



## 세계채소센터 고추, 파프리카, 토마토 자원의 국내 적응성 평가

전도연\* · 서윤희\* · 강명용\* · 강예은\* · 정효봉\*\* · 양은영\*\* · 조명철\*\*\*  
· 이우문\*\* · 황인덕\*\*\*\* · 여경환\*\*† · 장성희\*\*†

\*세계채소센터 한국사무소, \*\*국립원예특작과학원 채소과,  
\*\*\*국립원예특작과학원 파속채소연구소, \*\*\*\*(주)부농종묘 육종연구소

### Regional adaptability evaluation of pepper and tomato accessions from the World Vegetable Center

Doyeon Jeon\*, Yoonhee Seo\*, Myeongyong Kang\*, Yeeun Kang\*, Hyobong Jeong\*\*, Eunyoung Yang\*,  
Myeongcheoul Cho\*\*\*, Woomoon Lee\*\*, Indeok Hwang\*\*\*\*, Kyung-Hwan Yeo\*\*†, and Seonghoe Jang\*\*†

\*World Vegetable Center Korea Office, Wanju-gun 55365, Korea

\*\*Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development  
Administration, Wanju-gun 55365, Korea

\*\*\*Allium Vegetable Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, rural Development  
Administration, Muan-gun 58545, Korea

\*\*\*\*Bunong Seed Korea R&D Center, Gimje-si 54324, Korea

**ABSTRACT:** The World Vegetable Center (WorldVeg) maintains the world's largest public vegetable germplasm collection. The Genebank contains over 65,000 accessions and consists of more than 130 genera and 330 species. It includes around 12,000 accessions of indigenous vegetables. The WorldVeg Korea Office (WKO) has been conducting regional adaptability evaluations in the fields of the National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS), with a focus on major solanaceous vegetable crops such as tomato, chili, and bell pepper. As climate change significantly affects vegetable crop productivity, the development of high-performing cultivars, tolerant to various abiotic and biotic stresses with enriched nutrients inside, is essential to enhance agricultural sustainability and human health. In this regard, the evaluation of growth and horticultural characteristics of pepper and tomato accessions from the WorldVeg will help contribute to the generation of new and improved cultivars, to address global challenges that affect food security, sustainability, and adaptation to climate change. Here, we summarize our activities and the results of the regional adaptability evaluation using the WorldVeg accessions of pepper and tomato germplasms.

**Key words:** Chili pepper, Sweet pepper, Tomato, Vegetable germplasm, World Vegetable Center

## 서 언

†Corresponding author

(Phone) +82-63-238-6663

(E-mail) khyeo@korea.kr

(Phone) +82-63-238-6677

(E-mail) seonghoe.jang@worldveg.org

<Received Mar. 9, 2023 / Revised Apr. 20, 2023 / Accepted May 21, 2023>

**채소**는 우리 신체에 필요한 다양한 비타민, 섬유질 및 미네랄과 같은 미량영양소를 제공하며, 소규모 재배가 용이하여 저소득 가정의 건강증진에 기여하고 소농들의 경제적 이익을 증가시킬 수 있다(Hawkes, C., 2006). 현대 사회에서 이와 같은 채소의 중요성이 점차 강조되면서, 국제연합(United Nation,

© 본 학회지의 저작권은 한국국제농업개발학회에 있으며, 이의 무단전제나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

UN)에서는 과일과 채소가 식량 안보를 지키고 영양 공급과 경제에 중요한 역할을 함을 널리 알리기 위해 지난 2021년을 ‘국제 과일과 채소의 해(International Year of Fruits and Vegetables, IYFV)’로 지정하였다(FAO, 2020).

20세기 중반, 식량 자원 육종으로 저소득 국가의 식량 자급 문제를 극복하고자 한 녹색혁명의 흐름에서, 미국 국제개발처(United States Agency for International Development, USAID)의 Dr. Frank Parker는 곡물 위주의 식량 자원 개발로 해결할 수 없는 영양실조 문제에 대한 해결책으로 채소의 증산과 개발에 주목하였다(World Vegetable Center, 2017). 이를 목적으로 ‘아시아 채소 연구개발 센터(Asia Vegetable Research and Development Center, AVRDC)’가 대만, 한국, 일본, 태국, 필리핀, 베트남, 미국, 아시아개발은행(Asian Development Bank, ADB)을 창립회원으로 1971년 설립, 1973년 대만 타이난에 본부를 두고 개소하여, 지금의 세계채소센터(World Vegetable Center, WorldVeg)에 이르고 있다. 1980년대부터 세계채소센터의 5개 지부가 아시아와 아프리카(태국, 탄자니아, 인도, 말리, 베냉)에 순차적으로 설치되었고, 대한민국은 농촌진흥청이 1992년부터 상주 연구관을 세계채소센터 본부로 파견하며 교류를 지속하고 있다.

현재 세계채소센터는 저소득 국가를 중심으로 전 세계의 채소 유전자원의 다양성 증진과 보존을 위한 자원 수집, 관리, 증식, 특성 평가, 육성 및 분양 등의 활동을 수행하며, 기후변화에 대응한 채소 작물의 개발과 보급을 통해 농업 분야의 지속 가능한 가치 창출에도 노력하고 있다. 6만 5천 점 이상의 채소 유전자원들을 수집하며 세계에서 가장 큰 규모의 채소 종자은행으로 성장한 대만 본부의 유전자원은행(Genetic Resources and Seed Unit, GRSU)은 약 200여 국가의 공공 및 민간 연구기관에 자체육성 계통을 포함한 보유 자원을 분양하였으며, 일부 자원을 탄자니아와 인도에 위치한 부설 유전자원은행, 한국의 농촌진흥청 농업유전자원센터, 대만 국립식물유전자원센터(National Plant Genetic Resources Center)와 노르웨이 스발바르 국제종자저장고(Svalbard global seed vault)에 중복 보존하며 미래 세대를 위한 안정적인 자원 보전에 힘쓰고 있다.

2019년 5월 1일 개소 이래 현재까지 세계채소센터 한국사무소(WorldVeg Korea Office, WKO)에서는 매년 세계채소센터에서 육성한 고추, 파프리카, 토마토 계통들을 분양 받아 지역 적응성 평가를 진행하고 있으며, 평가 데이터의 공유와 분석을 통해 유용 형질을 탐색하고 육종 재료로서 가치를 발굴하고 있다. 본 논문에서는 가지과 작물 세 종(고추, 파프리카, 토마토) 총 77계통을 대상으로 지난 4년간 이루어진 지역적응성 평가 결과를 연도별·특성별로 요약하고, 이를 바탕으로 연구 및 상업적 이용가능성이 높은 유용 형질을 보유한 세계채소센터의 자원을 소개하고자 한다.

## 재료 및 방법

2019년 3월부터 2022년 12월까지 고추 42계통, 파프리카 19계통, 토마토 16계통을 대상으로 농촌진흥청 국립원예특작과학원 부지에서 생육 평가를 진행하였으며, 수집한 데이터는 일원분산분석(ANOVA) 이후 사후분석(Post-hoc)을 통해 계통 간의 유의미한 차이를 검증하였다. 작물 경작 및 재배 방법은 농촌진흥청의 『농업기술길잡이 106: 토마토』, 『농업기술길잡이 115: 고추』, 『농업기술길잡이 124: 착색단고추』와 세계채소센터의 『Suggested Cultural Practice for Tomato』(Hanson et al., 2000), 『Suggested Cultural Practice for Chili Pepper』(Berke et al., 2005), 『Suggested Cultural Practice for Sweet Pepper』(Berke et al., 2003)를 참고하였다.

### 1. 2019년

세계채소센터 자원 고추 11계통, 파프리카 9계통을 대상으로 생육조사를 진행하였다(Table 1). 2019년 3월 25일 파종하였으며 5월 27일 파프리카와 토마토를 비닐하우스, 5월 29일 고추를 노지에 정식하였다. 수확 및 생육조사는 8월 중순부터 10월 상순까지 총 3회 진행되었다. 질적 평가로 건조 중량, 과

**Table 1.** List of chili and sweet pepper accessions in 2019.

Crops	Accessions	Internal code	Seed lot code no.
Chili pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP9813	PP9852-173	1342-89BK
	AVPP1346	PP1237-7712; PBC 145 sel.	1342-74-BK
	AVPP9905	PP9955-15	1342-92BK
	AVPP1333	1307-7539-1	1342-61-BK
	AVPP1341	1137-7503-1	1342-69-BK
	AVPP1345	1137-7519-1	1342-73-BK
	AVPP1245	F1 TSS AVRDC No.2	1630:46/47
	AVPP1328	1307-7530-1	1642-80-1
	AVPP1337	1307-7542-2	1537-7607-1
	AVPP1342	1137-7506-1	1642-81-1
	AVPP1510	1509-9043-1	1642-86-1
	AVPP1367	1307-7234	1342-10-BK
	AVPP1371	1307-7248	1642-65-bk1
	AVPP1358	1307-7217	1307-7217BK
	Sweet pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP1360	1307-7220
AVPP1363	1307-7230	1342-06-BK	
AVPP1507	1507-7231	1642-234-1	
AVPP1511	1507-7005	1642-225-1	
AVPP1513	1507-7210	1642-230-1	
AVPP1505	0436-6055 sel.	1642-252-1	

실 성숙 전·후 색과 흰가루병(Powdery mildew)의 수준을 측정하였다.

2. 2020년

세계채소센터의 고추 자원 9계통, 파프리카 자원 6계통, 토마토 자원 5계통을 대상으로 생육조사를 진행하였다(Table 2). 2020년 2월 26일 고추와 파프리카, 3월 2일 토마토 파종을 진행하였으며 4월 29일에 파프리카와 토마토를 비닐하우스, 5월 7일 고추를 노지에 정식하였다. 고추 대상 생육조사는 8월 하순부터 9월 하순까지 2회, 파프리카는 8월 상순부터 11월 상순까지 4회, 토마토는 7월 상순부터 9월 상순까지 4회 진행되었다. 1973년 이후 기록된 국내 최장 장마기간(Choi et al.,

2020)동안 자낭균류인 *Colletotrichum*으로 인한 탄저병(Anthracnose) 발병률이 상승하며, 전반적인 세계채소센터 고추 계통의 생산성이 최대 약 70%까지 크게 감소하였다(Table 9). 또한, 비닐하우스 내에서 여름철 45°C 이상의 고온이 지속되며 파프리카와 토마토가 예상보다 낮은 수확량을 보였다. 전반적인 토마토 개체에서 잎말림 현상이 보고되었는데, PCR 분석 결과 토마토황화잎말림 바이러스(Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV)가 음성으로 확인됨에 따라 과도한 비료 사용으로 인한 토양 염분 농도 상승이 원인일 것으로 추측하였다. 캡사이신 분석과 토마토 유전자 마커 검정을 부가적으로 실시하였다.

3. 2021년

세계채소센터 고추자원 11계통 파프리카 자원 4계통 토마토

Table 2. List of pepper and tomato accessions in 2020.

Crops	Accessions	Internal code	Seed lot code no.
Chili pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP1245*	F1 TSS AVRDC No.2	1630:46/47
	AVPP1246	F1 TSS AVRDC No.4	1011-2; (F1 box-2018)
	AVPP1346*	PP1237-7712; PBC 145 sel.	1342-74-BK
	AVPP9813*	PP9852-173	1342-135-BK
	AVPP9905*	PP9955-15	1342-92BK
	AVPP1508	1506-6546-1	1537-7615-BK1
	AVPP1509	1507-7515-1	1537-7625-BK
	AVPP1502	1509-9048-1	1742-31-BK1
	AVPP1517	PBC1572	1642-94-BK1
	Big-Star	Commercial Korean Cultivar	
Sweet pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP1247	F1 Hsing AVRDC No.3	1630:36/ 37(CCA12385)
	AVPP1403	F1 Hsing AVRDC No.5	1630-CCA12215 (2016)
	AVPP1512	1507-7025	1642-227-BK1
	AVPP1506	1507-7221	1642-231-BK
	AVPP1514	1507-7246	1742-16-BK
	AVPP1516	1507-7275	1742-40-BK
	Laurent	Commercial Korean Cultivar	
Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	AVTO1705	CLN3902C	
	AVTO1706	CLN3961D	
	AVTO1823	CLN3941D	
	AVTO1893	CLN4079C	
	AVTO1702	CLN3853C	
	TP-7	Commercial Korean Cultivar	

\* 2019 varieties

Table 3. List of pepper and tomato accessions in 2021.

Crops	Accessions	Internal code	Seed lot code no.
Chili pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP9813*	PP9852-173	1342-135-BK
	AVPP1346*	PP1237-7712; PBC 145 sel.	1342-74-BK
	AVPP9905*	PP9955-15	1342-92BK
	AVPP1609-022	PP1637-022	1637-022-BK
	AVPP0508	PP0537-7516	0842-113BK
	AVPP0901	PP0937-7662-1	1642-215BK
	AVPP0902	PP0937-7670-1	1642-216BK
	AVPP1906	CCA15949c	1940:320S/ 320F
	AVPP2001	1137-7506-1	1852-074-BK1
	AVPP2004	1736-6578-1	1852-093-BK1
Sweet pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	AVPP2005	1736-6611-1	1852-097-BK1
	TS-Elite	Commercial Korean Cultivar	
	AVPP2020	1642-344-1	1852-128-BK1
	AVPP2021	1737-7046-1	1852-125-BK1
	AVPP2023	1737-7049-1	1852-151-BK1
	AVPP2024	1737-7041-1	1852-149-BK1
	Asia-Blocky	Commercial Korean Cultivar	
Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	AVTO1705**	CLN3902C	
	AVTO1706**	CLN3961D	
	AVTO1823**	CLN3941D	
	AVTO1893**	CLN4079C	
	AVTO1702**	CLN3853C	
	Tomas	Commercial Korean Cultivar	

\*2019 varieties \*\*2020 varieties

자원 5계통을 생육 평가하였으며, 토마토 5계통은 2020년과 동일계통으로 반복실험을 수행하였다(Table 3). 2021년 2월 22일 고추와 파프리카, 3월 24일 토마토를 대상으로 파종을 진행하였으며 고추는 5월 24일 노지, 파프리카는 5월 12일 비닐하우스, 토마토는 5월 6일 비닐하우스에 정식하였다. 고추 생육 조사는 7월 하순부터 10월 중순까지 3회, 파프리카는 8월 상순부터 10월 하순, 토마토는 7월 중순부터 8월 중순까지 수행되었다. 파프리카 ‘AVPP2021’ 계통이 상대적으로 성숙기간이 길어지며 11월 중순에 생육조사를 진행하였다. 2021년 장마로 인하여 노지 고추의 탄저병 피해가 상당하였고, 파프리카의 경우 온실내 고온으로 인한 생육기간 중 일소과와 과실 무게 감소 현상이 보고되었다. 토양 검사, 캡사이신 분석, 토마토 영양성분(Anthocyanin,  $\beta$ -Carotene)분석을 추가적으로 실시하였다.

#### 4. 2022년

2022년 지역적응성 평가는 불가리아의 The Center of Plant Systems Biology and Biotechnology (CPSBB)에서 제공한 Pepper류(*Capsicum annuum*) 11계통과 토마토 11계통을 대상으로 이루어졌다(Table 4). Pepper류는 열매의 특성(크기 및 형태)과 유통형태(생식 혹은 가공품)에 따라 고추형과 파프리카형으로 분류하여 고추형은 노지, 파프리카형은 하우스에 재배하였다. 파종은 고추형 2022년 2월 23일, 파프리카형 3월 10일, 토마토는 3월 16일에 진행하였으며, 5월 10일에 전체 계통을 정식하였다. 생육평가는 각 계통의 열매 완전 성숙 시기에 맞추어 7월 11일부터 8월 2일까지 1차 조사가, 9월 9일부터 30일까지 2차 조사가 수행되었다. 심각한 고온 및 토양 병 피해로 인해 최소한의 주수(6주 이상)를 대상으로 생육조사를 진행하였다. 이후 유전자 마커 검정에서 불가리아 계통 자원의 병 저항성이 부재하거나 희소함을 확인하였다(Table 11 & Table 12). 8월 중순부터 비닐하우스 내부에서 가루이가 과다 증식하며 생육조사는 조기 종료되었으며, 이후 종자 수확량을 확보하고자 국립원예특작과학원의 대형 광폭 하우스에서 Perlite를 배지로 한 토마토 계통 대상 추가 재배(Table 1)를 실시하였으나 바이러스(TYLCV) 피해로 1차 결실과 수확 이후 재배를 종료하였다. 기본 생육조사와 더불어 토양 분석을 진행하였으며, 고추 계통들의 *PUN1* 유전자 마커 검정 결과를 바탕으로 캡사이신노이드(Capsaicin, Dihydro-capsaicin)분석을 진행하였다.

#### 결과 및 고찰

2019년에서 2022년까지 진행한 지역적응성 시험을 통하여 기능성 형질인 고추의 건조 중량, 캡사이신 함유량, 파프리카와 토마토의 당도, 생산량과 계통 별 병 저항성을 평가하고 주목할 만한 계통을 선정하였다.

**Table 4.** List of pepper and tomato accessions in 2022.

Crops	Accessions	Statuses
Pepper ( <i>Capsicum annuum</i> )	CAPS19	Bulgarian Germplasms
	CAPS30	
	CAPS32	
	CAPS42	
	CAPS51	
	CAPS65*	
	CAPS67*	
	CAPS70*	
	CAPS87	
	CAPS103	
	CAPS151A	
	Asia Red	Commercial Korean Cultivar (Greenhouse)
	Speed Cal-Tan	Commercial Korean Cultivar (Open field)
Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	LYC1	Bulgarian Germplasms
	LYC3	
	LYC35	
	LYC42	
	LYC43	
	LYC50	
	LYC152	
	LYC180	
	LYC185	
	LYC187	
	LYC190	
	Skyball	Commercial Korean Cultivar

\*We divided pepper accessions into chili (CAPS65, CAPS67, CAPS70) and bell pepper (the others) according to the characteristics of fruit shapes.

#### 고추

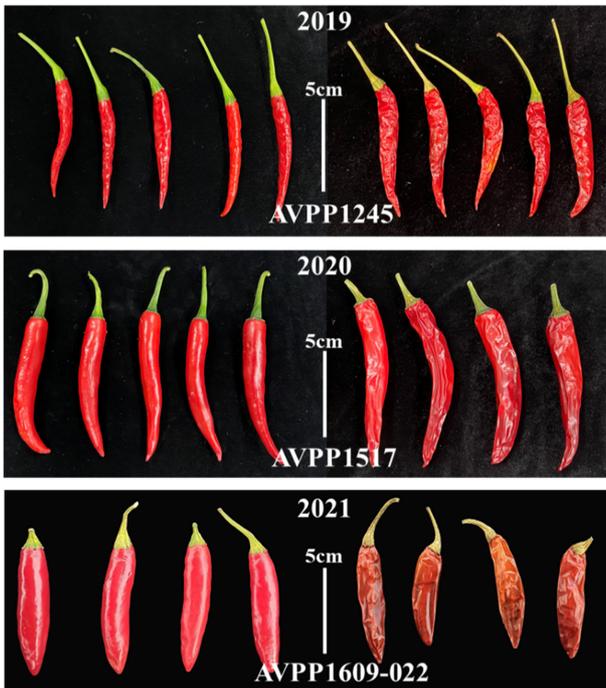
##### 1. 기능성형질

##### 1) 건조 중량

고추와 파프리카를 포함한 pepper류의 가루는 음식에 신미를 비롯한 향미와 색채를 더해줌으로써 한국을 비롯한 다양한 국가에서 사용되는 향신료로, 상업적·문화적 가치가 높은 농산 가공품이다(Guclu et al., 2021). 과실 건조는 열풍 건조기를 이용하여 65°C에서 48시간동안 진행하였다. 2019년 ‘AVPP1245’ 26.5%, 2020년 ‘AVPP1517’ 32.04%, 2021년 ‘AVPP1609-022’계통이 26.76%로 건조중량 비율(생체중 : 건물중)이 가장 높았다.



**Fig. 1.** Bulgarian tomato seedlings in the large single-span greenhouse of the NIHHS.



**Fig. 2.** Fresh (left) and dried (right) fruits of three WorldVeg's pepper accessions.

2) 캡사이신 함유량

신미는 고추속(*Capsicum*)의 대표적인 특징 중 하나로, 세계 채소센터 고추 계통의 질적 평가를 위해 고추 신미의 주 성분

**Table 5.** Capsaicin contents of chili accessions in 2020.

Accessions	Capsaicin(mg/100g)
AVPP1245	147.44
AVPP1246	262.91
AVPP1346	1.35
AVPP9813	24.35
AVPP9905	3.31
AVPP1508	87.94
AVPP1509	132.23
AVPP1502	36.11
AVPP1517	50.81
Control	182.76

**Table 6.** Capsaicin contents of chili accessions in 2021.

Accessions	Capsaicin(mg/100g)
AVPP9813	1.87
AVPP1346	293.38
AVPP9905	26.59
AVPP1609-022	299.90
AVPP0508	78.43
AVPP0901	2.08
AVPP0902	0.62
AVPP1906	2.51
AVPP2001	26.04
AVPP2004	134.60
AVPP2005	19.34
Control	156.82

인 캡사이신(Kirri et al., 2017) 분석을 실시하였다. 2020년에는 ‘AVPP9813’ 계통의 캡사이신 함유량이 1.35 mg/100 g으로 가장 낮고, ‘AVPP1346’ 계통이 262.91 mg/100 g으로 가장 높게 나타났다(Table 5). 2021년은 ‘AVPP0902’ 계통이 0.62 mg/100 g으로 가장 낮았으며 ‘AVPP1609-22’ 계통이 299.9 mg/100 g으로 가장 높았다(Table 6). 2022년 전체 시험 계통을 대상으로 한국농업기술진흥원에 의뢰한 캡사이시노이드 합성 유전자 *PUNI* (Han et al., 2013) 마커 검정 결과, ‘CAPS70’, ‘CAPS103’, ‘CAPS151A’ 계통이 양성으로 판명되었고(Table 11), 이후 캡사이시노이드 분석을 통해 ‘CAPS70’ 계통에서 capsaicin 2.59 mg/100 g, dihydro-capsaicin 3.53 mg/100 g, ‘CAPS151A’ 계통에서 capsaicin 0.98 mg/100 g, dihydro-capsaicin 0.79 mg/100 g의 낮은 캡사이시노이드 함유량을 확인하였다. ‘CAPS103’ 계통은 capsaicin과 dihydro-capsaicin 함유량이 모두 0 mg/100 g으로 나타났는데(Table 7), 이는 유전

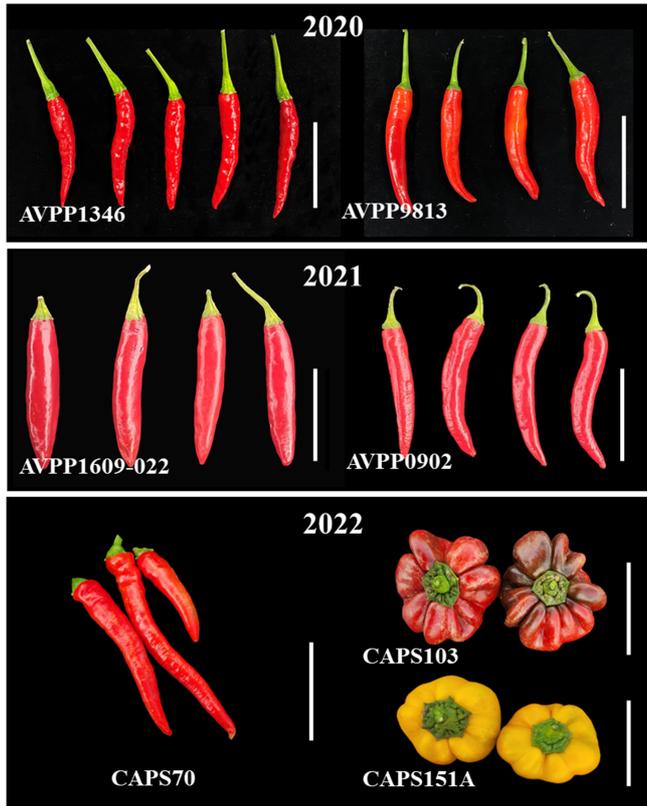
**Table 7.** Capsaicinoids (capsaicin and dihydro-capsaicin) contents of Bulgarian pepper accessions that were positive for the *Pun1* gene.

Accessions	Capsaicin (mg/100g)	Dihydro-capsaicin (mg/100g)
CAPS70	2.59	3.53
CAPS103	0.00	0.00
CAPS151A	0.98	0.79
Control	56.11	22.43

**Table 8.** Powdery mildew symptom grade and BER prevalence rate of chili accessions in 2019.

Accessions	Fruit (no./1 plant)	Powdery mildew <sup>x</sup>	BER (%)
AVPP9813	143.8	5	1.7
AVPP1346	133.4	5	0.0
AVPP9905	52.4	7	13.4
AVPP1333	90.2	3	1.6
AVPP1341	54.0	3	0.7
AVPP1345	61.6	4	9.7
AVPP1245	277.4	6	0.2
AVPP1328	38.8	4	3.1
AVPP1337	124.6	5	3.9
AVPP1342	77.4	5	2.8
AVPP1510	54.0	7	26.7

<sup>x</sup> Symptom rating: 1 (none) to 7 (very serious)



**Fig. 3.** Some pepper accessions contain capsaicinoids. No capsaicinoids were detected in CAPS103 despite the presence of the *PUN1* gene. The scale bar means 5 cm.

자 수준에서 *PUN1* 유전자의 상위 혹은 *PUN1* 유전자와 함께 캡사이시노이드 합성 과정에 관여하는 다른 유전자의 불활성을 원인으로 추측할 수 있을 것이다(Burgos-Valencia et al., 2020).

**2. 병 저항성**

2019년의 주요 병해는 흰가루병으로 모든 고추와 파프리카 계통이 피해를 입었으며, ‘AVPP1333’과 ‘AVPP1341’ 계통은 상대적으로 약한 병징을 보였다. 배꼽썩음병(Blossom end rot, BER) 발병률은 ‘AVPP1346’ 계통이 0.0%,

AVPP1245가 0.2%로 가장 낮았다(Table 8). 2020년은 장마로 인한 탄저병 피해가 심각하였고, ‘AVPP9813’과 ‘AVPP1509’ 계통들은 각각 9.8%와 10.4%의 발병률을 기록하며 상대적으로 높은 저항성을 지닌 것으로 보고되었다(Table 9). 2021년 8월 하순 또한 예기치 못한 장마로 대부분 고추 계통의 수확량이 약 19%에서 61%까지 탄저병 피해를 입은 것으로 집계되었지만, ‘AVPP2005’ 계통은 탄저병 발병률이 9.9%로 44%의 발병률을 보인 국내 재배종보다 높은 저항성을 보이는 것을 확인할 수 있었다(Table 10). 2022년 불가리아 자원이 병에 취약한 원인을 파악하고자 한국농업기술진흥원을 통해 고추 병저항성 분자마커 검정을 진행하였고, 역병을 포함한 대표적인 병들에 대한 저항성의 부재를 확인하였다(Table 11).

**파프리카**

**1. 기능성 형질**

**1) 당도**

2020년 파프리카 계통 중 ‘AVPP1403’가 가장 높은 당도(8.43 °Bx)를 보였으며 ‘AVPP1514’가 가장 낮은 당도(6.68 °Bx)를 보였다. 2021년 8월, 9월, 10월에 각각 이루어진 세번의 생육조사를 통해, 후기로 갈수록 과실의 당도가 높아지는 현상을 확인할 수 있었다. 3차 수확을 기준으로 ‘AVPP2021’ 계통이 9.51 °Bx 로 가장 우수한 당도를 보였으며, ‘AVPP2024’ 계통이 6.48 °Bx로 가장 낮았다. 2022년은 고추형 ‘CAPS67’ 계통과 파프리카 형의 ‘CAPS103’ 계통이 각각 10.98 °Bx와 8.52 °Bx로 가장 높은 당도를 보였고, 가장 낮은 당도는 7.03 °Bx로 ‘CAPS32’ 계통에서 나타났다. ‘CAPS67’ 계통의

**Table 9.** The anthracnose infection and disease prevalence rate of chili pepper accessions in 2020.

Accessions	Fruit (no./plant)	Fruit (%)					
	Total	Anthracnose	Malformed	Soft rot	Others*	Unmarketable	Marketable
AVPP1245	254.7	20.0	0.1	0.1	0.6	20.8	79.2
AVPP1246	95.3	53.8	3.8	1.4	2.8	61.9	38.1
AVPP1346	225.3	40.2	0.0	0.1	1.0	41.4	58.6
AVPP9813	122.0	9.8	2.5	3.3	1.1	16.7	83.3
AVPP9905	74.0	68.9	2.7	0.9	0.9	73.4	26.6
AVPP1508	83.3	21.2	12.4	0.0	3.6	37.2	62.8
AVPP1509	102.7	10.4	0.3	1.6	7.1	19.5	80.5
AVPP1502	43.0	45.7	9.3	2.3	0.8	58.1	41.9
AVPP1517	91.0	52.0	9.9	1.5	2.6	65.9	34.1
Control	51.0	72.5	2.6	2.0	1.3	78.4	26.1

\*Others include damage by black mold, harmful insects and heat.

**Table 10.** The anthracnose infection and disease prevalence rate of chili pepper accessions in 2021.

Accessions	Fruit (no./plant)	Fruit (%)					
	Total	Anthracnose	BER	Soft rot	Others*	Unmarketable	Marketable
AVPP9813	271.4	19.8	5.2	3.4	3.9	32.2	67.8
AVPP1346	394.8	39.0	1.2	0.6	3.6	44.5	55.5
AVPP9905	126.3	40.8	7.3	7.6	11.8	67.5	32.5
AVPP1609-022	308.2	61.1	2.7	1.6	2.6	68.1	31.9
AVPP0508	275.8	42.4	11.3	5.9	4.0	63.7	36.3
AVPP0901	166.8	27.2	12.5	7.5	12.3	59.4	40.6
AVPP0902	289.2	36.9	4.9	4.3	7.7	53.8	46.2
AVPP1906	158.2	45.6	1.7	1.7	12.9	61.9	38.1
AVPP2001	269.4	37.0	11.3	6.5	6.9	61.7	38.3
AVPP2004	342.2	19.4	6.8	0.9	7.7	34.9	65.1
AVPP2005	233.3	9.9	3.2	2.9	13.8	29.7	70.3
Control	105.8	44.0	5.5	2.5	6.0	58.0	42.0

\*Others include malformation, insect damage, sun scald, cracking, and phosphorus deficiency.

**Table 11.** Molecular marker analyses of Bulgarian pepper accessions in 2022. R and S indicate resistance and susceptibility.

Accessions	CMV	PM	Pun1	QTL	Bs2	TSWV
CAPS19	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS30	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS32	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS42	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS51	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS65	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS67	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS70	S	S	pungent	S	S	S
CAPS87	S	S	Non-pungent	S	S	S
CAPS103	S	S	pungent	S	S	S
CAPS151A	S	S	pungent	S	S	S
Control(F)	RS	S	pungent	RS	S	RS

**Table 12.** List of molecular markers used for Bulgarian peppers.

Name	Resistance/Trait	References
Cmv	Cucumber mosaic virus	Guo <i>et al.</i> , 2017
Pm	Powdery mildew (by <i>Leveillula taurica</i> )	Ahn <i>et al.</i> , 2018
Pun1	Fruit Pungency	Stewart <i>et al.</i> , 2005
QTL	Late blight ( <i>Phytophthora capsici</i> )	Liu <i>et al.</i> , 2014
Bs2	Bacterial spot ( <i>Xanthomonas campestris</i> race1)	Tai <i>et al.</i> , 1999
TSWV	Tomato spotted wilt virus	Moury <i>et al.</i> , 2000



**Fig. 4.** In 2020, chili fruits (left) showed anthracnose symptoms. On the other hand, tomato plants (right) developed leaf curls, which indicated inadequate fertilizer treatment.

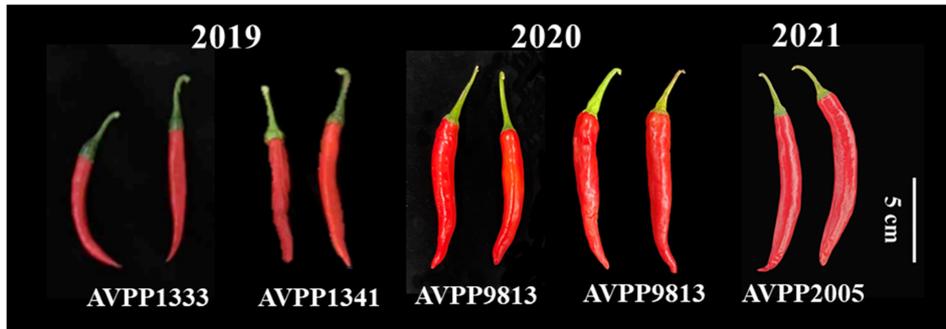
경우 원산지인 불가리아에서 가루형 조미료로 사용되고 있다.

2) 생산량

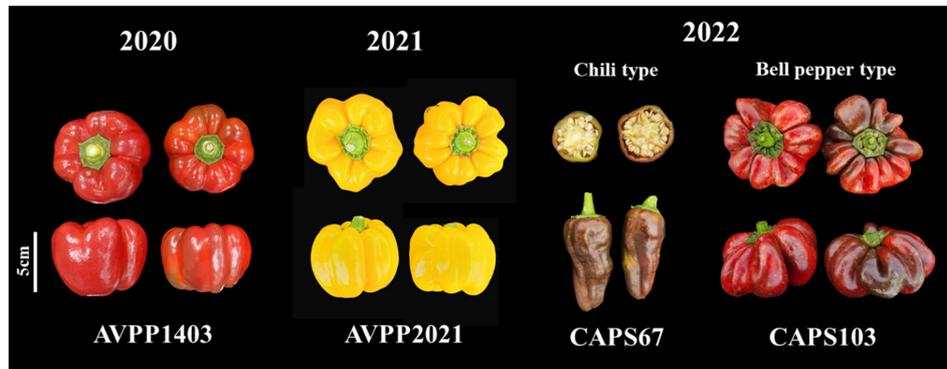
연도별 가장 생산량이 높은 계통은 2019년 ‘AVPP1511’(주당 평균 18.4개), 2020년 ‘AVPP1403’ 계통(주당 평균 19개), 2021년 ‘AVPP2023’ 계통(주당 평균 24.8)이었다. 2022년은 고추형 ‘CAPS70’ 계통(주당 평균 43.2)개 파프리카형 ‘CAPS87’ 계통(주당 평균 34개)이 가장 높은 수확량을 보였다.

2. 병 저항성

2019년 배꼽썩음병 발병률은 ‘AVPP1367’ 계통이 전체 수확량 중 0.0%, ‘AVPP1505’ 계통이 3.1%로 가장 낮았으며 흰가루병은 모두 심각한 병증을 보였다(Table 13). 2020년은 ‘AVPP1516’ 계통이 상대적으로 낮은 0.9% 배꼽썩음병 발병률과 0.0%의 무름병(Soft rot) 발병률을 보였으며, ‘AVPP1506’, ‘AVPP1514’ 계통이 0.0%의 토마토 반점 위조 바이러스(Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) 발병률로 저항성을 나타냈다(Table 14). 2021년 ‘AVPP2020’ 계통은 0.6%로 가장 낮은 배꼽썩음병과 탄저병 발병률을 보였지만 검은 곰팡이(Black mold)와 무름병 발병률은 각각 16.2%와 10.6%로 가장 높았다(Table 15).



**Fig. 5.** Chili accessions with high disease resistance/tolerance.



**Fig. 6.** The sweetest sweet pepper accessions from 2020 to 2022.

**Table 13.** Powdery mildew symptom grade and BER rate of sweet pepper accessions in 2019.

Accessions	Fruit (no./1 plant)	Powdery mildew <sup>x</sup>	BER (%)
AVPP1367	4.8	7	0.0
AVPP1371	8.7	7	44.2
AVPP1358	6.8	7	12.2
AVPP1360	4.2	7	36.0
AVPP1363	6.2	7	21.6
AVPP1507	11.8	7	43.7
AVPP1511	18.4	7	40.2
AVPP1513	14.9	7	16.2
AVPP1505	6.4	7	3.1

x Symptom rating: 1 (none) to 7 (very serious)

**토마토**

**1. 기능성 형질**

**1) 당도**

토마토의 당도는 색, 크기와 더불어 토마토 과실 소비에 대

한 소비자의 선호도와 직접적으로 연관된 요소 중 하나로 (Sebastien Le and Stephanie Ledauphin, 2006), 국내외 농가와 연구 기관에서도 이러한 소비자의 수요를 맞추기 위해 토마토의 당도와 관련한 연구를 지속적으로 수행하고 있다 (Beckles, 2012; NIHHS, 2016). 동일 계통으로 진행한 2020년도와 2021년도의 지역적응성 평가에서 소형토마토 ‘AVTO1702’ 계통의 당도가 각각 4.62°Bx, 5.51°Bx 로 세계채소센터 토마토 5계통 중 가장 높았다. 2022년은 방울토마토형 ‘LYC152’ 계통이 가장 높은 당도(8.02°Bx)를 보였고, 기타 중, 대형 토마토 계통들의 당도는 최소 3.16°Bx에서 최대 4.3°Bx를 기록하였으며, 통계적 유의성에 기반한 이들 계통 간 차이는 보이지 않았다.

**2) 생산량**

동일한 토마토 5계통으로 진행한 2020년과 2021년의 지역적응성 평가에서 ‘AVTO1823’ 계통의 유통가능 과실 비율은 각각 79.2%(주당 수확률 16개-2020년), 86.0%(주당 수확률 38개-2021년)이었으며, 세계채소센터의 다른 계통들과 비교하여 낮은 열과 비율(2020년 0.7%, 2021 5.8%)을 보였다.

**Table 14.** Production and disease prevalence rate of sweet pepper accessions in 2020.

Accessions	Fruit (no./plant)		Fruit (%)				
	Total	BER	Soft rot	TSWV	Others*	Unmarketable	Marketable
AVPP1247	16	2.1	2.1	4.9	9.8	18.9	81.1
AVPP1403	19	1.7	2.9	0.6	13.2	18.4	81.6
AVPP1512	11	7.0	3.0	3.0	8.0	21.0	79.0
AVPP1506	14	1.6	4.7	0.0	13.1	19.4	80.6
AVPP1514	12	0.0	7.1	0.0	15.2	22.3	77.7
AVPP1516	12	0.9	0.0	0.9	10.3	12.1	87.9
Control	11	2.9	2.9	3.9	12.6	22.3	77.7

\*Others include damages caused by black mold, harmful insects and anthracnose.

**Table 15.** Production and disease prevalence rate of sweet pepper accessions in 2021.

Accessions	Fruit (no./plant)		Fruit (%)					
	Total	BER	Black mold	Anthracnose	Soft rot	Others*	Unmarketable	Marketable
AVPP2020	17.8	0.6	16.2	0.6	10.6	12.5	40.6	59.4
AVPP2021	18.1	1.8	4.9	1.8	5.5	20.9	35.0	65
AVPP2023	24.8	5.8	3.1	0.9	0.0	9.0	18.8	81.2
AVPP2024	17.9	7.5	8.7	6.8	6.8	11.8	41.6	58.4
Control	25.7	6.1	1.3	1.3	3.9	21.2	33.8	66.2

\*Others include sun scald, malformed fruits, and phosphorus deficiency (anthocyanin accumulation).

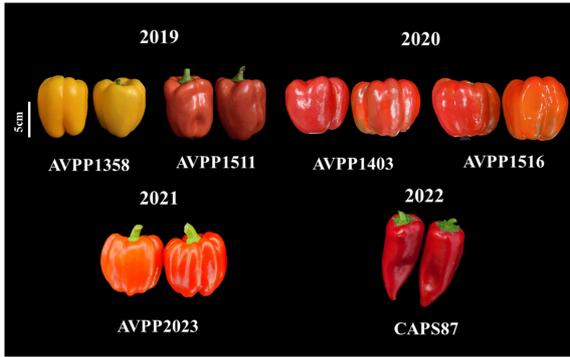


Fig. 7. The high productive accessions of sweet pepper from 2019 to 2021.

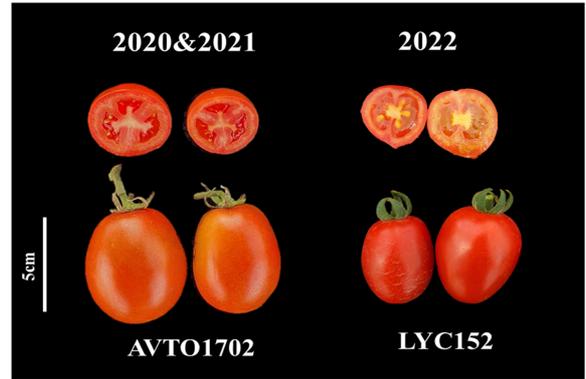


Fig. 8. The sweetest tomato accessions from 2020 to 2022.

Table 16. Molecular marker analyses of 2020&2021 tomato accessions. R and S indicate resistance and susceptibility, respectively.

Accessions Markers	AVTO 1705	AVTO 1706	AVTO 1823	AVTO 1893	AVTO 1702	Control
Sw5_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Ty1/3_A	RR	RR	RR	RR	RR	RS
Ty2_B	RR	RR	SS	RR	SS	SS
Tm2a_A	RR	SS	SS	RR	RR	RS
MiRex_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Cf9_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Ph3_A	RR	SS	RR	RR	SS	SS
Ve2_A	SS	SS	RR	SS	SS	RS
J3_A	RR	SS	RR	RR	RR	RS
I2_A	RS or RR	SS	SS	SS	SS	RS or RR
I3_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Lv_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Sm_D3	RR	RR	RR	RR	RR	RS
Bw12_C	RR	RR	RR	RR	RR	SS
Bw6_C	RR	RR	RR	RR	RR	RR

2. 병 저항성

토마토 대상 분자 마커 검정을 통해 ‘AVTO1823’ 계통이 반쪽시들음병(*Verticillium wilt*) 저항성을 보유한 것으로 파악되었다. 이와 더불어 세계채소센터 토마토 5계통은 모두 TYLCV 저항성을 나타냈으며, ‘AVTO1705’는 세계채소센터의 토마토 계통 중 유일하게 시들음병(*Fusarium wilt*) 저항성을 보유하고 있었다(Table 16). 2022년의 생육조사에서 방울토마토형 ‘LYC152’ 계통은 분자 마커 검정 결과(Table 17) 불가리아 자원 중 유일하게 세균성 궤양병(*Bacterial canker*)과 풋마름병(*Bacterial wilt*) 저항성을 보유한 것으로 확인되었다. 세균성 궤양병은 높은 치사율과 과실 상품성 저하로 국내외의 토마토 농가에 큰 피해를 끼치는 작물병이다(Sen et al., 2015).

결론

최근 기후위기로 인한 자연재해와 병해충 피해가 증가하며 농작물 생산 안정성에 관한 우려가 높아지고 있다. 이에 전세계의 민간 기업 및 공공기관에서 이상기후, 홍수와 병해충 증가 등에 효과적으로 대응할 수 있는 새로운 품종을 개발하기 위해 노력하고 있다(Kang et al., 2021). 세계채소센터는 채소 유전자원의 다양성을 확보하여 병해충 저항성과 환경 적응성을 지닌 유전자원을 탐색 및 개발하고, 이러한 육성 계통을 자체 유전자원은행을 통해 활발히 보급하고 있다. 4년간의 한국의 환경조건 내 지역적응성 평가를 통해, 소비자의 요구에 적합한 특성과 우수한 병 저항성을 지닌 세계채소센터의 유전

**Table 17.** Molecular marker analyses of Bulgarian tomato accessions in 2022. R and S indicate resistance and susceptibility, respectively.

Accessions	Markers												Control
	LYC 1	LYC 3	LYC 35	LYC 42	LYC 43	LYC 50	LYC 152	LYC 180	LYC 185	LYC 187	LYC 190		
Sw5_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RS
Ty1/3_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RS
Ty2_B	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Tm2a_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR
MiRex_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR
Cf9_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RS
Ph3_A	RR	RR	SS	SS	SS	SS	RR	RR	SS	RR	SS	SS	SS
Ve2_A	RR	SS	SS	RR	RR	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR	RS
J3_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR
I2_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR or RS
I3_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Lv_A	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Sm_D3	SS	SS	RR	RR	RR	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR	RS
Bw12_C	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Bw6_C	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
Cm	SS	SS	SS	SS	SS	SS	RR	SS	SS	SS	SS	SS	SS

R and S indicate resistance and susceptibility. Markers were the same that were used in 2020.

**Table 18.** List of the molecular markers used for tomatoes.

Name	Resistance	References
SW5	Tomato spotted wilt virus	Stevens <i>et al.</i> , 1995
Ty1/3	Tomato yellow leaf curl virus	Verlaan <i>et al.</i> , 2013
Ty2	Tomato yellow leaf curl virus	Yang <i>et al.</i> , 2014
Tm2a	Tomato mosaic virus	Young <i>et al.</i> , 1988
MiRex	Root-knot nematode (by aphid <i>Macrosiphum euphorbiae</i> )	Williamson <i>et al.</i> , 1994, Rossi <i>et al.</i> , 1998
Cf9	Tomato leaf mold ( <i>Cladosporium fulvum</i> )	Jones <i>et al.</i> , 1994
Ph3	Late blight ( <i>Phytophthora infestans</i> )	Zhang <i>et al.</i> , 2013
Ve2	Verticillium wilt ( <i>V. dahliae</i> , <i>V. albo-atrum</i> )	Fradin <i>et al.</i> , 2009
J3	Tomato crown and root rot ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i> )	Hur <i>et al.</i> , 2012
I2	Fusarium wilt ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> race2)	Sarfatti <i>et al.</i> , 1989
I3	Fusarium wilt ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> race3)	Carmeille <i>et al.</i> , 2006
Lv_A	Powdery mildew (by <i>Leveillula taurica</i> )	Chunwongse <i>et al.</i> , 1994
Sm_D	Gray leaf spot ( <i>Stemphylium</i> spp.)	Su <i>et al.</i> , 2019
Bw12	Bacterial wilt ( <i>Ralstonia solanacearum</i> )	Kim <i>et al.</i> , 2018
Bw6	Bacterial wilt ( <i>Ralstonia solanacearum</i> )	Carmelille <i>et al.</i> , 2006
Cm	Bacterial canker ( <i>Clavibacter michiganensis</i> )	Abebe <i>et al.</i> , 2022

자원을 파악할 수 있었다. 하지만 재배 과정 중 열과, 기형과를 포함하여 과실 수량에 영향을 미치는 생리장애 현상이 때

년 보고 되었으며, 병저항성은 강하지만 상업적인 측면은 비교적 약하거나 그 반대인 경우를 확인할 수 있었다. 이를 보



Fig. 9. Important disease-resistant tomato accessions.

완할 수 있는 기존 국내 품종과 조합 등의 육종과정을 거쳐, 향상된 재배 안정성을 지닌 다양한 유통품종의 확보를 꾀할 수 있을 것으로 기대된다.

## 적 요

한국의 환경조건 내 세계채소센터 육성 작물의 특성을 파악하고자, 세계채소센터 한국사무소는 2019년부터 2022년까지 세계채소센터 자원 고추 42계통, 파프리카 19계통, 토마토 16계통을 대상으로 농촌진흥청 국립원예특작과학원 노지와 시설에서 지역적응성 평가를 시행하였다.

양적 형질(초장, 엽장, 엽폭, 과장, 과폭, 과중, 당도, 생산량)과 질적 형질(발병률, 분자 마커 검정, 유용물질 분석)을 조사하였으며, 데이터 수집 및 분석을 통해 탄저병, 풋마름병, 시들음병과 토마토 궤양병을 포함한 주요 식물 병 저항성과 높은 영양성분 함량 등의 유용한 특성을 지닌 24 계통을 파악할 수 있었다.

본 논문에서 소개한 계통을 비롯하여 병해충 저항성과 내재해성 및 다양한 상업적 특성을 갖춘 세계채소센터의 우수한 자원들을 육종 소재로 활용한다면, 소비자와 농가의 수요에 적합하고, 기후위기에 재배 안정성을 유지할 수 있는 유용 품종 개발에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by a grant from the World Vegetable Center Korea Office (WKO #10000379) and the long-term strategic donors to the World Vegetable Center: Taiwan, United Kingdom aid from the United Kingdom government, United States Agency for International Development (USAID), Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Germany, Thailand, Philippines, South Korea, and Japan.

## REFERENCES

- Abebe, A.M., Oh, C.S., Kim, H.T., Choi, G., Seo, E., Yeam, I., Lee, J.M. 2022. QTL-Seq Analysis for Identification of Resistance Loci to Bacterial Canker in Tomato. *Front. Plant Sci.* 12:809959.
- Ahn, Y.K., Manivannan, A., Karna, S., Jun, T.H., Yang, E.Y., Choi, S., Kim, J.H., Kim, D.S., Lee, E.S. 2018. Whole Genome Resequencing of *Capsicum baccatum* and *Capsicum annuum* to Discover Single Nucleotide Polymorphism Related to Powdery Mildew Resistance. *Sci Rep.* 8:5188.
- Beckles, D.M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Post-harvest Biol. Tec.* 63:129-140.
- Berke, T.G., Black, L.L., Talekar, N.S., Wang, J.F., Gniffke, P., Green, S.K., Wang, T.C., Morris, R. 2005. Suggested cultural practices for chili pepper (International Cooperators' Guide). World Vegetable Center.
- Berke, T.G., Black, L.L., Morris, R.A., Talekar, N.S., Wang, J.F. 2003. Suggested Cultural Practices for Sweet Pepper. World Vegetable Center.
- (Brochure: <https://avrdc.org/download/publications/crop-guides/peppers/e03420.pdf>)
- Burgos-Valencia, E., Echevarría-Machado, I., Narváez-Zapata, J.A., Martínez-Estévez, M. 2020. Gene expression related to the capsaicinoids biosynthesis in the Capsicum genus: Molecular and transcriptomic studies. *Braz. J. Bot.* 43:201-212.
- Carmeille, A., Caranta, C., Dintinger, J., Prior, P., Luisetti, J., Besse, P. 2006. Identification of QTLs for *Ralstonia solanacearum* race 3-phylo-type II resistance in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 113:110-121.
- Choi, S.D., Eum, T.S., Shin, E.T., Song, C.G. 2020. Numerical Comparisons of Flow Properties Between Individual and Comprehensive Consideration of River Inundation and Inland Flooding. *J. Converg. Inf. Technol.* 10:115-122.
- Chunwongse, J., Bunn, T.B., Crossman, C., Jiang, J., Tanksley, S.D. 1994. Chromosomal localization and molecular-marker tagging of the powdery mildew resistance gene (*Lv*) in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 89:76-79.
- FAO. 2020. Fruit and vegetables – your dietary essentials. The International Year of Fruits and Vegetables, 2021. Rome. 73p.
- Fradin, E.F., Zhang, Z., Juarez Ayala, J.C., Castroverde, C.D., Nazar, R.N., Robb, J., Liu, C.M., Thomma, B.P. 2009. Genetic Dissection of Verticillium Wilt Resistance Mediated by Tomato Ve1. *Plant Physiol.* 150:320-332.
- Guclu, G., Keser, D., Kelebek, H., Keskin, M., Emre Sekerli, Y., Soysal, Y., Selli, S. 2021. Impact of production and drying methods on the volatile and phenolic characteristics of fresh and powdered sweet red peppers. *Food Chem.* 338:128-129.
- Guo, G., Wang, S., Liu, J., Pan, B., Diao, W., Ge, W., Gao, C., Snyder, J.C. 2017. Rapid identification of QTLs underlying resistance to Cucumber mosaic virus in pepper (*Capsicum frutescens*). *Theor. Appl. Genet.* 130:41-52.
- Han, K., Jeong, H.J., Sung, J., Keum, Y.S. 2013. Biosynthesis of capsinoid is controlled by the *Pun1* locus in pepper. *Mol Breeding.* 31:537-548.
- Hanson, P., Chen, G.T., Kuo, C.G., Morris, R., Opeña, R.T. 2000. Suggested Cultural Practices for Tomato. World Vegetable Center.
- Hawkes, C., Ruel, T.M. 2006. Understanding the Links between

- Agriculture and Health. IFPRI. 36p.
- Hur, O.S., Ro, N.Y., Ko, H.C., Kim, S.G., Rhee, J.H., Gwag, J.G., Oh, S.J.** 2012. Screening for Resistance to *Fusarium Oxysporum* f. Sp. *lycopersici* Race 3 Using Molecular Marker in Tomato Germplasm. *Res. Plant. Dis.* 18:304-309.
- Jones, D.A., Thomas, C.M., Hammond-Kosack, K.E., Balint-Kurti, P.J., Jones, J.D.** 1994. Isolation of the tomato Cf-9 gene for resistance to *Cladosporium fulvum* by transposon tagging. *Science.* 266:789-793.
- Kang, S.B., Yang, E.Y., Cho, M.C., Tajima, T., Lin, T., Lin, S.W., Wang, Y.W., Yee, C., Barchenger, D., et al.** 2021. The Evaluation of Growth Characteristics in Chili Pepper (*Capsicum* spp.) Germplasm for Selection of Waterlogging Tolerant Lines. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 33:180-188.
- Kim, B., Hwang, I.S., Lee, H.J., Lee, J.M., Seo, E.Y., Choi, D.I., Oh, C.S.** 2018. Identification of a molecular marker tightly linked to bacterial wilt resistance in tomato by genome-wide SNP analysis. *Theor. Appl. Genet.* 131:1017-1030.
- Kirii, E., Goto, T., Yoshida, Y., Yasuba, K.I., Tanaka, Y.** 2017. Non-pungency in a Japanese Chili Pepper Landrace (*Capsicum annuum*) is Caused by a Novel Loss-of-function *Pun1* Allele. *Hort. J.* 86:61-69.
- Lê, S., Ledauphin, S.** 2006. You like tomato, I like tomato: Segmentation of consumers with missing values. *Food Qual. Preference.* 17:228-233.
- Liu, W.Y., Kang, J.H., Jeong, H.S., Choi, H.J., Yang, H.B., Kim, K.T., Choi, D., Choi, G.J., Jahn, M., et al.** 2014. Combined use of bulked segregant analysis and microarrays reveals SNP markers pinpointing a major QTL for resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Theor. Appl. Genet.* 127:2503-2513.
- Moury, B., Pflieger, S., Blattes, A., Lefebvre, V., Palloix, A.** 2000. A CAPS marker to assist selection of tomato spotted wilt virus (TSWV) resistance in pepper. *Genome.* 43:137-142.
- NIHHS.** 2016. Now and Future of Vegetable Research. RDA, Korea. pp.158-173.
- NIHHS.** 2019a. Farming Skill Guide 106: Tomato. RDA, Korea. 350p.
- NIHHS.** 2019b. Farming Skill Guide 115: Chili pepper. RDA, Korea. 314p.
- NIHHS.** 2020. Farming Skill Guide 124: Sweet. RDA, Korea. 192p.
- Sarfatti, M., Katan, J., Fluhr, R., Zamir, D.** 1989. An RFLP marker in tomato linked to the *Fusarium oxysporum* resistance gene I2. *Theor. Appl. Genet.* 78:755-759.
- Sen, Y., van der Wolf, J., Visser, R.G.F., van Heusden, S.** 2015. Bacterial Canker of Tomato: Current Knowledge of Detection, Management, Resistance, and Interactions. *Plant Dis.* 99:4-13.
- Stevens, M.R., Lamb, E.M., Rhoads, D.D.** 1995. Mapping the Sw-5 locus for tomato spotted wilt virus resistance in tomatoes using RAPD and RFLP analyses. *Theor. Appl. Genet.* 90:451-456.
- Stewart, C.J., Kang, B.C., Liu, K., Mazourek, M., Moore, S.L., Yoo, E.Y., Kim, B.D., Paran, I., Jahn, M.M.** 2005. The *Pun1* gene for pungency in pepper encodes a putative acyl-transferase. *Plant J.* 42:675-688.
- Su, X., Zhu, G., Huang, Z., Wang, X., Guo, Y., Li, B., Du, Y., Yang, W., Gao, J.** 2019. Fine mapping and molecular marker development of the Sm gene conferring resistance to gray leaf spot (*Stemphylium* spp.) in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 132:871-882.
- Tai, T., Dahlbeck, D., Stall, R.E., Peleman, J., Staskawicz, B.J.** 1999. High-resolution genetic and physical mapping of the region containing the Bs2 resistance gene of pepper. *Theor. Appl. Genet.* 99:1201-1206.
- Than, P.P., Prihastuti, H., Phoulivong, S., Taylor, P.W., Hyde, K.D.** 2008. Chili anthracnose disease caused by *Colletotrichum* species. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 9:764-778.
- Verlaan, M.G., Hutton, S.F., Ibrahim, R.M., Kormelink, R., Visser, R.G., Scott, J.W., Edwards, J.D., Bai, Y.** 2013. The Tomato Yellow Leaf Curl Virus resistance genes *Ty-1* and *Ty-3* are allelic and code for DFDGD-class RNA-dependent RNA polymerases. *PLoS Genet.* 9:e1003399.
- Williamson, V.M., Ho, J.Y., Wu, F.F., Miller, N., Kaloshian, I.** 1994. A PCR-based marker tightly linked to the nematode resistance gene, Mi, in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 87:757-763.
- World Vegetable Center.** 2017. Healthier lives, more resilient livelihoods: World Vegetable Center Strategy 2017-2025. World Vegetable Center, Shanhuahua, Taiwan. p.5.
- Yang, X., Caro, M., Hutton, S.F., Scott, J.W., Guo, Y., Wang, X., Rashid, M.H., Szinay, D., Jong, H.D., et al.** 2014. Fine mapping of the tomato yellow leaf curl virus resistance gene *Ty-2* on chromosome 11 of tomato. *Mol Breeding.* 34:749-760.
- Young, N.D., Zamir, D., Ganai, M.W., Tanksley, S.D.** 1988. Use of isogenic lines and simultaneous probing to identify DNA markers tightly linked to the tm-2a gene in tomato. *Genetics.* 120:579-585.
- Zhang, C., Liu, L., Zheng, Z., Sun, Y., Zhou, L., Yang, Y., Cheng, F., Zhang, Z., Wang, X., et al.** 2013. Fine mapping of the *Ph-3* gene conferring resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 126:2643-2653.