

RESEARCH ARTICLE

소나무 침엽에서 분리된 3종의 국내 미기록 내생균

박혁, 엄안흠^{*}

한국교원대학교 생물교육과

Three Unreported Endophytic Fungi Isolated from Conifer Leaves of *Pinus densiflora* in KoreaHyeok Park, Ahn-Heum Eom^{*}

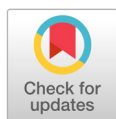
Department of Biology Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea

*Corresponding author: eomah@knue.ac.kr

ABSTRACT

We isolated endophytic fungi from the conifer leaves of *Pinus densiflora* inhabiting Buan-gun, Jeollabuk-do, Korea. We identified the isolated fungal strains based on phylogenetic analysis performed using the nucleotide sequences of the internal transcribed spacer, large subunit, and beta-tubulin. We confirmed the presence of three novel endophytic fungi in Korea, namely *Paracamarosporium hawaiiense*, *Tubakia dryina*, and *Zasmidium fructigenum*. In this report, we described the morphological characteristics of these fungal strains and the results of their phylogenetic analysis.

Keywords : Endophytic fungi, *Paracamarosporium hawaiiense*, *Tubakia dryina*, *Zasmidium fructigenum*



OPEN ACCESS

pISSN : 0253-651X

eISSN : 2383-5249

Kor. J. Mycol. 2019 March, 47(1): 35-42
<https://doi.org/10.4489/KJM.20190005>

Ahn-Heum Eom
<http://orcid.org/0000-0002-6821-1088>

Received: February 26, 2019

Revised: March 11, 2019

Accepted: March 15, 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.

서론

식물과 공생하는 균류인 내생균(endophytic fungi)은 식물체의 조직 내에 감염되지만 병증을 일으키지 않고 살아가는 균류를 지칭한다[1]. 내생균은 식물체 내에서 2차 대사산물을 분비함으로써 숙주 식물이 환경스트레스에 저항성을 가질 수 있게 하며[2], 초식곤충 등 포식자에 대한 화학적인 방어를 제공하기도 한다[3]. 이렇게 분비되는 2차 대사산물 중 *Alternaria*속의 균류에서 분비되는 alternariol [4], *Taxus*속의 식물 잎에 공생하는 내생균이 분비하는 taxol [5] 등 항암 혹은 항균 작용을 하는 물질들이 확인됨으로써 내생균에 대한 연구의 가치는 점차 증가하고 있다. 본 연구에서는 전북 부안의 계화산 소나무 침엽에서 내생균을 분리하였으며, 그 과정에서 확인된 국내 미기록종 3종의 형태적, 분자생물학적 특성에 대해 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시료의 채집은 2016년 4월 전북 부안군에 위치한 계화산 부근(N35°47'18", E126°37'56")에서 진행되었다. 병증이 나타나지 않은 건강한 소나무 침엽을 채취하여 24시간 이내에 실험실로 운반하였으며, 실험실에서 곧바로 표면살균을 진행하였다. 표면살균은 1%의 NaClO 용액에서 1분, 70% EtOH에서 2분을 차례로 진행하였으며, 표면살균된 잎을 적당한 크기로 등분하여 potato dextrose agar (PDA)배지에 치상하였다. 배지를 25°C에서 3일 이상 배양하면서 치상된 식물체에서 균사가 뻗어 나오면 메스를 이용하여 새로운 PDA배지로 계대 배양하였으며, 순수 분리된 균주는 PDA배지와 더불어 malt extract agar (MEA)배지에서 7일간 배양하여 해부현미경 및 광학현미경 상에서 형태적 특성을 관찰하였다(Table 1). 형태적으로 분류된 균주의 동정을 위해 DNeasy plant mini kit (Qiagen, Germantown, MD, USA)의 protocol에 따라 균사에서 DNA를 추출한 뒤, rDNA의 5.8S 지역을 포함하는 internal transcribed spacer (ITS)영역을 균류 특이적인 primer인 ITS1F와 ITS4 [6]를 이용하여 증폭하였으며, 더 정확한 동정을 위하여 rDNA의 large subunit (LSU)영역을 primer LR0R과 LR16 [7]을 이용하여 증폭하였고, beta-tubulin (TUB) 영역을 primer Bt2a와 Bt2b [8]를 이용하여 증폭하였다. PCR반응의 annealing 단계에서 ITS영역은 50°C, LSU영역은 44°C, TUB 영역은 55°C로 설정하였다. PCR이 끝난 DNA는 1.5% agarose gel에 20분간 loading하여 각각 단편의 크기를 확인한 후 염기서열 분석을 의뢰하였다(SolGent, Daejeon, Korea). DNA 염기서열은 미국국립생물정보센터(NCBI)에서 BLAST하여 유사도를 확인하고, MEGA7 프로그램[9]을 이용하여 두 영역 혹은 세 영역의 염기서열을 연쇄시켜 neighbor-joining 방식으로 계통수를 작성하였으며 분석에 이용된 참고 서열들은 Table 2에 나타내었다. 확인된 미기록종 균주는 국립생물자원관(NIBR)에 기탁하였으며, BLAST 결과 및 계통수 작성에 이용된 염기서열은 NCBI의 GenBank에 등록하였다.

Table 1. Morphological characteristics of fungal strains isolated from *Pinus densiflora*.

Strain	<i>P. hawaiiense</i> 16B647	<i>P. hawaiiense</i> [10]	<i>T. dryina</i> 16B554	<i>T. dryina</i> [11]	<i>Z. fructigenum</i> 16B210	<i>Z. fructigenum</i> [12]
Colony	PDA, 25°C, 7 days	PDA, 25°C, 2 weeks	MEA, 25°C, 7 days	MEA, 20°C, 3 weeks	PDA, 25°C, 7 days	PDA, 25°C, 2 weeks
Color	Black in center, margin cream; reverse pale pink to beige	Gray-olivaceous to olivaceous-black, reverse olivaceous-gray	Surface and reverse pale brown or gray in center, margin white	Whitish at first, then olive-gray	Khaki in center, margin reddish-brown; reverse pink or scarlet	Surface and reverse iron gray
Size	15~17 mm in diam.	Reaching 45 mm in diam.	29~34 mm in diam.	Reaching 86 mm in diam.	14~16 mm in diam.	Reaching 40 mm in diam.
Shape	Convexed, margins smooth	Aerial mycelium sparse, margins smooth	Flat, concentric rings undulately, margin irregular	Woolly to floccose, concentric rings cloudy	Flat, margin smooth and irregular	Flat, margin smooth and lobate
Conidia	Ellipsoidal to subcylindrical, 1(~2)-septate, hyaline to pale brown, with obtuse apex, thick-walled, (15.2~17.3) × (3.6~5.3) µm in diam.	Ellipsoidal to subcylindrical, 1(~2)-septate, with obtuse apex, thick-walled, (10~)12~13 × (4~)5(5.5) µm in diam.	1-celled, hyaline, globose to elliptical, (9.0~10.4) × (5.2~8.8) µm in diam.	1-celled, hyaline to light olive-brown, elliptical, (12~15) × (7-8) µm in diam.	0~1 septate, subcylindrical to fusiform, branched chains, apex subobtuse, (8.8~14.9) × (2.4~4.2) µm in diam.	0~1 septate, subcylindrical to narrowly obclavate, branched chains, apex subobtuse, (5~)8~12(15) × 2 µm in diam.

Table 2. List of fungal species used in phylogenetic analysis with the GenBank accession numbers

Species	Strain number	GenBank accession number		
		ITS	LSU	TUB
<i>Paraconiothyrium brasiliense</i>	CBS 587.84	JX496099.1	JX496212.1	
<i>Paraconiothyrium cyclothyrioides</i>	CBS 972.95	JX496119.1	JX496232.1	
<i>Paraconiothyrium estuarinum</i>	CBS 109850	JX496016.1	JX496129.1	
<i>Paraconiothyrium fuckelii</i>	CBS 797.95	JX496113.1	GU237960.1	
<i>Paraconiothyrium fuscomaculans</i>	CBS 116.16	EU754098.1	EU754197.1	
<i>Paraconiothyrium hakeae</i>	CBS 142521	KY979754.1	KY979809.1	
<i>Paracamarosporium hawaiiense</i>	CBS 120025	JX496027.1	JX496140.1	
<i>Paracamarosporium hawaiiense</i>	NRRL:44610	HM751092.1	MH874624.1	
<i>Phaeosphaeria pontiformis</i>	CBS 117487	KF251189.1	KF251692.1	
<i>Phyllosticta spinarum</i>	CBS 938.70	FJ538350.1	KF206291.1	
<i>Tubakia californica</i>	CBS 143670	MG591835.1	MG591928.1	MG592117.1
<i>Tubakia dryina</i>	CBS 129016	MG591870.1	MG591963.1	MG592150.1
<i>Tubakia dryina</i>	CBS 129018	MG591871.1	MG591964.1	MG592151.1
<i>Tubakia iowensis</i>	CBS 129019	MG591883.1	MG591975.1	MG592162.1
<i>Tubakia melnikiana</i>	CPC 32253	MG591891.1	MG591985.1	MG592172.1
<i>Tubakia seoraksanensis</i>	CBS 127490	MG591907.1	KP260499.1	MG592186.1
<i>Tubakia sierrafriensis</i>	CPC 33020	MG591910.1	MG592005.1	MG592191.1
<i>Tubakia suttonia</i>	CBS 639.93	MG591921.1	MG592016.1	MG592202.1
<i>Xylaria hypoxylon</i>	CBS 122620	KY610407.1	KY610495.1	KX271279.1
<i>Zasmidium anthracicola</i>	CBS 118742	FJ839626.1	FJ839662.1	
<i>Zasmidium citri-griseum</i>	ZJUM 103	KP896039.1	KP895909.1	
<i>Zasmidium fructigenum</i>	ZJUM 99	KP896060.1	KP895930.1	
<i>Zasmidium fructigenum</i>	ZJUM 100	KP896061.1	KP895931.1	
<i>Zasmidium lonicericola</i>	CBS 125008	KF251283.1	KF251787.1	
<i>Zasmidium nocoxi</i>	CBS 125009	KF251284.1	KF251788.1	
<i>Zasmidium podocarpi</i>	CBS 142529	KY979766.1	KY979821.1	
<i>Zasmidium pseudoparkii</i>	CBS 111049	DQ303025.1	KF901976.1	
<i>Zasmidium scaevolicola</i>	CBS 127009	KF251285.1	KF251789.1	
<i>Zasmidium xenoparkii</i>	CBS 111185	DQ303028.1	JF700966.1	

ITS, internal transcribed spacer; LSU, large subunit; TUB, beta-tubulin.

결과 및 고찰

Paracamarosporium hawaiiense (Crous) Crous, Sydowia 67: 110 (2015)

PDA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 15~17 mm 정도이며, 균총의 색은 앞면은 밝은 크림색이고 뒷면은 옅은 분홍색 혹은 베이지색을 띤다. 균총의 고도는 살짝 융기되어 있고 가장자리는 불규칙하다(Fig. 1A). MEA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 19~20 mm 정도로 PDA보다 빠른 속도로 성장하며, 형태는 PDA배지에서 자란 균주와 대부분 일치한다(Fig. 1E). 균사 생장의 측면 부위에서 원통형의 분생자경(conidiophore)이 형성되며, 분생자경에서 나온 타원형의 분생자(conidia)는 두꺼운 포자벽을 갖고 있으며 1중 혹은 2중의 격막(septate)으로 나뉜다. 색은 투명한 적갈색 혹은 갈색이고 크기는 $(15.2\sim17.3) \times (3.6\sim5.3) \mu\text{m}$ 정도이다(Fig. 1D, 1H).

Specimen examined: Gyehtasan, Buan-gun, Jeollabuk-do, Korea, N35°47'18.6", E126°37'56.1", April 15, 2016, *Paracamarosporium hawaiiense*, isolated from leaves of *Pinus densiflora*, strain 16B647, NIBRFG0000503370, GenBank No. MK530508.

Notes: *P. hawaiiense*는 2006년 Crous에 의해 보고된 원 기재명인 *Microdiplodia hawaiiensis* [10]에서 2008년 *Coniothyrium*속과 비슷한 특성을 갖는다는 것에 기인한 *Paraconiothyrium hawaiiense*[13]로 수정되었다가 형태적 특성 및 분자적 분석에 의해 다시 2015년 현재의 종명으로 변경되었다[14]. *Paracamarosporium*속에 속하는 종은 투명한 갈색의 타원형 분생자를 갖는 것이 특징이며, 형태적 특성은 *Camarosporium*속과 비슷하나 분자적으로 서로 다른 계통을 형성한다[15]. 멕시코의 주목나무 속 식물인 *Taxus globosa*에서 내생균으로 분리된 기록이 존재하며[16], 가장 최근에 남중국해의 하이난 섬에 서식하는 맹그로브에서 내생균으로 분리된 기록이 존재한다. 특히 중국의 맹그로브에서 분리된 내생균 균주의 추출물은 항산화 작용에 효과가 있는 것으로 보고되어 있다[15]. 본 연구에서는 갈색 타원형의 투명한 분생자가 관찰되었으며, 이것은 원 기재문에 기록된 분생자의 특성과 일치하였다[14]. ITS 영역과 LSU 영역의 DNA 염기서열 분석 결과 ITS 영역은 *P. hawaiiense* JN198395.1과 99%의 일치도를, LSU 영역은 *P. hawaiiense* JX496140.1과 99%의 일치도를 보였으며 모두 같은 계통을 형성하였다(Fig. 2).

***Tubakia dryina* (Sacc.) B. Sutton, Transactions of the British Mycological Society 60 (1): 165 (1973)**

PDA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 29~34 mm 정도이고, 균총의 색은 앞·뒷면 모두 중앙부에서는 옅은 갈색을 띠고 가장자리는 흰색을 띤다. 균총의 고도는 배지에서 살짝 융기된 형태이며, 균총의 가장자리는 둥글거나 불규칙한 형태이다(Fig. 1B). MEA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 31~33 mm 정도이고, 균총의 색은 앞·뒷면 모두 중앙부는 황록색을 띠고 가장자리는 흰색을

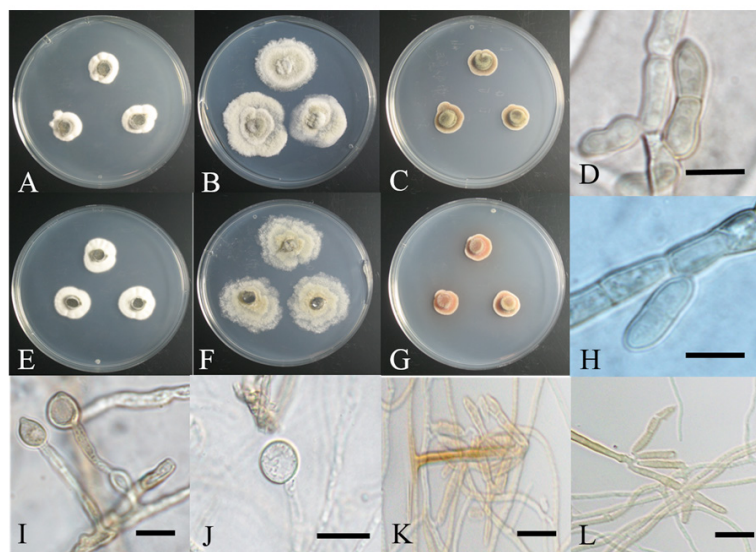


Fig. 1. Colonies of *Paracamarosporium hawaiiense* 16B647 grown for 7 days on potato dextrose agar (A) and malt extract agar (E), conidia (D, H). Colonies of *Tubakia dryina* (16B554) grown for 7 days on PDA (B) and MEA (F), conidiophore and conidia (I, J). Colonies of *Zasmidium fructigenum* (16B210) grown for 7 days on PDA (C) and MEA (G), conidiophore and conidia (K, L). (scale bars=10 μm).

핀다. 균총의 고도는 배지에 납작 붙어있는 형태이며, 중앙부에서 가장자리를 향해 파도 형태를 이루며 균사가 생장해 나간다(Fig. 1F). 분생자는 무색 투명하며, 가장자리가 불규칙한 원형 혹은 타원형이고 크기는 $(9.0\sim10.4) \times (5.2\sim8.8) \mu\text{m}$ 정도이다(Fig. 1I, 1J).

Specimen examined: Gyeohwasan, Buan-gun, Jeollabuk-do, Korea, N35°47'18.6", E126°37'56.1", April 15, 2016, *Tubakia dryina*, isolated from leaves of *Pinus densiflora*, strain 16B554, NIBRFG0000503373, GenBank No. MK530510.

Notes: *T. dryina*는 1973년 B. sutton에 의해 *Leptothyrium dryinum*에서 수정된 종이다[18]. 균사에서 여러 갈래로 분지된 잔고리(collarete)가 형성되고 그로부터 둥근 분생자가 형성되는 것이 특징이며[19], 본 연구에서도 그러한 형태의 분생자 형성을 확인할 수 있었다. 주로 밤나무 혹은 떡갈나무등 참나무과의 잎에서 내생균으로 분리된 기록들이 존재하며[19, 20], isosclerone, 6-hydroxymellein 등의 여러 가지 식물독성 대사산물을 생성하는 것으로 알려져 있으며[21], 특히 isosclerone의 경우 인간 유방암 세포의 증식을 억제하는 효과가 있는 물질로 보고되어 있다[12]. ITS 영역과 LSU 영역, TUB 영역의 DNA 염기서열 분석 결과 ITS 영역은 *T. dryina* KR362909.1과 99%의 일치도를, LSU 영역은 *T. dryina* MH872665.1과 100%의 일치도를 보였고, TUB 영역은 *T. dryina* MG592149.1과 97%의 일치도를 보였으며 모두 같은 계통을 형성하였다(Fig. 3).

***Zasmidium fructigenum* Crous, F. Huang & Hong Y. Li, Mycologia 107 (6): 1165 (2015)**

PDA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 14~16 mm 정도이고, 균총의 색은 앞면은 중앙부에서는 국방색을 띠고 가장자리는 적갈색을 띠며, 뒷면은 전체적으로 진한 분홍색 혹은 선홍색을 띤다. 균총의 고도는 배지에 납작 붙어있는 형태이며 균총의 가장자리는 불규칙하거나 둥근 형태이다(Fig.

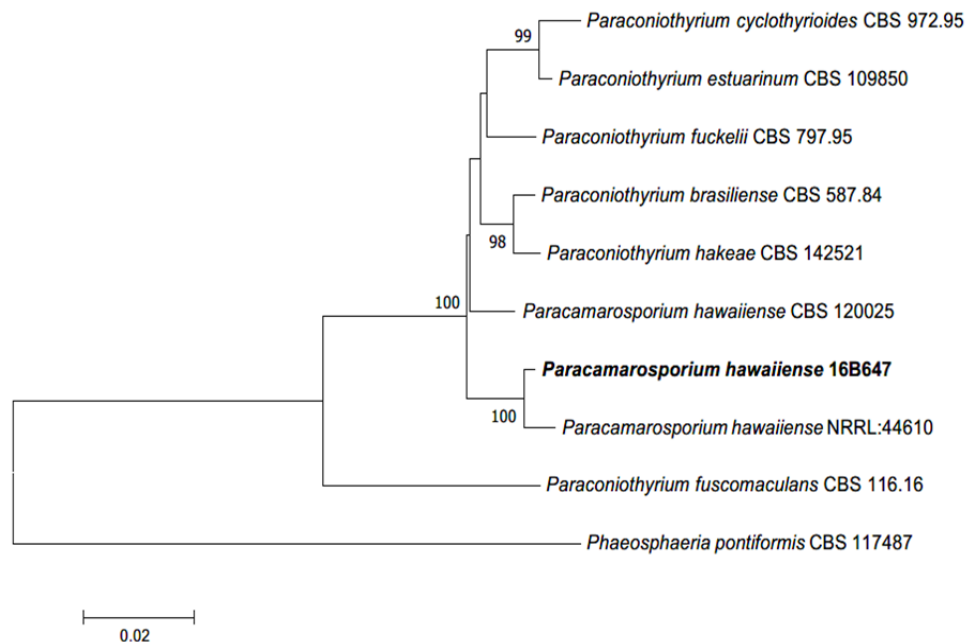


Fig. 2. Neighbor-joining phylogenetic tree based on a concatenated alignment of internal transcribed spacer and large subunit sequences. *Phaeosphaeria pontiformis* was used as an outgroup. Numbers on branches indicate bootstrap values (1,000 replicates). Fungal strain isolated in this study is in bold.

1C). MEA배지에서 7일간 배양된 균총의 크기는 13~15 mm 정도이고, 앞·뒷면 모두 전체적으로 연한 선홍색을 띤다. 균총의 고도는 배지에 납작 붙어있는 형태이며 균총의 가장자리는 둥근 형태이다(Fig. 1G). 균사 생장의 말단 부위에서 방추형의 분생자가 여러 갈래로 분지되어 형성되며, 분생자의 색은 투명한 황갈색 혹은 주황색이고, 분생자의 크기는 $(8.8\sim14.9) \times (2.4\sim4.2) \mu\text{m}$ 정도이다(Fig.

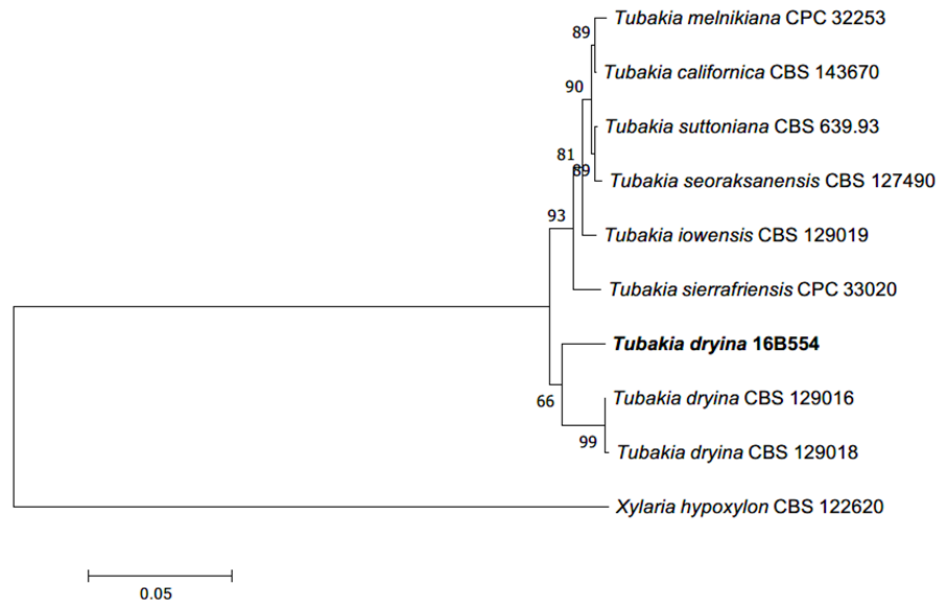


Fig. 3. Neighbor-joining phylogenetic tree based on a concatenated alignment of internal transcribed spacer, large subunit and beta-tubulin sequences. *Xylaria hypoxylon* was used as an outgroup. Numbers on branches indicate bootstrap values (1,000 replicates). Fungal strain isolated in this study is in bold.

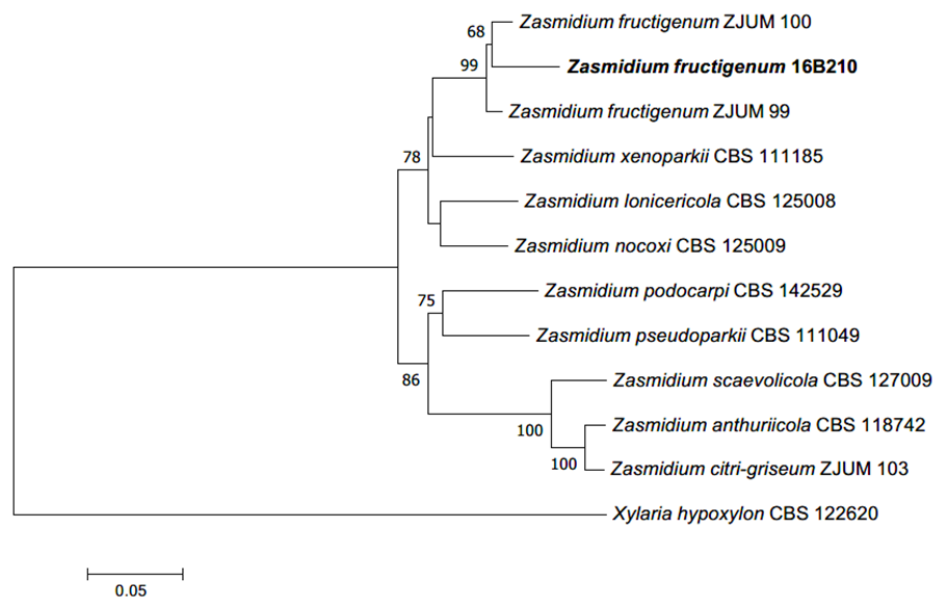


Fig. 4. Neighbor-joining phylogenetic tree based on a concatenated alignment of internal transcribed spacer and large subunit sequences. *Xylaria hypoxylon* was used as an outgroup. Numbers on branches indicate bootstrap values (1,000 replicates). Fungal strain isolated in this study is in bold.

1K, 1L).

Specimen examined: Gyehtwasan, Buan-gun, Jeollabuk-do, Korea, N35°47'18.6", E126°37'56.1", April 15, 2016, *Zasmidium fructigenum*, isolated from leaves of *Pinus densiflora*, strain 16B210, NIBRFG0000503374, GenBank No. MK530511.

Notes: *Z. fructigenum*은 2015년 Crous 등에 의해 보고된 종이며, 과실(fruit)에서 분리된 것에서 종소명이 유래하였다. 중국의 자몽(grapefruit) 열매 병반에서 최초로 분리된 것으로 기록되어 있으나[22], 본 연구에서는 건강한 소나무의 침엽에서 내생균으로 분리되었다. 최근에 파나마의 맹그로브 식물인 *Laguncularia racemose* 잎에서 *Zasmidium*에 속하는 균주가 내생균으로 분리되었으며, 균주에서 추출된 물질이 당뇨병 치료에 이용되는 α -Glucosidase inhibitor로써 작용한다는 연구결과가 존재한다[23]. 연한 갈색의 원통형 분생자가 분지되어 형성되는 것이 특징이며[22], 본 연구에서 확인된 분생자도 같은 형태를 이루는 것을 확인하였다. ITS 영역과 LSU 영역의 DNA 염기서열 분석 결과 ITS 영역은 *Z. fructigenum* KP896060.1과 99%의 일치도를, LSU 영역은 *Z. fructigenum* KP895927.1과 99%의 일치도를 보였으며 모두 같은 계통을 형성하였다(Fig. 4).

적요

본 연구에서는 전북 부안군에 서식하는 소나무의 침엽에서 내생균을 분리하였다. 분리된 균주는 internal transcribed spacer 영역, rDNA의 large subunit 영역, beta-tubulin 영역의 DNA 염기서열을 분석하여 동정하였다. 연구 과정에서 3종의 국내 미기록 내생균 균주를 확인하였으며, 확인된 종은 *Paracamarosporium hawaiiense*, *Tubakia dryina*, *Zasmidium fructigenum*이다. 확인된 미기록 균주의 형태적 특성 및 계통적 분석의 결과에 대해 서술하였다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Project on Survey and Discovery of Indigenous Fungal Species of Korea funded by NIBR of the Ministry of Environment.

REFERENCES

1. Carroll G. Fungal endophytes in stems and leaves: from latent pathogen to mutualistic symbiont. *Ecology* 1988;69:2-9.
2. Bouton J, Gates R, Belesky D, Owsley M. Yield and persistence of tall fescue in the southeastern coastal plain after removal of its endophyte. *Agron J* 1993;85:52-5.
3. Rowan DD, Latch GCM. Utilization of endophyte-infected perennial ryegrasses for increased insect resistance. In: Bacon CW, White Jr, editors. *Biotechnology of endophytic fungi of grasses*. Boca Raton, Fla: CRC; 1994. p.169-83.
4. Koch K, Podlech J, Pfeiffer E, Metzler M. Total synthesis of alternariol. *J Org Chem* 2005;70:3275-6.
5. Strobel G, Yang X, Sears J, Kramer R, Sidhu RS, Hess W. Taxol from *Pestalotiopsis microspora*, an endophytic fungus of *Taxus wallachiana*. *Microbiology* 1996;142:435-40.
6. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis N, Gelfand D, Sninsky J, White T, editors. *PCR protocols: a guide to methods and applications*. New York: Academic Press, Inc; 1990. p315-

- 22.
7. Moncalvo JM, Lutzoni FM, Rehner SA, Johnson J, Vilgalys R. Phylogenetic relationships of agaric fungi based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences. *Syst Biol* 2000;49:278-305.
8. Glass NL, Donaldson GC. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *Appl Environ Microbiol* 1995;61:1323-30.
9. Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Mol Biol Evol* 2016;33:1870-4.
10. Crous P, Groenewald J. *Microdiplodia hawaiiensis*. Fungal Planet, no. 7. Utrecht, The Netherlands: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre; 2006.
11. Kowalski T. *Tubakia dryina*, symptoms and pathogenicity to *Quercus robur*. *Acta Mycol* 2006;41:299-304.
12. Li YX, Himaya S, Dewapriya P, Kim HJ, Kim SK. Anti-proliferative effects of isosclerone isolated from marine fungus *Aspergillus fumigatus* in MCF-7 human breast cancer cells. *Process Biochem* 2014;49:2292-8.
13. Damm U, Verkley G, Crous P, Fourie P, Haegi A, Riccioni L. Novel *Paraconiothyrium* species on stone fruit trees and other woody hosts. *Persoonia* 2008;20:9.
14. Crous PW, Schumacher RK, Wingfield MJ, Lombard L, Giraldo A, Christensen M, Gardiennet A, Nakashima C, Pereira OL, Smith AJ, Groenewald JZ. Fungal systematics and evolution: FUSE 1. *Sydowia* 2015; 67:81-118.
15. Wijayawardene NN, Hyde KD, Bhat DJ, Camporesi E, Schumacher RK, Chethana KWT, Wikee S, Bahkali AH, Wang Y. Camarosporium-like species are polyphyletic in *Pleosporales*; introducing *Paracamarosporium* and *Pseudocamarosporium* gen. nov. in *Montagnulaceae*. *Cryptogam Mycol* 2014;35:177-98.
16. Soca-Chafre G, Rivera-Orduña FN, Hidalgo-Lara ME, Hernandez-Rodriguez C, Marsch R, Flores-Cotera LB. Molecular phylogeny and paclitaxel screening of fungal endophytes from *Taxus globosa*. *Fungal Biol* 2011;115:143-56.
17. Zhou J, Diao X, Wang T, Chen G, Lin Q, Yang X, Xu J. Phylogenetic diversity and antioxidant activities of culturable fungal endophytes associated with the mangrove species *Rhizophora stylosa* and *R. mucronata* in the South China Sea. *PloS One* 2018;13:e0197359.
18. Sutton BC. *Tubakia* nom. nov. *Trans Br Mycol Soc* 1973; 60:164-5.
19. Jones J, Holcomb G. Conidium ontogeny and cytology of *Tubakia dryina* from Louisiana hardwoods. *Mycologia* 1978;70:1212-6.
20. Gennaro M, Gonthier P, Nicolotti G. Fungal endophytic communities in healthy and declining *Quercus robur* L. and *Q. cerris* L. trees in northern Italy. *J Phytopathol* 2003;151:529-34.
21. Venkatasubbaiah P, Chilton W. Phytotoxins produced by *Tubakia dryina*. *Mycopathologia* 1992;120:33-7.
22. Huang F, Groenewald J, Zhu L, Crous PW, Li H. Cercosporoid diseases of Citrus. *Mycologia* 2015;107:1151-71.
23. López D, Cherigo L, Mejia LC, Loza-Mejía MA, Martínez-Luis S. α -Glucosidase inhibitors from a mangrove associated fungus, *Zasmidium* sp. strain EM5-10. *BMC Chem* 2019;13:22.