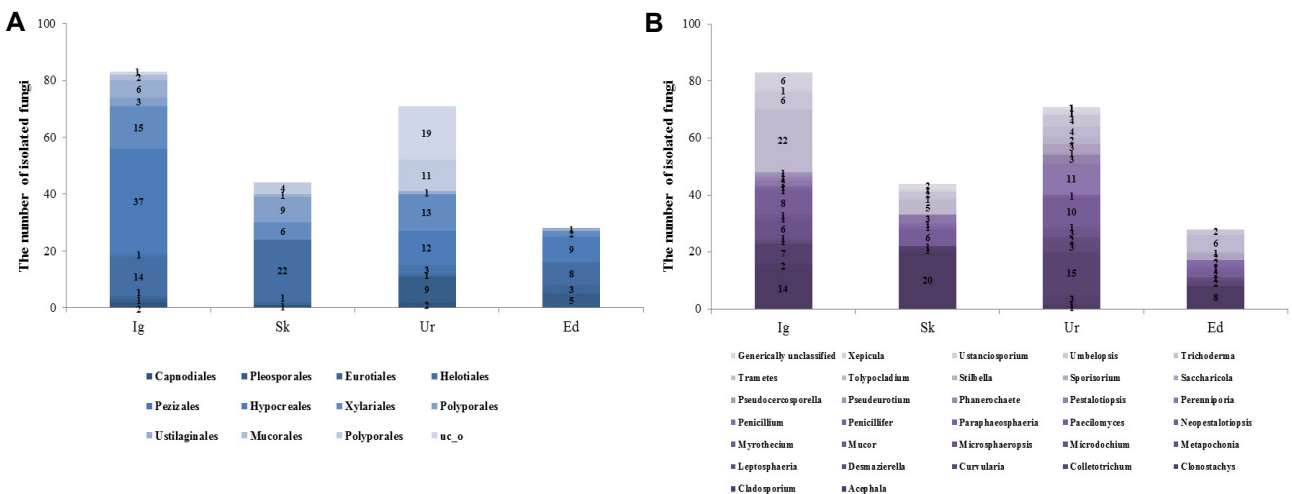


Fig. 1. Distribution of fungal isolates in different plant samples at the order (A) and genus (B) levels. Ig, *Isachne globosa* (Thunb.) Kuntze.; Sk, *Scirpus karuisawensis* Makino.; Ur *Utricularia racemosa* Wall.; Ed, *Eriocaulon decemflorum* Maxim.

Table 3. Partial identification of the 226 fungal isolates using the internal transcribed spacer sequence analysis

Fungal isolates	Closest relative based on sequence homology	Similarity (%)	Genbank accession No.
MJ-11g-1-1-2	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX108999
MJ-11g-1-1-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109000
MJ-11g-1-1-4	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109001
MJ-11g-1-2-1	<i>Trichoderma koningiopsis</i> (LN881563)	100	KX109002
MJ-11g-1-2-2	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109003
MJ-11g-1-3-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109004
MJ-11g-1-3-3	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109005
MJ-11g-1-3-4	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109006
MJ-11g-1-4-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109007
MJ-11g-1-4-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109008
MJ-11g-1-4-4	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109009
MJ-11g-1-5-2	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KT759671)	99	KX109010
MJ-11g-1-5-3	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109011
MJ-11g-1-5-4	<i>Microsphaeropsis arundinis</i> (JQ388916)	96	KX109012
MJ-11g-1-5-5	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109013
MJ-11g-1-6-1	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109014
MJ-11g-1-6-2	<i>Trichoderma sinuosum</i> (NR_131318)	99	KX109015
MJ-11g-1-6-3	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109016
MJ-11g-1-8-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109017
MJ-11g-1-8-3	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109018
MJ-11g-1-8-4	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109019
MJ-11g-1-8-5	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KT759671)	99	KX109020
MJ-11g-1-9-1	<i>Pseudeurotium bakeri</i> (KP794190)	99	KX109021
MJ-11g-1-9-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109022
MJ-11g-1-10-1	<i>Chaunopycnis</i> (KJ155785)	99	KX109023
MJ-11g-1-10-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109024
MJ-11g-1-10-3	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109025
MJ-11g-2-1-1	<i>Desmazierella acicola</i> (LN589969)	99	KX109026
MJ-11g-2-1-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109027
MJ-11g-2-1-3-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109028
MJ-11g-2-2-1	<i>Pestalotiopsis clavispota</i> (JQ008944)	100	KX109029
MJ-11g-2-2-2	<i>Trichoderma virens</i> (KR296867)	100	KX109030
MJ-11g-2-3-1	<i>Cladosporium australiense</i> (KP701978)	100	KX109031
MJ-11g-2-3-2	<i>Pestalotiopsis</i> sp. (KP276525)	100	KX109032
MJ-11g-2-4-2	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109033
MJ-11g-2-4-3	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP900312)	100	KX109034
MJ-11g-2-4-4	<i>Chaunopycnis</i> sp. (JN198447)	99	KX109035
MJ-11g-2-4-5	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KT759671)	99	KX109036
MJ-11g-2-5-1	<i>Microdochium</i> sp. (KM265493)	98	KX109037
MJ-11g-2-5-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	100	KX109038
MJ-11g-2-5-3	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	99	KX109039
MJ-11g-2-5-4	<i>Trichoderma koningiopsis</i> (KP316423)	100	KX109040
MJ-11g-2-6-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109041
MJ-11g-2-6-3	<i>Microdochium</i> sp. (KM507772)	96	KX109042
MJ-11g-2-6-4	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109043
MJ-11g-2-7-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109044
MJ-11g-2-7-3	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	99	KX109045
MJ-11g-2-8-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109046
MJ-11g-2-8-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP050593)	99	KX109047
MJ-11g-2-8-3	<i>Microdochium</i> sp. (KM507772)	96	KX109048
MJ-11g-2-8-5	<i>Mucor</i> sp. (AB638465)	100	KX109049
MJ-11g-2-8-6	<i>Pochonia bulbillosa</i> (AB709836)	100	KX109050
MJ-11g-2-9-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109051
MJ-11g-2-9-2	<i>Microdochium</i> sp. (KM507772)	96	KX109052
MJ-11g-2-9-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109053
MJ-11g-2-10-1	<i>Clonostachys divergens</i> (AF210677)	99	KX109054
MJ-11g-2-10-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109055

Table 3. Continued

Fungal isolates	Closest relative based on sequence homology	Similarity (%)	Genbank accession No.
MJ-11g-2-10-3	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109056
MJ-11g-2-10-4	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109057
MJ-11g-3-1-1	<i>Pestalotiopsis clavispota</i> (JF327826)	100	KX109058
MJ-11g-3-1-2	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109059
MJ-11g-3-1-3	<i>Microdochium</i> sp. (KM507772)	96	KX109060
MJ-11g-3-2-2	<i>Trichoderma</i> sp. (LC077715)	100	KX109061
MJ-11g-3-3-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109062
MJ-11g-3-3-3	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KT759671)	99	KX109063
MJ-11g-3-4-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109064
MJ-11g-3-4-3	<i>Microdochium</i> sp. (AF455402)	98	KX109065
MJ-11g-3-4-4	<i>Penicillifer diparietisporus</i> (KM231741)	100	KX109066
MJ-11g-3-4-5	<i>Clonostachys divergens</i> (AF210677)	100	KX109067
MJ-11g-3-5-1	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KC806296)	99	KX109068
MJ-11g-3-5-2	<i>Unbelopsis angularis</i> (JN206380)	99	KX109069
MJ-11g-3-5-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109070
MJ-11g-3-7-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109071
MJ-11g-3-7-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109072
MJ-11g-3-7-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109073
MJ-11g-3-7-4	<i>Paecilomyces</i> sp. (GU453921)	99	KX109074
MJ-11g-3-8-1	<i>Trichoderma koningiopsis</i> (KR868270)	100	KX109075
MJ-11g-3-8-2	<i>Chaunopycnis alba</i> (JN628073)	100	KX109076
MJ-11g-3-8-3	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109077
MJ-11g-3-8-4	<i>Phanerochaete sordida</i> (KR085973)	100	KX109078
MJ-11g-3-9-4	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109079
MJ-11g-3-10-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KM877471)	100	KX109080
MJ-11g-3-10-4	<i>Cladosporium uredinicola</i> (KT310937)	100	KX109081
MJ-2Sk-1-1-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109082
MJ-2Sk-1-1-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109083
MJ-2Sk-1-2-1	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109084
MJ-2Sk-1-2-2	<i>Acephala</i> sp. (HQ889709)	99	KX109085
MJ-2Sk-1-3-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109086
MJ-2Sk-1-3-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109087
MJ-2Sk-1-3-3	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KT759671)	99	KX109088
MJ-2Sk-1-4-1	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109089
MJ-2Sk-1-4-3	<i>Cladosporium</i> sp. (KM977776)	100	KX109090
MJ-2Sk-1-5-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109091
MJ-2Sk-1-5-2	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109092
MJ-2Sk-1-6-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109093
MJ-2Sk-1-6-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109094
MJ-2Sk-1-7-1	<i>Pestalotiopsis clavispota</i> (JQ008944)	100	KX109095
MJ-2Sk-1-7-2	<i>Trichoderma</i> sp. (KP230820)	99	KX109096
MJ-2Sk-1-7-3	<i>Acephala</i> sp. (HQ889709)	99	KX109097
MJ-2Sk-1-8-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109098
MJ-2Sk-1-8-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109099
MJ-2Sk-1-10-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109100
MJ-2Sk-2-2-1	<i>Penicillium chermesinum</i> (KM405640)	100	KX109101
MJ-2Sk-2-2-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109102
MJ-2Sk-2-3-1	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109103
MJ-2Sk-2-4-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109104
MJ-2Sk-2-5-1	<i>Penicillifer diparietisporus</i> (KM231741)	100	KX109105
MJ-2Sk-2-5-4	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109106
MJ-2Sk-2-6-2-1	<i>Trametes versicolor</i> (JF502429)	99	KX109107
MJ-2Sk-2-7-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109108
MJ-2Sk-2-9-3	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109109
MJ-2Sk-2-10-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	98	KX109110
MJ-2Sk-3-1-1	<i>Neopestalotiopsis clavispota</i> (KT366733)	100	KX109111
MJ-2Sk-3-1-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109112

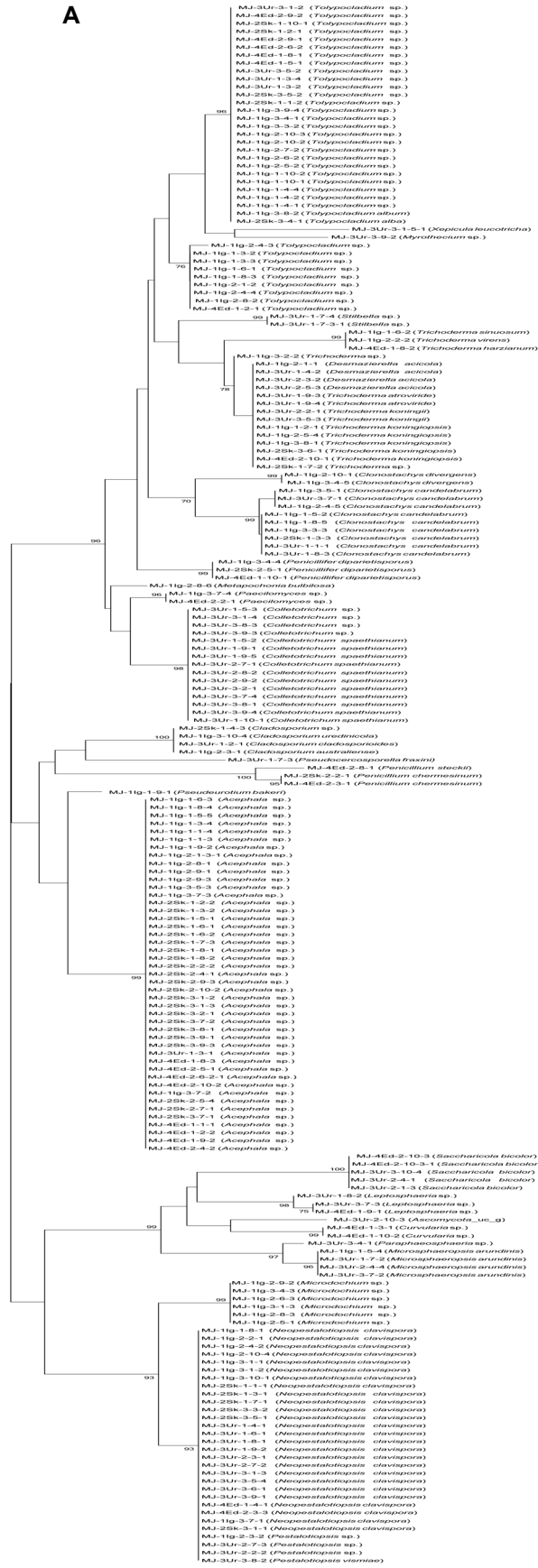
Table 3. Continued

Fungal isolates	Closest relative based on sequence homology	Similarity (%)	Genbank accession No.
MJ-2Sk-3-1-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109112
MJ-2Sk-3-1-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109113
MJ-2Sk-3-2-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109114
MJ-2Sk-3-3-2	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109115
MJ-2Sk-3-4-1	<i>Chaunopycnis alba</i> (JN628073)	100	KX109116
MJ-2Sk-3-5-1	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109117
MJ-2Sk-3-5-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109118
MJ-2Sk-3-6-1	<i>Trichoderma koningiopsis</i> (KP316423)	100	KX109119
MJ-2Sk-3-7-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109120
MJ-2Sk-3-7-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109121
MJ-2Sk-3-8-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109122
MJ-2Sk-3-8-2	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109123
MJ-2Sk-3-9-1	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	98	KX109124
MJ-2Sk-3-9-3	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109125
MJ-3Ur-1-1-1	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KC806296)	99	KX109126
MJ-3Ur-1-2-1	<i>Cladosporium cladosporioides</i> (JX406506)	100	KX109127
MJ-3Ur-1-3-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655569)	99	KX109128
MJ-3Ur-1-3-2	<i>Chaunopycnis</i> sp. (KJ155785)	99	KX109129
MJ-3Ur-1-3-3	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109130
MJ-3Ur-1-3-4	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109131
MJ-3Ur-1-4-1	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109132
MJ-3Ur-1-4-2	<i>Desmazierella acicola</i> (LN589969)	100	KX109133
MJ-3Ur-1-5-2	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122846)	100	KX109134
MJ-3Ur-1-5-3	<i>Colletotrichum</i> sp. (KF994777)	100	KX109135
MJ-3Ur-1-5-5	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109136
MJ-3Ur-1-6-1	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109137
MJ-3Ur-1-7-1	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109138
MJ-3Ur-1-7-2	<i>Microsphaeropsis arundinis</i> (JQ388916)	97	KX109139
MJ-3Ur-1-7-3	<i>Pseudocercospora fraxini</i> (KF990143)	100	KX109140
MJ-3Ur-1-7-3-1	<i>Stilbella</i> sp. (KP216904)	100	KX109141
MJ-3Ur-1-7-4	<i>Stilbella</i> sp. (KP216904)	100	KX109142
MJ-3Ur-1-8-1	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109143
MJ-3Ur-1-8-2	<i>Leptosphaeria</i> sp. (AB693792)	98	KX109144
MJ-3Ur-1-8-3	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KC806296)	99	KX109145
MJ-3Ur-1-9-1	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122846)	99	KX109146
MJ-3Ur-1-9-2	<i>Pestalotiopsis clavispورا</i> (GU595048)	99	KX109147
MJ-3Ur-1-9-3	<i>Trichoderma atroviride</i> (KR995107)	99	KX109148
MJ-3Ur-1-9-4	<i>Trichoderma atroviride</i> (KR995107)	99	KX109149
MJ-3Ur-1-9-5	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122846)	100	KX109150
MJ-3Ur-1-10-1	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109151
MJ-3Ur-1-10-2	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109152
MJ-3Ur-2-1-2	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109153
MJ-3Ur-2-1-3	<i>Saccharicola bicolor</i> (KP276515)	99	KX109154
MJ-3Ur-2-2-1	<i>Hypocrea koningii</i> (HQ637343)	100	KX109155
MJ-3Ur-2-2-2	<i>Pestalotiopsis</i> sp. (KP276525)	100	KX109156
MJ-3Ur-2-3-1	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109157
MJ-3Ur-2-3-2	<i>Desmazierella acicola</i> (LN589969)	99	KX109158
MJ-3Ur-2-4-1	<i>Saccharicola bicolor</i> (KP276515)	99	KX109159
MJ-3Ur-2-4-4	<i>Microsphaeropsis arundinis</i> (JQ388916)	97	KX109160
MJ-3Ur-2-5-3	<i>Desmazierella acicola</i> (LN589969)	100	KX109161
MJ-3Ur-2-6-1	<i>Ustanciosporium gigantosporum</i> (JN367300)	99	KX109162
MJ-3Ur-2-6-2	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109163
MJ-3Ur-2-7-1	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109164
MJ-3Ur-2-7-2	<i>Neopestalotiopsis clavispورا</i> (KT366733)	100	KX109165
MJ-3Ur-2-7-3	<i>Pestalotiopsis</i> sp. (KP276525)	100	KX109166
MJ-3Ur-2-8-2	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122846)	99	KX109167
MJ-3Ur-2-8-3	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109168

Table 3. Continued

Fungal isolates	Closest relative based on sequence homology	Similarity (%)	Genbank accession No.
MJ-3Ur-2-9-2	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109169
MJ-3Ur-2-10-3	<i>Ascomycota</i> sp. (KC916672)	99	KX109170
MJ-3Ur-2-10-4	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109171
MJ-3Ur-3-1-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109172
MJ-3Ur-3-1-3	<i>Neopestalotiopsis clavispora</i> (KT366733)	100	KX109173
MJ-3Ur-3-1-4	<i>Colletotrichum</i> sp. (KF994777)	100	KX109174
MJ-3Ur-3-1-5-1	<i>Myrothecium leucotrichum</i> (AJ301992)	99	KX109175
MJ-3Ur-3-2-1	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109176
MJ-3Ur-3-4-1	<i>Paraphaeosphaeria</i> sp. (HQ630993)	100	KX109177
MJ-3Ur-3-5-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109178
MJ-3Ur-3-5-3	<i>Hypocrea koningii</i> (JN002174)	99	KX109179
MJ-3Ur-3-5-4	<i>Neopestalotiopsis clavispora</i> (KT366733)	100	KX109180
MJ-3Ur-3-6-1	<i>Neopestalotiopsis clavispora</i> (KT366733)	100	KX109181
MJ-3Ur-3-6-2	<i>Perenniporia medulla-panis</i> (FJ627262)	98	KX109182
MJ-3Ur-3-7-1	<i>Clonostachys candelabrum</i> (KC806296)	99	KX109183
MJ-3Ur-3-7-2	<i>Microsphaeropsis arundinis</i> (JQ388916)	96	KX109184
MJ-3Ur-3-7-3	<i>Leptosphaeria</i> sp. (JX076952)	100	KX109185
MJ-3Ur-3-7-4	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109186
MJ-3Ur-3-8-1	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109187
MJ-3Ur-3-8-2	<i>Pestalotiopsis vismiae</i> (JX305712)	100	KX109188
MJ-3Ur-3-8-3	<i>Colletotrichum</i> sp. (KF994777)	100	KX109189
MJ-3Ur-3-9-1	<i>Neopestalotiopsis clavispora</i> (KM877471)	100	KX109190
MJ-3Ur-3-9-2	<i>Myrothecium</i> sp. (JF819155)	99	KX109191
MJ-3Ur-3-9-3	<i>Colletotrichum</i> sp. (KF994777)	100	KX109192
MJ-3Ur-3-9-4	<i>Colletotrichum spaethianum</i> (KT122847)	100	KX109193
MJ-3Ur-3-10-3	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	99	KX109194
MJ-3Ur-3-10-4	<i>Saccharicola bicolor</i> (KP276515)	99	KX109195
MJ-3Ur-3-10-5	<i>Perenniporia</i> sp. (JQ348934)	98	KX109196
MJ-4Ed-1-1-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109197
MJ-4Ed-1-2-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP050593)	99	KX109198
MJ-4Ed-1-2-2	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109199
MJ-4Ed-1-3-1	<i>Curvularia</i> sp. (HM371207)	99	KX109200
MJ-4Ed-1-4-1	<i>Neopestalotiopsis clavispora</i> (KT366733)	100	KX109201
MJ-4Ed-1-5-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109202
MJ-4Ed-1-8-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109203
MJ-4Ed-1-8-2	<i>Trichoderma harzianum</i> (KJ174171)	100	KX109204
MJ-4Ed-1-8-3	<i>Acephala</i> sp. (HQ889709)	99	KX109205
MJ-4Ed-1-9-1	<i>Leptosphaeria</i> sp. (JX076952)	100	KX109206
MJ-4Ed-1-9-2	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109207
MJ-4Ed-1-10-1	<i>Penicillifer diparietisporus</i> (KM231741)	100	KX109208
MJ-4Ed-1-10-2	<i>Curvularia</i> sp. (HM371207)	99	KX109209
MJ-4Ed-2-2-1	<i>Paecilomyces</i> sp. (GU453921)	99	KX109210
MJ-4Ed-2-3-1	<i>Penicillium chermesinum</i> (KM278060)	100	KX109211
MJ-4Ed-2-3-3	<i>Pestalotiopsis clavispora</i> (JQ008944)	100	KX109212
MJ-4Ed-2-4-2	<i>Acephala</i> sp. (HG530746)	99	KX109213
MJ-4Ed-2-5-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109214
MJ-4Ed-2-6-1	<i>Sporisorium</i> sp. (JQ993391)	100	KX109215
MJ-4Ed-2-6-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109216
MJ-4Ed-2-6-2-1	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109217
MJ-4Ed-2-8-1	<i>Penicillium steckii</i> (KT833603)	99	KX109218
MJ-4Ed-2-9-1	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109219
MJ-4Ed-2-9-2	<i>Tolyposcladium</i> sp. (KP216881)	99	KX109220
MJ-4Ed-2-10-1	<i>Trichoderma koningiopsis</i> (KM079609)	100	KX109221
MJ-4Ed-2-10-2	<i>Acephala</i> sp. (JN655565)	99	KX109222
MJ-4Ed-2-10-3	<i>Saccharicola bicolor</i> (KP276515)	99	KX109223
MJ-4Ed-2-10-3-1	<i>Saccharicola bicolor</i> (KP276515)	99	KX109224

A



B

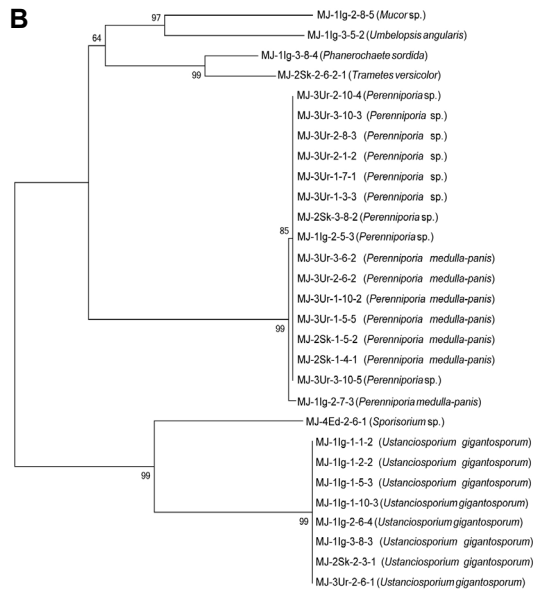


Fig. 2. Phylogenetic analysis of endophytic fungal strains isolated from the Mujечи-neup in wild plants. The genus of at the phylum level; Ascomycota (A), Basidiomycota, Zygomycota (B).



Table 4. Diversity of fungal isolates from wild plants of Mujechi

Plant code	Fungal isolates	Taxon of fungal strains
Ig	83	19 genera
Sk	44	11 genera
Ur	71	19 genera, 1 unclassified (genus)
Ed	28	11 genera

Ig, *Isachne globosa* (Thunb.) Kuntze.; Sk, *Scirpus karuisawensis* Makino.; Ur *Utricularia racemosa* Wall.; Ed, *Eriocaulon decemflorum* Maxim.

24속(genera), Basidiomycota은 2강, 2목, 3과, 5속, Zygomycota은 1목, 2과, 2속으로 분류할 수 있다. 이 중 Zygomycota은 Ig에서만 분리되어졌다. 채집한 식물군에서 분리한 내생진균은 *Acephala*속이 19.9%로 가장 많이 차지하였고, 그 다음은 *Tolypocladium* 16.4%, *Neopestalotiopsis* 11.5%, and *Perenniporia* 7.1% 순으로 나타났다.

*Acephala*속은 식물 Sk에서 48.9%로 가장 많이 우점하는 것으로 나타났으며, 또 다른 식물종인 Ig에서 31.1%, Ed에서 17.8% 순으로 나타났다. *Tolypocladium*속은 식물 Ig에서 59.5%, Ed에서 16.2%, 그리고 Sk에서 13.5%를 차지하였다. *Neopestalotiopsis*속은 Ur에서 38.5%, Ig에서 30.8%, Sk에서 23.1%를 차지하였다.

본 연구는 무제치늪에 자생하고 있는 4종의 식물로부터 32속에 해당하는 내생진균류를 분리 및 동정하였다. *Acephala*속은 이 연구에서 가장 중요한 우점종이다. Smolander의 연구 결과에 의하면, 소나무와 가문비나무 뿌리에서 *Acephala*속이 가장 많이 분리되어진 것으로 보고되었다[29]. 일반적으로 소나무는 낮은 pH와 풍부한 유기물 토양에서 잘 자라는 것으로 보고되어, 이와 같은 특징은 무제치늪의 토양과 유사한 것으로 나타났다[3, 11, 29].

2번째로 많이 분리된 *Tolypocladium*속은 식물 Ig에서 22균주가 분리되었으며, Sk에 5균주, Ur에서 4균주, Ed에서 6균주가 분리되었다. 이 속은 곤충병원성균으로 알려져 있으며, 몇몇 연구에서는 식물에 부정적인 영향을 주는 틱(ticks)과 모기를 죽이는 살충효과가 있는것으로 알려져 있다[26, 38].

*Neopestalotiopsis*속은 1종(*clavispora*)만 분리되었으며, 식물 Ig에서 8균주, Sk에서 6균주, Ur에서 10균주, Ed에서 2균주가 분리되었다. 이 균주는 딸기 뿌리 썩음병을 유발하는 것으로 알려져 있다[5].

*Perenniporia*속은 식물 Ig에서 2균주, Sk에서 3균주, Ur에서 11균주가 분리되었지만, Ed에서는 분리되지 않았다. 그 중, *Perenniporia medulla-panis* 균주는 흰구멍버섯으로 과일나무 식물병원균으로 알려져있다[8].

*Colletotrichum*속은 식물 Ur에서만 분리되었다. *Colletotrichum spaethianum* 균주는 탄저병을 유발하며, 한국의 옥잠화라는 꽃에서 처음 발견이 되었다[6, 27].

*Trichoderma*속은 식물 Ig에서 6균주, Ur에서 4균주, Sk와 Ed에서 각각 2균주가 분리되었다. 이 속은 식물이 겪는 질병이나 가뭄 등의 스트레스를 견딜 수 있게 도와주는 생물학적 제제로 개발하고 있다[4, 14]. 그 중 *Trichoderma koningiopsis* 균주의 Th003이 식물 병충해 방제를 유도하는 것으로 알려졌다. 이 식물방제는 식물보다는 병원체에 영향을 주는 경우가 많다고 한다[23, 34].

*Clonostachys*속은 식물 Ig에서 7균주, Sk에서 1균주, Ur에서 3균주가 분리되었지만, Ed에서는 분리되지 않았다. 이 속에서 많이 나온 *Clonostachys candelabrum*균주에서 추출한 five diastereomeric polyketide glycosides, roselipins A3-3E로 구충제 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

### 내생진균류의 다양성지수 분석

무제치늪의 식물 뿌리로부터 분리한 내생진균류의 다양성(diversity)과 종 풍부도(species richness)를 분석하였다. Shannon diversity index에 적용하여 습지식물에 따른 각 내생진균의 다양성 지수는 Ig(2.37), Sk(1.71), Ur(2.57), Ed(2.11)으로 확인되었다. 종 풍부도를 나타내는 Margalef's index를 적용한 다양성 지수는 Ig(4.07), Sk(2.64), Ur(4.46), Ed(3.00)으로 확인되었다. Menhinick's index를 적용한 다양성 지수도 Ig(2.09), Sk(1.66), Ur(2.37), Ed(2.08)으로 확인되었다. 종 균등도를 나타내는 Simpson's index of diversity를 적용한 다양성 지수는 Ig(0.88), Sk(0.73), Ur(0.91), Ed(0.87)으로 확인되었다(Table 5). 위의 결과를 볼 때, 식물 Ur이 다른 식물 종에 비해 종 풍부도, 종 균등도, 다양성에서 높게 나타난 반면에 식물 Sk에서는 낮게 나타났다. 이처럼, 다양성지수를 이용한 분석을 통해서 본 결과 식물 Ur에서 내생진균이 가장 다양하게 살 수 있는 것으로 사료된다. 그러나 식물 Sk를 제외한 3종의 식물에서 내생진균의 특정 속이 우점하고 있지 않았기 때문에 변동성을 가지는 것으로 간주된다. 식물 Sk에서 분리한 내생진균은 *Acephala*속이 우점하고 있으며, 그외 나머지 균들도 고르게 분포하지 않고, 다양성 지수도 낮기 때문에 제외한다.

요약하면, 무제치늪에서 채집한 식물 기장대풀(Ig), 솔방울고랭이(Sk), 이삭귀개(Ur), 그리고 좁개수염(Ed)의 뿌리로부터 내생진균 226균주를 분리 및 동정하였다. 분리된 진균류는 ITS1과 ITS4를 포함하는 ITS영역의 서열에 의해 분석되었다. 균류들 간의 계통분석을 수행하였다. 그 결과, 자낭균문(Ascomycota)에서 24속, 담자균문(Basidiomycota)에서 5속, 접합균문(Zygomycota)에서 2속을 확인 할 수 있었다. 그리고 *Acephala* (19.9%) 속이 가장 우점종인것을 확인하였다. 내생진균이 많이 분리된 식물은 기장대풀(Ig)이지만, 균류의 다양성지수 분석에 있어서 식물 이삭귀개(Ur)가 다른 식물 종에 비해 종 풍부도, 종 균등도, 다양성에서 높은 수치를 보였다.

본 연구는 무제치늪에서 자생하는 습지 식물의 뿌리로부터 내생진균류의 분포 및 다양성을 확인 하였고, 이는 습지 생태

Table 5. Fungal diversity analysis using 5 diversity indices at the genus level

Fungal taxon	Ig	Sk	Ur	Ed
<i>Ascomycota_uc_g</i>			1	
<i>Xepicula</i>			1	
<i>Pseudeurotium</i>	1			
<i>Cladosporium</i>	2	1	1	
<i>Pseudocercospora</i>			1	
<i>Leptosphaeria</i>			2	1
<i>Saccharicola</i>			3	2
<i>Microsphaeropsis</i>	1		3	
<i>Paraphaeosphaeria</i>			1	
<i>Curvularia</i>				2
<i>Paecilomyces</i>	1			1
<i>Penicillium</i>		1		2
<i>Acephala</i>	14	22	1	8
<i>Desmazierella</i>	1		3	
<i>Clonostachys</i>	7	1	3	
<i>Metapochonia</i>	1			
<i>Trichoderma</i>	6	2	4	2
<i>Myrothecium</i>			1	
<i>Penicillifer</i>	1	1		1
<i>Tolypocladium</i>	22	5	4	6
<i>Colletotrichum</i>			15	
<i>Stilbella</i>			2	
<i>Neopestalotiopsis</i>	8	6	10	2
<i>Pestalotiopsis</i>	1		3	
<i>Microdochium</i>	6			
<i>Perenniporia</i>	2	3	11	
<i>Phanerochaete</i>	1			
<i>Trametes</i>		1		
<i>Ustanciosporium</i>	6	1	1	
<i>Sporisorium</i>				1
<i>Mucor</i>	1			
<i>Umbelopsis</i>	1			
N	83	44	71	28
S	19	11	20	11
Shannon diversity index ( $H'$ )	2.37	1.71	2.57	2.11
Simpson's index of diversity (1-D)	0.88	0.73	0.91	0.87
Menhinick's index ( $D_{mn}$ )	2.09	1.66	2.37	2.08
Margalef's index ( $D_{mg}$ )	4.07	2.64	4.46	3.00

Ig, *Isachne globosa* (Thumb.) Kuntze.; Sk, *Scirpus karuisawensis* Makino.; Ur *Utricularia racemosa* Wall.; Ed, *Eriocaulon decemflorum* Maxim.

계에서 균류자원 및 미생물 다양성연구에 기초자료가 될 것이라 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 '차세대 에코이노베이션 기술개발사업'으로 지원받은 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### References

- Allen, M. F., Swenson, W., Querejeta, J. I., Egerton-Warburton, L. M. and Treseder, K. K. 2003. Ecology of mycorrhizae: A conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. *Annu. Rev. Phytopathol.* **41**, 271-303.
- Ayers, S., Zink, D. L., Mohn, K., Powell, J. S., Brown, C. M., Bills, G., Grund, A., Thompson, D. and Singh, S. B. 2010. Anthelmintic constituents of *Clonostachys candelabrum*. *J. Antibiotics.* **63**, 119-122.
- Bae, J. J., Choo, Y. S. and Song, S. D. 2003. The patterns of inorganic cations, nitrogen and phosphorus of plants in moojechi moor on Mt. Jeongjok. *Soil Biol. Biochem.* **31**, 965-977.
- Brotman, Y., Cuadros-Inostroza, A., Takayuki, T., Fernie, A.R., Chet, I., Viterbo, A. and Willmitzer, L. 2013. *Trichoderma*-plant root colonization: Escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathog.* **9**: e1003221. doi:10.1371/journal.ppat.1003221

- Allen, M. F., Swenson, W., Querejeta, J. I., Egerton-Warburton, L. M. and Treseder, K. K. 2003. Ecology of mycorrhizae: A conceptual framework for complex interactions among

5. Chamorro, M., Aguado, A. and De los Santos, B. 2016. First report of root and crown rot caused by *Pestalotiopsis clavisporea* (*Neopestalotiopsis clavisporea*) on strawberry in Spain. *J. APS.* **100**, 1495.
6. Cheon, W. and Jeon, Y. 2016. First report of anthracnose caused by *Colletotrichum spaethianum* of *Fragrant plantain lily* in Korea. *J. APS.* **7**, 1498.
7. Clay, K. And Holah, J. 1999. Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science* **285**, 10.1126/science.285.5434.1742.
8. Decock, C. 2006b. Studies in *Perenniporia*: *Polyporus unitus*, *Boletus medulla-panis*, the nomenclature of *Perenniporia*, *Poria* and *Physisporus*, and a note on european *Perenniporia* with a resupinate basidiome. *Taxon* **55**, 759-778.
9. Gianinazzi-Pearson, Vivienne. 1996. Plant cell responses to arbuscular mycorrhizal fungi: Getting to the roots of the symbiosis. *Plant Cell.* **8**, 1871-1883.
10. Goettel, M. S. 1988. Pathogenesis of the hyphomycete *Tolyopcladium cylindrosporium* in the mosquito *Aedes aegypti*. *J. Invert. Pathol.* **51**, 259-274.
11. Grünig, C. R. and Sieber, T. N. 2005. Molecular and phenotypic description of the widespread root symbiont *Acephala appplanata* gen. Et sp. Nov., formerly known as dark-septate endophyte Type 1. *Mycologia* **97**, 628-640
12. Hill, M. O. 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology* **54**, 427-432.
13. Hill, T. C., Walsh, K. A., Harris, J. A. and Moffett, B. F. 2003. Using ecological diversity measures with bacterial communities. *FEMS Microbiol. Ecol.* **43**, 1-11.
14. Howell, C. R. 2002. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Phytopathol.* **87**, D-2002-1028-01F.
15. Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Ecology* **113**, 363-75.
16. Khan, S. A., Hamayun, M., Yoon, H. J., Kim, H. Y., Suh, S. J., Hwang, S. K., Kim, J. M. and Kim, J. G. 2008. Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. *BMC Microbiol.* **8**, 231.
17. Khan, S. A., Hamayun, M., Kim, H. Y., Yoon, H. J., Seo, J. C., Choo, Y. S., Lee, I. J., Kim, S. D., Rhee, I. K. S. J. and Kim, J. G. 2009. A new strain of *Arthrinium phaeospermum* isolated from *Carex kobomugi* Ohwi is capable of gibberellin production. *Biotechnol. Lett.* **31**, 283-287.
18. Kil, Y. J., Eo, J. K. and Eom, A. H. 2009. Molecular identification and diversity of endophytic fungi isolated from *Pinus densiflora* in Boeun, Korea. *Kor. J. Mycol.* **37**, 130-133.
19. Kim, H., You, Y. H. Yoon, H., Seo, Y., Kim, Y. E., Choo, Y. S., Lee, I. J., Shin, J. H. and Kim, J. G. 2014. Culturable fungal endophytes isolated from the root of coastal plant inhabiting korean east coast. *Mycobiology* **42**, 100-108.
20. Kim, H. G., Jeong, J. Y. and Koo, B. H. 2010. The identification and vegetation structure of several mountainous wetlands in Dan-yang and around area. *J. Kor. Env. Res. Tech.* **13**, 1-13.
21. Kim, J. W. and Kim, J. H. 2003. Vegetation of moojechi moor in Ulsan: Syntaxonomy and syndynamics. *Kor. J. Ecol.* **26**, 281-287.
22. Lugo, A. E., Brown, S. and Brinson, M. M. 1988. Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. *Limnol. Oceanogr, Inc.* **33**, 894-909.
23. Moreno, C. A., Castillo, F., Gonza'lez, A., Bernal, D., Jaimes, Y., Chaparro, M., Gonza'lez, C., Rodriguez, F., Restrepo, S. and Cotes, A. M. 2009. Biological and molecular characterization of the response of tomato plants treated with *Trichoderma koningiopsis*. *Physol. Plant Pathol.* **74**, 111-120.
24. Park, J. K. and Chang, N. K. 1998. Past vegetation of moojaechi on Mt. Jungjok by pollen analysis. *Kor. J. Ecol.* **21**, 427-433.
25. Park, S. J., An, B. R., Jang, S. Y. and Park, S. J. 2011. Diversity of moojechineup's flora. *Kor. J. Pl. Taxon.* **41**, 376-382.
26. Quilliam, R. S. and Jones, D. 2010. Fungal root endophytes of the carnivorous plant *Drosera rotundifolia*. *Mycorrhiza* **20**, 341-348.
27. Santana, K. F. A., Garcia, C. B., Matos, K. S. and Hanada, R. E. 2016. First report of anthracnose caused by *Colletotrichum spaethianum* on *Allium fistulosum* in Brazil. *J. APS.* **1**, 224.
28. Schreiner, R. P., Mihara, K. L., McDaniel H. and Bethlenfalvay, G. J. 1997. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. *Plant Soil* **188**, 199-209.
29. Smolander, A. and Priha, O. 1999. Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. *Kor. J. Ecol.* **26**, 109-114.
30. Son, H. J., Kim, Y. S., Kim, S. C., Kim, S. C., Lee, H. B. and Park, W. G. 2015. Plants species diversity and flora of wetlands in the forest of Gangwon province. *Kor. J. Plant Res.* **28**, 419-440.
31. Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A. and Kumar, S. 2013. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* **30**, 2725-2729.
32. Van der H., Marcel, G. A., John, N. K., Margot, U., Peter, M., Ruth, S., Thomas, B., Andres, W. and Ian, R. S. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69-72.
33. Vázquez, M. M., César, S., Azcón, R. and Barea, J. M. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Appl. Soil Ecol.* **15**, 261-272.
34. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L. and Lorito, M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil Biol. Biochem.* **40**, 1-10.
35. Yamada, A., Ogura, T., Degawa, Y. and Ohmasa, M. 2001. Isolation of *Tricholoma matsutake* and *T. Bakamatsutake* cultures from field-collected ectomycorrhizas. *Mycoscience* **42**, 43-50.
36. You, Y. H., Yoon, H., Woo, J. R., Seo, Y., Shin, J. H., Choo, Y. S., Lee, I. J. and Kim, J. G. 2011. Plant growth promotion activity of endophytic fungi isolated from the roots of *Calystegia soldanella*. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **39**, 324-329.
37. You, Y. H., Yoon, H., Woo, J. R., Seo, Y., Kim, M., Lee, G.

and Kim, J. G. 2012. Diversity of endophytic fungi from the roots of halophytes growing in go-chang salt marsh. *J. Mycology* **40**, 86-92.

38. Zabalgoitia, I., Oleaga, A. and Pe´rez-Sa´nchez, R. 2008.

Pathogenicity of endophytic entomopathogenic fungi to *Ornithodoros erraticus* and *Ornithodoros moubata* (Acari: Argasidae). *Veterinary Parasitol.* **158**, 336-343.

### 초록 : 무제치늪에 자생하는 식물의 뿌리에서 분리한 내생진균의 군집분석 및 다양성 분석

천우재<sup>1\*</sup> · 최혜림<sup>1\*</sup> · 김 현<sup>1</sup> · 남윤종<sup>1</sup> · 오유선<sup>1</sup> · 정민지<sup>1</sup> · 이난영<sup>1</sup> · 하상철<sup>2</sup> · 김종국<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>경북대학교 생명과학부, <sup>2</sup>대구미래대학교 제과테코레이션학과)

이 논문은 무제치늪에서 채집한 기장대풀(*Isachne globosa* Kuntze), 솔방울고랭이(*Scirpus karuisawensis* Makino), 이삭귀개(*Utricularia racemosa* Wall.), 좁개수염(*Eriocaulon decemflorum* Maxim.) 등 4종의 식물 뿌리에서 서식하는 내생곰팡이의 분포 및 다양성을 확인하기 위해 조사하였다. 총 226 균주가 분리되었고, 3문(Phyla), 7강(Class), 10목(Order), 22과(Family), 31(genera)속으로 분리되었다. 내생진균에서 가장 많이 분리된 속은 *Acephala* (19.9%), *Tolyocladium* (16.3%), *Neopetalotiopsis* (11.5%), *Perenniporia* (7.1%) 순으로 확인하였다. 다양성지수 분석에 있어서, 이삭귀개(Ur)가 다른 식물 중에 비해 종 풍부도 (Menhinick's index = 2.37), (Margalef's index = 4.46)와, 종 균등도 (Simpson's index diversity = 0.91), 그리고 종 다양성 (Shannon's index = 2.57)로 높게 나왔다. 이러한 분석 결과를 봤을 때, 이삭귀개(Ur)에서 내생진균이 가장 다양하게 서식할 수 있는 것으로 보여진다.