

태안반도에 자생하는 해안식물 뿌리에서 분리한 내생진균의 다양성 분석

유영현^{1,2†} · 윤남경^{1†} · 윤혁준¹ · 김현¹ · 임성환³ · 추연식³ · 김종국^{1*}

¹경북대학교 생명과학부, ²국립농업과학원 농업미생물과, ³경북대학교 생물학과

Diversity Analysis of Endophytic Fungi Isolated from the Roots of Coastal Plants in Taean Peninsula

Young-Hyun You^{1,2†}, Nam-Gyeong Yoon^{1†}, Hyeokjun Yoon¹, Hyun Kim¹, Sung Hwan Lim³, Yeon-Sik Choo³ and Jong-Guk Kim^{1*}

¹School of Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Korean Agricultural Culture Collection, Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

³Department of Biology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

ABSTRACT : Forty-two endophytic fungi were isolated from the roots of coastal plants, such as *Aster sphathulifolius* Maxim., *Aster tripolium* L., *Phragmites australis*, and *Puccinellia nipponica* Ohwi, naturally growing in Taean peninsula. The identity of the endophytic fungal strains was analyzed using the sequence of internal transcribed spacer regions. All fungi belonged to the phylum Ascomycota, and they were classified into eight orders (Botryosphaerales, Capnodiales, Diaporthales, Dothideales, Eurotiales, Helotiales, Hypocreales, and Pleosporales) and thirteen genera (*Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cadophora*, *Cladosporium*, *Davidiella*, *Diaporthe*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Macrophomina*, *Metarhizium*, *Neosartorya*, *Penicillium*, and *Phoma*). Among the analyzed fungi, the fungi belonging to the genus *Penicillium* in Eurotiales were the most widely distributed. The host plant *Aster tripolium* L. was found to contain the most diverse endophytic fungal species among the coastal plants.

KEYWORDS : Coastal plant, Endophytic fungi, Fungal diversity, Phylogenetic analysis, Taean peninsula

해안지역은 해양생태계와 육상생태계가 만나는 전이지역으로 백두대간, 비무장지대와 더불어 한반도 자연환경관리를 위한 3대 핵심 생태축으로 알려져 있다[1]. 또한, 해안지역은 내륙지역에 비해 자외선과 염분의 영향이 크며

열악한 환경에서 생육하기 위해 특수하게 적응된 식물들이 자생한다고 알려져 있다[1]. 우리나라의 대표적인 연안지역인 태안반도는 중부 서해안에 위치한 가장 큰 반도이며, 전형적인 리아스식 해안으로 해안선이 매우 복잡하게 발달해 있다. 태안반도의 기후는 연평균기온 12.5°C, 연평균 강수량 1,038 mm로 해양의 영향을 크게 받는 아시아 계절풍 지대로 알려져 있다[2,3]. 연안지역의 중요성이 점차 증대됨에 따라 과거 급격한 산업화와 무분별한 난개발로 인하여 훼손된 연안지역의 환경과 해안식물을 보전하기 위한 노력이 이루어지고 있다[1,3,4]. 최근에는 연안환경과 해안식물의 보전을 위하여 식물과 공생 및 공존하는 미생물에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 내생진균(Endophytic fungi)의 이차대사산물 규명 및 미생물에 대한 기술개발 등의 연구를 통하여 해안식물의 증식과 생장을 촉진하는 것이 해안환경보호에 긍정적인 효과를 나타낸다고 보고되고 있다[5,6].

내생진균은 해안지역에 자생하는 식물의 염, 질병, 건조,

Kor. J. Mycol. 2014 March, 42(1): 79-85
http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2014.42.1.79
pISSN 0253-651X
© The Korean Society of Mycology

*Corresponding author
E-mail: kimjg@knu.ac.kr

†These authors contributed equally to this article.

Received March 6, 2014
Revised March 17, 2014
Accepted March 17, 2014

©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.

고열과 같은 스트레스에 대한 저항성에 기여하고 숙주의 생태학적 적응성을 증가시킬 수 있도록 만들며 [6], 특히 식물생장발달에 있어서 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 [6-10]. 내생진균이 생산하는 이차대사산물 (Secondary metabolite)인 gibberellin, auxin [10-12]은 식물의 영양분 습득, 생장, 면역 활성화에 영향을 준다고 보고되고 있다 [7-10, 13,14].

본 연구는 태안반도 해안지역에 자생하고 있는 해안식물의 뿌리로부터 내생진균의 다양성을 분석하고 유연관계를 확인하였으며, 그 결과를 보고하고자 한다.

충청남도 태안반도에 자생하고 있는 해안식물 4종을 채집하여 식물시료로 사용하였다. 식물시료는 해국 (*Aster sphathulifolius* Maxim., plant code name: As), 갯개미취 (*Aster tripolium* L., At), 갈대 (*Phragmites australis*, Pa), 갯꾸러미풀 (*Puccinellia nipponica* Ohwi, Pn)로서 채집한 지역의 지리적 좌표와 식물코드 (Plant code)를 Table 1에 나타내었다.

식물시료의 뿌리에서 토양을 제거하였고, 뿌리 표면을 살균하기 위해 계면활성제 (Tween 80)와 과염소산 (Perchloric acid, 1%)을 각각 10분간 처리한 후에 증류수로 세척하였다 [6]. 그리고 시료의 뿌리를 3~4 cm 길이로 절단하여 수분을 제거하였다. 전 처리과정을 거친 뿌리시료는 스트렙토마이신 (Streptomycin, 80 ppm)이 함유되어 있는 Hagem minimal (HM) 최소배지에서 25°C 조건으로 배양하였다 [7,15]. 내생진균의 분리를 위하여 배양된 해안식물 뿌리의 말단에서 뿜어 나오는 균사를 HM 배지에 희석도말하여 25°C에서 배양한 후, PDA배지에 계대배양하여 순수분리하였다 [15,16]. 그리고 분리된 내생진균의 internal transcribed spacer (ITS)영역의 염기서열 분석을 위하여, 내생진균을 PDB 배지에 7일 동안 25°C에서 100 rpm으로 배양된 시료를 여과하여 2일간 동결건조 하였다 [16].

ITS 염기서열 분석을 위하여, 동결건조된 균체는 DNeasy Plant mini kit (QIAGEN, Valencia, CA, USA)를 이용하여 genomic DNA를 추출하였고, PCR을 이용하여 ITS 영역을 증폭하였다 [6,7,16]. PCR 반응조건은 predenaturation (95°C, 2 min.), denaturation (95°C, 30 sec.), annealing (51~54.5°C, 1 min.), extension (72°C, 1 min.), total 35 cycles, final extension (72°C, 7 min.)으로 하였고, primer는 ITS1과 ITS4를 사용하였다 [16]. PCR 산물은 1.5% agarose gel에서 전기영동 후, Ethidium bromide (EtBr)로 20분간 염색하여

UV transilluminator로 전기영동밴드를 확인하였다. 그리고 DNA 단편들은 QIAquick PCR purification kit (QIAGEN Inc., Germany)를 사용해 정제한 후에 [7,16], ABI PRISM BigDye Terminator Cycle Sequencing Kit (PE Biosystems, Foster City, CA, USA)와 ABI 310 DNA sequencer (Perkin Elmer, Foster City, CA, USA)를 이용하여 염기서열을 분석 및 결정하였다 [16]. 해독된 ITS 영역의 염기서열을 NCBI의 blast 검색을 통하여 상동성이 높은 균주와 비교하였다 [16]. 분리된 내생진균의 유연관계도를 작성하기 위하여 ClustalX 프로그램과 Lasergene 8 프로그램을 이용하였고, MEGA 5.2.2의 neighbor-joining (NJ) 방법을 이용하여 유연관계도를 작성하였다 [17,18]. 내생진균의 다양성 분석을 위하여, 균주 각각의 목 (order)과 속 (Genus)을 확인하고, Shannon 다양성 지수 (H')를 적용하여 [17,19] 각 식물의 내생진균에 대한 다양성지수를 분석하였다 [17].

태안반도에 자생하고 있는 해안식물 4종으로부터 형태학적으로 다른 내생진균을 분리한 결과, 해국 (As)으로부터 21주, 갯개미취 (At)로부터 13주, 갈대 (Pa)로부터 3주, 갯꾸러미풀 (Pn)로부터 5주로 총 42주의 내생진균을 선별하였다. 그리고 해독된 내생진균의 염기서열을 GenBank에 등록하여 accession number를 제공받았다 (Table 2). 내생진균 염기서열을 BLAST 검색한 결과, 4종의 식물로부터 분리한 내생진균은 모두 자낭균문 (Ascomycota)에 속하는 것으로 확인되었는데, 이는 분류학적으로 보면 대부분의 내생진균은 자낭균류에 속한다는 기존 연구에 부합하는 결과였다 [5, 20,21]. 각 식물에 따르는 내생진균의 목과 속을 살펴보면, As에서 Capnodiiales목의 *Cladosporium*속, Dothideales목의 *Aureobasidium*속, Eurotiales목에 속하는 *Penicillium*속, Helotiales목의 *Cadophora*속, Pleosporales목의 *Alternaria*속을 확인하였다. 그리고 At에서는 Botryosphaeriales목의 *Macrophomina*속, Capnodiiales목의 *Davidiella*속, Diaporthales목의 *Diaporthe*속, Eurotiales목에 속하는 *Penicillium*속, Helotiales목의 *Cadophora*속, Hypocreales목의 *Fusarium*속과 *Gibberella*속, Pleosporales목의 *Alternaria*속과 *Phoma*속이 존재하였다. Pa에서는 Eurotiales목에 속하는 *Penicillium*속이 확인 되었고, Pn에서는 Eurotiales목에 속하는 *Neosartorya*속과 *Penicillium*속, Hypocreales목의 *Metarhizium*속이 확인되었다. 그리고 내생진균의 목과 속 수준에서 그 구성비 (%)를 살펴본 결과, 4종의 식물 모두에서 Eurotiales목의 *Penicillium*속이 큰 비중을 차지하고 있음을

Table 1. Geographic coordinates and plant code of coastal plants in Taean peninsula

Scientific name	Plant code	Site of collection	Habitat
<i>Aster sphathulifolius</i> Maxim.	As	126°17'18.89" E/ 36°54'55.30" N	Coast
<i>Aster tripolium</i> L.	At	126°18'06.22" E/ 36°55'14.50" N	Coast
<i>Phragmites australis</i>	Pa	126°16'59.15" E/ 36°53'56.55" N	Coast
<i>Puccinellia nipponica</i> Ohwi	Pn	126°17'16.19" E/ 36°53'57.53" N	Coast

Table 2. Endophytic fungal isolates from the roots of coastal plants

Fungal isolates	Closest relative based on sequence homology	Similarity (%)	Accession No.
W-As-1-1	<i>Penicillium</i> sp. EMA-2011f (JF429679)	99	JX238509
W-As-2-1	<i>Cadophora</i> sp. REF040 (JN859260)	98	JX238510
W-As-2-3	<i>Penicillium restrictum</i> (GU565105)	99	JX238511
W-As-4-2	<i>Penicillium restrictum</i> NRRL 25744 (AF033459)	99	JX238512
W-As-4-3-1	<i>Penicillium</i> sp. JZ-43 (HQ637354)	100	JX238513
W-As-6-2	<i>Aureobasidium pullulans</i> (AY139394)	99	JX238514
W-As-8-1	<i>Penicillium kurssanovii</i> NRRL 3381 (EF422849)	99	JX238515
W-As-8-3	<i>Penicillium glabrum</i> 4AC2K (GU372904)	99	JX238516
W-As-8-3-1	<i>Penicillium purpurascens</i> NRRL 720 (AF033408)	99	JX238517
W-As-8-4	<i>Cladosporium cladosporioides</i> (FR837924)	100	JX238518
W-As-9-2	<i>Penicillium purpurascens</i> KUC1788 (HM469419)	99	JX238519
W-As-9-4	<i>Penicillium viticola</i> (AB606414)	99	JX238520
W-As-9-5	<i>Alternaria alternata</i> C8 (JF802121)	100	JX238521
W-As-9-6	<i>Penicillium cecidicola</i> (AB457008)	99	JX238522
W-As-9-8	<i>Penicillium sclerotiorum</i> FRR 1202 (AY373931)	99	JX238523
W-As-11-2	<i>Penicillium citrinum</i> NTLF05 (HQ245157)	99	JX238524
W-As-11-4	<i>Penicillium restrictum</i> FRR 332 (AY373928)	99	JX238525
W-As-12-1	<i>Penicillium pinophilum</i> SGE75 (JQ776546)	100	JX238526
W-As-12-2	<i>Penicillium thomii</i> FRR 2077 (AY373934)	99	JX238527
W-As-12-2-2	<i>Penicillium glabrum</i> 17AC1B (GU372903)	99	JX238528
W-As-15-3	<i>Penicillium</i> sp. 2 JJK-2011 (HM469401)	97	JX238529
W-At-1-2	<i>Penicillium dipodomyicola</i> QLF103 (FJ025172)	100	JX238549
W-At-2-1	<i>Macrophomina phaseolina</i> MP120 (GU046907)	99	JX238550
W-At-3-1	<i>Penicillium thomii</i> FRR 2077 (AY373934)	100	JX238551
W-At-3-2	<i>Phoma</i> sp. B17B (EF432291)	99	JX238552
W-At-3-3	<i>Penicillium purpurascens</i> KUC1788 (HM469419)	100	JX238553
W-At-4-1	<i>Alternaria alternata</i> HA10(A2)B (JQ660843)	100	JX238554
W-At-4-2	<i>Cadophora luteo-olivacea</i> 7R38-4 (GU212374)	99	JX238555
W-At-6-2	<i>Diaporthe phaseolorum</i> FM1 (JQ514150)	96	JX238556
W-At-8-1	<i>Fusarium proliferatum</i> (HQ332533)	99	JX238557
W-At-9-2	<i>Davidiella tassiana</i> 104r (EU343351)	100	JX238558
W-At-9-3	<i>Fusarium oxysporum</i> K4 (JF807393)	100	JX238559
W-At-10-1	<i>Macrophomina phaseolina</i> P1BR2 (JN672592)	99	JX238560
W-At-16-1	<i>Gibberella moniliformis</i> FJAT-3756 (JQ277275)	100	JX238561
W-Pa-3-1	<i>Penicillium thomii</i> (FR670338)	100	JX238607
W-Pa-7-2	<i>Penicillium funiculosum</i> CBS 272.86 (JN899377)	98	JX238608
W-Pa-17-1	<i>Penicillium verruculosum</i> CY196 (HQ608025)	100	JX238609
W-Pn-4-1	<i>Penicillium rolsii</i> F3-2 (JN252126)	100	JX238610
W-Pn-6-1	<i>Metarhizium anisopliae</i> LSPK (FJ545314)	99	JX238611
W-Pn-8-1	<i>Penicillium sclerotiorum</i> FRR 1202 (AY373931)	99	JX238612
W-Pn-13-1	<i>Neosartorya aureola</i> NRRL:54608 (JN093268)	100	JX238613
W-Pn-15-1	<i>Penicillium citrinum</i> MA-14 (HQ671192)	99	JX238614

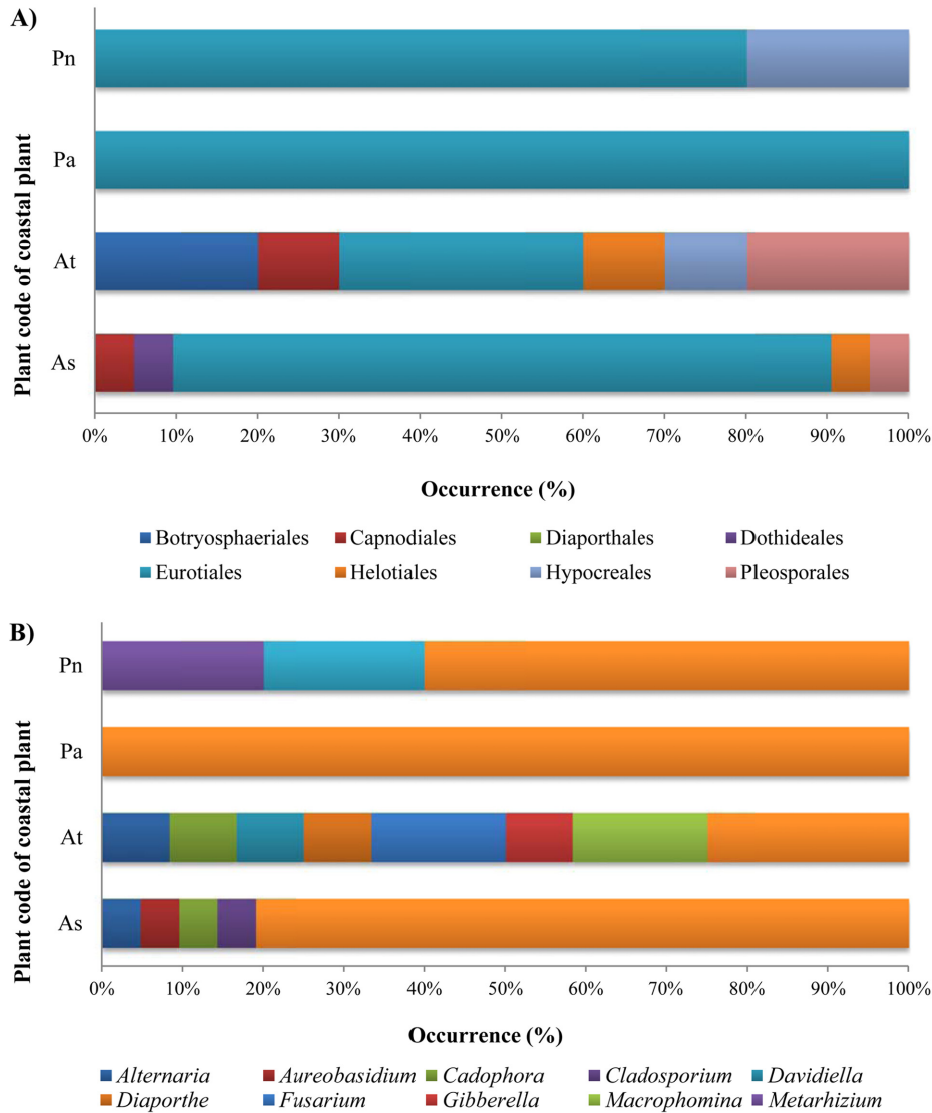


Fig. 1. Distribution of endophytic fungi according to the host plants. A) Endophytic fungi in the level of order. B) Endophytic fungi in the level of genus. Pn: *Puccinellia nipponica* Ohwi, Pa: *Phragmites australis*, At: *Aster tripolium*, As: *Aster spathulifolius* Maxim.

알 수 있었다(Fig. 1). 이는 *Penicillium*속에 속한 내생진균이 식물 뿌리에 우점하고 있다는 기존의 연구결과에 부합하는 것으로 해석할 수 있을 것이다[7,16].

내생진균 간의 계통수를 작성하여 이들의 유연관계를 확인하였고(Fig. 2), Shannon 다양성 지수를 적용해 각각의 해안식물에 따른 내생진균의 다양성 지수를 도출하였다(Table 3). 그 결과 다양성지수는 At에서 2.098로 가장 높았고, Pa에서는 0의 값을 가져 가장 낮았다. 따라서 4종의 해안식물 중 At로부터 분리한 내생진균의 다양성이 가장 풍부한 것으로 확인되었다.

울릉도 해안에 자생하는 해안식물 뿌리로부터 분리된 내생진균과 비교한 결과[5], 두 지역에서 분리된 균주 모두 자낭균문에 포함되어 있었다. 그리고 각 지역별로 살펴보면 해안식물로부터 분리된 내생진균은 울릉도에서 4목 9

속, 태안반도에서는 8목 13속이 확인되었으며, 태안반도에서는 울릉도에서 발견된 Capnodiales목, Eurotiales목, Helotiales목, Pleosporales목이 모두 존재하였고 추가적으로 Botryosphaeriales목, Diaporthales목, Dothideales목, Hypocreales목이 확인되었다. 속 수준에서는 *Penicillium*속이 대부분을 차지하고 있었으며, 공통적으로 *Alternaria*속, *Cladosporium*속, *Fusarium*속, *Neosartorya*속, *Penicillium*속, *Phoma*속이 존재하였다. 두 지역 모두 해국으로부터 내생진균이 분리되었는데 울릉도 해국에서는 총 3속 5종의 내생진균이 확인되었으며 *Penicillium*속 2균주, *Fusarium*속 2균주, *Aspergillus*속 1균주가 발견되었다. 반면 태안반도 해국 유래 내생진균은 총 5속 13종으로 *Penicillium*속이 17균주로 가장 많았으며 *Alternaria*속, *Aureobasidium*속, *Cadophora*속, *Cladosporium*속 각각 1균주씩 분리되었다.

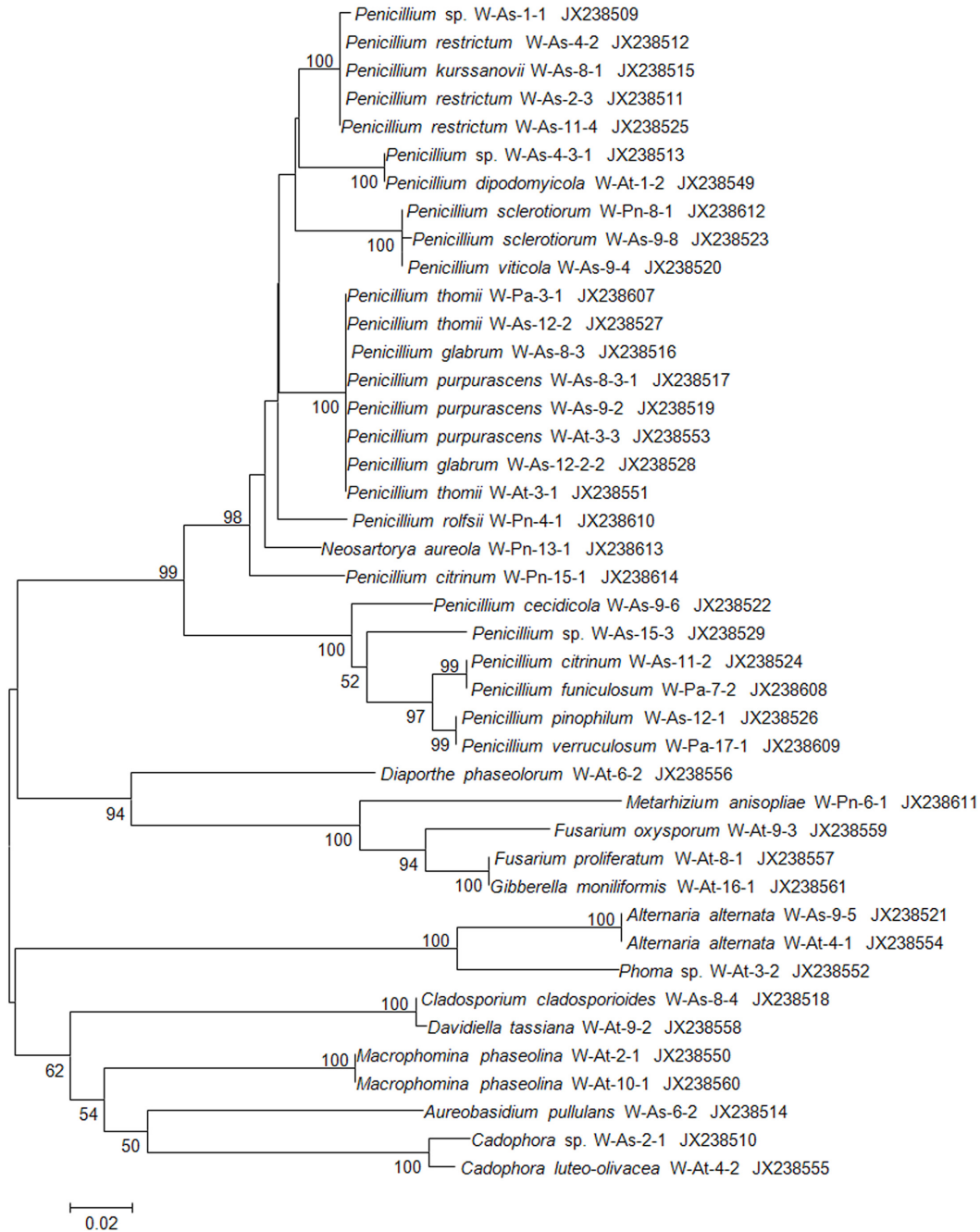


Fig. 2. Phylogenetic relationships among 42 endophytic fungi from coastal plants belonging to Botryosphaeriales, Capnodiales, Diaporthales, Dothideales, Eurotiales, Helotiales, Hypocreales, and Pleosporales. Bootstrap values (50%) are indicated at relevant nodes.

우리나라의 해안식물에 존재하는 내생진균에 대한 연구가 점차 이루어지고 있지만[5,7,8,15,16], 보다 다양한 지역에서의 많은 연구가 필요한 실정이다. 본 연구는 우리나라의 대표적인 연안지역인 태안반도에 자생하는 해안식물 뿌리로부터 내생진균을 분리하여 각 식물별 내생진균의 분포와 다양성을 확인하였다. 본 연구 결과는 해안이라는 특수한 환경에서의 균류자원연구에 기초자료가 될 것으로 기대되며, 이를 토대로 해안식물과 내생진균과의 연관성

연구가 추가적으로 필요하다고 생각된다.

적 요

태안반도에 자생하는 해안식물인 해국(*Aster spathulifolius* Maxim.), 갯개미취(*Aster tripolium* L.), 갈대(*Phragmites australis*), 갯꾸러미풀(*Puccinellia nipponica* Ohwi)의 뿌리로부터 총 42주의 내생진균이 분리되었다. 그리고

Table 3. Shannon's diversity index(H') of endophytic fungi isolated from the roots of coastal plants

Genus of fungal strains	As	At	Pa	Pn
<i>Alternaria</i>	1	1		
<i>Aureobasidium</i>	1			
<i>Cadophora</i>	1	1		
<i>Cladosporium</i>	1			
<i>Davidiella</i>		1		
<i>Diaporthe</i>		1		
<i>Fusarium</i>		2		
<i>Gibberella</i>		1		
<i>Macrophomina</i>		2		
<i>Metarhizium</i>				1
<i>Neosartorya</i>				1
<i>Penicillium</i>	17	3	3	3
<i>Phoma</i>		1		
Total	21	13	3	5
Diversity index (H')	0.751	2.098	0	0.950

분리된 내생진균의 ITS지역의 염기서열을 이용하여 동정한 결과 모두 자낭균문에 속하며, 8종류의 목(Botryosphaeriales, Capnodiales, Diaporthales, Dothideales, Eurotiales, Helotiales, Hypocreales, and Pleosporales)과 13종류의 속(*Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cadophora*, *Cladosporium*, *Davidiella*, *Diaporthe*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Macrophomina*, *Metarhizium*, *Neosartorya*, *Penicillium*, and *Phoma*)으로 분류되었으며, Eurotiales목의 *Penicillium*속의 분포비율이 가장 높게 존재하였다. Shannon 다양성지수를 비교한 결과 4종의 해안식물 중 갯개미취에서 분리한 내생진균의 다양성이 가장 높게 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 환경부 ‘차세대 에코이노베이션 기술개발사업’으로 지원 받은 과제이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Jang DH, Park JH. Assessment of coastal landforms for ecological networks establishment of Chungnam coastal zone. J Photo Geography 2009;19:73-95.
- Oh KK, Kim YS, Kim CE. A study on the distribution of vegetation and assessment of green naturalness of Taeanhaean national park. Kor J Env Eco 2010;24:108-116.
- Dong OC, Stephen BO. The status and prospects for coastal management in Korea. Coastal Management 2003;31: 98-119.
- Ryou SH, Kim MH, Jung JY. Conservation suggestion and changing psamphytic vegetation of coastal dune in Taean seashore after an oil spill accident by the hebei Spirit. Pro Kor Soc Env Eco Con 2010;20:109-112.
- Kim M, You YH, Yoon HJ, Kim H, Seo YG, Khalmuratova I, Shin JH, Lee IJ, Choo YS, Kim JG. Genetic diversity of endophytic fungal strains isolated from the roots of coastal plants in Ulleung island for restoration of coastal ecosystem. J Life Science 2012;22:1384-1391.
- Hwang JS, You YH, Bae JJ, Khan SA, Kim JG, Choo YS. Effects of endophytic fungal secondary metabolites on the growth and physiological response of *Carex kobomugi* Ohwi. J Coastal Res 2011;27:544-548.
- Khan SA, Hamayun M, Yoon HJ, Kim HY, Suh SJ, Hwang SK, Kim JM, Lee IJ, Choo Y S, Yoon UH, Kong WS, Lee BM, Kim JG. Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. BMC Microbiol 2008;8:231.
- Rodriguez RJ, Redman RS, Henson JM. The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. Mitig Adapt Strateg Glob Change 2004;9:261-272.
- Rodriguez RJ, Henson J, Van VE, Hoy M, Wright L, Beckwith E, Kim Y, Redman RS. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. ISME J 2008;2:404-416.
- Redman RS, Sheehan KB, Stout RG, Rodriguez RJ, Henson JM. Thermotolerance conferred to plant host and fungal endophyte during mutualistic symbiosis. Science 2002;298: 1581.
- Khan AL, Hamayun M, Ahmad N, Hussain J, Kang SM, Kim YH, Adnan M, Tang DS, Waqas M, Radhakrishnan R, Hwang YH, Lee IJ. Salinity stress resistance offered by endophytic fungal interaction between *Penicillium minioluteum* LHL09 and *Glycine max.* L. J Microbiol Biotechnol 2011;21:893-902.
- Khan AL, Hamayun M, Kang SM, Kim YH, Jung HY, Lee JH, Lee IJ. Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: an example of *Paecilomyces formosus* LHL10. BMC Microbiol 2012;12:3.
- Arnold EA, Mejia LC, Kylo D, Rojas E, Maynard Z, Robbins N, Herre EA. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. Proc Natl Acad Sci USA 2003;100:15649-15654.

14. Waller F, Achatz B, Baltruscha TH, Fodor J, Becker K, Fischer M, Heier T, Hckelhoven R, Neumann C, Wettstein DV, Franken P, Kogel KH. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to saltstress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proc Natl Acad Sci USA* 2005;102:13386-13391.
15. Yamada A, Ogura T, Degawa Y, Ohmasa M. Isolation of *Tricholoma matsutake* and *T. bakamatsutake* cultures from field-collected ectomycorrhizas. *Mycoscience* 2001;42:43-50.
16. You YH, Yoon H, Lee GS, Woo JR, Shin JH, Lee IJ, Rim SO, Choo YS, Kim JG. Diversity and plant growth-promotion of endophytic fungi isolated from the roots of plants in Dokdo islands. *Kor J Life Sci* 2011;21:992-996.
17. You YH, Yoon H, Woo JR, Seo Y, Kim M, Lee G, Kim JG. Diversity of endophytic fungi from the roots of halophytes growing in Go-chang salt marsh. *Kor J Mycol* 2012; 40:86-92.
18. Tamura K, Dudley J, Nei M, Kumar S. Molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0. *Mol Biol Evol* 2007;24: 1596-1599.
19. Pielou EC. *Ecological diversity*. 1st ed. New York: John Wiley; 1975.
20. Kim CK, Eo JK, Eom AH. Molecular identification of endophytic fungi isolated from needle leaves of *Pinus thunbergii*. *Kor J Mycol* 2012;40:183-186.
21. König GM, Wright AD, Aust HJ, Draeger S, Schulz B. Geniculol, a new biologically active diterpene from the endophytic fungus *Geniculosporium* sp. *J Nat Prod* 1999;62:155-157.