



2020-2021년 한국 남부 지역 보리, 밀, 귀리의 분얼 및 신장기에 발생한 곰팡이 병 조사

Survey of Fungal Diseases on Barley, Wheat, and Oats at Tillering to Stem Extension Stages in Southern Regions of Korea during 2020-2021

*Corresponding authors

S.-M. Kim

Tel: +82-63-238-5344

Fax: +82-63-238-5191

E-mail: kimsangmin@korea.kr

S.-Y. Park

Tel: +82-61-750-5187

Fax: +82-61-750-5187

E-mail: spark@scnu.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-1267-1111>

†These authors equally contributed.

정민혜^{1†} · 최요뜸^{2†} · 장설화¹ · 안선민^{1,3} · 조미주^{1,3} · 김서연^{1,3} · 김상민^{4*} · 박숙영^{1,3*} ¹순천대학교 식물외과, ²국립원예특작과학원 배연구소, ³순천대학교 IT-Bio융합시스템(BK21 plus) 협동과정,⁴농촌진흥청 국립작물과학원 작물기초연구과Min-Hye Jeong^{1†}, Eu Ddeum Choi^{2†}, Seol-Hwa Jang¹, Sunmin An^{1,3}, Miju Jo^{1,3},
Seoyeon Kim^{1,3}, Sang-Min Kim^{4*}, and Sook-Young Park^{1,3*} ¹Department of Plant Medicine, College of Life Science and Natural Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea²Pear Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Naju 55365, Korea³Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System (BK21 plus), Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea⁴Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Cereal, including barley, wheat, and oats, is a major winter food crop in Korea. Despite recent changes in agricultural environments in response to climate change, fungal diseases that could affect cereal productivity remain poorly understood. In this study, we investigated the incidence of diseases in barley, wheat, and oats in the southern part of Korea. We collected fungal pathogens from seven locations where cereals were grown. In March-April of 2020 and 2021, a total of 92 fungal isolates were collected, mainly from the stem base or leaves of cereal crops during the tillering and stem extension stages of cereals in Korea. The collected isolates were identified based on morphological and molecular biological characteristics. The dominant species was *Ceratobasidium cereale* (42.4%), followed by *Pyrenophora teres* (21.7%), *P. avenae* (10.9%), *Alternaria alternata* (6.5%), and *Epicoccum tobaicum* (6.5%). In addition, *P. tritici-repentis* (3.3%), *Cladosporium* sp. (3.3%), *Fusarium* sp. (3.3%), and *Nigrospora* sp. (2.2%) were also collected as minority groups. Our results will provide information on fungal pathogens that occur during the growing season of cereals in Korea, particularly during the tillering and stem extension stages. In addition, the isolates collected from this study can serve as a valuable resource for conducting simulations on climate change, focusing on temperature and humidity.

Keywords: Cereal, Fungal disease, Survey, Winter crops

Received April 21, 2024

Revised July 5, 2024

Accepted July 5, 2024

서론

보리(*Hordeum vulgare* L.), 밀(*Triticum aestivum* L.), 귀리(*Avena sativa* L.), 호밀(*Secale cereale* L.) 및 트리티케일(*Triticosecale Wittm.*)을 포함하는 맥류는 우리나라 겨울철 논 벼(*Oryza sativa* L.) 재배 기간이 아닌 유휴지를 활용하여 식량 자급률 증진에 기여해 왔다(Kim 등, 2020; Oh 등, 2023). 맥류는 벼 수확 후 10월 중순부터 11월 초순에 추파하여 이듬해 4-5월 수확하는 작물로, 파종 후 온도가 떨어지는 겨울에는 생육 정지기로 생육이 멈추고 봄(2-3월)에 잎의 생육이 다시 재생되는 생육 재생기로 나뉜다. 3-4월 동안 분얼 및 신장하게 되고, 4월 중순부터 5월 상순 사이 이삭이 분화되어 출수, 개화 및 등숙하여 수확하게 된다(Rural Development Administration, 2020a, 2020b). 따라서 벼 수확 기간까지 식량을 대체할 수 있는 대체 식량으로서 맥류는 국내 농업 경제 및 식량 안정성 확보에 중요한 역할을 한다.

2023년 통계청 자료에 의하면 우리나라의 맥류 재배면적은 2022년 31,898 ha보다 4,952 ha (15.5%)가 증가한 36,850 ha이다. 총 재배면적 순위를 살펴보면 쌀보리(12,844 ha), 밀(11,600 ha), 걸보리(6,457 ha) 그리고 맥주보리(5,949 ha) 순이었다(Korean Statistical Information Service, 2023). 10대 슈퍼푸드 중 하나인 귀리는 다른 맥류에 비해 내한성이 낮아 타 맥류에 비해 한정적으로 재배되어 재배면적이 상대적으로 적다. 재배 적합 기온대로는 맥주보리와 마찬가지로 10월 평균 기온 0°C 이상인 1월 최저기온이 평균 -4°C 이하로 내려가지 않는 남부(전라남도, 경상남도) 내륙 지역이 적합 지역이다(Kim 등, 2012). 따라서 귀리 포함 보리, 밀 재배지에 발생하는 맥류병의 실태 파악에 남부 내륙 지역은 적합한 조사 지역이라 할 수 있다. 특히 전남 지역은 쌀보리, 밀, 맥주보리에서 각각 1위(6,370 ha), 2위(4,572 ha), 1위(4,068 ha)를 차지하며, 경남 지역의 경우도 쌀보리, 밀, 맥주보리에서 각각 3위(624 ha), 4위(658 ha), 3위(217 ha)를 차지한다(Korean Statistical Information Service, 2023).

보리는 과거 쌀 생산 부족을 대신하여 주식으로써 주요 식량 자원으로 1965년까지 826,976 ha의 재배면적을 차지하며 광범위하게 재배되었으나, 1977년 이후 통일벼의 보급으로 보리 수매제도 폐지와 같이 정책적 지원이나 기호도 등의 변화로 보리 재배면적은 1978년 이후 감소하는 추세이다(Ha 등, 1983; Kim 등, 2012). 그러나 아직까지 맥류 중 가장 많은 재배면적을 차지할 만큼 중요도가 높아, 보리에 발생하는 다양한 식물병에 관한 연구 보고가 맥류 중 가장 많다(The Korean Society of Plant Pathology, 2022). 이 중 곰팡이에 의한 병이 붉은곰팡이병(*Fusarium graminearum*), 잎집눈무늬병(*Ceratobasidium cereale*)을 포함하여 총 18개 병원

균이 보고되었으며, 이외 바이러스병과 선충에 의한 병이 보고되었다(The Korean Society of Plant Pathology, 2022).

밀은 쌀 다음으로 우리나라에서 1인당 연간 소비량이 가장 많으며, 2020년 2월 '밀 산업 육성법'의 제정과 더불어 '제1차 밀 산업 육성기본계획(2021-2025)' 수립에 따라 재배면적 확대와 생산성을 높이고 있다(Kang 등, 2016). 2021년 6,224 ha의 재배면적이 2023년 11,600 ha로 증가하여 앞으로도 국가 차원에서 '국산 밀' 산업 육성에 대한 지원 확대 및 수요에 따른 자급률 향상에 노력하고 있다(Kim 등, 2020; Korean Statistical Information Service, 2023). 보리와 마찬가지로 밀에서도 붉은곰팡이병(*F. graminearum*), 잎집눈무늬병(*C. cereale*)을 포함하여 총 18개 병원균을 비롯한 바이러스병과 선충에 의한 병이 보고되었다(The Korean Society of Plant Pathology, 2022). 잎집눈무늬병은 토양 전염성 병원균으로 보리, 밀, 귀리, 호밀 등 화본과 작물을 비롯한 넓은 기주 범위를 가지고, 1980년도 이래 밀에서 큰 생산량 감소와 품질 저하를 야기하며 전 세계적으로 확산되고 있다(Hamada 등, 2011; Kataria와 Hoffmann, 1988).

또한, 귀리는 단기 다수성 작물로 잎의 비율이 높아 사료 작물로서 가치를 갖고 있으며, 쌀귀리의 경우 높은 단백질, 베타민, 필수 아미노산, 베타글루칸(β -glucan) 함량으로 식품학적 가치가 높아 국내 재배면적이 지속적으로 늘어나고 있다(Ju 등, 2011; Han 등, 2009; Lee 등, 2017). 그러나 귀리는 보리나 밀에 비해 식물병 연구보고가 상대적으로 미흡한 실정이다. 귀리에 발생하는 곰팡이 병으로는 종자에 발생하는 붉은곰팡이병(*F. graminearum*), 종자흑변병(*Pyrenophora avenae*) 등을 비롯한 잎집눈무늬병(*C. cereale*)이 보고된 바 있다(Choi 등, 2018, 2019; Jeong 등, 2023b).

맥류에서의 곰팡이 병 연구는 지금까지 주로 알곡에 발생하는 붉은곰팡이병(*F. graminearum*)이나 병징과 피해가 뚜렷한 흰가루병(*Blumeria graminis*) 및 감부기병(*Ustilago hordei*[보리 속감부기병], *U. nuda*[보리 걸감부기병], *U. tritici*[밀 걸감부기병])이 중점적으로 이루어져 왔다(Lee 등, 2002; Park 등, 2008, 2012; Ryu 등, 2011; Yang 등, 2021). 이 붉은곰팡이병, 흰가루병, 감부기병의 경우 원인 병원균의 감염 시기가 출수기, 개화기 및 유숙기이기 때문에 4월 말에서 5월 초 개화 시기에 국내 발병 조사가 이뤄져 왔다(Lee 등, 2023; Ryu 등, 2011).

그러나 최근 전 세계적인 기후 변화로 인해 겨울철의 평균 기온이 상승하고 있어 이러한 환경 변화가 신규병 또는 재출현하는 식물병에 대한 경각심이 높아지고 있다. 특히 겨울과 봄철의 평균 기온 상승은 맥류 곰팡이 병의 신규 및 재출현 병원균을 가속화시킬 잠재적 가능성이 있다. 따라서, 맥류의 곰팡이 병 조사는 기후 변화에 따른 병 방제의 선제적 대응

에 기여할 것이다.

본 연구는 봄철 기온 상승에 따른 곰팡이 병 발생을 조사하기 위해, 출수기 이전인 3-4월 시기 맥류의 지제부와 잎에 발생하는 병을 중심으로 조사를 수행하였다. 따라서, 2020-2021년 3-4월 사이 1) 우리나라 남부 지역 맥류에 발생하는 곰팡이 병을 조사하고, 2) 분리, 동정을 통해 주요 곰팡이 병을 분류하여, 3) 우점 곰팡이 병원균을 조사하였다. 이 연구를 통해 앞으로의 기후 변화에 따른 새롭게 발생할 수 있는 가능성이 있는 맥류 곰팡이 병의 정보를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

시료 채집. 국내 맥류에 발생하는 곰팡이 병 발생 실태를 조사하기 위해 2020년과 2021년 맥류의 분얼기와 신장기인 3-4월에 남부 지역 맥류 재배지에서 곰팡이 병을 육안 관찰을 통해 병 발생 양상을 조사하였다. 2020년 전라남도 강진, 해남 지역의 보리, 밀, 귀리 재배지를 조사하였고, 2021년은 전라남도 순천, 보성, 장흥과 경상남도 사천 및 고성을 조사하였다(Fig. 1A). 병 조사는 곰팡이 병이 발생한 지제부와 잎을 중심으로 조사하였다.

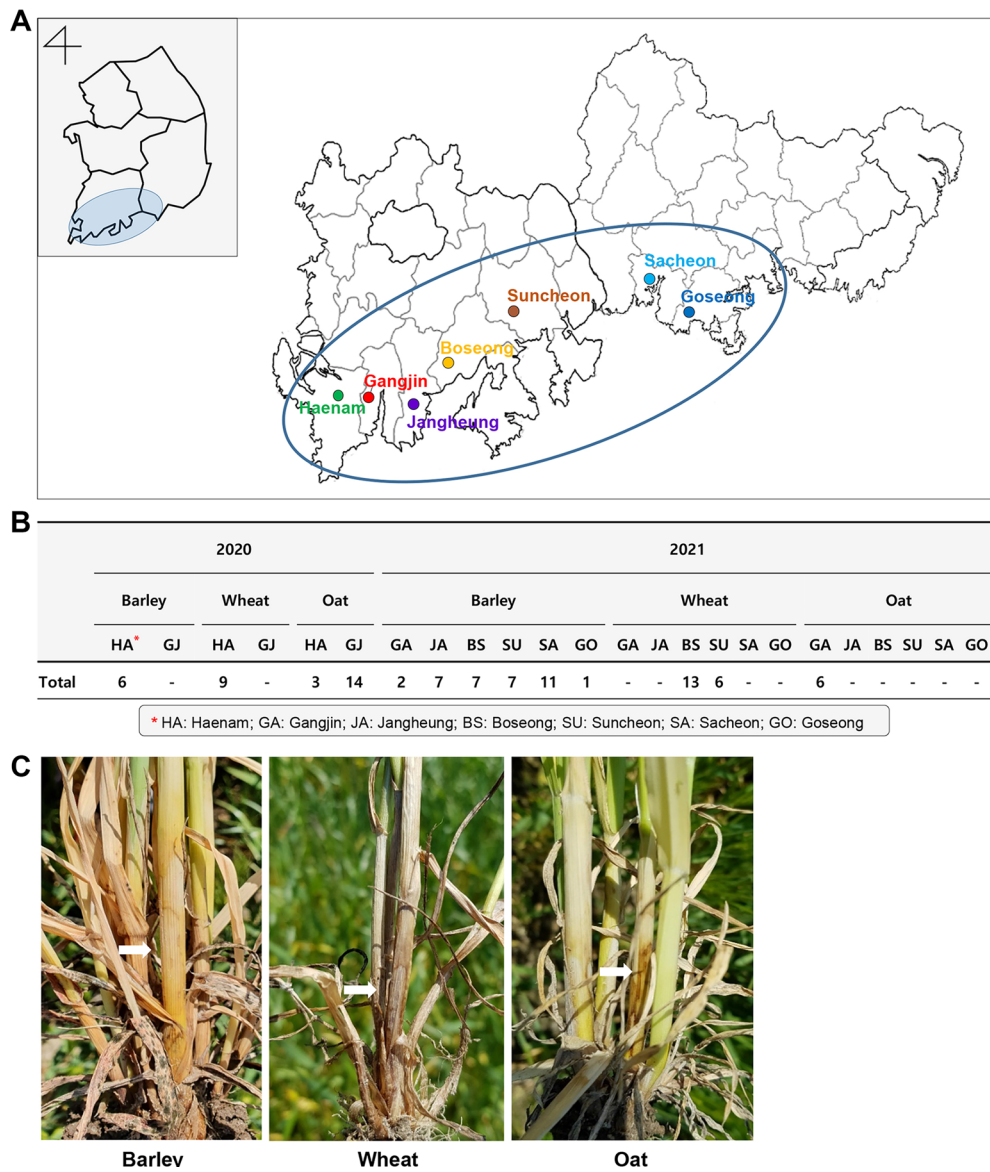


Fig. 1. Collection map of disease survey areas and the number of collected isolates from barley, wheat, and oats in the southern part of South Korea from 2020 to 2021. (A) The map in the upper left square is of South Korea. The enlarged map shows the area where the survey was conducted, providing a close-up view of the blue circle area in the upper left corner of the map. The green and red spots indicate survey areas in 2020 and 2021, respectively. (B) The distribution of the collected isolates among 92 samples from seven different survey areas in the southern part of Korea. (C) Typical sharp eyespot symptoms on cereals.

병원균 분리. 채집된 시료는 건전 부위와 병 감염 부위의 경계 부위를 5×5 mm로 자른 뒤, 100% ethanol에서 1분, 1% NaOCl 용액에서 1분간 표면 살균하였다. 이후 멸균 증류수를 이용하여 3회 씻어준 뒤 표면 물기를 제거하였다. 표면 살균된 시료는 streptomycin (100 µg/ml)이 첨가된 1.5% 물 한천 배지 (15 g agar/l)에 치상하여 25°C 항온기에서 7일간 암 상태로 배양하였다. 배양체에서 자라 나온 균사의 선단부를 떼어 새로운 감자 한천 배지(potato dextrose agar [PDA] media; BD Difco, Sparks, MD, USA)로 옮겨 동일한 조건에서 14일간 배양하였다.

순수 배양을 위해 포자가 형성된 곰팡이의 경우 단포자를 분리하였으며, 포자가 형성되지 않은 경우는 균사 선단부의 말단 균사 분리를 통해 단균사 분리를 수행하였다. 장기보존은 순수 분리 배양된 포자 또는 균사를 2 ml sterile cryo-vials (Cryo.s 2 ml; Greiner bio-one, Kremsmuster, Austria)에 넣은 뒤 15% glycerol 용액을 첨가하여 3일간 상온에 두었다가 -80°C에 보관하였다.

형태학적 특성 검정. 분리된 곰팡이 균주의 형태적 관찰을 위해 PDA 배지 중앙에 접종하여 25°C 항온기에서 암 상태로 배양하여 빠르게 자라는 병원균의 경우 7일, 느리게 자라는 병원균의 경우는 21일간 배양한 뒤 균총 모양 및 배양체의 앞과 뒷면의 색을 관찰하였다. 포자의 형성 유무, 모양과 크기는 광학 현미경 Axio Scope A1 (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany)을 통해 관찰하였다. 추가적으로 곰팡이 염색은 lactophenol cotton blue 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 5분간 처리하여 현미경 관찰하였다.

DNA 추출 및 염기서열 분석. 맥류의 분자생물학적인 동정을 위해 분리된 병원균으로부터 DNA를 추출하였다. Genomic DNA의 추출은 NucleoSpin® Plant II kit (Macherey Nagel, Duren, Germany)를 이용하여 추출하였다. 추출된 DNA는 polymerase chain reaction (PCR) 증폭에 사용하였다.

모든 분리된 곰팡이 병원균은 분자생물학적 동정을 위해 internal transcribed spacer (ITS) 영역을 증폭하여 동정하였다. ITS 영역의 증폭을 위해 사용된 primer는 ITS1F(5'-TCCGTAG-GTGAACCTGCGG-3') (Gardes와 Bruns, 1993)와 ITS4(5'-TCCTC-CGCTTATTGATATGC-3') (White 등, 1990) 한 쌍을 사용하였다. PCR 반응을 위해 tube에 genomic DNA 25 ng, primer ITS1F (10 pmol/µl)와 ITS4 (10 pmol/µl)를 각각 1 µl씩 사용하였으며, 2×PCR Master Mix Solution (i-MAXII; iNtRON Biotechnology, Sungnam, Korea)을 10 µl 그리고 나머지 멸균 증류수를 넣어 총 용량 20 µl가 되도록 준비하였다. PCR 수행 조건은 초기 94°C

에서 5분 반응시킨 뒤, 94°C에서 30초, 52°C에서 1분, 72°C에서 1분 과정을 30회 수행한 뒤, 마지막 72°C에서 5분 반응하였다. PCR 증폭 산물의 유무는 0.8% agarose gel에서 100 volt로 30분간 전기영동한 뒤, UV 하에서 PCR 산물의 유무를 확인하였다. 증폭 산물의 염기서열 분석은 바이오니어(Bioneer, Daejeon, Korea)에 의뢰하여 확보하였다.

염기서열은 SeqMan (DNASTar Lasergene, version 7.1; DNASTAR, Madison, WI, USA)을 이용하여 염기서열의 정렬 및 편집하여 확보하였다. 확보된 염기서열은 National Center for Biotechnology Information (NCBI)의 Basic Local Alignment search Tool (BLAST; <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) 검색을 통해 상동성이 높은 균주 정보와 비교하여 가장 높은 상동성을 보이는 정보를 확보하여 학명에 관한 정보를 확보하였다. 모든 확보된 염기서열 정보는 NCBI에 deposit하여 accession number를 확보하였다(Table 1).

결 과

곰팡이 병 조사 및 시료 확보. 2020-2021년 3-4월 동안 남부 지역에서 재배된 보리, 귀리, 밀을 포함하는 맥류에 발생하는 곰팡이 병을 조사하였다. 조사 기간 동안은 출수하기 전과 출수 이후의 맥류가 포함되어 있어 병 조사는 주로 잎과 지제부에 국한하여 진행되었다. 2020년 곰팡이 조사의 경우 전라남도 해남과 강진의 귀리 재배지를 중심으로 맥류의 곰팡이 병 조사가 이루어졌으며, 2021년은 더 확대하여 전라남도 4개 지역(강진, 장흥, 보성, 순천)과 경상남도 2개 지역(사천과 고성)에서 재배되는 보리, 밀 및 귀리에서 발생하는 곰팡이 병 조사를 수행하였다(Fig. 1A).

2020년 곰팡이 병 시료 수집을 통해 총 32개의 균주를 분리하였다. 보리, 밀, 귀리에서 관찰된 곰팡이 병징으로부터 각각 6개, 9개 및 17개 시료를 각각 수집 및 병원균 분리를 수행하였다(Fig. 1B). 2021년의 경우 보리, 밀, 귀리로부터 각각 35개, 19개, 6개 시료를 수집·분리하였다(Fig. 1B). 이를 통해 총 92개의 균주를 확보하였다.

조사 기간 동안 보리, 밀과 귀리를 포함한 맥류에서 가장 높은 빈도로 관찰된 병징은 지제부에서 관찰된 잎집눈무늬병(sharp eyespot) 증상이었다(Fig. 1C). 보리, 밀과 귀리 모두 동일하게 높은 빈도로 관찰되었으며 무작위적으로 선택하여 관찰한 총 개체의 2-5% 범위 내에서 병징이 관찰되었다. 병징은 Fig. 1C와 같이 지제부의 맥류 잎집에 초반에는 눈무늬로 관찰되었으며, 병이 진전됨에 따라 날카로운 눈무늬가 타원형으로 확대되면서 주변의 다른 잎집눈무늬 병반과 합쳐지며 심할 경우 앞까지

Table 1. List of collected isolates, collected regions, species, and GenBank accession numbers for ITS region sequences

Isolates	Host	The closest matching GenBank Taxa (GenBank accession no.)	Percent of Identity	Collected regions	Date of isolation	GenBank accession nos.
KJO 1-1	Oat	<i>Ceratobasidium cereale</i> (OR980073)	99.9	Gangjin	April 23, 2020	MW691857
KJO 1-2	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980109)	99.9	Gangjin	April 23, 2020	MW691858
KJO 1-3	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980109)	99.9	Gangjin	April 23, 2020	MW691859
KJO 1-4	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980109)	99.9	Gangjin	April 23, 2020	PP357953
KJO 1-5	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980109)	99.9	Gangjin	April 23, 2020	PP357954
KJO-AN1	Oat	<i>Pyrenophora avenae</i> (JN943661)	99.4	Gangjin	April 23, 2020	MW691860
KJO-AN3	Oat	<i>P. avenae</i> (MK656450)	100.0	Gangjin	April 23, 2020	MW691862
KJO-AN4	Oat	<i>P. avenae</i> (MK656450)	100.0	Gangjin	April 23, 2020	MW691862
KJO-AN6	Oat	<i>P. avenae</i> (MK656450)	100.0	Gangjin	April 23, 2020	PP357984
KJO-AN7	Oat	<i>P. avenae</i> (MK656450)	100.0	Gangjin	April 23, 2020	PP357985
KJO-AN2	Oat	<i>Epicoccum tobaicum</i> (MN242722)	99.8	Gangjin	April 23, 2020	MW691861
KJO-AN2-S1	Oat	<i>E. tobaicum</i> (MK100176)	99.8	Gangjin	April 23, 2020	MW691869
KJO-AN2-S2	Oat	<i>E. tobaicum</i> (MK100176)	99.8	Gangjin	April 23, 2020	MW691870
KJO-AN2-S2	Oat	<i>E. tobaicum</i> (MK100176)	99.8	Gangjin	April 23, 2020	MW691868
HNB-1	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980344)	99.9	Haenam	April 23, 2020	MW691854
HNB-2	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980351)	99.9	Haenam	April 23, 2020	MW691855
HNB-3	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980647)	100.0	Haenam	April 23, 2020	MW691856
HNB-5	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980344)	99.9	Haenam	April 23, 2020	PP357950
HNB-6	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980344)	99.9	Haenam	April 23, 2020	PP357951
HNB-7	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980344)	99.9	Haenam	April 23, 2020	PP357952
HNW-2	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980356)	99.6	Haenam	April 23, 2020	MW691848
HNW-3	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980356)	99.6	Haenam	April 23, 2020	MW691849
HNW-4	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980351)	99.7	Haenam	April 23, 2020	MW691850
HNW-5	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357944
HNW-6	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357945
HNW-7	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357946
HNW-10	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357947
HNW-11	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357948
HNW-12	Wheat	<i>C. cereale</i> (OR980107)	99.6	Haenam	April 23, 2020	PP357949
HNO_1	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980351)	99.9	Haenam	April 23, 2020	MW691851
HNO_2	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980338)	100.0	Haenam	April 23, 2020	MW691852
HNO_3	Oat	<i>C. cereale</i> (OR980338)	100.0	Haenam	April 23, 2020	MW691853
GJB-1	Barley	<i>Alternaria alternata</i> (OR900525)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357937
GJB-2	Barley	<i>A. alternata</i> (LC440582)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357938
BSW-1	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP479756
BSW-2	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357956
BSW-3	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357957

Table 1. Continued

Isolates	Host	The closest matching GenBank Taxa (GenBank accession no.)	Percent of Identity	Collected regions	Date of isolation	GenBank accession nos.
BSW-4	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357958
BSW-5	Wheat	<i>C. cereale</i> (KY379388)	100.0	Boseong	March 16, 2021	PP357959
BSW-6	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357960
BSW-7	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357961
BSW-8	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357962
BSW-11	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357963
BSW-12	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357964
BSW-14	Wheat	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.1	Boseong	March 16, 2021	PP357965
BSW-21	Wheat	<i>Nigrospora</i> sp. (MH619723)	100.0	Boseong	March 16, 2021	PP357980
BSW-22	Wheat	<i>Nigrospora</i> sp. (MH619723)	100.0	Boseong	March 16, 2021	PP357981
SCW-1	Wheat	<i>P. tritici-repentis</i> (MK540017)	100.0	Suncheon	March 16, 2021	OP615072
SCW-3	Wheat	<i>P. tritici-repentis</i> (MK540017)	100.0	Suncheon	March 16, 2021	OR265491
SCW-4	Wheat	<i>P. tritici-repentis</i> (MK540017)	100.0	Suncheon	March 16, 2021	OR265492
GJO-3	Oat	<i>P. avenae</i> (MK539979)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357986
GJO-4	Oat	<i>P. avenae</i> (MK539979)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357987
GJO-5	Oat	<i>P. avenae</i> (MK539979)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357988
GJO-6	Oat	<i>P. avenae</i> (MK539979)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357989
GJO-7	Oat	<i>P. avenae</i> (MK539979)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357990
GJO-8	Oat	<i>A. alternata</i> (OR900525)	100.0	Gangjin	March 16, 2021	PP357936
BSB-5	Barley	<i>A. alternata</i> (OK317690)	99.6	Boseong	April 15, 2021	PP357940
BSB-1	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980338)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357969
BSB-7	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980881)	99.3	Boseong	April 15, 2021	PP357970
BSB-8	Barley	<i>Cladosporium</i> sp. (MF472917)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357971
BSB-9	Barley	<i>Cladosporium</i> sp. (MF472917)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357972
BSB-4	Barley	<i>E. tobaicum</i> (MT573479)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357974
BSB-3	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP358001
JHB-5	Barley	<i>A. alternata</i> (OK317690)	99.6	Jangheung	April 15, 2021	PP357941
JHB-7	Barley	<i>Cladosporium</i> sp. (MF472917)	100.0	Jangheung	April 15, 2021	PP357973
JHB-4	Barley	<i>P. teres</i> (CP060568)	99.3	Jangheung	April 15, 2021	PP358005
JHB-2	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Jangheung	April 15, 2021	PP358003
JHB-3	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Jangheung	April 15, 2021	PP358004
JHB-6	Barley	<i>P. teres</i> (MW720811)	99.8	Jangheung	April 15, 2021	PP357942
JHB-1	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Jangheung	April 15, 2021	PP358002
SCB-1	Barley	<i>A. alternata</i> (OK317690)	99.6	Suncheon	April 15, 2021	PP357939
SCB-2	Barley	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.7	Suncheon	April 15, 2021	PP357966
SCB-4	Barley	<i>C. cereale</i> (MZ569498)	99.7	Suncheon	April 15, 2021	PP357968
SCB-3	Barley	<i>C. cereale</i> (OR980238)	99.9	Suncheon	April 15, 2021	PP357967

Table 1. Continued

Isolates	Host	The closest matching GenBank Taxa (GenBank accession no.)	Percent of Identity	Collected regions	Date of isolation	GenBank accession nos.
SCB-6	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Suncheon	April 15, 2021	PP357999
SCB-7	Barley	<i>P. teres</i> (JN943644)	100.0	Suncheon	April 15, 2021	PP358000
SCB-5	Barley	<i>P. teres</i> (ON721625)	100.0	Suncheon	April 15, 2021	PP357998
SaCB-1	Barley	<i>P. teres</i> (OR562044)	99.8	Sacheon	April 16, 2021	PP358006
SaCB-2	Barley	<i>P. teres</i> (CP060568)	99.5	Sacheon	April 16, 2021	PP358007
SaCB-5	Barley	<i>P. teres</i> (CP060568)	99.5	Sacheon	April 16, 2021	PP358008
SaCB-6	Barley	<i>P. teres</i> (MK540005)	99.8	Sacheon	April 16, 2021	PP357991
SaCB-7	Barley	<i>P. teres</i> (MK540005)	99.8	Sacheon	April 16, 2021	PP357992
SaCB-8	Barley	<i>P. teres</i> (OR562044)	99.6	Sacheon	April 16, 2021	PP357993
SaCB-9	Barley	<i>P. teres</i> (EF452461)	99.7	Sacheon	April 16, 2021	PP357994
SaCB-10	Barley	<i>P. teres</i> (MK540005)	99.4	Sacheon	April 16, 2021	PP357995
SaCB-11	Barley	<i>P. teres</i> (MK540005)	99.4	Sacheon	April 16, 2021	PP357996
SaCB-12	Barley	<i>P. teres</i> (MK540005)	99.4	Sacheon	April 16, 2021	PP357997
GSB-2	Barley	<i>P. teres</i> (OR562044)	99.8	Goseong	April 16, 2021	PP358009
BSW-19	Wheat	<i>Fusarium</i> sp. (MH108136)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357976
BSW-18	Wheat	<i>Fusarium</i> sp. (MN534839)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357978
BSW-20	Wheat	<i>Fusarium</i> sp. (MN534839)	100.0	Boseong	April 15, 2021	PP357977
SaCW-1	Wheat	<i>E. tobaicum</i> (MN242722)	100.0	Sacheon	April 16, 2021	PP357975

ITS, internal transcribed spacer.

진전되기도 하였다. 병반 가장자리는 갈색 또는 암갈색이었으며, 가장자리의 안쪽은 하얗게 변하며 회백색을 띠기도 하였다 (Fig. 1C).

맥류에서 수집한 곰팡이 병 균주의 형태학적 동정. 분리된 균주의 배양적 특성, 균사 격막의 유무 그리고 포자가 관찰될 경우 포자의 형태를 통해 병원균의 형태학적 동정을 수행하였다. 수집 균주들의 배양적 특성은 PDA 배지에서 2주에서 4주간 배양하여 culture-dish 앞면의 균사의 특성과 색을 살펴보았으며, 뒷면도 마찬가지로 색소(pigment)의 집적 등의 특성을 살펴보았다. 기술된 배양적 특성을 통해 분류한 뒤, 대표성을 띠는 균주들의 현미경적 관찰을 수행하였다.

맥류(보리, 밀, 귀리)의 잎집눈무늬병(sharp eyespot disease)의 병징(Fig. 2A 왼쪽)으로부터 분리된 균주의 경우 균사는 흰색에서 크림색이었으며(Fig. 2A 중앙), 현미경으로 관찰한 결과 균사가 직각 분지하는 특성이 관찰되었다(Fig. 2A 오른쪽). 그러나 4-8주 배양 기간 동안 포자는 관찰되지 않았다. 관찰한 특성

을 고려하여 *Ceratobasidium* 속 균으로 동정하였다.

보리의 줄무늬병 또는 그물무늬병(leaf stripe 또는 net blotch disease)의 병징(Fig. 2B 왼쪽)으로부터 분리된 균주는 솜사탕과 같이 fluffy한 흰색의 균사를 관찰할 수 있었으며 배양체의 뒷면은 갈색부터 검은색에 이르는 색소가 관찰되었다(Fig. 2B 중앙). 현미경으로 균사체를 관찰할 결과 균사는 격막이 있었으며, 4-12주 동안 배양한 배양체에서 포자 형성을 관찰할 수 없었다(Fig. 2B 오른쪽). 병징 등의 관찰한 특성을 고려하여 *Pyrenophora* 속 균으로 동정하였다.

귀리의 잎반점(leaf spot) 병징(Fig. 2C 왼쪽)으로부터 분리된 균주는 회색 빛의 솜털 같은 기증 균사가 생기며 배양체의 뒷면은 검은 갈색의 색소를 관찰할 수 있었다(Fig. 2C 중앙). 균사체는 격막이 있었으며, *P. avenae*의 전형적인 포자가 PDA 배지에 기주인 귀리를 멸균하여 기질로 올려두었을 때 관찰되었다(Fig. 2C 오른쪽). 포자의 크기는 길이×너비가 115-130×25-30 μm ($n=20$)였다. 관찰한 특성을 종합하여 잠정적으로 *P. avenae*로 동정하였다.

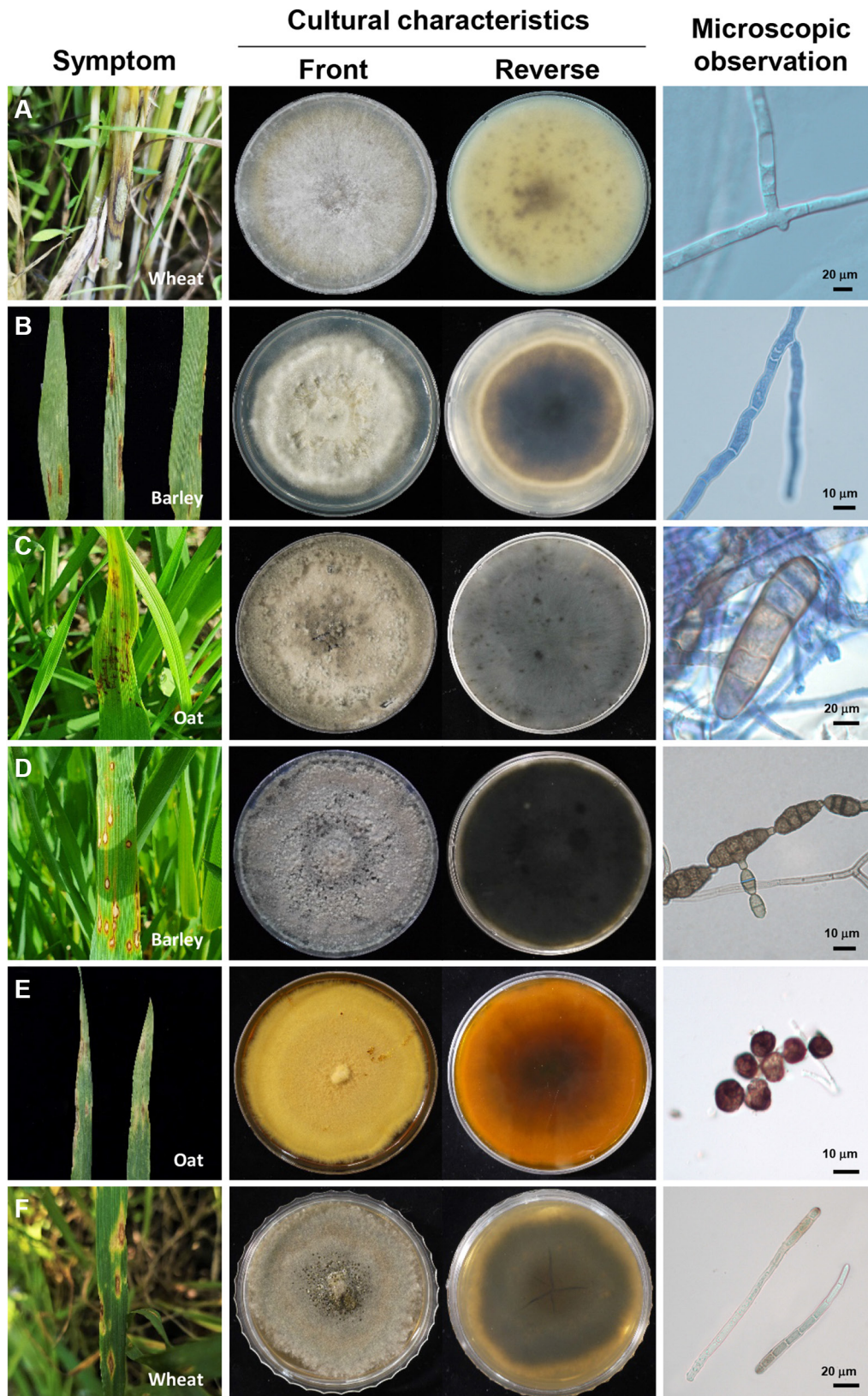


Fig. 2. Morphological characteristics of six dominant representative species. (A-F) Naturally occurring symptoms (left), the front and reverse of cultures on potato dextrose agar (PDA) medium (middle), and microscopic pictures of conidia or mycelia on PDA medium (right) from *Ceratobasium cereale* (A), *Pyrenophora teres* (B), *P. avenae* (C), *Alternaria alternata* (D), *Epicoccum tobaicum* (E), and *Pyrenophora tritici-repentis* (F).

맥류(보리, 밀, 귀리)의 점무늬(brown spot) 병징(Fig. 2D 왼쪽)으로부터 분리된 균주의 경우 균사는 회갈색이었으며 균사체의 뒷면은 검은 갈색의 색소를 관찰할 수 있었다(Fig. 2D 중앙). 현미경으로 관찰한 결과 균사는 격막이 있었으며, 포자가 연달아 사슬을 이루며 총알탄 모양의 전형적인 *Alternaria* 속 균의 특징을 보였다. 특히 포자로부터 작은 소형분생포자(microconidium)도 한 개의 대형분생포자(macroconidium)에서 한 개 또는 두 개 생성되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 2D 오른쪽). 대형분생포자의 크기는 길이×너비가 20-35×5-15 μm ($n=100$) 범위였다. 소형분생포자의 크기는 길이×너비가 8-12×4-6 μm ($n=20$) 범위였다. 병징, 균총의 모양, 포자의 모양, 크기 및 특성을 고려하여 잠정적으로 *Alternaria* 속 균으로 동정하였다.

맥류(보리, 밀, 귀리)의 갈색 점무늬(brown leaf spot) 병징(Fig. 2E 왼쪽)으로부터 분리된 균주는 균총의 색이 샤프란 같은 노란색을 띠었으며, 배지의 뒷면에서는 암갈색의 색소를 관찰할 수 있었다(Fig. 2E 중앙). PDA에서 배양한 지 2주 만에 황금색에서 적갈색의 구형의 포자를 관찰할 수 있었는데(Fig. 2E 오른쪽), 포자의 크기는 직경 15-23 μm ($n=100$) 범위였다. 관찰한 특성을 고려하여 *Epicoccum* 속 균으로 동정하였다.

밀의 황갈색반점(tan spot) 병징(Fig. 2F 왼쪽)으로부터 분리된 균주는 회갈색-황갈색을 띠는 균사가 관찰되었으며, 배양체의 뒷면은 황갈색의 색소를 관찰할 수 있었다(Fig. 2F 중앙). 균사체는 격막이 있었으며, PDA 배지에 기질로서 밀의 잎을 올려두었을 때 길쭉한 균사와 같은 포자가 관찰되었다(Fig. 2F 오른쪽). 포자의 크기는 다양하였으며 길이×너비가 45-150×4-6 μm ($n=20$) 범위였다. 관찰한 특성을 고려하여 *P. tritici-repentis*로 동정하였다.

보리에서 분리된 3개의 균주는 병징과 균화적인 특성을 기반으로 *Cladosporium* sp.로 동정하였다. 밀에서 분리된 5개의 균주는 각각 균총의 특성으로 3개와 2개가 동일한 곰팡이 속으로 추정되어 균화적인 특성을 통해 각각 *Fusarium* sp.와 *Nigrospora* sp.로 동정하였다.

맥류에서 수집한 곰팡이 병 균주의 분자생물학적 동정. 분리된 총 92개 균주의 형태학적 특성과 더불어 분자생물학적인 특성을 통한 종 동정을 위해 ITS 영역 염기서열 정보를 확보하였다. 확보된 염기서열을 editing한 뒤, NCBI의 BLAST 검색을 통해 99.1-100%의 percent identity 범위 내에서 가장 높은 Query coverage를 보일 경우 동일 종으로 구분하였다(Table 1).

2020년에 분리된 32개 균주의 23개(71.9%) 균주가 잎집눈무늬병의 원인 병원균인 *C. cereale*로 동정되었다. 뒤이어 5개(15.6%)와 4개(12.5%) 균주가 각각 잎반점병균(또는 종자흑변병균) *P. avenae*와 갈색점무늬병균 *Epicoccum tobaicum*으로

동정되었다(Fig. 3A, D).

2021년에 분리된 60개 균주들은 총 9개의 다른 곰팡이 종으로 동정되었다. *Pyrenophora teres*가 20개(33.3%)로 가장 높은 빈도로 분리되었으며, *C. cereale*가 16개(71.9%)가 그 뒤를 이었다. *Alternaria alternata*에 의한 점무늬병이 보리, 밀, 귀리의 잎에서 관찰되었으며 분리된 균주도 6개(10.0%) 확보되었다. 그 뒤로는 *P. avenae* (5개 균주, 15.6%), *Cladosporium* sp. (3개 균주, 5.0%), *Pyrenophora tritici-repentis* (3개, 5.0%), *Fusarium* sp. (3개, 5.0%), *E. tobaicum* (2개, 3.3%) 그리고 *Nigrospora oryzae* (2개, 3.3%)로 동정되었다(Fig. 3B, D).

2020년부터 2021년 2년간 수집한 92개 균주들 중 잎집눈무늬병균 *C. cereale* (39개, 42.4%)가 가장 높은 빈도로 분리되었다(Fig. 3C, D). 그 다음으로는 *P. teres* (20개, 21.7%), *P. avenae* (10개, 10.9%), *A. alternata* (6개, 6.5%), *E. tobaicum* (6개, 6.5%), *P. tritici-repentis* (3개, 3.3%), *Cladosporium* sp. (3개, 3.3%), *Fusarium* sp. (3개, 3.3%), *Nigrospora* sp. (2개, 2.2%) 순이었다(Fig. 3C, D).

고찰

2020-2021년 3-4월에 수행한 곰팡이 병 조사는 분얼기와 신장기 동안 지제부와 잎에 발생한 맥류 곰팡이 병을 조사하여 국내 미기록 맥류 병에 관한 새로운 정보가 수집되었다. 대표적으로 2021년에서 2023년 사이 국내 미기록 병원균으로 귀리에 발생하는 *C. cereale*에 의한 잎집눈무늬병(Jeong 등, 2023c), *E. tobaicum*에 의한 갈색점무늬병(Jeong 등, 2023a) 및 *A. alternata*에 의한 잎점무늬병(Kim, 2021)이 보고되었다. 또한, 밀에 발생하는 황갈색반점병(tan spot disease)도 국내 미기록 병원균으로 Jeong 등(2023b)에 의해 국내 미기록 밀 병원균으로 보고되었다.

잎집눈무늬병의 경우는 이번 연구에서 보리, 밀, 귀리를 포함하는 맥류에서 가장 많이 분리되었는데(Fig. 3), 중국에서는 2005년 재배 밀 밭의 8백 만 ha 이상에 발병하여, 2005년에서 2008년 사이 1,500만 달러 이상의 경제적 피해를 초래하여 주요 방제 대상 병원균으로 보고되었다(Chen 등, 2008; McBeath와 McBeath, 2010; Zhang 등, 2022). 폴란드에서는 2006년에서 2009년 사이 중북부 4개 밀 재배 지역의 병 및 기후 조사를 통해 잎집눈무늬병의 발병이 재배 평균 온도인 7.4-8.9°C보다 높은 9.7-10.1°C 범위로 발병도가 높아진다고 보고하였다(Lemańczyk와 Kwaśna, 2013). 이번 연구에서 가장 높은 빈도로 우점하는 잎집눈무늬병이 만약 국내 봄철 기온이 상승할 경우 맥류에 심각한 피해를 초래할 수 있는 주요한 병이 될 수 있을 것이다(Lee 등, 2011).

두 번째로 우점종으로 분리된 *P. teres*는 전 세계 보리 재배지

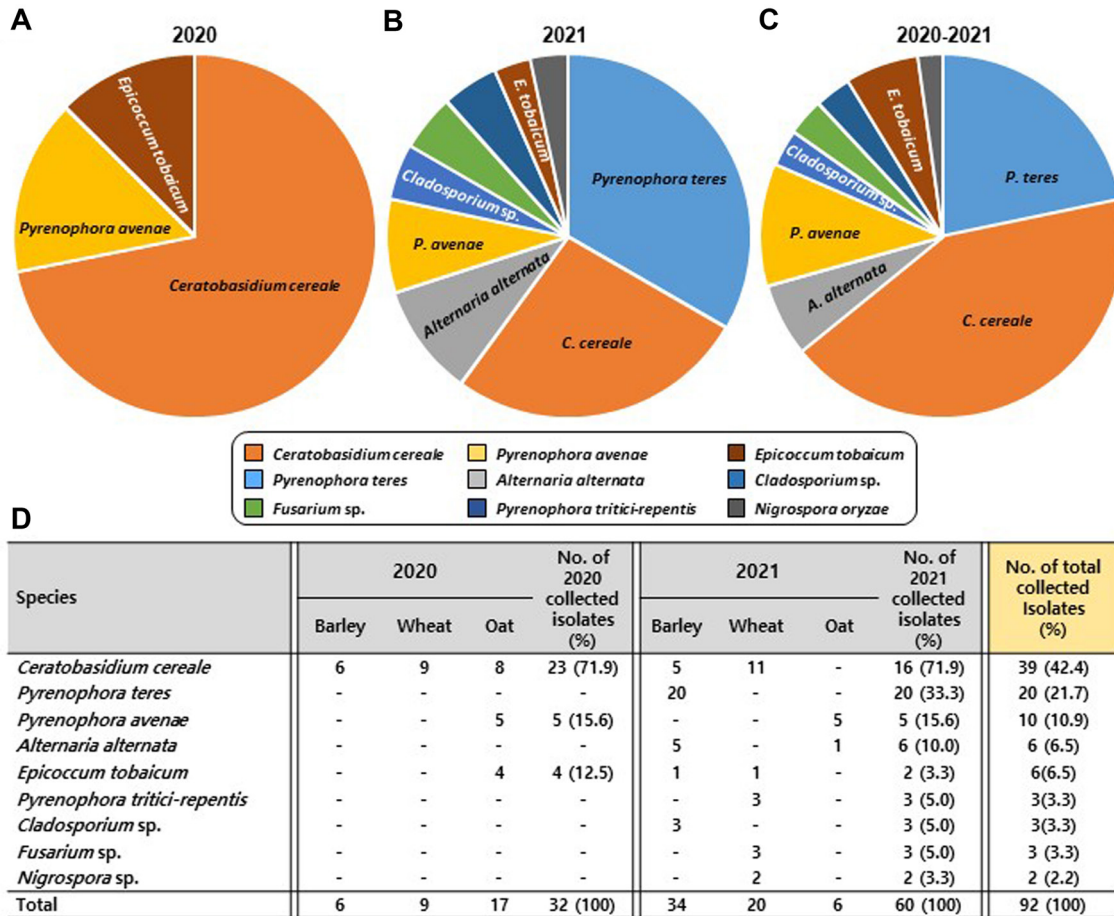


Fig. 3. The pie charts of the collected fungal isolates and table of the collected isolates corresponding to the pie graphs. Distribution pie graphs by species of isolates collected in 2020 (A), 2021 (B), and 2020-2021 (C). (D) The percentage distribution of the obtained fungal isolates between 2020 and 2021.

에 발생하는 곰팡이 병 중 하나로 심한 경우 27-34%의 수량 감소를 가져오는 것으로 보고된 바 있다(Yitbarek와 Wudneh, 1985). 우리나라에서는 병의 발생 정도가 등숙기의 초기에서 수확기로 진전될수록 증가하는 것으로 보고되었다(Cho 등, 2014). 세 번째 우점종으로 분리된 귀리의 잎반점병의 원인 병원균인 *P. avenae*는 2018년도 Choi 등(2018)에 의해 귀리 종자를 검게 하는 종자 흑변병의 원인 병원균으로 보고된 바 있으며, 본 연구에서도 2020년과 2021년 귀리 재배지에서 각각 수집되어, 병원균이 출수기 전 분얼기와 신장기부터 잎에 발병하는 것을 알 수 있었다. 밀 황갈색반점병(*P. tritici-repentis*)은 캐나다의 밀 생산량을 감소시키는 주요 병원균으로 보고되었는데 (Aboukhaddour 등, 2020), 이번 연구 결과를 통해 미기록종을 보고하였다(Jeong 등, 2023b).

본 연구에서는 ITS 영역의 염기서열 정보만을 통해 동정하여, 해당 곰팡이의 barcord 정보를 통해 추가적인 유전자 염기서열 정보를 통한 동정이 필요할 것으로 판단된다. 특히 종 수준이

필요한 *Cladosporium* sp.는 2개의 barcord 유전자(translation elongation factor-1 alpha [*TEF1-α*]와 *Actin* [*ACT*]), *Fusarium* sp.는 3개의 barcord 유전자(*TEF1-α*, largest subunit of RNA polymerase [*RPB1*], second *RPB1* [*RPB2*]) 그리고 *Nigrospora* sp.는 2개의 유전자(*TEF1-α*와 beta-tubulin [*TUB2*]) 유전자 염기서열 정보를 통해 종 동정이 이루어져야 할 것이다(Thomas 등, 2019; Wang 등, 2017; Zimowska 등, 2021).

이 연구는 맥류의 분얼기와 신장기 병조사를 통해 출수기 이전 발병하는 곰팡이 병에 대한 정보를 수집하였다. 조사 결과에 기반하여 병 발생 현황 및 미기록 곰팡이 병원균을 통해 앞으로 문제가 될 수 있는 병원균의 기초 정보로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이 연구 결과는 2020-2021년 동안 남부 맥류 재배지에서만 조사한 결과이므로, 조사 지역을 확장하여 추가적 조사가 이루어져야 할 것이다. 특히, 기후 변화로 인한 새로운 병의 출현 및 대발생에 대비하여 기후 정보와 함께 장기적 병 조사와 피해 조사가 이뤄져야 할 것으로 보인다.

요 약

보리, 밀, 귀리를 포함한 맥류는 우리나라의 주요 겨울 식량 작물이다. 최근 기후 변화에 따른 농업 환경 변화에도 불구하고, 곡물 생산성에 영향을 미칠 수 있는 곰팡이 병원균의 발병 조사에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이 연구는 우리나라 남부지방의 보리, 밀, 귀리 재배지 7곳에서 발생하는 곰팡이 병을 조사하였다. 2020년과 2021년 3-4월 사이 맥류가 분얼기 및 신장기에 접어들었을 때 지제부와 잎에 발생하는 곰팡이 병원균을 조사 및 수집하여, 총 92개의 분리 균주를 수집하였다. 분리 균은 형태학적 및 분자생물학적 특성을 기반으로 동정하였다. 우점종은 *C. cereale* (42.4%)이었고, *Pyrenophora teres* (21.7%), *P. avenae* (10.9%), *Alternaria alternata* (6.5%) 및 *Epicoccum tobaicum* (6.5%)이 그 뒤를 이었다. 또한, *P. tritici-repentis* (3.3%), *Cladosporium* sp. (3.3%), *Fusarium* sp. (3.3%) 및 *Nigrospora* sp. (2.2%)도 소수 집단으로 검출되었다. 이 결과는 한국 맥류의 성장기, 특히 분얼기와 신장기에 발생하는 곰팡이 병에 대한 정보를 제공할 것이다. 또한 이 연구를 통해 수집된 균주는 온도와 습도에 초점을 맞춘 기후 변화 시뮬레이션을 수행하는 데 사용될 수 있는 자원으로 제공될 것이다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This study was supported by a grant from the Rural Development Administration (PJ014995042023).

References

- Aboukhaddour, R., Fetch, T., McCallum, B. D., Harding, M. W., Beres, B. L. and Graf, R. J. 2020. Wheat diseases on the prairies: a Canadian story. *Plant Pathol.* 69: 418-432.
- Chen, L., Zhang, Z., Liang, H., Liu, H., Du, L., Xu, H. et al. 2008. Over-expression of *TiERF1* enhances resistance to sharp eyespot in transgenic wheat. *J. Exp. Bot.* 59: 4195-4204.
- Cho, K. M., Shin, S. H., Kang, C. S., Kim, K. H., Choi, J. S. and Park, J. C. 2014. Resistance to net blotch (*Pyrenophora teres*) in field and seed infection of Korean two-rowed barley cultivars. *J. Agric. Life Sci.* 45: 28-32.
- Choi, J.-H., Kim, J., Ham, H., Lee, T., Nah, J.-Y., Choi, H.-W., et al. 2018. Characterization of *Pyrenophora avenae* isolated from discolored black oat seeds in Korea. *Kor. J. Mycol.* 46: 459-466. (In Korean)
- Choi, J.-H., Nah, J.-Y., Jin, H.-S., Lim, S.-B., Paek, J.-S., Lee, M.-J. et al. 2019. Identification and chemotype profiling of *Fusarium* species in Korean oat. *Res. Plant Dis.* 25: 157-163. (In Korean)
- Gardes, M. and Bruns, T. D. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes--application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.* 2: 113-118.
- Ha, Y. W., Nam, Y. I., Park, M. E. and Cho, C. H. 1983. Distribution of weed population in the winter wheat and barley field in Korea. *Korean J. Weed Sci.* 3: 120-128. (In Korean)
- Hamada, M. S., Yin, Y., Chen, H. and Ma, Z. 2011. The escalating threat of *Rhizoctonia cerealis*, the causal agent of sharp eyespot in wheat. *Pest Manag. Sci.* 67: 1411-1419.
- Han, O.-K., Park, H. H., Heo, H. Y., Park, T. I., Seo, J. H., Park, K. H. et al. 2009. A new naked oat cultivar for human food, "Daeyang" with high-yielding and good-quality. *Korean J. Breed. Sci.* 41: 56-60. (In Korean)
- Jeong, M.-H., Choi, E. D. and Park, S.-Y. 2023a. First report of brown leaf spot caused by *Epicoccum tobaicum* on oat (*Avena sativa*) in Korea. *Plant Dis.* 107: 2255.
- Jeong, M.-H., Choi, E. D., Jang, S.-H., Kim, S.-M. and Park, S.-Y. 2023b. First report of *Pyrenophora tritici-repentis* in wheat (*Triticum aestivum* L.) in Korea and *in vitro* selection of an effective fungicide. *Kor. J. Mycol.* 51: 277-286.
- Jeong, M.-H., Choi, E. D. and Park, S.-Y. 2023c. First report of sharp eyespot of oat (*Avena sativa*) caused by *Ceratobasidium cereale* in Korea. *Plant Dis.* 107: 2525.
- Ju, J.-I., Lee, D.-H., Han, O.-K., Song, T.-H., Kim, C.-H. and Lee, H.-B. 2011. Comparisons of characteristics, yield and feed quality of oat varieties sown in spring and autumn. *J. Kor. Grassl. Forage.* 31: 25-32. (In Korean)
- Kang, C.-S., Cheong, Y.-K. and Kim, B.-K. 2016. Current situation and prospect of Korean wheat industry. *Food Ind. Nutri.* 21: 20-24. (In Korean)
- Kataria, H. R. and Hoffmann, G. M. 1988. A critical review of plant pathogenic species of *Ceratobasidium* Rogers. *J. Plant Dis. Protect.* 95: 81-107.
- Kim, D.-J., Kim, J.-H., Roh, J.-H. and Yun, J. I. 2012. Geographical migration of winter barley in the Korean peninsula under the RCP8.5 projected climate condition. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 14: 161-169. (In Korean)
- Kim, K.-M., Kang, C.-S., Kim, Y.-K., Kim, K.-H., Park, J.-H., Yoon, Y.-M. et al. 2020. Past and current status, and prospect of winter cereal crops research for food and forage in Korea. *Korean. J. Breed. Sci.* 52: 73-92. (In Korean)
- Kim, Y. C. 2021. First report of leaf spots on oat caused by *Alternaria alternata* in South Korea. *Plant Dis.* 105: 1200.
- Korean Statistical Information Service. 2023. Agricultural Land Area. URL https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301080800&bid=229&act=view&list_no=426050 [30 June 2023].

- Lee, E.-S., Lee, W.-H., Kang, C.-S., Kim, M.-J., Kim, T.-S. and Park, J.-C. 2011. Cultural characteristics of *Rhizoctonia cerealis* isolated from diseased wheat fields and evaluation of the resistance of Korean winter cereal crops. *Res. Plant Dis.* 17: 19-24. (In Korean)
- Lee, M.-H., Hong, S., Kim, K.-M., Kwak, S.-H., Choi, C., Kang, C.-S. et al. 2023. Research advances in wheat breeding and genetics for *Fusarium* head blight resistance. *Korean J. Breed. Sci.* 55: 195-217. (In Korean)
- Lee, M.-J., Park, S.-Y., Kim, Y.-K., Kim, H.-S., Park, H.-H., Lee, Y. J. et al. 2017. Physicochemical properties and β -glucan contents of Korean naked oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 97-103. (In Korean)
- Lee, W. H., Lee, K. J. and Lee, Y. H. 2002. Distribution, host range and disease incidence of smut fungi in Korea, Japan, and China. *Res. Plant Dis.* 8: 34-40. (In Korean)
- Lemańczyk, G. and Kwaśna, H. 2013. Effects of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield and grain quality of winter wheat. *Eur. J. Plant Pathol.* 135: 187-200.
- McBeath, J. H. and McBeath, J. 2010. Plant diseases, pests and food security. In: Environmental change and food security in China. ed. by B. Martin, pp. 136. Springer Dordrecht, Springer, Netherlands.
- Oh, S. Y., Seo, J. H., Choi, J. S., Kim, T. H. and Oh, S. H. 2023. Growth, productivity and forage values of winter cereal crops at paddy fields in the southern region of Korea. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 25: 61-70.
- Park, J.-C., Park, C.-S., Kim, M.-J., Kim, Y.-K., Lee, M.-J., Park, K.-H. et al. 2008. An easy seedling method to screen resistance of powdery mildew of barley and wheat. *Res. Plant Dis.* 14: 153-158. (In Korean)
- Park, J.-M., Shin, S.-H., Kang, C.-S., Kim, K.-H., Cho, K.-M., Choi, J.-S. et al. 2012. Fungicide effects *in vitro* and in field trials on *Fusarium* head blight of wheat. *Res. Plant Dis.* 18: 194-200. (In Korean)
- Ryu, J.-G., Lee, S., Son, S.-W., Lee, S.-H., Nam, Y. J., Kim, M. et al. 2011. Natural occurrence of *Fusarium* head blight and its mycotoxins in 2010-harvested barley and wheat grains in Korea. *Res. Plant Dis.* 17: 272-279. (In Korean)
- Rural Development Administration (RDA). 2020a. Barley. RDA, Jeonju, Korea
- Rural Development Administration (RDA). 2020b. Wheat. RDA, Jeonju, Korea
- The Korean Society of Plant Pathology. 2022. List of Plant Diseases in Korea (LPDK). 6th ed. KSPP Press, Seoul, Korea. 630 pp.
- Thomas, B., Contet Audonneau, N., Machouart, M. and Debougogne, A. 2019. Molecular identification of *Fusarium* species complexes: which gene and which database to choose in clinical practice? *J. Mycol. Med.* 29: 56-58.
- Wang, M., Liu, F., Crous, P.W. and Cai, L. 2017. Phylogenetic reassessment of *Nigrospora*: ubiquitous endophytes, plant and human pathogens. *Persoonia* 39: 118-142.
- White, T. J., Bruns, T. D., Lee, S. B. and Taylor, J. W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications, eds. by M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White, pp. 315-322. Academic Press, New York, NY, USA.
- Yang, J.-W., Kim, J.-Y., Lee, M.-R., Kang, I.-J., Jeong, J.-H., Park, M. R. et al. 2021. Identification and chemotype profiling of *Fusarium* head blight disease in triticale. *Res. Plant Dis.* 27: 172-179. (In Korean)
- Yitbarek, S. and Wudneh, E. 1985. Preliminary studies on the yield losses due to net blotch in barley. In: Proceedings of the 10th EPC annual meetings, pp. 47-52. Addis Ababa, Ethiopia.
- Zhang, Q., Men, X., Hui, C., Ge, F. and Ouyang, F. 2022. Wheat yield losses from pests and pathogens in China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 326: 107821.
- Zimowska, B., Becchimanzi, A., Krol, E. D., Furmanczyk, A., Bensch, K. and Nicoletti, R. 2021. New *Cladosporium* species from normal and galled flowers of Lamiaceae. *Pathogens* 10: 369.