

고추 세균성점무늬병 저항성 유전자원과 그 주요 특성

변시은¹ · Alebel Mekuriaw Abebe¹ · 제갈윤혁¹ · Khin Pa Pa Wai¹ · Muhammad Irfan Siddique¹ · 모황성¹ · 유희주¹ · 장길수² · 황지은² · 전수경² · 이수현³ · 김병수^{1*}

¹경북대학교 원예학과, ²영양고추시험장, ³경북대학교 응용생명과학부

Characterization of Sources of Resistance to Bacterial Spot in Capsicum Peppers

Si-Eun Byeon¹, Alebel Mekuriaw Abebe¹, Yoon-Hyuk Jegal¹, Khin Pa Pa Wai¹, Muhammad Irfan Siddique¹, Hwang-Sung Mo¹, Hee Ju Yoo¹, Kil-Su Jang², Ji-Eun Hwang², Su-Gyeong Jeon², Su-Heon Lee³, and Byung-Soo Kim^{1*}

¹Department of Horticulture, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Yeongyang Pepper Experiment Station, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Yeongyang 36531, Korea

³School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

*Corresponding author: bskim@knu.ac.kr

OPEN ACCESS



Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(5):779-789, 2016
http://dx.doi.org/10.12972/kjhst.20160082

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

Received: January 14, 2016

Revised: May 9, 2016

Accepted: August 25, 2016

Copyright©2016 Korean Society for Horticultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution NonCommercial License](https://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.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2013-R1A1A2008630), 농림축산식품부-농림축산식품 연구센터지원사업 (과제번호 710001-07)과 농촌진흥청 농업생명자원관리기관사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

Abstract

A total of 33 accessions of pepper (*Capsicum* spp.), including previously reported and newly discovered sources of resistance to bacterial spot caused by *Xanthomonas euvesicatoria*, were evaluated for their resistance to bacterial spot. The selected accessions were then grown and their horticultural characteristics were recorded. In a test for hypersensitive resistance (HR) to four races (P1, P3, P7, P8) of the pathogen found in Korea, KC00939 and Chilbok No.2, which carry the *Bs2* gene, exhibited a hypersensitive response to all four races, as expected. Chilbok No.3, which carries the *Bs3* gene, showed a hypersensitive reaction to race 1 and 7, as expected. KC00939 exhibited a high ASTA color value and tolerance to multiple infections from a viral complex of *Cucumber mosaic virus* (CMV) and *Broad bean wilt virus* (BBWV). Thus, this accession represents a promising genetic resource for breeding cultivars with multiple disease resistance and strong red coloration. KC01327, KC01617, KC01015, KC01760, KC01779, KC01137, KC01328, KC01006, KC00127, KC01704, and KC00995 did not exhibit hypersensitivity but showed a high level of general resistance when evaluated by spray inoculation. KC01617, KC01760, KC01779, KC01137, KC01704, and KC01777 are newly identified sources of resistance to bacterial spot. The previously and newly identified sources of resistance to bacterial spot evaluated in this study, including information about their resistance to CMV and BBWV complex in the field, the contents of pungent and sweet taste components, and the color values of dry fruits, will be useful for breeding pepper cultivars with resistance to bacterial spot.

Additional key words: *Capsicum* spp., general resistance, hypersensitive resistance, race, *Xanthomonas euvesicatoria*

서 언

한국에서 고추는 독특한 매운맛으로 인해 채소작물 중에서 가장 많이 재배되고 있으며 전체 채소류 재배면적 246,725ha 중에서 약 17%를 차지하는(MAFRA, 2015) 경제적으로 매우 중요한 작물 중 하나이다. 고추에는 비타민이 풍부하며 특히 비타민 C가 다량 함유되어 있고, 특유의 매운맛을 내는 성분인 capsaicinoids가 들어있어서 조미료로서 가치가 높다. Capsaicinoids는 또한 항균, 항암, 항산화 등 다양한 생리활성 효과가 밝혀지면서 고추의 수요는 꾸준히 증가하고 있다(Yang et al., 2012).

그러나 고추 재배농가에서는 재배 기간 중 여러가지 병해충의 발생으로 수량 감소와 품질 저하의 어려움을 겪고있다. 발생하는 병해충 중 고추 세균성점무늬병은 세계의 고추 재배지역에 걸쳐 특히, 열대 및 아열대 지역에서 고추에 심각한 병으로서, 25-30°C의 온난 다습한 환경에서 크게 증가하며 고추의 잎, 줄기 및 과실에 점무늬를 형성하여 조기 낙엽을 초래하고 과실의 품질을 떨어뜨려 농가에 경제적으로 큰 피해를 준다(Jones et al., 1998; Stall et al., 2009). 과거 국내에서 세균성점무늬병은 탄저병이나 역병처럼 농가의 관심을 끌지 못하였으나, 태풍이 지나가는 해에 비바람에 의해 동시다발적으로 광범위하게 확산되고 한 번 발병한 후에는 방제가 어려워 큰 피해를 줄 수 있는 주요 병의 하나가 되었다. 최근 지구 온난화로 기후 변화가 잦은 상태에서 국내에서도 고추 과실의 성숙과 수확에 중요한 시기인 7-8월에 집중되는 호우로 인해 기온이 상승하고 높은 습도가 지속되어 지역에 따라 세균성점무늬병의 발생이 증가하고 있다. 세균성점무늬병을 방제하기 위하여 종자 소독, 윤작, 살균제 살포, 길항 미생물의 이용 등 다양한 방법이 제시되고 있지만 살균제에 대한 내성균의 출현에 따른 방제효과 감소 등의 문제가 드러남에 따라 고추 세균성점무늬병에 대한 저항성 유전자원의 수집과 이의 활용으로 저항성 품종을 육성하여 재배하는 것이 가장 친환경적이고, 경제적이며 효율적인 방제 방법으로 기대된다(Lee and Cho, 1996).

고추와 토마토에 발생하는 세균성점무늬병 병원균은 종래 *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*로 표기되었으나 최근의 분자유전학적 분류 체계의 발전으로 *Xanthomonas euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. perforans* 및 *X. gardneri*의 4종으로 세분되고 있다. 이 중에서 *X. euvesicatoria*, *X. vesicatoria* 및 *X. gardneri*가 고추를 침해하며 *X. perforans*는 토마토만 침입하는 것으로 알려져 있다(Jones et al., 1998). 고추의 세균성점무늬병에는 *X. euvesicatoria*가 주요 원인 균종인 것으로 보인다(Jones et al., 1998, 2004; EPPO, 2013). *X. euvesicatoria*의 병원성 변이형(race)은 기주 식물의 과민반응형 저항성(hypersensitive resistance) 유전자와의 특이적 반응에 따라 현재까지 race 0부터 race 10까지 분류하고 있으나(Sahin and Miller, 1998; Kousik and Ritchie, 1999; Stall et al., 2009) 국내에서는 오랜 기간 race 1과 race 3만 알려졌으며(Kim et al., 1990; Pae et al., 1994; Lee and Cho, 1996), 최근 *Bs4* 유전자를 보유한 PI235047을 이용하여 race 7과 race 8까지 분류되었다(Wai et al., 2015).

세균성점무늬병에 대한 저항성은 미국식물도입국(PI) 계통들에서 고도의 저항성이 보고되었는데(Sowell, 1960), 이들 계통 중 PI163192, PI260435, PI271322, PI235047에서 발견된 과민반응형 저항성 유전자는 각각 *Bs1*, *Bs2*, *Bs3*, *Bs4*로 명명되었다. 이들의 과민반응형(hypersensitive reaction, HR) 저항성은 병원균이 침입하면 즉각적으로 침입부위를 중심으로 조직이 괴사하면서 방어조직을 형성하여 병의 진행을 막는 현상으로서 각 계통의 유전양식은 서로 독립적으로 단일 우성유전자에 지배되며(Cook and Stall, 1963, 1969; Cook and Guevara, 1984; Kim and Hartmann, 1985; Hibberd et al., 1987; Sahin and Miller, 1998), 유전자-유전자 양식(gene-for-gene model)에 따라 병원세균에 들어있는 비병원성 유전자(avirulence gene)와의 상호작용에 따라 과민형 반응을 나타낸다(Minsavage et al., 1990; Stall et al., 2009; Wai et al., 2015). 이러한 주동 유전자는 여교잡법으로 실용품종에 도입하기 쉬우나 새로운 race에 쉽게 무력화되는 문제가 있다. 한편 저항성 계통 중에는 race에 비특이적으로 반응하는 일반 저항성(non-hypersensitive resistance, NHR)이 있으며 일반 저항성 유전성분은 고추의 양적 저항성(quantitative resistance)을 형성한다(Sowell, 1960; Cook and Stall, 1963). 이는 과민반응형 저항성이 병원균 변이에 취약한 문제점을 보완할 수 있기 때문에 매우 중요하다고 생각된다. 따라서 보다 지속적이고 안정한 저항성 품종을 육성하기 위해서는 과민반응형 저항성 뿐만 아니라 일반 저항성을 품종 육성에 활용하는 것이 필요하다. 이를 위해 다양한 저항성 유전자원의 확보는 다양한 육종 수요와 병원균의 변이에 대처하기 위해서 매우 중요한 일이 될 것이다. 과민반응형 저항성 유전자가 발견

된 PI163192, PI260435, PI271322에도 일반 저항성 유전성분이 함께 들어있는 것으로 관찰되었으며(Kim and Hartmann, 1985; Kim et al., 1991; Jones et al., 2002), 본 실험실에서 지난 수년간 수집해온 PI계통과 베트남, 라오스 수집종에서도 다수 검색되었다(Tran and Kim, 2007; Kim et al., 2009).

본 연구에서는 그간에 수집해온 저항성 유전자원의 세균성점무늬병 저항성 정도와 육종 소재로서의 원예적 가치를 검토하기 위해 *X. euvesicatoria*군에 대한 저항성을 검정하고, 오이모자이크바이러스(CMV)와 잠두시들음바이러스(BBWV)가 복합적으로 발생하는 포장에서의 바이러스병 발병도와 과실의 함유성분 등의 주요 원예적 특성을 조사 분석하였다.

재료 및 방법

실험 재료

현재까지 본 연구실에서 수집한 자원 중에서 선발한 세균성점무늬병 저항성 유전자원, race 판별을 위한 Early California Wonder(ECW) NILs, PI235047과 국내 시판품종인 '베로파', '청양', '슈퍼급탑', '역강홍장군'을 포함한 총 33점을 사용하여 세균성점무늬병 저항성을 검정하였다.

고추 세균성점무늬병원균(*X. euvesicatoria*)은 2011년부터 전국 각지에서 수집하여 본 연구실에 보관중인 race가 판별된 병원균 중 각각 race 1, 3, 7, 8에 해당하는 Xcv072, Xcv015, Xcv046, Xcv076를 사용하였다. 각 병원균의 race는 미국 플로리다의 병원형 분류체계(Sahin and Miller, 1998; Stall et al., 2009)에 따라 판별하였다.

세균성점무늬병 저항성 검정 및 선발

2014년 9월 중순에 No.1 상토(주참그로)를 채운 200구 트레이에 각 자원 25립씩 파종하고, 약 30일이 지난 후 다시 No.1 상토(주참그로)를 채운 50구 트레이에 각 계통 10주씩 이식하되 발아묘의 수가 적은 것은 있는 그대로 이식하였다.

과민반응형(HR) 저항성을 판별하기 위한 병원균의 접종은 파종 후 46일이 지난 때, 유묘의 3-4번째 잎의 뒷면에 바늘이 없는 5ml 주사기를 이용하여 균을 침투시키는 방법을 이용하였다(Fig. 1A). 공시한 병원균 4종은 각각 접종 72시간 전에 Yeast extract - Dextrose - Calcium carbonate Agar(YDC, Schaad et al., 2001) medium에 옮겨 28°C의 항온기에서 배양 증식한 후 멸균수에 풀어 분광광도계(Spectronic 20D, Spectronic Instrument Inc., USA)를 이용하여 약 10^8 cells/ml (0.2 OD, 600nm)의 밀도로 맞추어 세균현탁액을 만들어 사용하였다. 발병조사는 접종 후 24시간부터 72시간 사이에 침투부위 조직의 괴사 유무에 따라 HR(hypersensitive reaction)과 NHR(non-hypersensitive reaction)로 감별하였다(Fig. 1B and C).

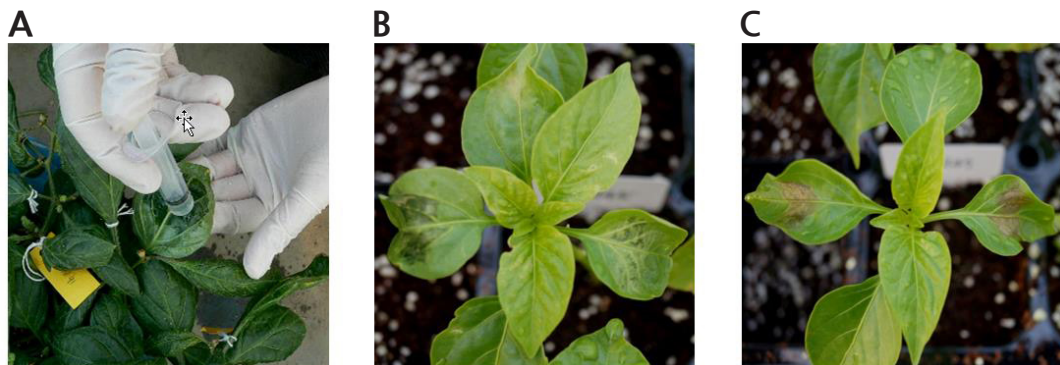


Fig. 1. Infiltration of bacterial suspension into leaf tissue through stomata with syringe without needle (A), non-hypersensitive reaction(NHR) 72 hour after infiltration (B), and hypersensitive reaction(HR) (C).

일반 저항성을 검정하기 위한 접종은 병원균 Xcv015를 사용하여 육묘의 5-6번째 새 잎이 나오는 시점에 시행하였다. 먼저 부직포를 바닥에 깔고 활대를 설치한 터널에 고추 묘를 넣고 접종 전 터널 바닥에 물을 충분히 채워 습실을 만든 후 침투법에서와 같이 준비한 세균현탁액을 압축식 분무기를 사용하여 잎의 앞 뒷면이 골고루 젖도록 분무한 후 터널의 비닐과 보온덮개를 덮어 48시간 습실 처리를 해주고 7일-10일 이후에 개체별 발병도를 조사하였다. 발병기준은 0=병징이 보이지 않는 것; 1=연필자국 모양의 병반이 형성되거나 매우 제한된 것; 2=수침 혹은 유침상의 병반이 형성되거나 병반면적이 25% 이내; 3=수침상의 병반이 다수 형성되었으며 병반면적 50% 내외; 4=수침상의 병반이 서로 엉기거나 낙엽한 것으로 5단계로 조사하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램(SAS 9.3, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 분석하였다.

조사 후 각 계통별로 저항성이 강한 개체를 3주씩 선발하여 직경 13cm의 플라스틱봉에 이식하여 주기적으로 시비를 하며 재배하여 숙과를 수확, 재종하였다.

선발 자원의 원예적 특성 및 함유성분 분석

저항성 검정 결과를 토대로 선발한 계통 및 대비품종인 '빅스타', '다복'을 포함한 총 30점을 2014년도와 같은 방법으로 2월 초에 파종하여 약 1개월 후 10주씩 50구 트레이에 이식하였다. 제1분기점이 발생하는 시점인 5월 말경에 각 계통에서 6주씩 선발하여 경북대학교 군위 실습포장에 정식하였다. 8월 말경에 숙과를 수확하여 원예적 특성을 조사하고, 실험식물의 바이러스 병 발병도를 조사하였다. 발병기준은 0=바이러스 병징이 보이지 않는 것; 1=0과 2 사이의 약간의 병징이 보이는 것; 2=중간 정도 되는 것; 3=2과 4 사이의 많은 병징이 보이는 것; 4=바이러스 병징이 심한 것과 같이 5단계로 조사하였다. 동시에 바이러스에 감염된 잎을 채집하여 PCR에 의한 바이러스 동정을 하였다. 그 방법은 수집한 시료 잎의 감염부를 전자현미경으로 검정하고, 전체 RNA를 분리한 후 주로 노지 고추에서 발생하는 6종의 바이러스, 즉 *Broad bean wilt virus*(BBWV), *Cucumber mosaic virus*(CMV), *Pepper mottle virus*(PepMoV), *Pepper mild mottle virus*(PMMoV), *Tobacco mild green mosaic virus*(TMGMV), *Tomato spotted wilt virus*(TSWV)에 대한 종 특이적 프라이머를 이용하여 RT-PCR을 통해 특정 부분을 증폭한 후 전기영동을 하였다. 해당 바이러스 부위에 형성되는 band를 보고 특정 바이러스 발생을 확인하였다. 원예적 특성은 각 계통에서 숙과의 과장, 과폭, 과경장, 과중, 심실수를 조사하고 과피를 모아 55°C로 조정한 열풍건조기에서 충분히 건조하여 capsaicinoids 함량, 당 함량, ASTA(American Spice Trade Association) 값을 분석하였다. 분석방법은 Mo et al.(2015)에 의해 상세한 바와 같다. Capsaicinoids 함량은 Attuquayefio and Buckle(1987)의 방법에 준하여 고춧가루 1g에 acetonitrile 10mL를 가하여 5분간 혼합한 후 상층액 1mL를 취하여 10배 희석 후 Sep-pak Plus C₁₈ Cartridges(Waters-short body), acetonitrile 등을 이용하여 capsaicinoids가 탈착되어 흘러나온 여액을 HPLC(LC-900, Jasco)로 분석하였다. Column: Crest pak C₁₈S, Mobil phase: 70% methanol, Flow rate: 1mL/min, Detector: 280nm에서 측정하였다. 당 함량은 근적외 분광분석법(NIRSystem 1,600-waters)으로 분석하였으며, ASTA 값은 250mm 삼각플라스크에 고춧가루 0.1g을 넣고 acetone 100mL로 채운 후 16시간 암실에 방치한 다음 원심분리해서 UV/VIS Spectrophotometer(V-530, Jasco)을 이용하여 460nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

*X. euvesicatoria*에 의한 세균성점무늬병 저항성 개체의 선발을 위하여 침투법을 이용해 과민반응형 저항성과 비과민형의 일반 저항성을 평가한 결과는 Table 1과 같다. 먼저 과민반응형 저항성을 보면, KC00939, ECW20R, ECW12346, 그리고 본 연구실에서 영양지역 재래종 '칠성초'(Chilseong)에 *Bs2* 유전자를 도입하여 육성한 Chilbok No.2가 전 개체 모두 균일하게 4종의 race(1, 3, 7, 8)에 HR을 보임으로서 안정적으로 *Bs2* 유전자가 고정되었음을 알 수 있었다. KC00939는 원래 국립원예특

작과학원에서 분양받은 자원으로 국립원예특작과학원에서 *Bs2* 유전자를 도입하여 육성한 계통으로 추정된다. Chilbok No.3는 ‘칠성초’에 PI271322에 들어있는 *Bs3* 유전자를 도입하여 육성한 계통으로 race 1과 7에 대해서는 HR을 나타내지만, race 3과 8에서는 이병성을 보여 기대한 바와 같이 나타냈다(Stall et al., 2009). ECW30R은 플로리다에서 ECW 품종에 *Bs3* 유전자를 도입하여 육성한 품종으로 race 3과 race 8에 이병성을 나타낼 것으로 기대되었으나, race 3에는 10주 중 2주, race 8에서는 10주 중 4주가 HR 반응을 보여 이 품종의 유지 관리 과정에 ECW20R과 자연교잡이 일어난 것으로 추정된다.

Table 1. Resistance to race 1, 3, 7 and 8 of *Xanthomonas euvesicatoria* of the accessions selected from pepper genetic resources.

No.	Origin	Reaction to <i>X.euvesicatoria</i> ²								Resistance to bacterial spot ³
		Race 1 (Xcv072)		Race 3 (Xcv015)		Race 7 (Xcv046)		Race 8 (Xcv076)		
		HR	NHR	HR	NHR	HR	NHR	HR	NHR	
KC01327 ^w	KC01327w		10		10		10		10	0.4 a ^x
KC00939	NHRI BSR2	10		10		10		10		0.5 a
KC01760	K004031		10		10		10		10	0.5 a
KC01617	IT136637		10		10		10		10	0.5 a
KC01015	Vietnam 45		10		10		10		10	0.5 a
KC01779	K159826-2		10		10		10		10	0.5 a
KC01137	64-1		10		10		10		10	0.6 ab
KC01328	Lao Pep 48		10		10		10		10	0.7 a-c
KC01006	Vietnam 29		10		10		10		10	0.8 a-d
KC01704	801319		10		10		10		10	0.8 a-d
KC00127	PI369994		10		10		10		10	0.8 a-d
KC00995	Vietnam 25		10		10		10		10	0.9 a-d
ECW20R	ECW20R	10		10		10		10		0.9 a-d
KC00131	PI369998		10		10		10		10	1.0 a-d
KC01777	K150028-3		10		10		10		10	1.0 a-d
ECW12346	ECW12346		10		10		10		10	1.2 b-d
KC00043	PI241670		10		10		10		10	1.2 b-d
KC00897	Kathmandu-2		9		9		9		9	1.3 cd
KC00177	PI163192		10		10		10		10	1.4 d
Chilbok No.2	Chilbok No.2	10		10		10		10		2.0 e
ECW	ECW		10		10		10		10	2.1 e
ECW30R	ECW30R	10		2	8	10		4	6	2.1 e
KC00079	PI271322	10			10	10			10	2.2 e
Chilbok No.3	Chilbok No.3	10			10	10			10	2.2 e
PI235047	PI235047	10		10			10		10	2.3 e
Comm. F1	Cheongyang		10		10		10		10	2.6 ef
ECW10R	ECW10R		10		10		10		10	3.1 fg
Comm. F1	Bearotta		10		10		10		10	3.3 gh
Comm. F1	Supergeumtap		10		10		10		10	3.7 hi
Chilseong	Chilseongcho		10		10		10		10	3.7 hi
Chilseong L	Chilseong L		10		10		10		10	3.9 i
KC00144	KRG No. 3		5		5		5		5	4.0 i
Comm. F1	Yekganghongjanggun		10		10		10		10	4.0 i

²HR=hypersensitive reaction; NHR=non-hypersensitive reaction.

³0=No spots; 1=Trace of spots; 2=Less than 25% leaf area spotted; 3=Around 50% leaf area spotted; 4=Over 50% leaf area spotted with defoliation.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

^wKC denotes accession number of Kyungpook National University, Daegu, Korea, a regional subgenegank of RDA genebank.

Chilbok No.2와 Chilbok No.3은 서로 다른 과민반응형 저항성 유전자를 보유하고 있지만 원예적 형질은 재래종인 ‘칠성초’의 형질을 가지고 있는 near isogenic lines(NILs)로서 ECW20R과 ECW30R 대신에 세균성점무늬병균의 race 판별품종으로도 활용될 수 있으며, 이들은 단고추 계통들보다 재배가 쉬운 장점이 있다(Kim et al., 2007).

식물에서 세균성점무늬병에 대한 저항성에는 과민반응형 저항성 유전자 이외에도 race에 비특이적으로 반응하는 일반 저항성 성분이 있으며, 이는 다수의 미동유전자에 의한 양적 유전 혹은 열성 유전을 하는 것으로 보인다(Hibberd et al., 1987; Poulos et al., 1991; Jones et al., 2002). 이러한 일반 저항성을 검증하기 위해서는 병원균의 접종시, 침투접종법은 부적절하며 분무법에 의한 전면살포에 의해서 병반의 수나 크기에 따라 평가되는 것이 바람직하다. KC01327은 병징이 거의 나타나지 않아 일반 저항성 부분에서 가장 강한 저항성을 보였다. KC01617(IT136637)은 침투접종에 의해 HR은 아니지만, 수침상 반응 또한 전혀 나타나지 않음으로써 고도의 일반저항성을 보였으며, 이외 KC00939, KC01015, KC01760(K004031), KC01779(K159826), KC01137도 같은 수준의 일반 저항성을 보였다. 또한 KC01328, KC01006, KC00127, KC01704(801319), KC00995, KC00131, KC01777(K150028)도 높은 일반 저항성 소재로서 가치가 있다고 판단되었다. 이 중 KC01617, KC01760, KC01779, KC01137, KC01704, KC01777는 아직까지 저항성으로 보고된 바가 없는 자원들로서 세균성점무늬병 저항성 자원으로 새로 추가되었다. 이들 중에서 KC01617, KC01760, KC01779, KC01704, KC01777은 2011년도에 국립농업유전자원 센터에서 분양받아 증식한 자원들 중에서 선발된 것들이며, KC01137은 본 연구실 자체 수집 자원 중에서 함께 선발된 계통이다. ECW NILs와 같이 HR 저항성 유전자만 도입된 계통들은 병원균을 살포접종할 경우 미세한 과민형 점무늬가 다수 형성되는 특징이 있으나 KC00939은 공시한 저항성 소재중 유일하게 침투접종시 과민형 반응을 나타낼 뿐만 아니라 살포접종 후에 미세 과민형 점무늬도 형성되지 않아 Bs2의 강력한 수직 저항성에 양적 저항성을 겸비한 매우 이상적인 세균성점무늬병 저항성 소재로 평가되었다. 이들은 과민반응형 저항성 유전자가 새로운 race의 출현에 쉽게 무력화되는 문제를 해결 할 강한 일반 저항성 유전자를 보유한 육종 소재로서 그 활용 가치가 클 것으로 예상되며, 식물 병 저항성에 관한 연구소재로서의 활용 또한 기대된다.

이어서 선발한 저항성 소재들의 활용도를 높이기 위하여 주요 특성을 조사하였다(Table 2 and 3). 과실의 형태적 품질 특성은 chile형인 신미종과 bell형의 감미종으로 구분하여 비교하였다(Table 2). Chile형 23계통의 과장은 5.4cm부터 16.4cm까지 다양하게 분포하였고, 평균 과장, 과폭, 과중은 각각 9.2cm, 1.3cm, 7.1g으로 대비품종 ‘다복’이 평균에 근접하여 비교기준이 되기에 충분하였다. 국내 종묘회사에서 판매하는 고추 품종들은 대부분 대과 중심이고 농가 또한 대과를 선호하며, 소비자도 제분시 고춧가루가 많이 생산되는 대과를 선호하고 있다. 따라서 시장의 기호에 따라 크기가 크고 무게가 많이 나갈수록 우수한 품질로 판단된다. 실제로 시판품종 중 (주)농우바이오에서 프리미엄 품종으로 선보인 ‘빅스타’가 과장, 과폭, 과중이 각각 16.4cm, 2.4cm, 28.2g으로 모두 가장 높은 값을 보여 다른 계통 대비 과형이 가장 우수하였다. 품질이 우수한 재래종으로 알려진 ‘칠성초’가 과장, 과폭, 과중이 각각 12.8cm, 2.4cm, 23.1g으로 ‘빅스타’에 이어 품질이 두번째로 우수하였지만 과경장은 4.9cm로 가장 길었다. 농가에서는 수확의 편의성을 이유로 과경장의 길이도 중요한 특성이다. ‘빅스타’가 세균성점무늬병 저항성이 없는 대신 바이러스 저항성은 높은 것에 반해 ‘칠성초’는 바이러스 저항성이 현저히 낮아 재래종들이 병해충에 취약함을 확인할 수 있었다. 반면에 고도의 세균성점무늬병 저항성을 가진 개체들은 주로 소과가 많았으나, KC00939는 과폭과 과경장은 평균치에 머물렀지만 과장과 과중이 각각 11.9cm와 9.2g으로 대비품종 ‘다복’보다 우수한 품질을 갖추었고, 심지어 포장에서 발생한 CMV와 BBWV에 대해서 병징이 미미하여 바이러스에 강한 저항성을 보여주었다. KC01015는 과장이 11.8cm로 길고, 바이러스 저항성도 KC00939와 유사하였지만 나머지 형질은 ‘다복’과 유사하였다. KC01006은 앞의 두 계통보다는 세균성점무늬병 저항성이 낮지만 육종소재로서는 충분히 강하며, 과장, 과폭, 과중이 각각 12.0cm, 1.7cm, 11.8g으로 ‘칠성초’ 다음으로 과형이 가장 좋았으며, 이는 저항성 소재중 과실 품질이 가장 우수한 것이다. 그리고 포장에서 KC00939와 유사한 바이러스 저항성도 보여주었다. KC00897은 세균성점무늬병 저항성은 평균 2.3으로 일반적인 중도 저항성을 보였지만(Table 1), 포장의 CMV와 BBWV에 의한 바이러스 병징이 전혀 발견되지 않아 상당히 강한 바이러스 저항성을 보유하고 있는 것으로 확인되었

다. Bell형의 7계통에서 KC00144(Keystone Resistant Giant)와 감미종에 세균성점무늬병 저항성 유전자를 도입하여 육성한 ECW계통들의 평균 과장, 과폭, 과중은 각각 6.9cm, 5.9cm, 74.0g이었으며, 서로 큰 차이 없이 비슷한 품질을 보여주었고, 모두 포장의 바이러스에 매우 약하였다. Bs4 유전자를 보유한 PI235047은 *Capsicum pubescens*로서 과장, 과폭, 과중이 각각 2.6cm, 2.5cm, 8.2g으로 과형은 작은 원형이며 포장에서의 바이러스 저항성이 KC00939와 같이 우수하였다.

고추의 맛을 결정하는 주요 품질 특성은 매운 맛 성분인 capsaicinoids 함량과 당 함량이며, 일차적인 품질 판정은 주로 외적 요소인 적색소에 의해 평가되고 있다(Kim et al., 2004). ASTA color value는 미국 및 국제사회에서 고춧가루의 색을 평가하는 객관적 단위로 사용되고 있으며 현재 국내 고추 색소함량의 지표가 되고 있으므로 적색소의 평가는 ASTA 값을 구하여 확인

Table 2. Fruit characteristics and natural occurrence of virus in pepper lines selected for resistance to bacterial spot.

No.	Variety	Fruit size ^z (cm)		Fresh fruit weight ^f (g)	Peduncle length ^z (cm)	No. of locules	Virus ^s
		Length	Width				
Hot pepper							
KC00079 ^w	PI271322	11.2 c ^y	1.2 f-i	5.3 g-i	3.0 g-j	2	2
KC00939	NHRI BSR2	11.9 bc	1.4 cd	9.2 d	3.5 d-g	2	1
Chilbok No.2	Chilbok No.2	5.4 i	1.5 c	5.6 f-h	3.4 e-h	2	4
Chilbok No.3	Chilbok No.3	7.4 f-h	1.8 b	8.8 d	3.8 c-f	2	3
KC01327	Lao Pep 47	8.8 de	1.0 ij	3.9 i-l	3.9 c-f	2	2
KC01328	Lao Pep 48	8.4 d-f	1.0 ij	4.0 h-l	4.3 bc	2	2
KC00995	Vietnam 25	7.0 gh	1.1 g-j	3.0 k-m	3.3 f-i	2	3
KC01006	Vietnam 29	12.0 bc	1.7 b	11.8 c	3.3 f-i	2	1
KC01015	Vietnam 45	11.8 bc	1.3 d-g	7.1 ef	3.9 c-e	2	1
KC00043	PI241670	9.5 d	1.1 f-j	4.2 h-k	2.7 i-k	3	-
KC00127	PI369994	6.9 gh	1.3 d-f	4.2 h-k	4.5 ab	2	2
KC00131	PI369998	8.8 de	1.2 e-h	4.4 h-k	3.0 g-j	3	1
KC00897	Kathmandu-2	8.0 e-g	0.8 k	3.2 j-m	3.3 f-i	3	0
KC00177	PI163192	6.8 gh	1.4 c-e	4.0 h-l	3.5 d-g	2	3
Chilseong	Chilseongcho	12.8 b	2.4 a	23.1 b	4.9 a	3	4
KC01617	IT136637	5.4 i	0.9 jk	2.2 m	2.3 kl	2	3
KC01704	801319	9.1 de	1.5 c	6.2 e-g	3.6 d-f	2	2
KC01760	K004031	9.7 d	0.8 k	4.7 g-j	4.0 b-d	2	2
KC01777	K150028-3	10.9 c	1.2 f-h	6.9 ef	2.9 h-j	2	1
KC01779	K159826-2	6.4 hi	1.1 h-j	3.2 j-m	2.1 l	2	3
KC01137	64-1	7.2 f-h	1.0 ij	2.5 lm	2.6 j-l	2	3
Comm. F1	Big Star	16.4 a	2.4 a	28.2 a	4.1 b-d	2	1
Comm. F1	Dabok	9.1 de	1.3 d-f	7.4 e	2.8 i-k	2	2
Sweet pepper							
KC00144	KRG No.3	8.9 a	6.5 ab	99.3 a	2.2 b	4	-
ECW	ECW	5.6 b	7.0 a	74.8 ab	2.9 b	4	3
ECW10R	ECW10R	5.3 b	6.5 ab	61.8 ab	2.4 b	4	4
ECW20R	ECW20R	5.9 b	5.0 b	53.1 b	2.4 b	4	3
ECW30R	ECW30R	9.5 a	5.5 ab	103.6 a	3.8 a	3	3
PI235047	PI235047	2.6 c	2.5 c	8.2 c	2.1 b	3	1
ECW12346	ECW12346	6.2 b	5.1 b	51.4 b	2.1 b	3	4

^zMean of 5 fruits taken from four selected plants per accession.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

^s0=almost no viral symptoms observed; 2= intermediate; 4= severe mosaic symptoms developed in the field harboring Cucumber mosaic virus (CMV) and Broadbean wilt virus (BBWV); 1 and 3 are between 0 and 2 and 2 and 4, respectively.

^wKC denotes accession number of Kyungpook National University, Daegu, Korea, a regional subgenegank of RDA genebank.

하였다(Table 3). 공시한 30계통의 ASTA 값은 평균 109.3이었으며, 최소 12.3부터 최대 178.6까지 그 차이가 166.3이었다. 이와 같이 계통별로 고춧가루의 색소함량에 큰 차이를 나타내어 비교 기준이 필요하였으나 현재까지 국내에서 색소함량에 대한 규격과 색상 품질에 대한 기준이 없어, 대비품종 ‘빅스타’와 ‘다복’이 각각 148.0과 142.2인 것을 기준으로 비교하였고, 영양고추시험장에서 건고추의 ASTA 값을 90미만, 91 – 110, 111 – 130, 131 – 150, 151이상과 같이 5등급으로 구분하여 151이상을 특상으로 제시한 표준규격을 참고하였다(YPES, 2005). ASTA 값이 측정 계통 중 가장 높은 178.6으로 영양고추시험장에서 색택에 대한 특상품 값으로 제시한 151보다 상당히 높게 나온 KC00939는 병 저항성 소재들 중에서 고색도 품종이 드문것으로 알려진 것에 반해, 고도의 세균성점무늬병 저항성과 높은 바이러스 저항성을 복합적으로 갖춘 고색도 복합저항성 육종 소재로서 그 가치가 매우 크다. 이 외에 KC00995, KC01006, KC00127, KC01704가 각각 156.2, 167.4, 154.2, 143.2의 높은 ASTA 값을 보여 고색도 세균성점무늬병 저항성 육종 소재로의 활용이 기대된다.

고추의 매운맛을 결정하는 성분인 capsaicinoids 중에서 capsaicin과 dihydrocapsaicin이 고추의 품종에 따라 다르지만 일반적으로 capsaicinoids의 약 90% 이상을 차지하는 매운맛의 주성분이다(Iwai et al., 1979). 따라서 고추의 맛을 결정하는 품질 특성으로 capsaicin과 dihydrocapsaicin의 함량 분석은 매우 중요하며 이들의 합을 capsaicinoids 함량으로 나타냈다(Table 3). 매운맛에 대한 품질 기준은 한국산업규격(KS)에서 capsaicinoids 함량이 150mg·kg⁻¹미만일 경우 1단계(순한 맛), 150이상 – 300mg·kg⁻¹미만일 경우 2단계(덜매운맛), 300이상 – 500mg·kg⁻¹미만일 경우 3단계(보통매운맛), 500이상 – 1,000mg·kg⁻¹미만일 경우 4단계(매운맛), 1000mg·kg⁻¹이상일 경우 5단계(매우매운맛)으로 구분하였고(KATS, 2013), 영양고추시험장에서는 ‘청양’ 품종이 소비자가 가장 맵다고 인식하기에 ‘청양’의 최저수준인 90mg·100g⁻¹을 기준으로 하여 30mg·100g⁻¹이하일 경우 순한맛, 30.1이상 – 60 mg·100g⁻¹이하일 경우 중간맛, 60.1이상 – 90mg·100g⁻¹이하일 경우 매운맛, 90.1mg·100g⁻¹이상일 경우 아주 매운맛으로 제시하였다(YPES, 2005). 본 연구에서 capsaicinoids 함량은 2.2mg·100g⁻¹부터 388.6mg·100g⁻¹까지 그 범위가 매우 광범위하였으며, 과형과 색택이 우수했던 ‘빅스타’는 25.7mg·100g⁻¹으로 KS에 의하면 2단계, 영양고추시험장에 의하면 순한맛으로 평가되고, ‘다복’은 48.6mg·100g⁻¹으로 ‘빅스타’보다 한단계 더 높은 3단계, 중간맛으로 평가됐다. 고도의 세균성점무늬병 저항성 소재 중 KC01137과 KC01779는 각각 177.2mg·100g⁻¹과 164.1mg·100g⁻¹으로서 KS의 5단계에 해당하며, ‘청양’보다 상당히 매울 것으로 예상되고, 그 외 KC01328(131.1mg·100g⁻¹), KC01760(117.3mg·100g⁻¹), KC01617(105.1mg·100g⁻¹)순으로 capsaicinoids 함량이 많았으며, 모두 KS의 5단계로 매우 매운 고추에 해당한다. 고색도 일반 저항성 소재인 KC00995는 146.7mg·100g⁻¹으로 고신미 육종 소재로서의 가능성도 확인하였다. 세균성점무늬병 저항성 검정 결과 2.2의 중도 저항성을 보여준 KC00043은 388.6mg·100g⁻¹로서 capsaicinoids 함량이 다른 계통들에 비해 월등히 높았으며(Table 1 and 3), 이는 고추의 capsaicinoids에 대한 다양한 약리 및 생리학적 효과가 밝혀지고 있음에 따라(Luo et al., 2011) 고기능성 육종소재로서 관심을 끌었다. 고추의 주요 당은 fructose 및 glucose이고 sucrose는 소량 존재하며(Son et al., 1995), 당 함량을 분석한 결과는 Table 3과 같이 fructose 및 glucose가 주요 당으로 검출되었고 sucrose는 미량 검출되거나 검출되지 않았다. 총 당 함량은 3.7%부터 22.3%까지 다양한 분포를 나타냈고, 주로 감미종 계통에서 높은 당 함량을 보였다. 평균값은 8.8%로 저항성 계통들이 높지 않은 당 함량 수치를 보였지만, 맛이 좋다고 평가되는 ‘빅스타’와 ‘다복’의 당 함량이 각각 10.5%와 10.6% 인것과 비교하여 고도의 세균성점무늬병 저항성 소재 중 KC01327과 KC01328이 각각 12.0%와 10.2%의 높은 당 함량을 보유했다. 과민반응형 세균성점무늬병 저항성 유전자 *Bs2*와 *Bs3*를 각각 도입한 대표적 품종인 ‘Chilbok No.2’와 ‘Chilbok No.3’도 각각 10.0%와 10.8%의 높은 당 함량을 기록하였으며, 이는 ‘칠성초’가 당 함량이 7.6%로 평균값 8.8%에도 못미치는 낮은 함량을 보유한 것에 비해 매우 바람직한 방향으로 육성된 것을 알 수 있고, 이는 저항성 계통들 간의 육종 과정에서 함유 성분 또한 충분히 보강 가능하다는 것을 시사한다.

한편 대비로 공시한 시판교배종들은 모두 높은 발병도를 보여 세균성점무늬병 저항성이 아직 시판 품종에 도입되어 있지 않은 상태임을 알 수 있었다(Table 1). 농가 포장에서는 우선 고추에서 가장 문제가 되는 역병, 탄저병, 바이러스에 대한 저항성이 중요하겠으나, 태풍 등의 영향으로 대발생하는 경우를 대비하여 세균성점무늬병에 대한 저항성 품종의 개발이 필요할 것으로

생각된다. 따라서 다양한 육종소재를 확보하여 원예적 특성까지 분석한 이번 연구자료는 고추에서 앞으로의 세균성점무늬병 저항성 육종에 도움이 될 것으로 기대되며, 선발된 세균성점무늬병 저항성 유전자원들 중 노지의 바이러스에 복합저항성을 지닌 KC00939, KC01015, KC01006은 고온다습한 기후로 인한 병해가 많은 인도, 중국, 동남아시아와 같은 국외에도 활용 가능성이 높아 한국 고추 품종의 종자수출 시장 확대에 기여할 것으로 기대된다. 국내에서는 저항성 품종이 육성 보급될 경우 생산성의 안정과 세균성점무늬병 방제 노력을 줄여 농가생산비 절감에 큰 도움을 줄 수 있을 것이며, 세균성점무늬병과 바이러스에 고도의 복합저항성을 갖추면서 탁월한 색도를 나타낸 KC00939는 국내 김치용 고춧가루의 품질을 높여줄 재료로 육종에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 3. Capsaicinoids, sugar contents and ASTA values of the ground powder from dry fruits of the accessions selected from pepper lines for resistance to bacterial spot.

No.	Variety	Capsaicinoids (mg·100 g ⁻¹)	Capsaicin (mg·100 g ⁻¹)	Dihydro capsaicin (mg·100 g ⁻¹)	Total sugar contents (%)	Fructose (%)	Glucose (%)	Sucrose (%)	ASTA value
KC00079 ^y	PI271322	68.3 hi ^z	36.5 f-i	31.8 c-e	0.0 m	0.0 n	0.0 p	0.0 e	36.4 n
KC00939	NHRI BSR2	34.5 i-k	21.4 i-l	13.1 e-h	8.0 gh	6.2 e-h	1.9 j-l	0.0 e	178.6 a
Chilbok No.2	Chilbok No.2	32.8 i-k	17.5 j-m	15.3 e-h	10.0 ef	6.5 d-f	2.9 e-g	0.6 cd	106.4 j
Chilbok No.3	Chilbok No.3	21.3 jk	13.1 k-m	8.2 f-h	10.8 de	7.5 cd	2.6 f-h	0.7 cd	137.0 ef
KC01327	Lao Pep 47	82.4 f-h	51.2 ef	31.2 c-e	12.0 d	7.4 c-e	3.8 d	0.8 c	66.9 l
KC01328	Lao Pep 48	131.1 c-e	70.3 d	60.8 b	10.2 ef	6.5 d-f	3.1 e	0.6 cd	55.1 m
KC00995	Vietnam 25	146.7 b-d	96.7 c	49.9 bc	4.1 kl	3.1 k-m	1.0 o	0.0 e	156.2 c
KC01006	Vietnam 29	10.4 k	5.8 lm	4.6 gh	5.6 jk	4.3 i-k	1.4 l-o	0.0 e	167.4 b
KC01015	Vietnam 45	68.3 hi	42.6 f-h	25.7 d-f	8.1 gh	6.3 d-g	1.8 kl	0.0 e	139.4 d-f
KC00043	PI241670	388.6 a	171.1 a	217.5 a	6.2 ij	3.9 j-l	2.3 h-j	0.0 e	104.1 j
KC00127	PI369994	56.4 h-j	32.3 g-j	24.1 e-g	7.5 g-h	5.5 f-i	2.0 i-k	0.0 e	154.2 c
KC00131	PI369998	114.4 d-f	60.6 de	53.8 b	6.8 h-j	4.4 ij	1.9 j-l	0.5 d	116.5 i
KC00897	Kathmandu-2	118.2 de	61.5 de	56.7 b	8.6 fg	5.9 f-h	2.8 e-h	0.0 e	126.6 g-i
KC00177	PI163192	77.2 gh	46.3 e-g	30.9 c-e	0.0 m	0.0 n	0.0 p	0.0 e	51.3 m
Chilseong	Chilseongcho	29.7 jk	19.0 j-l	10.7 f-h	7.6 g-i	5.3 f-i	2.3 h-j	0.0 e	140.1 d-f
KC00144	KRG No.3	2.3 k	1.0 m	1.4 h	14.3 c	10.0 b	3.8 d	0.6 d	57.4 lm
KC01617	IT136637	105.1 e-g	61.5 de	43.6 b-d	4.0 kl	2.3 m	1.2 no	0.6 cd	134.2 e-g
KC01704	801319	6.5 k	4.5 lm	2.0 h	6.7 h-j	4.9 h-j	1.8 km	0.0 e	143.2 de
KC01760	K004031	117.3 de	70.6 d	46.7 bc	6.7 h-j	4.3 ij	1.7 kn	0.7 cd	82.4 k
KC01777	K150028-3	37.2 i-k	20.9 i-l	16.3 e-h	11.5 de	8.4 c	3.0 ef	0.0 e	129.6 f-h
KC01779	K159826-2	164.1 bc	111.5 bc	52.7 b	3.7 l	2.5 m	1.2 no	0.0 e	122.2 hi
KC01137	64-1	177.2 b	121.2 b	56.0 b	4.1 kl	2.8 lm	1.3 m-o	0.0 e	138.6 d-f
ECW	ECW	3.2 k	0.9 m	2.3 h	14.6 c	10.1 b	3.2 e	1.3 b	57.6 lm
ECW10R	ECW10R	2.2 k	0.8 m	1.4 h	15.1 c	9.8 b	5.3 c	0.0 e	149.2 cd
ECW20R	ECW20R	2.9 k	0.9 m	1.9 h	22.3 a	14.4 a	7.3 a	0.7 cd	123.3 hi
ECW30R	ECW30R	3.5 k	1.0 m	2.5 h	7.0 g-j	4.9 h-j	1.4 l-o	0.7 cd	48.6 m
PI235047	PI235047	29.2 jk	7.6 lm	21.7 e-h	19.5 b	10.6 b	6.8 b	2.1 a	12.3 o
ECW12346	ECW12346	2.5 k	0.8 m	1.8 h	8.2 gh	5.0 g-j	2.5 g-i	0.7 cd	52.4 m
Comm. F1	Big Star	25.7 jk	17.3 j-m	8.4 f-h	10.5 de	7.2 de	2.8 e-h	0.5 d	148.0 cd
Comm. F1	Dabok	48.6 h-j	27.4 h-k	21.2 e-h	10.6 de	7.4 c-e	2.7 e-h	0.6 d	142.2 de

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

^yKC denotes accession number of Kyungpook National University, Daegu, Korea, a regional subgenegank of RDA genebank.

초 록

국내외에서 보고된 저항성 유전자원과 새로 찾은 자원을 포함한 고추 유전자원 총 33점에 세균성점무늬병원균(*X. euvesicatoria*)을 접종하여 과민반응형 저항성과 일반 저항성을 검정하고, 선발한 자원에 대하여 원예적 특성을 조사하였다. 국내에 보고된 4종의 race(1, 3, 7, 8)에 대한 과민반응형 저항성을 판별한 결과, *Bs2* 유전자를 보유한 KC00939와 Chilbok No.2는 예상대로 4종의 race에 과민형 반응을 나타내었다. *Bs3* 유전자를 보유한 Chilbok No.3는 예상대로 race 1과 7에 과민형 반응을 보였다. KC00939는 CMV와 BBWV의 복합 감염에 강한 저항성을 보이고 색소함량이 매우 높아 고색도 복합저항성 육종 소재로서의 그 가치가 높았다. 이와 더불어 KC01327, KC01617, KC01015, KC01760, KC01779, KC01137, KC01328, KC01006, KC00127(PB369994), KC01704, KC00995, KC00131(PB369998) 및 KC01777이 높은 수준의 일반 저항성을 나타내었다. 이들 중 KC01617, KC01760, KC01779, KC01137, KC01704, KC01777은 이번 연구에서 세균성점무늬병 저항성으로 찾은 자원이다. 이들 세균성점무늬병 저항성 유전자원의 CMV와 BBWV의 복합 감염에 대한 저항성, 과실특성, 과실의 신미, 감미 및 색소함량(ASTA)을 분석한 결과는 세균성점무늬병 저항성 육종에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

추가주요어: *Capsicum* spp., 일반 저항성, 과민반응형 저항성, 레이스, *Xanthomonas euvesicatoria*

Literature Cited

- Attuquayefio VK, Bukle KA (1987) Rapid sample preparation method for HPLC analysis of capsaicinoids in *Capsicum* fruits and oleoresins. *J Agric Food Chem* 35:777-779. doi:10.1021/jf00077a032
- Cook AA, Guevara YG (1984) Hypersensitivity in *Capsicum chacoense* to race 1 of the bacterial spot pathogen of pepper. *Plant Dis* 68:329-330. Doi:10.1094/PD-68-329
- Cook AA, Stall RE (1963) Inheritance of resistance in pepper to bacterial spot. *Phytopathology* 53:1060-1062
- Cook AA, Stall RE (1969) Differentiation of pathotypes among isolates of *Xanthomonas vesicatoria*. *Plant Dis Rep* 53:617-619
- EPPO (2013) PM 7/110 (1) *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria*, *Xanthomonas gardneri*, *Xanthomonas perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper. *EPP Bull* 43:7-20. doi:10.1111/epp.12018
- Hibberd AM, Stall RE, Bassett MJ (1987) Different phenotypes associated with incompatible races and resistance genes in bacterial spot disease of pepper. *Plant Dis* 71:1075-1078. doi:10.1094/PD-71-1075
- Iwai K, Suzuki T, Fujiwake H (1979) Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuum* var. *annuum* cv. Karayatsubusa at different growth stages after flowering. *Agric Biol Chem* 43:2493-2498. doi: 10.1271/bbb1961.43.2493
- Jones JB, Lacy GH, Bouzar H, Stall RE, Schaad NW (2004) Reclassification of the Xanthomonads associated with bacterial spot disease of tomato and pepper. *System Appl Microbiol* 27:755-762. doi: 10.1078/0723202042369884
- Jones JB, Minsavage GV, Roberts PD, Johnson RR, Kousik CS (2002) A non-hypersensitive resistance in pepper to the bacterial spot pathogen is associated with two recessive genes. *Phytopathology* 92:273-277. doi: 10.1094/PHYTO.2002.92.3.273
- Jones JB, Stall RE, Bouzar H (1998) Diversity among xanthomonads pathogenic on pepper and tomato. *Ann Rev Phytopathol* 36:41-58. doi:10.1146/annurev.phyto.36.1.41
- KATS (2013) Red pepper ground. <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchListResult.do> Accessed 12 January 2015
- Kim BS, Hartmann RW (1985) Inheritance of a gene (*Bs3*) conferring hypersensitive resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in pepper (*Capsicum annuum*). *Plant Dis* 69:233-235
- Kim BS, Kim YC, Shin KS, Kim JH (2007) Near-isogenic lines for genes conferring hypersensitive resistance to bacterial spot in chili pepper. *Plant Pathol J* 23:155-166. doi: 10.5423/PPJ.2007.23.3.155
- Kim BS, Kwon YS, Hur JM (1990) Differentiation and distribution of pathotypes of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* pathogenic on pepper in Korea. *Korean J Plant Pathol* 6:245-249
- Kim BS, Kwon YS, Shon EY (1991) Inheritance of resistance to bacterial spot and to *Phytophthora* blight in peppers. *Agric Res Bull Kyungpook Natl Univ* 9:127-133
- Kim BS, Souvinmonh B, Son K, Ahn JH, Lee SM (2009) New additions to sources of resistance to bacterial spot and field performance of HR gene NILs in *Capsicum* pepper. *Hort Environ Biotechnol* 50:566-570
- Kim CH, Ryu SH, Lee MJ, Baek JW, Hwang HC, Moon GS (2004) Characteristics of red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder using N2-circulated low temperature drying method. *Korean J Food Sci Technol* 36:25-31

- Kousik CS, Ritchie DE (1999) Development of bacterial spot on near-isogenic lines of bell pepper carrying gene pyramids composed of defeated major resistance genes. *Phytopathology* 89:1066-1072. doi: 10.1094/PHYTO.1999.89.11.1066
- Lee SD, Cho YS (1996) Copper resistance and race distribution of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* on pepper in Korea. *Korean J Plant Pathol* 12:150-155
- Lee SH, Lee JB, Kim SM, Choi HS, Park JW, Lee JS, Lee KW, Moon JS (2004) The incidence and distribution of viral diseases in pepper by cultivation types. *Res Plant Dis* 10:231-240. doi:10.5423/RPD.2004.10.4.231
- Luo XJ, Peng J, Li YJ (2011) Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. *European J Pharmacol* 650:1-7. doi:10.1016/j.ejphar.2010.09.074
- MAFRA (2015) Status of the greenhouse for facility vegetable and the production results of vegetables. The Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea. p 11
- Minsavage GV, Dahlbeck D, Whalen MC, Kearney B, Bonas U, Staskawicz BJ, Stall RE (1990) Gene-For-Gene relationships specifying disease resistance in *Xanthomonas Campestris* pv. *vesicatoria* - pepper interactions. *Mol Plant-Microb Interact* 3:41-47. doi: 10.1094/MPMI-3-041
- Mo HS, Jang KS, Hwang JE, Jeon SG, Kim BS (2015) Horticultural and chemical quality characterization of accessions selected from four species of *Capsicum*. *Hort Environ Biotechnol* 56:54-66. doi:10.1007/s13580-015-0078-0
- Pae DH, Yoon JY, Lee, JM (1994) Pathotype distribution of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* on pepper (*Capsicum annuum*) in Korea and cross-protection between the pathotypes. *J Korean Soc Hort Sci* 35:126-130
- Poulos JM, Reifschneider FJB, Coffman WR (1991) Heritability and gain from for quantitative resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in *Capsicum annuum* L. *Euphytica* 56:161-167. doi: 10.1007/BF00042060
- Sahin F, Miller SA (1998) Resistance in *Capsicum pubescens* to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* pepper race 6. *Plant Dis* 82:794-799. doi: 10.1094/PDIS.1998.82.7.794
- Schaad NW, Jones JB, Chun W (2001) Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. In St. Paul, Minnesota: APS Press, Ed 3, USA, pp 1-15
- Son SM, Lee JM, Oh MS (1995) A comparative study of nutrients and taste components in Korean and imported red peppers. *Korean J Nutr* 28:53-60
- Sowell G Jr (1960) Bacterial spot resistance of introduced peppers. *Plant Dis Rep* 44:587-590
- Stall RE, Jones JB, Minsavage GV (2009) Durability of resistance in tomato and pepper to Xanthomonads causing bacterial spot. *Annu Rev Phytopathol* 47:265-284. doi:10.1146/annurev-phyto-080508-081752
- Tran NH, Kim BS (2007) Search for new sources of resistance to bacterial spot (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) in *Capsicum* pepper. *Acta Hort* 760:323-328. doi:10.17660/ActaHortic.2007.760.44
- Wai KPP, Siddique MI, Mo HS, Yoo HJ, Byeon SE, Jegal YH, Abebe AM (2015) Pathotypes of bacterial spot pathogen infecting *Capsicum* peppers in Korea. *Plant Pathol J* 31:428-432. doi:10.5423/PPJ.NT.05.2015.0074
- Yang EY, Cho MC, Lee WM, Kim S, Park DK, Yoon MK (2012) Preparation for the future of pepper industry. *RDA Interrobang* 79:1-20
- YPES (2005) Yeongyang Pepper Experiment Station Policy Proposal. Available via <http://pepper.gba.go.kr/page.htm?mcode=1295661666> Accessed 12 January 2015