

귀리 종자흑변병에 관여하는 *Alternaria alternata* 검출 및 발생원인Detection of *Alternaria alternata* Associated with Discolored Black Oat Seeds in Korea**\*Corresponding author**

Tel: +82-62-530-2076

Fax: +82-62-530-2079

E-mail: kyyang@jnu.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-8040-5467>최지민<sup>1</sup> · 송지혜<sup>1</sup> · 안준섭<sup>2</sup> · 김대욱<sup>3</sup> · 양광열<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>전남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, <sup>2</sup>전라남도 강진군 농업기술센터,<sup>3</sup>국립식량과학원 작물재배생리과Ji-Min Choi<sup>1</sup>, Ji-Hye Song<sup>1</sup>, Joonseob Ahn<sup>2</sup>, Dea-Wook Kim<sup>3</sup>, and Kwang-Yeol Yang<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea<sup>2</sup>Gangjin Agricultural Technology and Extension Center, Gangjin 59223, Korea<sup>3</sup>Crop Production and Physiology Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

In 2023, a number of seeds suspected to be discolored black oat seeds on oat farms in Gangjin were observed and examined for fungal infection. The species *Alternaria alternata* was predominant, accounting for 84% of all fungal infections. The appearance and quality of seeds harvested in 2022 were compared with seeds harvested in 2023 from the same field. The lightness value was lower in the seeds harvested in 2023, while the electrical conductivity was higher in the seeds harvested in 2023. The content of avenanthramide was found to be 10 times higher in the 2023 seeds than in those harvested in 2022. The accumulated precipitation in Gangjin in May 2023 was 230 times higher than that in May 2022, and the average relative humidity was high. These conditions created an environment suitable for infection of *A. alternata*, which were thought to have caused discolored black oat seeds.

**Keywords:** *Alternaria alternata*, Climate change, Discolored black oat seeds

Received November 20, 2023

Revised December 1, 2023

Accepted December 4, 2023

벼과 곡물인 귀리(*Avena sativa* L.)는 세계 각지에서 2000년 이상 재배되고 있는 작물 중 하나이다(Sang과 Chu, 2017). 귀리는 밀이나 쌀과 같은 주요 곡물보다는 낮은 비율로 소비되고 있었으나, 다양한 연구를 통해 필수 아미노산과 미네랄, 그리고 베타글루칸과 아베난쓰라마이드와 같은 기능성 화합물을 포함하고 있는 것으로 밝혀져 관심이 높아지고 있다(Brindzova 등, 2008; Vilmane 등, 2015). 이에 따라 국내 귀리 재배지 면적 및 생산량이 늘어나고 있는 추세이다(Lee 등, 2016). 그러나 최근 기후변화로 인

해 다양한 작물들의 수량과 품질의 저하, 병해충에 의한 피해가 증가하고 있는 실정이다(Ben Mariem 등, 2021; Juroszek 등, 2020). 국내의 경우 귀리에 발생하는 곰팡이병에는 관녹병, 줄기녹병, 걸깜부기병 그리고 속깜부기병 등이 오래전에 보고되었다(The Korean Society of Plant Pathology, 2022). 그러나 최근 들어 2018년에 *Pyrenophora avenae*에 의한 종자흑변병, 2020년에 *Alternaria alternata*에 의한 leaf spot, 2023년에 *Epicoccum tabaicum*에 의한 brown leaf spot, *Ceratobasidium cereale*에 의한 sharp eyespot 등이 국내 연구진들에 의해 새롭게 귀리의 주요 곰팡이병으로 보고되었다(Choi 등, 2018; Jeong 등, 2023a, 2023b; Kim, 2021; The Korean Society of Plant Pathology, 2022). 귀리 재배면적이

Research in Plant Disease

eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

© The Korean Society of Plant Pathology

© 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.



Fig. 1. Discolored black oat seeds harvested in 2023 (A). Comparison between oat seeds harvested in 2022 and 2023 (B).

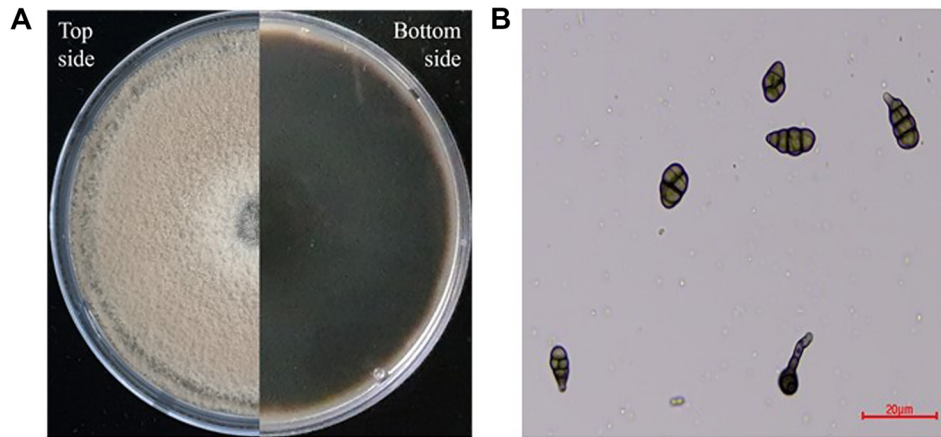


Fig. 2. Cultural and morphological characteristics of *Alternaria alternata* GJ-17-1 isolated from oat seeds. Top and bottom side of a colony on potato dextrose agar at 25°C for 14 days (A) and conidia (B).

증가하면서 재배과정에서 잎에 발생하는 곰팡이병에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있으나 귀리 종자에서 발생하는 곰팡이병에 대한 연구는 *P. avenae*에 의한 종자흑변병 연구 외에는 전무한 실정이다. 본 연구는 2023년 강진의 농가에서 수확한 귀리 종자에서 예년에 비해 흑변 증상이 다수 발생한 것을 확인하고 이에 대한 생물학적 및 환경적 발생원인에 대해 조사하였다.

2023년 강진 농가에서 수확한 국내 육성 품종 ‘조양’ 귀리에서 건전한 종자와 다르게 갈색 혹은 검은색의 흑변 증상을 보이는 종자들이 다수 관찰되었다(Fig. 1A). 흑변 증상이 뚜렷하게 보이는 귀리 종자 132개를 선발하여 종자 병해 검정법으로 사용하는 블로터법을 일부 변형해서 사용하였다(Upadhyay와 Singh, 2019). 귀리 종자를 70% ethanol과 1% NaClO로 표면소독을 실시한 다음 potato dextrose agar (PDA) 배지에 25개씩 치상하여 항온기에 배양한 후 곰팡이 감염률을 조사한 결과, *Alternaria*속이 84%를 차지할 만큼 우점하였고 이어서 *Epicoccum*속과 *Pyrenophora*속이 각각 7%로 나타났으며 *Nigrospora*속, *Cladosporium*속, 그리고 *Fusarium*속 등이 포함된 소수의 곰팡이들이 2% 수준으로 낮게 검출되었다. 가

장 높은 비율로 검출된 *Alternaria* 균주는 PDA 배지에서 올리브색을 띠다가 시간이 경과함에 따라 검은색으로 변했으며 분생포자는 1-5개의 횡격막과 1-3개의 종격막이 있는 타원형 또는 곤봉형이었으며, 크기는 8-25×5-10 μm ( $n=50$ )였다(Fig. 2A, B). 이러한 형태학적 특징은 *A. alternata*에서 관찰된 것과 일치하였다(Woudenberg 등, 2013). 분자생물학적 종동정을 위해 대표적인 분리 균주인 GJ-17-1의 internal transcribed spacer (ITS) 및 glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (GAPDH), RNA polymerase II second largest subunit (RPB2)의 유전자 염기서열을 증폭하여 분석하였다(Berbee 등, 1999). 이러한 서열은 GeneBank (ITS: OR815935; GAPDH: OR879108; RPB2: OR879107)에 등록하였으며, *A. alternata* type strain CBS916.96 및 *A. alternata* isolate Oaa-2 (MT786424), MAAS-1 (MW487388), MAAS-2 (MW741962) 등과 유사도를 비교한 결과, 99.7-100%의 상동성이 확인되어 *A. alternata*로 동정되었다(Kim, 2021; Praveen 등, 2021; Woudenberg 등, 2013). Choi 등(2018)은 정읍 귀리농가에서 수집한 귀리종자의 흑변 증상을 일으키는 병원균의 대부

분이 *Pyrenophora*속으로 45%를 차지하였고 *Alternaria*속과 *Epicoccum*속이 각각 15%, 3%로 검출되었다고 보고하였으며 *Pyrenophora* 균주의 ITS 부위와 GAPDH 유전자 염기서열 분석을 통해 최종적으로 *P. avenae*로 동정하였다. 또한 같은 논문에서 *P. avenae*의 귀리 잎과 종실에 대한 병원성 검정을 통해 “귀리잎마름병”이라 명명할 것을 제안하였고 식물병리학회에서 최종적으로 “종자흑변병”으로 명명하였다(Choi 등, 2018; The Korean Society of Plant Pathology, 2022). 본 연구결과 역시 귀리종자의 흑변 증상을 일으키는 병원균의 분포를 보면 기존의 연구와 같이 3종류의 병원균이 주로 검출되었으나 *Alternaria*속 병원균의 검출 비율에서 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 최근에 우리나라를 포함해서 중국, 인도, 파키스탄 등에서 *A. alternata*가 귀리 leaf spot을 일으키는 병원균이라고 국가별로 최초 보고되었다(Chen 등, 2020; Kim, 2021; Praveen 등, 2021; Raza 등, 2018). 이러한 결과들로 미루어보아 “종자흑변병”을 일으키는 우점종이 *P. avenae*에서 *A. alternata*로 변화된 결과가 귀리 재배과정에서 잎에 leaf spot을 일으키는 병원균이 *A. alternata*라는 최근 연구결과와 연관이 있을 것으로 생각되었다.

2023년에 흑변 종자가 다수 확인된 원인을 파악하기 위해 강진 귀리농가의 같은 포장에서 2022년에 수확한 후 보관되어 있는 귀리 종자들과 외관 및 품질을 비교하였다. 2022년에 수확한 귀리 종자는 정상적으로 밝은 색을 띠며 깨끗한 반면, 2023년에 수확한 귀리 종자는 전체적으로 어두운 흑색을 띠고 있음을 쉽게 확인할 수 있었다(Fig. 1B). 정확한 종자의 색상 비교를 위해 색차계(3NH color spectrophotometer, China)를 이용하여 2022년과 2023년 귀리 종자의 색도값인 L (lightness), a (redness), b (yellowness)를 측정하였다. 그 결과, 명도를 나타내는 L값이 2023년의 귀리 종자에서 50.00으로 나타나 56.72을 보인 2022년 종자에 비해 유의하게 낮게 나타났다(Table 1). 낮은 L값은 2023년에 수확된 귀리 종자의 색이 이전 년도에 비해 어둡다는 것을 의미한다. 또한 본 연구실에서 해남의 귀리농가 2곳과 강진의 다른 귀리농가 2곳으로부터 2022년과 2023년에 수집한 조양을 대상으로 역시 L값을 측정할 결과, 2022년에는 평균 55.59으로 나타난 반면 2023년 시료에서는 49.93으로 나타나 해남과 강진의 다른 농가 역시 비슷한 경향을 보였다(data not shown). 종자의 품질을 검정하기 위해 종자 3 g을 30 ml의 증류수에 6시간 동안 침지한 뒤 전기전도계(HM Digital, COM-100 Waterproof Professional Series, Los Angeles, CA, USA)를 이용하여 종자 용출물의 전기전도도를 측정하였다. 활력 상태가 좋지 못한 종자일수록 세포막이 손상되어 침출물이 증가하는데, 이들의 전하를 측정함으로써 간단하게 손상도를

**Table 1.** Comparison of color values of oat seeds harvested in 2022 and 2023

Year	L* (lightness)	a* (redness)	b* (yellowness)
2022	56.72±1.40 b <sup>a</sup>	5.68±0.22	22.65±0.32
2023	50.00±0.44 a	5.62±0.30	21.74±0.21

<sup>a</sup>Significant differences ( $P<0.05$ ) among experimental conditions by Student's *t*-test are labeled with different letters in the same column.

**Table 2.** Comparison of electrical conductivity of oat seeds harvested in 2022 and 2023

Year	Electrical conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
2022	212.33±11.02 a <sup>a</sup>
2023	270.00±11.27 b

<sup>a</sup>Significant differences ( $P<0.05$ ) among experimental conditions by Student's *t*-test are labeled with different letters in the same column.

측정하는 방법으로 전기전도도가 높을수록 종자의 활력이 낮은 것으로 판단할 수 있다(Hall과 Wiesner, 1990; Hampton 등, 1992). 2022년 종자에서는 전기전도도가 212.33으로 나타났으나 2023년 종자에서는 270.00으로 높게 측정되어 종자의 활력에 유의적인 차이가 있음을 알 수 있었다(Table 2). 최근 귀리가 높은 주목을 받고 있는 이유는 귀리에만 존재하는 대표적인 기능성분인 아베난쓰라마이드의 항산화, 항염증, 항암, 그리고 알츠하이머 치매 예방 및 치료 등과 같은 다양한 생리활성 작용이 높기 때문이다(Emmons와 Peterson, 2001; Meydani, 2009; Ramasamy 등, 2020). 귀리 종자에 함유된 아베난쓰라마이드 함량을 확인해 보고자 high performance liquid chromatography (Agilent Co., Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. 아베난쓰라마이드 standard는 Sigma (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 표준곡선을 작성한 후 정량하였다. 2022년 귀리 종자의 아베난쓰라마이드 함량은 2.85  $\mu\text{g}/\text{g}$  수준으로 나타났으나 2023년 귀리 종자에서는 28.93  $\mu\text{g}/\text{g}$ 로 나타나 유의적으로 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타나는 경향을 보였다(Table 3). Son 등(2018)이 2016년 수원에서 재배된 국내 육성 귀리 5 품종을 이용하여 아베난쓰라마이드 함량을 분석한 연구에서 조양의 경우 8.5  $\mu\text{g}/\text{g}$ 이 함유되어 있다고 보고하였다. 또한 본 연구실에서 해남 농가 2곳과 강진의 다른 농가 2곳으로부터 2022년과 2023년에 수집한 조양을 대상으로 아베난쓰라마이드 함량을 분석한 결과, 2022년에는 1.69–2.62  $\mu\text{g}/\text{g}$  범위에서 측정되었으나 2023년 시료에서는 26.98–38.1  $\mu\text{g}/\text{g}$  범위로 나타



**Table 3.** Comparison of avenanthramide contents of oat seeds harvested in 2022 and 2023

Year	AvnA	AvnB	AvnC	Total
2022	1.04±0.26 a <sup>a</sup>	0.64±0.17 a <sup>a</sup>	1.17±0.33 a <sup>a</sup>	2.85±0.76 a <sup>a</sup>
2023	12.47±1.57 b	13.81±2.45 b	9.54±1.11 b	28.93±1.16 b

<sup>a</sup>Significant differences ( $P < 0.05$ ) among experimental conditions by Student's *t*-test are labeled with different letters in the same column.

나 Table 3에서 제시한 결과와 비슷한 경향을 보였다(data not shown). 아베난쓰라마이드는 *Puccinia coronata*라는 병원균에 의해 crown rust에 감염된 귀리의 잎에서 처음 발견된 파이토알렉신의 일종으로 알려져 있으며 곰팡이 또는 세균 유래 생물학적 스트레스뿐만 아니라 benzothiadiazole과 같은 전신저항성 활성제에 의해서도 유도 증폭된다고 보고되었다(Mayama 등, 1982; Wise, 2011). 최근에는 캐나다에서 아베난쓰라마이드 함량의 유전적 및 환경적 변화를 분석한 결과, 특정 지역에서 재배된 귀리에서 다른 지역에 비해 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타났는데 그 이유가 다른 지역에 비해 귀리 crown rust 발병률이 높은 지역이기에 아베난쓰라마이드 축적과 연관되어 있을 것으로 생각하였다(Malunga 등, 2022). 이러한 결과들을 종합해 보면 흑변 증상이 두드러진 2023년 귀리종자에서 2022년에 비해 10배 정도 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타난 이유는 귀리가 재배되는 환경속에서 *A. alternata* 등에 의한 생물학적 스트레스에 대한 방어 반응이 작용했을 것으로 추정할 수 있다.

본 연구에 사용된 조양 귀리는 강진에서 평균적으로 10월 말에서 11월초에 파종한 후 6월초에 수확하게 되므로 2023년 귀리종자의 흑변 현상과 기상조건과의 연관성을 파악하기 위해 2022년과 2023년 2년간 4월부터 6월까지의 일평균 기온(°C), 강수량(mm), 평균 상대습도(%) 등을 강진군 기상대의 기상자료를 통해 확인해 보았다. 2년간의 5월 일평균기온은 2022년 18.22°C와 2023년 18.32°C로 차이가 없었으나 강수량과 평균 상대습도의 경우는 비교적 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 2023년 5월 강진군에는 11일간 강우가 있었던 달 평균 강수량은 321.7 mm이었던 반면 2022년 5월에는 3일만 강우가 있었지만 평균 0.46 mm가 내려 총 1.40 mm을 보여 2022년과 비교해 볼 때 2023년에 무려 230배의 강수량을 기록하여 2023년의 5월 평균 상대습도는 77.84%로 나타났다(Table 4). 5월달의 기상을 일별로 자세히 살펴보면 5월 4일부터 7일까지 4일간 일평균온도는 16.5°C로 나타났으며 평균 상대습도는 95.5%를 유지하였다. 그리고 5월 17일부터 20

**Table 4.** Weather characteristics from April to June in 2022 and 2023 in Gangjin

Weather element	Year	Apr	May	Jun
Average daily temperature (°C)	2022	14.36	18.22	23.06
	2023	13.54	18.32	22.86
Accumulated precipitation (mm)	2022	99.00	1.40	97.40
	2023	95.70	321.70	171.50
Average relative humidity (%)	2022	66.13	64.03	79.77
	2023	71.80	77.84	77.30

**Table 5.** Patterns of average daily temperature and relative humidity in May 2023 in Gangjin

Month/Year	Day	Average daily temperature (°C)	Average relative humidity (%)
May 2023	4	16.9	95
	5	19.4	100
	6	16.6	95
	7	13.1	92
	17	21.2	83
	18	17.7	95
	19	19.9	82
	20	20.2	79
	28	22.4	94
	29	21.5	100
	30	20.0	88

일까지 4일간 일평균온도는 19.8°C로 나타났으며 평균 상대습도는 84.8%를 유지하였으며 5월 28일부터 30일까지 3일간 일평균온도는 21.3°C로 나타났으며 94%의 평균 상대습도를 유지하였다(Table 5). 조양의 등숙기간은 약 40일 정도 알려져 있는데 강진의 경우 평균적으로 4월 중순경에 출수를 하게 되므로 5월의 기상은 수확하기 전 생식생장에 매우 중요하다 할 수 있다. *Alternaria*속 곰팡이는 세계적으로 다양한 작물에 피해를 끼쳐 경제적으로 심각한 손실을 초래하는 병원균으로 습하고 따뜻한 환경에서 번성한다. 특히 다양한 숙주 식물에 잎반점, 썩음병, 마름병 등과 같은 병을 일으키는 *A. alternata*는 비교적 간단한 병환을 가지고 있다. 분생포자를 생성하며 최적의 환경 조건에서 식물의 표면에 접촉하면 발아가 시작되고 포자의 방출은 상당한 양의 강우나 충분한 상대습도에 의해 촉진된다(Timmer 등, 2003). Tangerine에 *Alternaria brown spot*을 일으키는 *A. alternata*의 포자 형성에

관여하는 습도 조건을 확인한 결과, 상대습도 74%인 경우에는 잎의 병반에서 포자 형성이 낮았으나 상대습도 85%와 그 이상에서는 포자가 높은 비율로 형성되었다(Reis 등, 2006). 또한 같은 논문의 과원 현장 연구결과, tangerine 잎이 10시간 넘게 젖어있고 일평균온도가 20°C부터 28°C 조건에서 최적의 감염이 이루어졌다고 보고하였다(Reis 등, 2006). 2014년에 우리나라 남부지방에서 벼 이삭도열병이 대발생 하였는데 그 요인을 찾기 위해 기상자료를 확인한 결과, 남부지방의 해남과 밀양에서 벼 이삭도열병이 거의 발생하지 않았던 2018년에 비해 2014년 8월 한 달의 평균기온이 지역별로 각각 3.2°C, 3.1°C 낮았고 강수량은 각각 70.0%, 42.0% 많았다(Kang 등, 2019). 즉 동일 지역에서 2014년이 2018년에 비해 상대적으로 낮은 기온과, 잦은 강우, 적은 일조 등의 기상조건이 감수성 품종, 질소질 비료 과다시비와 함께 이삭도열병 대발생의 한 요인이라고 보고하였다. 이런 결과들을 종합해 보면 2023년 5월 한 달 동안 강진의 귀리 재배지에 *A. alternata*의 포자의 형성, 방출 및 감염에 적합한 환경이 조성 되어서 종자흑변병에 걸린 종자가 대발생 하였을 것으로 생각되었다. 그러나 현재 한국작물보호협회에 등록된 작물보호제 목록을 보면, 귀리에는 붉은곰팡이병, 녹병, 흰가루병만을 대상으로 적용 가능한 살균제들만 있는 상태이며 귀리 재배 현장에서도 오랜기간동안 병의 피해가 크지 않아 방제가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 *A. alternata*를 포함한 *Alternaria*종 곰팡이들은 병원성과 직접적인 연관이 있는 70가지 이상의 독소를 생산하는데 그중에 일부는 인간과 동물의 건강에도 영향을 미치는 것으로 밝혀져 있다(Escrivá 등, 2017). 따라서 기후변화로 인해 올해와 같은 기상조건에서 귀리 수량과 품질에 큰 피해를 주는 종자흑변병과 같은 병들이 대발생할 수 있으니 기상에 대한 모니터링과 함께 병의 조기 진단 및 적극적인 방제 노력이 필요하다고 생각한다.

## 요 약

2023년에 강진 귀리 재배농가에서 종자흑변병이 의심되는 종자가 다수 관찰되었다. 흑변 증상을 보이는 귀리종자 132개를 선별하여 곰팡이 감염률을 조사한 결과, *Alternaria*속이 84%를 차지할 만큼 우점으로 검출되었고 *Alternaria alternata*로 동정되었다. 강진 재배농가의 같은 포장에서 2022년에 수확한 종자와 외관 및 품질을 비교한 결과, 명도를 나타내는 L값이 2023년의 귀리 종자에서 유의하게 낮게 나타났으며 종자 품질을 평가하는 전기전도도는 2023년 종자에서 유의적으로 높게 측정되어 종자의 활력에 차이가 있었다. 귀리 파이토알렉신

으로 알려진 아베난쓰라마이드 함량은 2023년 종자에서 2022년에 비해 10배 정도 높게 분석되었다. 출수 후 수확하기 전 생식성장 기간에 해당하는 2023년 5월 강진의 한 달 평균 강수량은 2022년 5월에 비해 230배 많았고 평균 상대습도도 높아 *A. alternata*의 감염에 적합한 환경이 조성되어 종자흑변병이 발생하였을 것으로 생각되었다. 기후변화로 대발생할 수 귀리 병에 대한 모니터링과 함께 적극적인 방제 노력이 필요하리라 생각한다.

## Conflicts of interest

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

## Acknowledgments

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development(Project No. RS-2020-RD008569)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Ben Mariem, S., Soba, D., Zhou, B., Loladze, I., Morales, F. and Aranjuelo, I. 2021. Climate change, crop yields, and grain quality of C<sub>3</sub> cereals: a meta-analysis of [CO<sub>2</sub>], temperature, and drought effects. *Plants* 10: 1052.
- Berbee, M. L., Pirseyedi, M. and Hubbard, S. 1999. *Cochliobolus* phylogenetics and the origin of known, highly virulent pathogens, inferred from ITS and glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase gene sequences. *Mycologia* 91: 964-977.
- Brindzová, L., Čertík, M., Rapta, P., Zalibera, M., Mikulajová, A. and Takácsová, M. 2008. Antioxidant activity, β-glucan and lipid contents of oat varieties. *Czech J. Food Sci.* 26: 163-173.
- Chen, H., Li, C. J. and White, J. F. 2020. First report of *Alternaria alternata* causing leaf spot on oat (*Avena sativa*) in China. *Plant Dis.* 104: 1544.
- 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. *Korean J. Mycol.* 46: 459-466. (In Korean)
- Emmons, C. L. and Peterson, D. M. 2001. Antioxidant activity and phenolic content of oat as affected by cultivar and location. *Crop Sci.* 41: 1676-1681.
- Escrivá, L., Oueslati, S., Font, G. and Manyes, L. 2017. *Alternaria* mycotoxins in food and feed: an overview. *J. Food Qual.* 2017: 1569748.

- Hall, R. D. and Wiesner, L. E. 1990. Relationship between seed vigor tests and field performance of 'Regar' meadow bromegrass. *Crop Sci.* 30: 967-970.
- Hampton, J. G., Johnstone, K. A. and Eua-Umpon, V. 1992. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seed lots. *Seed Sci. Technol.* 20: 677-686.
- 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. and Park, S.-Y. 2023b. First report of sharp eyespot of oat (*Avena sativa*) caused by *Ceratobasidium cereale* in Korea. *Plant Dis.* 107: 2525.
- Juroszek, P., Racca, P., Link, S., Farhumand, J. and Kleinhenz, B. 2020. Overview on the review articles published during the past 30 years relating to the potential climate change effects on plant pathogens and crop disease risks. *Plant Pathol.* 69: 179-193.
- Kang, W. S., Seo, M.-C., Hong, S. J., Lee, K. J. and Lee, Y. H. 2019. Outbreak of rice panicle blast in Southern provinces of Korea in 2014. *Res. Plant Dis.* 25: 196-204. (In Korean)
- Kim, Y. C. 2021. First report of leaf spots on oat caused by *Alternaria alternata* in South Korea. *Plant Dis.* 105: 1200.
- Lee, Y. Y., Ham, H., Park, H.-H., Kim, Y.-K., Lee, M.-J., Han, O.-K. et al. 2016. The physicochemical properties and dietary fiber contents in naked and hulled Korean oat cultivars. *Korean. J. Breed. Sci.* 48: 37-47. (In Korean)
- Malunga, L. N., Ames, N., Fetch, J. M., Netticadan, T. and Thandapilly, S. J. 2022. Genotypic and environmental variations in phenolic acid and avenanthramide content of Canadian oat (*Avena sativa*). *Food Chem.* 388: 132904.
- Mayama, S., Matsuura, Y., Iida, H. and Tani, T. 1982. The role of avenalumin in the resistance of oat to crown rust, *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. *Physiol. Plant Pathol.* 20: 189-199.
- Meydani, M. 2009. Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutr. Rev.* 67: 731-735.
- Praveen, B., Prasanna Kumar, M. K., Devanna, P., Palanna, K. B., Buella, P. P., Ramesh, G. V. et al. 2021. First report of *Alternaria alternata* causing leaf spot on oat (*Avena sativa*) in India. *Plant Dis.* 105: 3301.
- Ramasamy, V. S., Samidurai, M., Park, H. J., Wang, M., Park, R. Y., Yu, S. Y. et al. 2020. Avenanthramide-C restores impaired plasticity and cognition in Alzheimer's disease model mice. *Mol. Neurobiol.* 57: 315-330.
- Raza, A., Afnan, M., Ali, A., Naqvi, S. A. H., Sherwani, H. U. K., Nouman, M. et al. 2018. Occurrence of leaf spot of oat caused by *Alternaria alternata* in Multan, Punjab, Pakistan. *Plant Prot.* 2: 83-86.
- Reis, R., de Goes, A., Mondal, S. N., Shilts, T., Brentu, F. C. and Timmer, L. W. 2006. Effect of lesion age, humidity, and fungicide application on sporulation of *Alternaria alternata*, the cause of brown spot of tangerine. *Plant Dis.* 90: 1051-1054.
- Sang, S. and Chu, Y. 2017. Whole grain oats, more than just a fiber: role of unique phytochemicals. *Mol. Nutr. Food Res.* 61: 1600715.
- Son, Y. R., Lee, J. H., Park, H.-H., Lee, B. W., Kim, H.-J., Han, S.-I. et al. 2018. Changes in functional compounds and antioxidant activities in storage duration with accelerated age-conditioning of oats. *Korean J. Crop Sci.* 63: 149-157. (In Korean)
- The Korean Society of Plant Pathology. 2022. List of Plant Diseases in Korea. 6th ed. The Korean Society of Plant Pathology, Seoul, Korea. pp. 69-70. (In Korean)
- Timmer, L. W., Peever, T. L., Solel, Z. and Akimitsu, K. 2003. *Alternaria* diseases of citrus: novel pathosystems. *Phytopathol. Mediterr.* 42: 99-112.
- Upadhyay, P. and Singh, S. P. 2019. Detection methods for seed borne pathogens. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8: 318-323.
- Vilmane, L., Zute, S., Straumite, E. and Galoburda, R. 2015. Protein, amino acid and gluten content in oat (*Avena sativa* L.) grown in Latvia. *Proc. Latvian Acad. Sci. Section B* 69: 170-177.
- Wise, M. L. 2011. Effect of chemical systemic acquired resistance elicitors on avenanthramide biosynthesis in oat (*Avena sativa*). *J. Agric. Food Chem.* 59: 7028-7038.
- Woudenberg, J. H. C., Groenewald, J. Z., Binder, M. and Crous, P. W. 2013. *Alternaria* redefined. *Stud. Mycol.* 75: 171-212.