생물검정을 이용한 딸기(*Fragaria* × *ananassa* Duch.) 유전자원의 역병균(*Phytophthora cactorum*)에 의한 crown rot 저항성 평가

이예린¹ · 장원석² · 남명현² · 이준대^{1*}

¹전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소 원예학과, ²충청남도농업기술원 논산딸기시험장

Screening of Resistance to Crown Rot Caused by *Phytophthora cactorum* through Bioassay Analysis in Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)

Ye Rin Lee¹, Won Suk Jang², Myeong Hyeon Nam², and Jundae Lee^{1*}

¹Department of Horticulture, Institute of Agricultural Science & Technology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Nonsan Strawberry Experiment Station, Fruit and Vegetable Research Institute, Chungnam A.R.E.S., Nonsan 32914, Korea

Abstract Crown rot caused by *Phytophthora cactorum* is one of several serious, widespread diseases that cause problems in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivation. In this study, we aimed to identify a strawberry resistant to *P. cactorum* through bioassay. A total of 104 wild and cultivated strawberry accessions, including ‘Sulhyang’ and ‘Akihime’, were inoculated with an isolate of *P. cactorum*, ‘PC151111’. A zoospore suspension was used with a density of approximately 10⁶ zoospores·mL⁻¹. Three strawberry seedlings were tested three times independently. The disease index was scored on a scale from 0–4 through symptom observation while the inoculated plants were incubated at 25±3°C under 16 h/8 h (light/dark) conditions for three weeks. The results showed that the mean disease index varied from 0.78–3.78, and the ‘Pechika’ and ‘Kaorino’ cultivars were highly resistant to *P. cactorum*, with mean disease indexes of 0.78 and 0.89, respectively. These cultivars will be useful resources in breeding strawberries resistant to crown rot.

Keywords accession, disease, inoculation, isolate, octoploid, resource

Received on June 27, 2018. Accepted on August 9, 2018.

* Corresponding Author (E-mail: ajfall@jbnu.ac.kr, Tel: +82-63-270-2560, Fax: +82-63-270-2581)

서 언

딸기(*Fragaria* × *ananassa* Duch.)는 고유한 맛과 향, 항산화 성분인 anthocyanin과 ellagitannins이 있어 전세계적으로 가치 있는 작물이다(Giampieri et al. 2012). 국내 딸기 생산액은 2011년 8,940억원에서 2016년 1조 3,057억원으로 급격하게 증가하고 있다(KOSIS 2018).

딸기에 발생하는 병으로 딸기잣빛곰팡이병(*Botrytis cinerea* Pers, ex Fr.), 딸기 점무늬병(*Ramularia tulasnei* Sacc.), 탄저병(*Colletotrichum fragariae* Brooks, *C. dematium* Pers, ex Fr., *C. acutatum* Simmonds, and *C. gloeosporioides* Penz.), 흰가루병(*Sphaerotheca macularis* Jacz. f. sp. *fragariae*), 뿌리썩음병(*Phytophthora fragariae* Hickman), 역병(*Phytophthora cactorum* Schroet), 시들음병(*Verticillium dahliae* Kleb.) 등이 보고되었다(Paulus 1990).

이 중 딸기에 심한 피해를 주는 역병균 *Phytophthora* spp.은 뿌리, 관부 및 과실에 발병하는 *P. cactorum*, 뿌리에 발병하는 *P. fragariae*, 과실에 발병하는 *P. citrophthora*와 *P. nicotianae* var. *parastica* 등이 있으며 발병되는 위치에 따라 분류되었다(Lim et al. 1998). *P. cactorum*의 경우 leather rot과 crown rot으로 분류할 수 있으며(Eikemo & Stensvand 2015), leather rot의 경우 미국에서 처음 보고되었고(Rose 1924), crown rot은 독일에서 처음 보고되었다(Deutschmann 1954). 국내의 경우 *P. cactorum*에 의한 crown rot 발병은 1997년 처음 보고되었다(Lim et al. 1998). Crown rot은 딸기 뿌리 및 줄기 조직이 갈변화되며, crown rot 발병균을 뿌리에서 분리하여 과실에 접종할 경우 병이 발병하지만, 반대의 경우에는 발병하지 않는다(Eikemo & Stensvand 2015). 또한 Eikemo et al. (2004)은 AFLP (amplified fragment length polymorphism) 분석을 통해 딸기 44개의 *P. cactorum* isolates의 유전적 다양성을 확인했다.

*P. cactorum*에 의한 딸기 역병 저항성과 관련된 연구가 몇몇 보고되었다. 26개의 품종을 이용하여 유주자(zospore) 접종을 통해 5개의 저항성 품종('Senga Sengana', 'Induka', 'Melody', 'Glima' 및 'Bogota')과 4개의 이병성 품종('Tamella', 'Inga', 'Evita' 및 'Jonsok')을 확인하였다(Eikemo et al. 2003). Eikemo et al. (2010)은 2배체 *Fragaria* 종인 *F. vesca*, *F. nilgerensis*, *F. iinumae*, *F. nipponica*, *F. bucharica*, *F. nubicola* 및 *F. pentaphylla*를 이용하여 *P. cactorum*에 대한 저항성/이병성 종을 구별하고자 하였으나, 다른 종에 비해 저항성이나 이병성이 뚜렷하게 구분되지 않았다. Schafleitner et al. (2013)은 107개의 딸기 품종을 이용하여 *P. cactorum* 저항성 평가를 실시하였으며, 'Cirafine', 'Cireine' 및 'Senga Sengana' 저항성 품종을 확인하였다. 유럽 재배 품종 및 유전자원 딸기를 이용하여 *P. cactorum* 저항성 품종을 확인하였으며, *P. cactorum*에 의한 crown rot과 leather rot 간의 상관 관계가 없는 것을 확인하였다(Eikemo & Stensvand 2015). 그러나 지금까지 한국, 일본 및 미국 딸기 품종 및 유전자원에서 *P. cactorum*에 의한 저항성 품종은 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 국내 품종뿐만 아니라 일본 및 미국의 딸기 품종 및 유전자원을 이용하여 *P. cactorum* 유주자 접종을 통해 crown rot 저항성 품종을 확인하고자 하였으며, 딸기 육종 시 crown rot 저항성에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

식물 재료

딸기 crown rot 저항성 평가를 하기 위해서 26개의 국내품종, 37개의 일본품종, 20개의 미국품종, 21개의 기타 품종을 포함한 104개의 유전자원을 논산딸기시험장에서 2015와 2016년에 분양 받았다. 실험에 사용된 104개의 딸기 정보는 Table 1과 같다 (Lim et al. 2017).

역병균 접종

충남농업기술원 논산딸기시험장에서 *P. cactorum* 'PC151111'을 분양 받아 Lim et al. (1998) 방법을 이용하여 접종을 실시하였다. 분양 받은 'PC151111'의 균주를 potato dextrose agar (PDA, Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo, USA)에 치상하여 25-28°C 식물생장상에서 16h/8h (명/암) 조건에서 5-7일간 배양하였다. 배양 후 멸균수에 담가 25°C incubator에서 3-4일간 배양하여 유주자낭(zosporangium)을 형성시켰다. 형성된 유주자낭을 수

거하여 4°C에서 1-2시간 저온처리를 한 후 상온에서 유주자(zospore)를 유출시켰다. 접종농도는 hemocytometer를 이용하여 1×10^6 zoospores $\cdot$ mL⁻¹로 맞추어 사용하였다. 접종은 관부(crown)에 상처를 낸 후 유주자 현탁액 10 mL씩 토양관주하였다. 접종 후 식물생장상에서 온도는 25±3°C, 습도 80±5%, 광 조건은 백색형광등 30,000lux, 16h/8h (명/암) 조건하에 병 발병을 유도하였다. 1반복 당 3개체를 사용하였으며, 총 3반복을 실시하였다.

병 지수 조사

병 지수(DI, disease index)는 0-4까지 총 5단계로 Shaw et al. (2008)의 평가 방법을 이용하여 조사하였다. 접종 후 21일 후 병 지수를 조사하였으며(Fig. 1), 0 = 증상없음(no symptoms); 1 = 몇 개의 갈색 반점 보임(a few brown speckles); 2 = 작은 괴사 증상 보임(small patches of necrosis); 3 = 50% 이상 갈색으로 괴사됨(more than 50% of the crown with necrosis); 4 = 죽음(dead)로 구분하였다. 또한 품종 당 병 지수 평균을 계산하여 저항성을 평가하였다. 병 지수(DI)가 DI<1일 때를 저항성(resistant, R), 1≤DI<2일 때 중도저항성(moderately resistant, MR), 2≤DI<3일 때 이병성(susceptible, S), 3≤DI일 때 높은 이병성(highly susceptible, HS)으로 평가하였다.

결과 및 고찰

본 연구는 딸기 역병균 *P. cactorum*의 저항성 품종 및 유전자원을 확인하기 위해 104개의 딸기 품종 및 유전자원을 이용하여 관부 상처를 통해 유주자 현탁액을 토양관주하여 crown rot 저항성을 평가하였다(Tables 1, 2). 병 지수(DI)는 0.78에서 3.78까지 분포하였고, 일본 품종인 'Pechika'가 가장 높은 저항성을, 국내 품종인 'King's berry'가 가장 높은 이병성을 보였다. 저항성 정도로 나누어 보면 저항성(R, 0≤DI<1)은 2종, 중도저항성(MR, 1≤DI<2)은 27종, 이병성(S, 2≤DI<3)은 44종, 높은 이병성(HS, 3≤DI≤4)은 33종으로 분포하였다(Fig. 2, Table 2).

국내 품종인 '다홍(Dahong)', '만향(Manhyang)', '옥향(Okhyang)' 및 '신명(Sinmyeong)' 4개 품종이 *P. cactorum*에 대해서 중도저항성(MR)을 보인 반면 나머지 22개의 국내 딸기 품종은 이병성(S) 또는 높은 이병성(HS)을 보였다(Table 2). 이 중 국내에서 많이 재배되고 있는 '설향(Seolhyang)', '매향(Machyang)', '금향(Geumhyang)' 품종의 경우에도 이병성(S) 혹은 높은 이병성(HS)으로 나타나 이전 연구와 일치하는 결과를 얻었다(Table 1; Nam et al. 2009). 중도저항성(MR) 품종인 '다홍

Table 1. List of 104 strawberry cultivars or accessions used in this study.

No.	Name	Origin	Parentage	Status	Resistance test to crown rot	
					Disease index	Resistance ^z
1	Chodong	Korea, South	Harunoka × Yachio	Cultivar	3.33abcde ^y	HS
2	Daehak1	Korea, South	Unknown	Cultivar	2.44efghijk	S
3	Daewang	Korea, South	Maehyang × Wonkyo3111	Cultivar	2.56efghijk	S
4	Dahong	Korea, South	Sachinoka × Maehyang	Cultivar	1.44nopqrs	MR
5	Danmi	Korea, South	Maehyang × Amaou	Cultivar	3.11abcdefg	HS
6	Geumhyang	Korea, South	Akihime × Tochiotome	Cultivar	3.44abcd	HS
7	Gumsil	Korea, South	Maehyang × Sulhyang	Cultivar	3.44abcd	HS
8	Johong	Korea, South	Nyoho × Akihime	Cultivar	2.67cdefghi	S
9	Maehyang	Korea, South	Tochinomine × Akihime	Cultivar	2.89abcdefg	S
10	Manhyang	Korea, South	Nyoho × Akanekko	Cultivar	1.67lmnopqr	MR
11	Mihong	Korea, South	Toyonoka × Maehyang	Cultivar	2.22ghijklm	S
12	Okmae	Korea, South	Toyonoka × Reiko	Cultivar	3.44abcd	HS
13	Seolhyang	Korea, South	Akihime × Redpearl	Cultivar	3.11abcdefg	HS
14	Shinsulmae	Korea, South	Seolhyang × Gumhyang	Cultivar	2.78cdefghi	S
15	Ssanta	Korea, South	Maehyang × Seolhyang	Cultivar	2.67cdefghi	S
16	Suhong	Korea, South	Hokowase × Harunoka	Cultivar	3.11abcdefg	HS
17	Sukhyang	Korea, South	Seolhyang × Maehyang	Cultivar	3.33abcde	HS
18	Sulhong	Korea, South	Suhong × Toyonoka	Cultivar	3.22abcdef	HS
19	Wonkyo3111	Korea, South	Open pollinated of Benihoppe	Line	2.89abcdefg	S
20	Gwanha	Korea, South	-	-	2.89abcdefg	S
21	Joseonghongsim	Korea, South	-	Cultivar	2.89abcdefg	S
22	Jukhyang	Korea, South	-	-	3.56abc	HS
23	King's Berry	Korea, South	-	-	3.78a	HS
24	Okhyang	Korea, South	-	-	1.67lmnopqr	MR
25	Sinmyeong	Korea, South	-	-	1.56mnopqrs	MR
26	Sukyeng	Korea, South	-	-	3.11abcdefg	HS
27	Aiberry	Japan	Unknown	Cultivar	1.33opqrs	MR
28	Akanekko	Japan	Aiberry × Hokowase	Cultivar	2.67cdefghi	S
29	Akasyanomitsuko	Japan	Nyoho × Kunowase	Cultivar	2.44efghijk	S
30	Akihime	Japan	Kunowase × Nyoho	Cultivar	3.33abcde	HS
31	Amaou	Japan	Fukuoka S6	Cultivar	2.11hijklmno	S
32	Aska	Japan	Unknown	Cultivar	1.78klmnopq	MR
33	Asuka Wave	Japan	[Uzushio × {(Kurume Sokusei-3 × Hokowase) × (Donner × Hokowase)}] × {(Kurume Sokusei-3 × Hokowase) × {Donner × (Kobe-1 × Hokowase)}}]	Cultivar	2.11hijklmno	S
34	Benihoppe	Japan	Akihime × Sachinoka	Cultivar	2.44efghijk	S
35	Everberry	Japan	Oishi-Sikinary × Haruyoi	Cultivar	1.56mnopqrs	MR
36	Goryeong	Japan	Takane Haikara × Donner	Cultivar	2.22ghijklm	S
37	Harunoka	Japan	Kurume103 × Donner	Cultivar	1.89jklmnopq	MR
38	Haruyoi	Japan	Hokowase × Harunoka	Cultivar	1.67lmnopqr	MR
39	Jumbo	Japan	Unknown	Cultivar	2.00hijklmno	S
40	Jumbo Pure Berry	Japan	Unknown	Cultivar	2.33ghijklm	S

Table 1. Continued.

No.	Name	Origin	Parentage	Status	Resistance test to crown rot	
					Disease index	Resistance ^z
41	Kunowase	Japan	Unknown	Cultivar	3.44efghijk	HS
42	Kurume52	Japan	Unknown	Line	3.56abc	HS
43	Myongbo	Japan	Meiho derived	Cultivar	2.44efghijk	S
44	Pechika	Japan	Unknown	Cultivar	0.78s	R
45	Red Pearl	Japan	Aiberry × Toyonoka	Cultivar	3.33abcde	HS
46	Reiyu	Japan	Unknown	Cultivar	1.56mnopqrs	MR
47	Rockyhara	Japan	Unknown	Cultivar	3.33abcde	HS
48	Sachinoka	Japan	Toyonoka × Aiberry	Cultivar	1.44nopqrs	MR
49	Sagahonoka	Japan	Unknown	Cultivar	3.33abcde	HS
50	Shinyurbong	Japan	Unknown	Cultivar	2.56efghijk	S
51	Sungkang19	Japan	Morioka19	Line	2.56efghijk	S
52	Syuko	Japan	Shizutakara × Haruyoi	Cultivar	3.22abcdef	HS
53	Tochinomine	Japan	(Florida69-266 × Reiko) × Nyoho	Cultivar	3.44abcd	HS
54	Tochiotome	Japan	Kurume49 × Tochinomine	Cultivar	1.89jklmnopq	MR
55	Toyonoka	Japan	Himiko × Harunoka	Cultivar	3.67ab	HS
56	Wonyuk	Japan	Himiko derived	Cultivar	3.11abcdefg	HS
57	Bogyojoseong	Japan	-	-	1.56mnopqrs	MR
58	Iberry	Japan	-	-	1.56mnopqrs	MR
59	Kaorino	Japan	-	-	0.89rs	R
60	Yeobong	Japan	-	-	2.00hijklmno	S
61	Yeohong	Japan	-	-	2.11hijklmno	S
62	Seongkang17	Japan	-	-	2.56efghijk	S
63	Tochun	Japan	-	-	1.44nopqrs	MR
64	Armored	United States	Blakemore × Aroma	Cultivar	1.89jklmnopq	MR
65	Berry Star	United States	Unknown	Cultivar	3.11abcdefg	HS
66	Camarosa	United States	Douglas × Cal 85.218-605	Cultivar	1.78klmnopq	MR
67	Cascade	United States	Shasta × Northwest	Cultivar	2.78cdefghi	S
68	Comet	United States	Earlibelle × ARK 5063	Cultivar	2.78cdefghi	S
69	Diamante	United States	Cal.87112-6 × Cal.145.52	Cultivar	2.78cdefghi	S
70	Flamenco	United States	Evita × EMR077	Cultivar	1.33ppqrs	MR
71	Juspa	United States	Unknown	Cultivar	3.22abcdef	HS
72	Linn	United States	MDUS3184 × ORUS2414	Cultivar	2.11hijklmno	S
73	Missionary	United States	Unknown	Cultivar	3.11abcdefg	HS
74	North West	United States	Unknown	Cultivar	3.11abcdefg	HS
75	Red Rich	United States	Unknown	Cultivar	2.11hijklmno	S
76	Sweet Charlie	United States	FL80-456 × Pajaro	Cultivar	1.44nopqrs	MR
77	Ventana	United States	Cal.93.170-606 × Cal92.35-601	-	2.33ghijklm	S
78	Festival	United States	-	Cultivar	2.67cdefghi	S
79	Monterey	United States	-	Cultivar	3.22abcdef	HS
80	Oso Grande	United States	Parker × Cal77.3-603	Cultivar	1.83klmnopq	MR
81	Portola	United States	Cal97.93-7 × Cal97.209-1	Cultivar	2.33ghijklm	S

Table 1. Continued.

No.	Name	Origin	Parentage	Status	Resistance test to crown rot	
					Disease index	Resistance ^z
82	San Andreas	United States	Albion × Cal97.86-1	Cultivar	3.22abcdef	HS
83	Alibion	United States	-	-	2.11hijklmno	S
84	Bolero	United Kingdom	LA0988 × Selva	Cultivar	2.22ghijklm	S
85	Tamar	Israel	Osogrande × Dorit	Cultivar	1.44nopqrs	MR
86	Senga Sengana	Germany	Markee × Sieger	Cultivar	3.22abcdef	HS
87	Kama	Russia	Sengasengana × Cavluer	Cultivar	2.33ghijklm	S
88	Favette	France	(Souvenir des Halles × Regina) × (Pocahontas × Aliso)	Cultivar	1.67lmnopqr	MR
89	Micmac	Canada	-	Cultivar	1.56mnopqrs	MR
90	Elista	Poland	-	-	1.22pqrs	MR
91	Aram	Unknown	-	-	2.56efghijk	S
92	Bious	Unknown	-	-	1.11qrs	MR
93	Camouoreal	Unknown	-	-	2.11hijklmno	S
94	Chonhak	Unknown	-	-	3.67ab	HS
95	Dabreak	Unknown	-	-	2.67cdefghi	S
96	Derunoka	Unknown	-	-	1.89jklmnopq	MR
97	Gilkyong53	Unknown	-	-	1.56mnopqrs	MR
98	Ihime	Unknown	-	-	3.11abcdefg	HS
99	J&Q's Early	Unknown	-	-	2.33ghijklm	S
100	Jansan	Unknown	-	-	2.33ghijklm	S
101	Naoami	Unknown	-	-	2.22ghijklm	S
102	Niigada	Unknown	-	-	3.22abcdef	HS
103	Redbell	Unknown	-	-	3.33abcde	HS
104	Sakyejeol	Unknown	-	-	2.33ghijklm	S

^zR, resistant to crown rot ($0 \leq DI < 1$); MR, moderately resistant ($1 \leq DI < 2$); S, susceptible ($2 \leq DI < 3$); HS, highly susceptible ($3 \leq DI \leq 4$).

^yDifferent letters within the column indicate statistically significant by Duncan's multiple-range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Disease responses of 104 strawberry cultivars or accessions to crown rot according to cultivated region.

Cultivated region	Number of strawberry cultivars or accessions				Total
	R ^z	MR	S	HS	
South Korea	0	4	10	12	26
Japan	2	11	14	10	37
United States	0	5	9	6	20
Other	0	7	9	5	21
Total	2	27	42	33	104

^zR, resistant to crown rot ($0 \leq DI < 1$); MR, moderately resistant ($1 \leq DI < 2$); S, susceptible ($2 \leq DI < 3$); HS, highly susceptible ($3 \leq DI \leq 4$).

(Dahong)'의 경우 모친인 'Sachinoka'가 중도저항성(MR), 부친인 '매향(Maehyang)'이 이병성(S)이기 때문에 '다홍(Dahong)'의 저항성은 일본 품종인 'Sachinoka'에서 유래한 것으로 생각된다 (Table 1).

본 연구에서 가장 높은 저항성을 보인 품종은 일본 품종인 'Pechika'와 'Kaorino'로 병 지수가 각각 0.78과 0.89였다(Table 1). 그러나 '설향(Seolhyang)'의 교배모본으로 잘 알려져 있는 'Akihime'와 'Red Pearl'의 경우 두 품종 모두 높은 이병성(HS)

Fig. 1. Disease index for resistance of strawberry after inoculation with zoospores of *P. cactorum* 'PC151111'. Disease index was scored on a scale from 0 to 4: 0, no symptoms; 1, a few brown speckles; 2, small patches of necrosis; 3, more than 50% of the crown with necrosis; 4, dead.

이기 때문에 ‘설향(Seolhyang)’ 품종 또한 높은 이병성(HS)을 보였다(Table 1). 따라서 저항성 품종인 ‘Pechika’와 ‘Kaorino’는 딸기 역병 저항성 품종 육성 시 교배 모본/부본으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 ‘설향(Seolhyang)’, ‘Akihime’, ‘Red Pearl’과 교배한 후대에서 딸기 역병 저항성 QTL 분석에도 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

미국 유전자원 ‘Armored’, ‘Camarosa’, ‘Flamenco’, ‘Sweet Charlie’ 및 ‘Oso Grande’가 중도저항성(MR)이었으며, 그 외의 15종의 품종 및 유전자원은 이병성(S) 또는 높은 이병성(HS)이었다(Table 2). ‘Diamante’와 ‘Ventana’의 경우 이전 연구에서 높은 이병성(HS)으로 보고되었으며, 본 실험에서도 같은 결과를 보였다(Browne et al. 2003; Schafleitner et al. 2013).

독일 품종인 ‘Senga Sengana’는 기존 연구(Eikemo et al. 2000; Schafleitner et al. 2013)에서 저항성(R)으로 보고되었으나, 본 연구에서는 높은 이병성(HS)이었다. 이는 *Phytophthora* spp.의 경우 다른 병원균에 비해 race 분류가 쉽지 않아 분류가 세세하게 되어있지 않으며, 같은 종 내에서도 유전적으로 분리되기 때문인 것으로 생각된다. 그 외 딸기에서 ‘Tamar’, ‘Favette’, ‘Micmac’, ‘Elista’, ‘Bious’, ‘Derunoka’ 및 ‘Gilkyong53’이 중

도저항성(MR)으로 나타났다(Tables 1, 2).

딸기에서 *P. cactorum* 저항성과 관련된 연구는 이전에도 많이 보고되어 있다(Eikemo et al. 2000, 2003, 2010; Schafleitner et al. 2013; Eikemo & Stensvand 2015; Mangandi et al. 2017). 그러나 이전 연구 대부분은 유럽에서 재배되고 있는 딸기 품종 및 유전자원에 대해 역병 저항성을 평가하였으며, 국내 및 일본 품종에 대해서는 아직까지 *P. cactorum*에 의한 역병 저항성 연구가 없었다. 본 실험에서 국내 주요 품종인 ‘설향(Seolhyang)’, ‘매향(Maehyang)’, ‘금향(Geumhyang)’과 일본의 주요 품종인 ‘Akihime’ 및 ‘Red Pearl’ 모두 이병성(S) 또는 높은 이병성(HS)을 보였다(Table 1). 이는 역병 저항성 딸기 품종 개발이 절실히 필요하다는 것을 보여주는 결과이다. 또한 본 실험을 통해서 *P. cactorum*에 대해서 저항성을 가진 육종 소재(일본 품종인 ‘Pechika’와 ‘Kaorino’)를 선발할 수 있었다(Table 1). 이러한 역병 저항성 자원은 딸기 역병 저항성 유전 분석, QTL 분석 및 마커 개발 시 중요한 재료로 활용될 수 있고, 더 나아가 딸기 역병 저항성 품종 개발에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 2. Disease responses of 104 strawberry cultivars or accessions to an isolate of *P. cactorum* 'PC151111'. Black bars, resistant (R); dark gray bars, moderately resistant (MR); gray bars, susceptible (S); light gray bars, highly susceptible (HS). Each vertical bar represents mean±SD of the three replications.

적 요

딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)는 국내에서 중요한 과채류 작물 중 하나이다. 그러나 현재 딸기와 관련된 저항성 품종 연구는 아직 미미한 실정이다. 본 연구에서는 총 104개의 딸기 품종 및 유전자원을 충남농업기술원 논산딸기시험장에서 분양 받아 이를 이용하여 딸기 역병균인 *P. cactorum*에 의한 crown rot 저항성을 평가하였다. 딸기 관부(crown) 부분에 상처를 낸 다음 딸기 역병균인 *P. cactorum* isolate 'PC151111' 유주자 현탁액을 주당 10 mL 토양관주 하였다. 접종 후 병이 잘 발생할 수 있는 환경 조건으로 유지하였으며, 3주 후 이병률을 조사하였다. 이병률은 0-4 단계로 나눠 조사하였으며, $DI < 1$ 를 저항성(R)으로, $1 \leq DI < 2$ 를 중도저항성(MR)으로, $2 \leq DI < 3$ 를 이병성(S)으로, $3 \leq DI$ 을 높은 이병성(HS)으로 평가하였다. 그 결과 평균 이병률 지수(DI)는 0.78에서 3.78까지 다양하게 분포하였으며, 저항성 품종은 2종, 중도저항성 품종은 27종, 이병성 품종은 42종, 높은 이병성 품종은 33종을 확인하였다. 가장 높은 저항성을 보인 품종은 일본 품종인 'Pechika'와 'Kaorino'였다. 본 실험을 통해 *P. cactorum* 저항성/이병성 유전자원을 분류하였으며, 이는 딸기 품종 육성 시 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농림수산물기술평가원 수출전략기술개발사업(과제번호: 315047-3)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Browne G, Becherer H, McLaughlin S, Fennimore S, Duniwas J, Martin F, Ajwa H, Winterbottom C, Guererro L. 2003. Integrated management of *Phytophthora* on strawberry without methyl bromide. Proceedings Ann Inter Res Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, November 3-6, San Diego, CA, USA. 128:1-2 (abstract). <http://www.mbao.org>.
- Deutschmann VF. 1954. Eine Wurzelfäule an Erdbeeren, hervorgerufen durch *Phytophthora cactorum* (Leb et Cohn) Schroet. Nachrichtenblatt des. Deutschen Pflanzenschutzdienst Stuttgart 6: 7-9.
- Eikemo H, Brurberg MB, Davik J. 2010. Resistance to *Phytophthora cactorum* in diploid *Fragaria* species. HortScience 45: 193-197.
- Eikemo H, Klemsdal SS, Riisberg I, Bonants P, Stensvand A, Tronsmo AM. 2004. Genetic variation between *Phytophthora cactorum* isolates differing in their ability to cause crown rot in strawberry. Myco Res 108: 317-324.
- Eikemo H, Stensvand A, Davik J, Tronsmo AM. 2003. Resistance to crown rot (*Phytophthora cactorum*) in strawberry cultivars and in offspring from crosses between cultivars differing in susceptibility to the disease. Ann Appl Biol 142: 83-89.
- Eikemo H, Stensvand A, Tronsmo AM. 2000. Evaluation of methods of screening strawberry cultivars for resistance to crown rot caused by *Phytophthora cactorum*. Ann Appl

- Biol 137: 237-244.
7. Eikemo H, Stensvand A. 2015. Resistance of strawberry genotypes to leather rot and crown rot caused by *Phytophthora cactorum*. Eur J Plant Pathol 143: 407-413.
 8. Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. 2012. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. Nutrition 28: 9-19.
 9. KOSIS. 2018. Korean Statistical Information Services. <http://kosis.kr/>. Accessed 29 March 2018.
 10. Lim S, Lee J, Lee HJ, Park KH, Kim DS, Min SR, Jang WS, Kim TI, Kim HR. 2017. The genetic diversity among strawberry breeding resources based on SSRs. Sci Agric 74: 226-234.
 11. Lim YS, Jung KC, Kim SH, Bark SD. 1998. Crown rot of strawberry (*Fragaria ananassa*) caused by *Phytophthora cactorum*. Korean J Plant Pathol 14: 735-737.
 12. Mangandi J, Verma S, Osorio L, Peters NA, van de Weg E, Whitaker VM. 2017. Pedigree-based analysis in a multiparental population of octoploid strawberry reveals QTL alleles conferring resistance to *Phytophthora cactorum*. Genes Genomes Genetics 7: 1707-1719.
 13. Nam MH, Nam YK, Kim TI, Kim HS, Jang WS, Lee WG, Lee IH, Kang HK, Park YJ, Choi JM, Hwang KS. 2009. Easy to learn to see strawberry diseases and pests. Nonsan Strawberry Experiment Station, Nonsan, South Korea. 73-77 (in Korean).
 14. Paulus AO. 1990. Fungal diseases of strawberry. HortScience 25: 885-889.
 15. Rose DH. 1924. Leather rot of strawberries. J Agric Res 28: 357-376.
 16. Schafleitner S, Bonnet A, Pedepat N, Rocca D, Chartier P, Denoyes B. 2013. Genetic variation of resistance of the cultivated strawberry to crown rot caused by *Phytophthora cactorum*. J Berry Res 3: 79-91.
 17. Shaw DV, Hansen J, Browne GT, Shaw SM. 2008. Components of genetic variation for resistance of strawberry to *Phytophthora cactorum* estimated using segregating seedling populations and their parent genotypes. Plant Pathol 57: 210-215.