

## 맥류 종자의 페룰산(ferulic acid) 함량과 붉은곰팡이 저항성

# Ferulic Acid Content of Barley and Wheat Grains and Head Blight Resistance

\*Corresponding author

Tel: +82-63-238-3401

Fax: +82-63-238-3840

E-mail: tessyl1@korea.kr

백슬기 · 김소수 · 장자영 · 김점순 · 이데레사\*

국립농업과학원 유해생물팀

Seul Gi Baek, Sosoo Kim, Ja Yeong Jang, Jeomsoon Kim, and Theresa Lee\*

Microbial Safety Team, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

In order to find if a ferulic acid (FA) can be used as a selection index in cereal breeding for resistance to head blight and mycotoxin production, we analyzed FA in the grains of 80 cultivars of barley, rice, and wheat. FA content ranged 1.66–2.77 mg/g in barley ( $n=20$ ), 0.56–1.53 mg/g in wheat ( $n=40$ ), and 0.91–2.13 mg/g in rice ( $n=20$ ). Among these, 7 cultivars each of barley and wheat with different FA content were tested for head blight and mycotoxin production by 2 *Fusarium graminearum* and 2 *F. asiaticum* strains. Mean pathogenicity of the wheat cultivars was significantly less than that of barley with higher FA and among wheat cultivars, there was no correlation between FA content and pathogenicity. Mycotoxin production was also lower in the wheat than in the barley as pathogenicity. However, pathogenicity and toxins produced by *F. asiaticum* were negatively correlated with FA content in barley. These results indicate that FA is not a resistance factor to head blight by *F. asiaticum* and *F. graminearum* or its mycotoxin production in barley and wheat.

**Keywords:** Barley, Ferulic acid, Head blight, Resistance, Wheat

Received September 29, 2020

Revised November 11, 2020

Accepted November 11, 2020

맥류, 옥수수, 벼 등 곡류에 주로 발생하는 붉은곰팡이병은 발병에 따른 수량 감소, 불량 낱알의 증가뿐 아니라 붉은곰팡이가 생성하는 곰팡이독소의 오염과 인축의 독소 중독증 등 다양한 피해를 일으킨다. 미국에서는 2015/2016년 회계년도에 만 데옥시니발레놀(deoxynivalenol, DON) 때문에 버려진 밀과 보리의 손실액이 약 15억불에 달했다(U.S. Wheat and Barley Scab Initiative, 2017). 붉은곰팡이병은 *Fusarium graminearum* species complex에 속하는 *F. graminearum*, *F. asiaticum* 등 16 종과 *F. culmorum*, *F. poae* 등이 주로 일으키며 이들은 DON 외에도 니발레놀(nivalenol, NIV), 제랄레논(zearalenone)과 이들의 아세틸 유도체 등 다양한 독소를 생성한다.

맥류의 붉은곰팡이병 방제법에는 저항성 품종 재배, 감염시기(출수기-개화기) 배수관리, 화학적 약제처리, 농산물 우수관리 재배법 등이 있으며 친환경 방제를 위해서는 저항성 품종 육성과 친환경 방제 약제 개발을 위한 지속적인 연구가 필요하다. 식물에 존재하는 페놀화합물은 항산화와 항균효과가 있어 다양한 식물병에 저항성을 나타낸다. 페놀화합물은 대부분 페놀산의 형태로 존재하는데 이 중 페룰산(ferulic acid, 4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid)은 곡류에서 총 페놀화합물의 약 90%를 차지할 정도로 함유량이 높다(Boz, 2015). 페룰산은 옥수수에 가장 높은 농도로 존재하며 밀과 보리에서는 과피, 종피, 호분층을 포함하는 bran (밀기울, 맥강)에 주로 분포한다.

페룰산이 이삭썩음병균인 *F. graminearum*에 저항성을 나타낸다는 것은 옥수수에서 처음 보고되었다(Assabgui 등, 1993). 이후 옥수수에서 페룰산 함량과 *F. graminearum*에 의한 병원

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, 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.

성 간에 유의한 음의 상관관계가 있음이 추가로 보고되었다 (Bily 등, 2003). 푸모니신(fumonisin) 독소를 생성하는 *F. verticillioides*와 *F. proliferatum*에서도 페룰산은 푸모니신 생성 저해효과를 나타내었다(Ferrochio 등, 2013). 페룰산을 함유한 배지에 곡류 붉은곰팡이병원균인 *F. culmorum*을 배양했을 때 페룰산 농도가 높아질수록 트리코세신(trichothecene) 생합성유전자의 발현이 저해되거나(Boutigny 등, 2009) 3-acetyl DON의 생성이 70% 감소되었다(Pani 등, 2014). 이와 같은 결과는 페룰산이 붉은곰팡이와 독소 생성에 저항성 요인으로 작용함을 보여준다.

따라서 이 연구에서는 곡류 품종에서 페룰산 함량이 붉은곰팡이 저항성 육종의 선발지표가 될 수 있는지 확인하기 위해 밀과 보리 등 국내산 육성 품종별 종자의 페룰산 함량을 조사하고 페룰산 함량에 따른 붉은곰팡이 병원성과 독소 생성량을 분석하였다.

## 재료 및 방법

**곡류 품종.** 곡류 육성 품종 총 80점(밀 40점, 보리 20점, 벼 20점)의 종자 각 100 g을 국립식량과학원으로부터 분양받았다(Table 1, Supplementary Table 1). 각 품종별 종자는 실험용 도정기(Fujiara JP/VP-30T, Japan)로 도정비율 10%으로 도정하여 외피부분(밀기울, 맥강, 미강) 약 10 g을 얻었으며 이를 페룰산 추출 시까지 -20°C에 보관하였다.

**페룰산 분석.** 시료의 페룰산 함량은 Tilay 등의 분석법(2008)에 따라 분석하였다. 40°C 오븐에서 12시간 건조한 bran 시료 중 2 g을 250 ml 플라스크에 담은 후 NaOH (2 N) 60 ml과 sodium bisulfite 0.001 g을 추가하여 180 rpm에서 24시간 진탕 배양하였다. 배양액은 6,000 rpm, 4°C에서 20분간 원심분리한 후 상층액을 분액깔대기에 옮겨 HCl (10 N)을 추가하여 pH 2 이하로 조정 후 상층액을 분리하였다. 이 과정을 3회 반복 후 회전농축기(Eyela DPE-2120, Shanghai, China)로 농축한 후 농축액을 acetonitrile:water (1:1, v/v) 3 ml에 용해하여 냉장 보관하였다. 페룰산은 high-performance liquid chromatography (Waters Acquity UPLC H-Class, Waters, Singapore)로 분석하였으며 ACQUITY UPLC HSS C18 1.8  $\mu$ m (2.1 $\times$ 100 mm) 컬럼을 사용하였고 이동상은 1% acetic acid solution (A 용액)과 acetonitrile (B 용액)을 순차적으로 사용하였다.

**붉은곰팡이 병원성 검정.** 페룰산 함량이 다양한 밀(W1, W6, W17, W26, W35, W39, W40)과 보리(B1, B2, B5, B8, B14, B19, B20) 각 7품종씩 총 14종을 선정하여 온실에서 품종별 5포트

(4-5 종자/포트)에 재배하였다. 이들의 개화기에 실험실에서 보유하고 있는 붉은곰팡이 균주 4종을 Jang 등의 방법(2019)에 따라 각각 다른 포트에 심어진 품종별 5개의 이삭에 분무 접종하였다(포자농도  $1\times 10^5$ /ml). 접종 균주는 DON 생성균인 *F. graminearum* PH1, *F. graminearum* Z34, *F. asiaticum* W1d와 NIV 생성균인 *F. asiaticum* #73이었다. 접종 후 3주후에 접종 이삭을 수확하여 병원성(=%=병든 낫알수 $\times$ 100/총 낫알수)을 측정하였다.

**붉은곰팡이 독소 분석.** 수확한 이삭은 건조한 후 Jang 등의 방법(2018)에 따라 액체크로마토그래프 질량분석기(Waters e2695 separation module-Water 3100 MS detector, Waters)를 이용하여 DON과 NIV의 발생량을 분석하였다. 컬럼은 Zorbax SB Aq C18 (4.6 $\times$ 150 mm, 5  $\mu$ m, Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였고, 이동상 용매는 0.2% formic acid와 5 mM ammonium formate가 첨가된 물(A)과 100% 메탄올(B)을 농도 구배(gradient) 조건으로 사용하였다.

**통계분석.** 밀과 보리 간 병원성과 독소 생성량의 평균 간 비교를 위해 엑셀 도구의 t-검정( $P<0.05$ )를 실시하여 유의성 검증을 수행하였다.

## 결과 및 고찰

**곡류의 페룰산 함량.** 보리, 밀과 벼 육성 품종 80종의 페룰산 함량은 Table 1에 나타내었다. 이들 곡류의 페룰산 함량은 보리 20품종이 1.66-2.77 mg/g, 밀 40품종이 0.56-1.53 mg/g이었으며 벼는 보리와 밀의 중간 수준인 0.91-2.13 mg/g이었다. 밀의 경우 기존에 보고된 23개 품종의 페룰산 함량 평균이 1.158 mg/g으로 이 연구의 결과와 유사하였다(Stuper-Szablewska 등, 2016). 그러나 페룰산이 가장 많이 존재하는 과피와 호분층을 비교할 때 밀이 보리보다 페룰산 함량이 높다는 기존의 보고(Boz, 2015)와 달리 이 연구에 사용한 국내산 밀 품종은 보리품종보다 함량이 낮았다.

**페룰산 함량과 붉은곰팡이병.** 밀과 보리에서 페룰산 함량이 다양한 14품종을 대상으로 4종의 붉은곰팡이를 접종한 결과, 전체적으로 페룰산 함량이 높은 보리의 붉은곰팡이 병원성 평균이 페룰산 함량이 낮은 밀에 비해 유의하게 높았다( $P=0.007$ ) (Table 2, Fig. 1). 모든 균주에서 병원성과 페룰산의 상관관계는  $r^2=0.5$  내외로 낮았다(Table 3). 밀 품종에서 페룰산 함량과 병원성 상관관계는 이보다 더 낮았지만 보리에서

**Table 1.** Ferulic acid content of the cereal grains by cultivar tested in this study

Wheat		Barley		Rice			
Cultivar	Ferulic acid (mg/g)	Cultivar	Ferulic acid (mg/g)	Cultivar	Ferulic acid (mg/g)		
W1	0.56	W21	1.19	B1	1.66	R1	0.91
W2	0.68	W22	1.21	B2	1.72	R2	1.12
W3	0.82	W23	1.22	B3	2.02	R3	1.19
W4	0.97	W24	1.22	B4	2.02	R4	1.22
W5	0.99	W25	1.25	B5	2.03	R5	1.30
W6	1.01	W26	1.25	B6	2.06	R6	1.37
W7	1.01	W27	1.30	B7	2.15	R7	1.39
W8	1.02	W28	1.30	B8	2.17	R8	1.44
W9	1.09	W29	1.30	B9	2.17	R9	1.44
W10	1.09	W30	1.31	B10	2.22	R10	1.45
W11	1.11	W31	1.32	B11	2.24	R11	1.50
W12	1.12	W32	1.33	B12	2.25	R12	1.52
W13	1.12	W33	1.33	B13	2.29	R13	1.64
W14	1.13	W34	1.34	B14	2.38	R14	1.65
W15	1.14	W35	1.35	B15	2.40	R15	1.78
W16	1.15	W36	1.35	B16	2.47	R16	1.79
W17	1.16	W37	1.35	B17	2.48	R17	1.79
W18	1.16	W38	1.51	B18	2.58	R18	1.80
W19	1.18	W39	1.51	B19	2.63	R19	2.07
W20	1.18	W40	1.53	B20	2.77	R20	2.13

는 음의 상관관계( $r^2=-0.46$ )를 보였는데 이는 *F. asiaticum* 균주(w1d)의 보리 병원성과 페룰산 함량이 예외적으로 높은 음의 상관관계( $r^2=-0.89$ )였기 때문인 것으로 보인다. 그러나 전체적인 병원성 평균은 페룰산 함량과 낮은 양의 관계( $r^2=0.57$ )였으며 이는 밀과 보리 중 페룰산 함량이 낮을수록 붉은곰팡이병에 저항성인것으로 해석할 수 있다. 이 결과는 페룰산과 붉

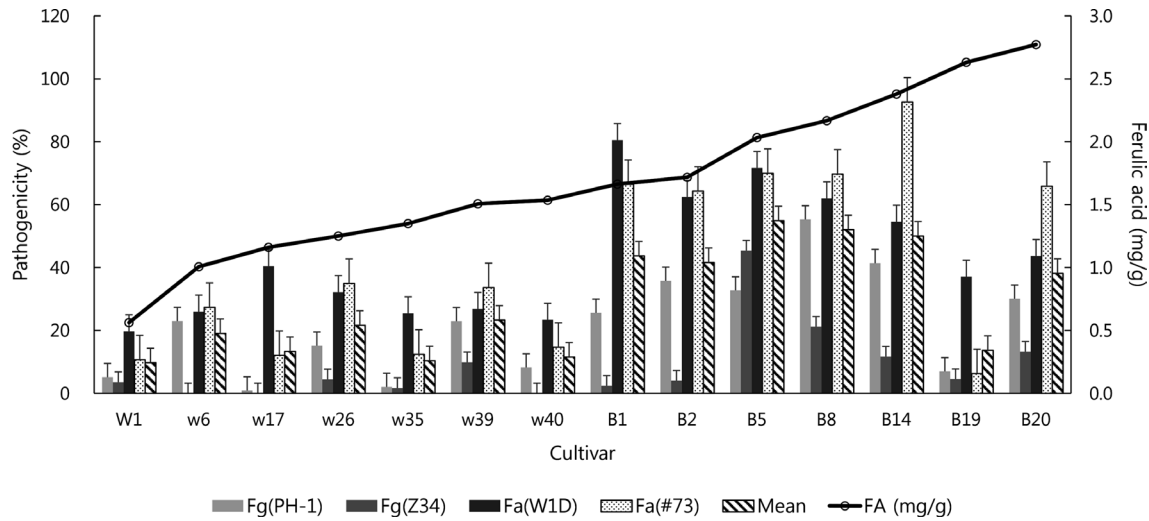
은곰팡이 간에 음의 상관관계가 있다는, 즉 페룰산 함량이 높을수록 붉은곰팡이병에 저항성이라는 기존의 보고와는 반대된다. 옥수수 이삭썩음병원균인 *F. graminearum*을 옥수수에 접종했을때 병원성과 페룰산 함량간에는 음의 상관관계( $r^2=-0.70$ )가 있다고 보고되었기 때문이다(Assabgui 등, 1993; Bily 등, 2003). 그러나 밀과 보리 등 옥수수를 제외한 다른 작물

**Table 2.** Comparison of barley and wheat pathogenicity by head blight pathogens

Pathogen <sup>a</sup>	Disease (%) <sup>b</sup>		t value	P-value
	Wheat	Barley		
Fg(PH-1)-DON	11.05±9.38	32.53±14.80	-2.93273	0.026
Fg(Z34)-DON	2.79±3.59	14.62±15.08	-1.87126	0.110
Fa(W1D)-DON	27.68±6.76	58.83±15.16	-5.26832	0.002
Fa(#73)-NIV	20.86±10.76	62.20±26.47	-3.23366	0.018
Mean (total)	15.59±5.64	42.05±13.85	-4.05313	0.007

<sup>a</sup>Species (isolate name)-trichothecene chemotype: Fg, *Fusarium graminearum*; Fa, *F. asiaticum*; DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol.

<sup>b</sup>Calculated as a mean of diseased spikelets (%)±standard deviation.



**Fig. 1.** Pathogenicity of barley and wheat cultivars by head blight pathogens and ferulic acid content. The cultivars with w and b indicate wheat and barley, respectively. The pathogen names appear in parentheses. Fg, *Fusarium graminearum*; Fa, *F. asiaticum*; Mean, mean of pathogenicity; FA, ferulic acid.

**Table 3.** Correlation of ferulic acid content with barley and wheat pathogenicity and trichothecenes by head blight pathogens

Crop	Pathogenicity					Trichothecene				
	Fg <sup>a</sup> (PH-1)	Fg (z34)	Fa (w1d)	Fa (#73)	Mean	DON (PH-1)	DON (z34)	DON (w1d)	NIV (#73)	Mean
Barley	-0.25	0.018	-0.89	-0.32	-0.46	0.090	0.72	-0.63	-0.74	0.37
Wheat	0.18	0.18	0.23	0.32	0.32	-0.052	-0.37	0.58	-0.030	-0.13
All	0.51	0.43	0.48	0.54	0.57	0.41	0.32	0.15	0.46	0.52

<sup>a</sup>Species or trichothecene chemotype (isolate name): Fg, *Fusarium graminearum*; Fa, *F. asiaticum*; DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; mean, mean of pathogenicity or trichothecene levels by 4 pathogens.

에서는 아직까지 페룰산과 붉은곰팡이 병 저항성에 대한 보고가 없었다. 이 연구에서는 옥수수를 포함하지 않아 기존의 결과를 검증할 수 없으나 왜 맥류에서는 페룰산이 붉은곰팡이에 저항성이 아닌지 옥수수와의 비교를 포함한 추가 연구가 필요하다.

**페룰산 함량과 붉은곰팡이 독소.** 곰팡이 독소도 페룰산 함량이 높은 보리에서 생성량이 높았다. NIV의 생성량은 보리에서 유의하게 높은( $P=0.025$ ) 반면 DON은 유의차가 없었다 (Table 4, Fig. 2). 이 결과는 붉은곰팡이병과 마찬가지로 페룰산 함량이 낮은 밀에서 붉은곰팡이독소 생성량이 낮은 것을 의미한다. 그러나 보리 품종 내에서 NIV 생성량은 페룰산 함량이 증가함에 따라 감소( $r^2=-0.74$ ) (Table 3) 경향을 나타냈고 NIV 생성균주와 같은 *F. asiaticum* 종인 w1d 균주도 보리에서 DON 생성량이 페룰산과 음의 상관관계( $r^2=-0.63$ )를 보였다. 이는 각각 단일 균주의 결과이기 때문에 추가 균주를 이용한 확인이 필

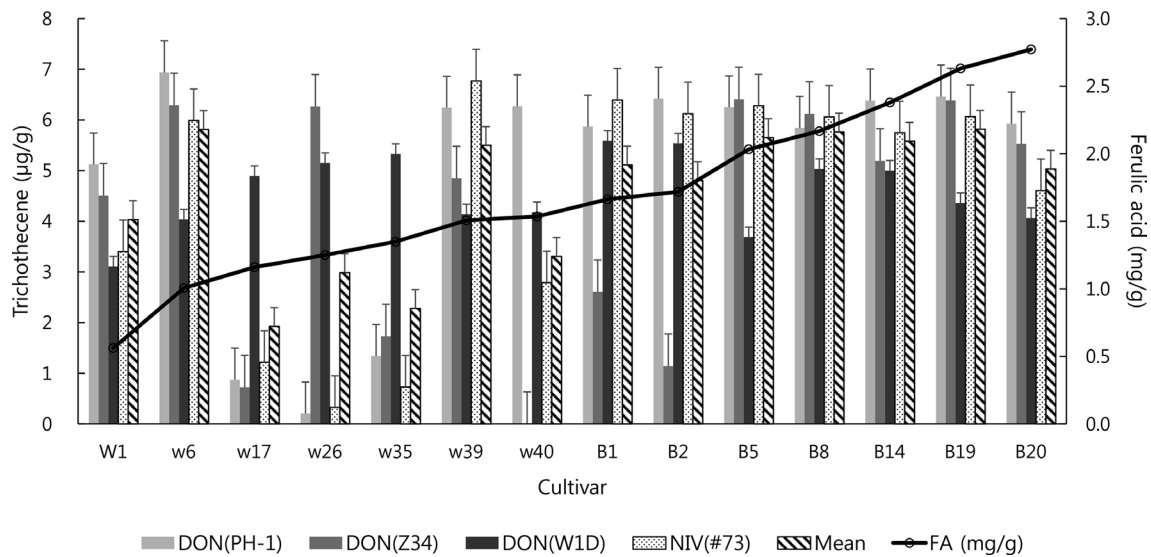
요하다. 이렇게 *F. asiaticum* 균주의 병원성과 독소생성이 보리에서 페룰산 함량과 음의 관계를 보이는 것은 *F. graminearum* 또는 밀과 구별되는 결과이다. 반면 *F. graminearum* 균주의 결과는 일관성이 없었다. 이 결과는 페룰산 함량이 DON 생성에 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수 있으며 옥수수에서 *F. graminearum*의 DON 생성과 페룰산 간에는 상관관계가 없었다는 기존의 보고와 유사하다(Bily 등, 2003). 하지만 붉은곰팡이 *F. culmorum* 연구에서 페룰산은 곰팡이독소 생성을 저해하였다고 보고되었다. Boutigny 등(2009)은 페룰산이 0.1–1 mM 농도로 함유된 배지에 *F. culmorum*을 배양했을 때 독소 생성성에 관여하는 *Tri* 유전자 발현이 저해되었고 B형 트리코페신의 합성은 17–78% 감소하였다고 보고하였다. 다른 연구에서는 페룰산이 0.5 mM 포함된 배지에서 *F. culmorum*의 DON 생성이 약 67% 감소하였다(Pani 등, 2014). 이상의 결과는 페룰산을 균주에 직접 처리한 결과로서 페룰산이 *F. culmorum* 균주의 독소 생성을 직접 저해한다는 것을 보여준다. 반면 이 연구에서는

**Table 4.** Comparison of barley and wheat for trichothecenes produced by head blight pathogens

Pathogen <sup>a</sup>	Trichothecene level (µg/g) <sup>b</sup>		t value	P-value
	Wheat	Barley		
Fg(PH-1)-DON	3.86±2.92	6.16±0.28	-2.12051	0.078
Fg(Z34)-DON	3.48±2.62	4.77±2.07	-0.85405	0.426
Fa(W1D)-DON	4.41±0.77	4.75±0.73	-0.7432	0.485
Fa(#73)-NIV	3.04±2.54	5.90±0.60	-2.97238	0.025
Mean	3.69±1.51	5.40±0.40	-2.64047	0.039

<sup>a</sup>Species (isolate name)-trichothecene chemotype: Fg, *Fusarium graminearum*; Fa, *F. asiaticum*; DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol.

<sup>b</sup>Calculated as a mean of trichothecene levels±standard deviation.



**Fig. 2.** Trichothecenes produced by head blight pathogens in barley and wheat cultivars and ferulic acid content. The cultivars with w and b indicate wheat and barley, respectively. The pathogen names appear in parentheses. DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; Mean, mean of toxin levels; FA, ferulic acid.

붉은곰팡이(*F. graminearum*, *F. asiaticum*)와 페룰산 간의 관계를 작물에서 품종간에 비교함으로써 확인하고자 하였으며 밀과 보리의 페룰산은 붉은곰팡이와 독소 생성을 저해하는 것이 아니라 오히려 증가와 관련이 있는 것으로 나타났다. 한편 곰팡이독소 저해효과를 나타내기 위해 페룰산을 처리할 때는 고농도가 필요한 것으로 보고되었다. 붉은곰팡이와 달리 *F. verticillioides*와 *F. proliferatum*에서 저농도(1–10 mM)의 페룰산은 푸모니신 생성을 증가시켰으나 고농도(10–25 mM)는 감소시켰다 (Ferrochio 등, 2013).

이 연구는 곡류의 페룰산 함량과 붉은곰팡이와 그 생성독소의 관계를 밀과 보리 품종에서 분석한 최초의 보고이다. 페룰산 함량을 기준으로 밀과 보리를 비교했을 때 페룰산 함량이 낮은 밀이 높은 보리보다 붉은곰팡이 병원성과 독소(DON과 NIV) 생성량이 낮았다. 그러므로 페룰산은 맥류에서 *F. graminearum*

과 *F. asiaticum*에 의한 붉은곰팡이 병원성과 곰팡이독소 생성에 저항성 요인으로 작용하지 않으며 따라서 붉은곰팡이와 붉은곰팡이독소 저항성 맥류 품종 개발을 위한 육종 소재 선발의 지표가 될 수 없는 것으로 보인다. 한편, 붉은곰팡이병과 독소 생성이 밀보다 보리에서 모두 높았던 것은 보리가 붉은곰팡이에 더욱 취약한 작물임을 암시한다. 밀과 보리 간에 다른 결과가 도출된 것은 국내 재배기간이 밀보다 긴 보리와 국내 곡류의 우점 붉은곰팡이인 *F. asiaticum*의 오랜 기간 동안 공진화한 결과로 추정되나 추가 연구를 통한 증명이 필요하다.

**요 약**

페룰산 함량이 붉은곰팡이병과 곰팡이독소 저항성 곡류 육종의 선발지표가 될 수 있는지 알기 위해 밀, 보리, 벼 육성 품

종 80점의 페룰산 함량을 조사하였다. 페룰산 함량은 보리 20품종이 1.66–2.77 mg/g, 밀 40품종이 0.56–1.53 mg/g이었으며 벼 20품종은 0.91–2.13 mg/g이었다. 이 중 페룰산 함량이 다른 밀과 보리 각 7품종을 선정하여 *F. graminearum*과 *F. asiaticum* 각 2균주의 붉은곰팡이병과 독소 생성량을 분석하였다. 밀 품종의 평균 병원성은 페룰산 함량이 높은 보리에 비해 유의하게 낮았고 밀 품종 간에는 상관관계가 없었다. 곰팡이독소도 병원성과 같이 페룰산 함량이 낮은 밀이 보리보다 생성량이 낮았다. 그러나 보리에서는 *F. asiaticum* 균주의 병원성과 독소 생성량이 페룰산 함량과 음의 상관관계를 나타내었다. 이 결과는 페룰산 함량이 밀과 보리에서 *F. graminearum*과 *F. asiaticum*에 의한 붉은곰팡이병과 독소 생성에 저항성 요인이 아님을 보여준다.

### Conflicts of Interest

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

### Acknowledgments

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012485)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

### Electronic Supplementary Material

Supplementary materials are available at Research in Plant Disease website (<http://www.online-rpd.org/>).

### References

- Assabgui, R. A., Reid, L. M., Hamilton, R. I. and Arnason, J. T. 1993. Correlation of kernel (E)-ferulic acid content of maize with resistance to *Fusarium graminearum*. *Phytopathology* 83: 949-953.
- Bily, A. C., Reid, L. M., Taylor, J. H., Johnston, D., Malouin, C., Burt, A. J. et al. 2003. Dehydrodimers of ferulic acid in maize grain pericarp and aleurone: resistance factors to *Fusarium graminearum*. *Phytopathology* 93: 712-719.
- Boutigny, A. L., Barreau, C., Atanasova-Penichon, V., Verdal-Bonnin, M. N., Pinson-Gadais, L. and Richard-Forget, F. 2009. Ferulic acid, an efficient inhibitor of type B trichothecene biosynthesis and Tri gene expression in *Fusarium* liquid cultures. *Mycol. Res.* 113: 746-753.
- Boz, H. 2015. Ferulic acid in cereals—a review. *Czech J. Food Sci.* 33: 1-7.
- Ferrochio, L., Cendoya, E., Farnochi, M. C., Massad, W. and Ramirez, M. L. 2013. Evaluation of ability of ferulic acid to control growth and fumonisin production of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on maize based media. *Int. J. Food Microbiol.* 167: 215-220.
- Jang, J. Y., Baek, S. G., Choi, J.-H., Kim, S., Kim, J., Kim, D.-W. et al. 2019. Characterization of nivalenol-producing *Fusarium asiaticum* that causes cereal head blight in Korea. *Plant Pathol. J.* 35: 543-552.
- Jang, J. Y., Kim, S., Jin, H. S., Baek, S. G., O, S., Kim, K. et al. 2018. Occurrence of toxigenic *Fusarium* spp. and zearalenone in scabby rice grains and healthy ones. *Res. Plant Dis.* 24: 308-312. (In Korean)
- Pani, G., Scherm, B., Azara, E., Balmas, V., Jahanshiri, Z., Carta, P. et al. 2014. Natural and natural-like phenolic inhibitors of type B trichothecene *in vitro* production by the wheat (*Triticum* sp.) pathogen *Fusarium culmorum*. *J. Agric. Food Chem.* 62: 4969-4978.
- Stuper-Szablewska, K., Kurasiak-Popowska, D., Nawracała, J. and Perkowski, J. 2016. Study of metabolite profiles in winter wheat cultivars induced by *Fusarium* infection. *Cereal Res. Commun.* 44: 572-584.
- Tilay, A., Bule, M., Kishenkumar, J. and Annapure, U. 2008. Preparation of ferulic acid from agricultural wastes: its improved extraction and purification. *J. Agric. Food Chem.* 56: 7644-7648.
- U. S. Wheat and Barley Scab Initiative. 2017. *Fusarium Focus* 17(1). URL [https://scabusa.org/pdfs/fus-focus\\_newsletter\\_v1\\_2-2017.pdf](https://scabusa.org/pdfs/fus-focus_newsletter_v1_2-2017.pdf) [25 September 2020].