

Spreader Row Technique을 이용한 옥수수 노균병 검정

김경희¹ · 문준철² · 김재윤³ · 김효철¹ · 신승호¹ · 송기태¹ · 백성범⁴ · 이병무^{1,†}

Evaluation of Maize Downy Mildew using Spreader Row Technique

Kyung-Hee Kim¹, Jun-Cheol Moon², Jae Yoon Kim³, Hyo Chul Kim¹, Seungho Shin¹, Kitae Song¹, Seong-Bum Baek⁴, and Byung-Moo Lee^{1,†}

ABSTRACT This study was conducted to evaluate maize downy mildew resistance using spreader row technique in Cambodia. A total of forty maize lines were used in this experiment. Seven Korean varieties and seven breeding lines showed high infection rates (80~100%) and highly susceptible (HS) to downy mildew disease in both spring and fall. Also most of nested association mapping (NAM) parent lines were highly susceptible (HS). Meanwhile three inbred lines, Ki3, Ki11, and CML228, showed highly resistant (HR) or resistant (R) in spring and moderately resistant (MR) in fall. These three lines were already known as resistant inbred lines against downy mildew disease. It appears that spreader row technique was suitable for selection of maize downy mildew resistance in Cambodia. The incidence of downy mildew was influenced by weather conditions, especially relative humidity and temperature. Among several inoculation methods to screen for downy mildew resistance, this spreader row technique is effectively and easily used in the field of Southeast Asia.

Keywords : Downy mildew, Maize, Spreader row technique

노균병(downy mildew)은 살아있는 식물체에서만 생존이 가능한 순환물기생균으로 포도, 오이, 상추, 시금치, 콩, 양파, 흙, 수수, 사탕수수 등의 채소, 발작물 및 박과작물에서 자주 발병하며, 벼, 밀, 옥수수 등의 화곡류 작물에서도 발생한다(Agrios, 2004, Table 1). 노균병은 식물체 표면에 수막이 형성될 때 침입하고, 포자낭경 위에 포자를 형성하며, 포자낭경은 잎의 아래쪽 혹은 양면의 기공을 통해서 식물 조직으로부터 바깥으로 서릿발 같이 하얗게 집단적으로 형성하여 공기중으로 전파되는 공기전염성 식물병이다. 노균병균은 식물세포 내에 흡기를 넣어 영양을 공급받으며, 순기생균으로 현재까지 인공 배양이 어렵다.

옥수수에서 발병하는 노균병은 노균병균과(Peronosporaceae)에서 *Peronosclerospora*속과 *Sclerophthora*속에 속하며 주로 열대 아시아에서 발생한다. 아시아에서 발병하는 주요 노균병 종류는 *Sorghum downy mildew (Peronosclerospora*

sorghii), Philippine downy mildew (*Peronosclerospora philippinensis*), Java downy mildew (*Peronosclerospora maydis*), Sugarcane downy mildew (*Peronosclerospora sacchari*), Brown stripe downy mildew (*Sclerophthora rayssiae var. zaeae*) 등이 있다(George *et al.*, 2003). 옥수수 노균병은 병원균 종류에 따라 전염 특성이 다양하며, 병원균이 발생하는 온도 조건도 각각 다르다(CIMMYT, Table 2). 노균병은 1975년에 남부 나이지리아 주의 옥수수 포장에서 처음 발견되어 1992년까지 6개 주를 거쳐 노균병이 확산되었으며(Fajemisin, 1980; Anaso *et al.*, 1987; Olanya *et al.*, 1993; Cardwell *et al.*, 1997a), 이후 남부 나이지리아에서 발생한 노균병은 *Peronosclerospora sorghi* (Sorghum downy mildew; SDM)으로 확인되었다(Olanya *et al.*, 1993). 특히 SDM은 토양전염병 난균류(Oomycetes)로서 토양과 식물의 잔해에서 기생하며, 수수와 옥수수 식물체에 많이 발생한다(Murray, 2009). 전염

¹동국대학교 생명과학과 (Department of Life Science, Dongguk University-Seoul, Seoul, 04620, Korea)

²강원대학교 농업생명과학연구원 (Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, 24341 Korea)

³고려대학교 생명과학대학 생명공학부 (College of Life Science and Biotechnology, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea)

⁴국립식량과학원 전작과 (Upland Crop Research Division, NICS, RDA, Suwon, 16429, Korea)

[†]Corresponding author: Byung-Moo Lee; (Phone) +82-31-961-5130; (E-mail) bmlee@dongguk.edu

<Received 17 November, 2015; Revised 26 January, 2016; Accepted 2 February, 2016>

은 주로 토양에서 살고 있는 난포자를 통해 발생하고(Broyles, 1956), 공중 분생자(airborne conidia) 또는 종자를 통해 식물에서 식물로 전염될 수 있으며(Rao *et al.*, 1985), SDM 확산을 위한 토양의 최적온도는 25°C이다(Schuh *et al.*, 1987).

전세계적으로 열대 및 아열대 지역의 옥수수 등에서 노균병에 대한 경제적 손실이 보고되었으며, 이러한 지역의 비율은 30%를 차지하고 있다(Jeffers *et al.*, 2000). 대만, 태국, 필리핀, 인도, 인도네시아, 일본, 베네수엘라, 북아메리카, 호주, 유럽, 서아프리카 등에서 재배되고 있는 옥수수로부터 노균병이 발병하고 있으며, 노균병 병원체로 인하여 100%에 달하는 손해가 보고되고 있다(Bonde, 1982; Rifin, 1983). 아시아 지역에서는 수량손실이 50% 또는 그 이상으로 발생하며, 노균병에 대하여 생물학적 대책을 최우선적 과제로 고려되고 있다(Pingali, 2001). 특히 동남아시아 지역에서 발병하고 있는 옥수수 노균병의 특징은 유묘기부터 영양생장 초기 사이에 발생하며, 이 시기에 노균병이 발병하면 전체 생육 및 성장에 영향을 주어 옥수수가 죽거나 생육이 저해되어 수량이 매우 낮아진다. 특히 유묘기 때 감염되면 황백화 현상(chlorosis)의 특징이 보이며, 일반적으로 파종 2주 후에 병징이 발생하여 점차적으로 식물체 전체가 감염되어 생장이 멈춘다. 이러한 재해를 방지하기 위해서 주로 살균제(metalaxy) 살포, 이병주 제거, 소각 및 땅속에 묻음, 저항성 품종 선택 등을 이용하여 방제하고 있다. 반면 한국에서는 옥수수 노균병이 발생하지 않으며, 그 이유는 한국의 환경, 기후, 온도, 습도 등이 옥수수 노균병 발병 조건에 적합하지 않기 때문이다.

한편 옥수수 노균병 저항성 품종은 편리하고 노균병을 조절할 수 있는 경제적 수단이며, 저항성 옥수수 품종의 사용으로 미국과 아시아 지역을 통하여 성공적인 결과가 보고되었다(Siradhana *et al.*, 1976; Renfro *et al.*, 1979; Singburadom & Renfro, 1982). 하지만 노균병을 방제하기 위하여 옥수수 노균병 저항성 품종과 살균제(metalaxy) 살포를 사용하더라도 여전히 일부 지역에서는 심각한 수준의 노균병이 발생하고 있다(Dalmacio, 2000). 일반적으로 종자회사에서 살균제를 처리한 종자는 가격이 비싸고 편리하지만 자원 부족 농부들에게는 재정에 영향을 미친다. 비용뿐만 아니라, 내성 품종들은 병원체 내에서 화학적 내성이 증가하여 새로운 문제가 발생할 수 있으므로, 노균병 관리를 위한 대안으로 환경적으로 안전하며 비용측면에서도 훨씬 효과적인 저항성 품종의 육종이 필요하다(Raymundo, 2000).

Anahosur & Hedge (1979)는 실험 포장에서 SDM에 저항성 있는 품종을 선발하기 위하여 몇 가지 노균병 접종 기술을 비교하였으며, 이 중 인공접종이 가장 효율적인 방법

으로 확인되었다. 온실에서도 노균병에 대한 저항성 품종을 확인하기 위해 식물의 생장별, 식물의 일부, 접종 배치 방법, 접종 후 배양 조건 등을 기본으로 하여 다양한 접종 기술을 이용하였다(Jones, 1970; Craig, 1976; Shabani & Frederiksen, 1982; Narayana *et al.*, 1995). 이러한 접종 기술에 대한 상대적인 효율은 잘 알려져 있지 않으나, 온실에서 수행하는 접종 기술로서 노균병 감수성 품종에서는 100% 접종 되는 것으로 확인되었으며, 이것은 포장 실험에 적용할 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 이러한 접종 방법은 나중에 작업이 많아지거나 힘든 노동력이 발생할 수 있으며, 많은 작업으로 인한 비용이 많이 들고 시간 소모도 크다(Kling *et al.*, 1994). Renfro *et al.* (1979)은 처음으로 노균병 저항성 품종 선발을 위하여 분무접종에 대하여 언급하였으며, 노균병의 높은 접종률 및 성공을 위하여 많은 시간과 반복이 필요하였다. 이후 Cardwell *et al.* (1997a)이 SDM에 대하여 저항성 있는 옥수수 품종 선발 방법을 연구하였으며, 이전의 접종 기술을 수정한 새로운 방법을 이용하여 노균병 저항성 수준을 향상시켰다. SDM은 다른 종류의 노균병과 달리 인공 접종이 가능하며, SDM을 채취 후 발아시켜서 spray 방법 또는 직접 접종시킬 수 있다. 일반적으로 SDM의 대표적인 접종 방법으로 artificial inoculation (inoculum spraying)과 spreader row technique이 있다(Shekher & Kumar, 2012). Artificial inoculation은 포자가 잘 발달되고 효율성이 높은 새벽시간에 감염된 잎을 채취한 후, 물에 씻어 포자를 모은 다음, 포자 배양액을 포장에 직접 뿌린다. Spreader row technique은 SDM 감수성 품종을 먼저 파종한 후, SDM에 감염된 옥수수를 포장 안에 옮긴 다음 감수성 품종을 감염시켜 나중에는 노균병 저항성을 확인할 품종에 자연스럽게 접종하여 감수성 및 저항성을 선발할 수 있다. 반면 SDM 외의 다른 노균병들은 많은 연구가 되어 있지 않으며, 노균병이 발생하는 특정 지역, 시기 또는 계절에만 발견 및 채취가 가능하다. 이러한 특징으로 국내에서는 옥수수 노균병 연구접근에 항상 어려움이 따른다.

본 연구는 spreader row technique을 이용하여 노균병에 대한 저항성 옥수수 품종을 확인하고 선발방법을 검정하기 위하여 캄보디아 현지에서 수행하였으며, 포장 실험을 통하여 옥수수 노균병 발생과 기상, 계절 및 품종간 특성 등의 관계분석을 통한 기초자료를 얻고자 조사되었다.

재료 및 방법

옥수수 품종

공시된 재료는 7개의 국내 품종, USDA에서 분양 받은

Table 1. List of maize varieties tested.

Variety	Origin
Gangdaok	Korea
Kwangpyeongok	Korea
Dapyeongok	Korea
Yanganok	Korea
Ilmichal	Korea
Jangdaok	Korea
Pyeonganok	Korea
Oh43	USA, Ohio
Oh7B	USA, Ohio
I114H	USA, Illinois
Ky21	USA, Kentucky
P39 Goodman-Buckler	USA, Indiana
B73	USA, Iowa
B97	USA, Iowa
HP301	USA, Indiana
Ms71	USA, Michigan
Mo18W	USA, Missouri
Tx303	USA, Texas
M37W	South Africa, Kwazulu-Nata
CML103	Mexico, Federal district
CML228	Mexico, Federal district
CML322	Mexico, Federal district
CML333	Mexico, Federal district
Ki3	Thailand
Ki11	Thailand
NC350	USA, North Carolina
NC358	USA, North Carolina
CML69	Mexico
Tzi 8	Nigeria, Oyo
CML247	Mexico, Federal district
CML277	Mexico, Federal district
CML52	Mexico, Federal district
CML270	Mexico
14VK1	Korea (breeding line)
14VK2	Korea (breeding line)
14VK3	Korea (breeding line)
14VK4	Korea (breeding line)
14VK5	Korea (breeding line)
14VK6	Korea (breeding line)
14VK7	Korea (breeding line)

26개의 nested association mapping (NAM) parent line, 그리고 7개의 동남아 적응 육성품종을 사용하였다(Table 1).

재배지역은 캄보디아 수도인 프놈펜 근교에 위치한 시험 포장(위도 11.4, 경도 105.1)에서 연구를 진행하였으며, 현지 날씨 및 기상 데이터는 Fig. 1에서 확인할 수 있다. 봄과 여름에 해당하는 계절인 2015년 4월에는 40 품종을 사용하였으며, 늦여름과 가을에 해당하는 9월에는 상대적으로 노균병 저항성이 큰 품종 및 비교품종을 포함한 19 품종을 사용하였다. 시험구는 한 시험포장에 노균병 감수성 품종 및 비교시험을 위한 일반 품종들을 구분하여 파종하였다.

노균병 접종 방법

노균병은 spreader row technique을 기본으로 하여 접종 시켰으며(George *et al.*, 2003), 현지 포장 실험은 4월과 9월 두 차례 동일한 접종 방법을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 spreader row technique의 첫 번째 단계는 전체 시험 포장 기준으로 10줄에 한 줄 간격으로 한 줄씩 감수성 품종(spreader lines; 광평옥, I114, CML270, B73)을 파종하였으며, 주당 1립씩 재식거리 50 x 25 cm로 품종 별 20 개체를 파종하였다. 두 번째 단계는 일주일 후 현지 노균병에 감염된 옥수수를 포트에 심어 시험 포장 내부 중앙에 놓았다. 세 번째 단계는 감수성(spreader) 파종 3주 후 노균병 저항성에 대하여 비교할 품종(Table 1)을 감수성 품종 사이에 10줄씩 파종하였다. 단 비교 품종을 파종하기 전에 이미 시험 포장 안에 놓여 있는 노균병에 감염된 옥수수를 포장 외부로 옮겨 놓았다. 네 번째 단계는 비교할 품종들이 발아하기 시작하면, 매주 노균병 관찰 및 확인을 하였으며, 6주차를 끝으로 실험을 종료하였다.

노균병 저항성 평가

비교 품종에 노균병을 접종한 기준으로 하여 4주차와 6주차에 각 식물체에서 노균병에 감염된 개체를 확인한 후, 노균병 발생률을 측정하였으며, 측정된 수치에 따라 감수성과 저항성을 6단계로 분류하였다(Craig *et al.*, 1977; Nagabhushan *et al.*, 2014, Table 2).

결과 및 고찰

노균병 접종 4주와 6주차의 발병 등급 비교

본 연구에서 사용한 모든 감수성 품종(광평옥, I114, CML270, B73)에서 노균병 접종률이 100%로 확인되었다. Spreader row technique은 감수성 품종의 선택이 중요하며, 특히 생육 초기 노균병에 잘 감염되는 감수성 품종 선택이 노균병

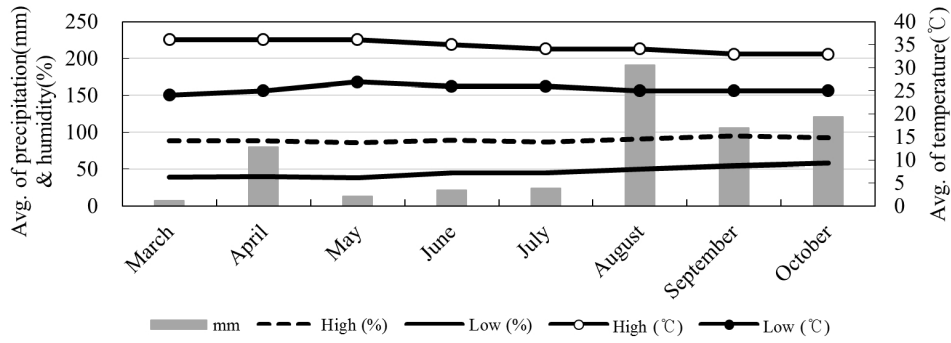


Fig. 1. Monthly record of precipitation (mm), humidity (%), and temperature (°C) in Phnom Penh, Cambodia 2015. Source: web sites from ‘Weather Underground’ and ‘AccuWeather’.

Table 2. The rating scale for the evaluation of downy mildew resistance.

Description: incidence of downy mildew	Disease reaction
0% infection (no symptom)	Highly Resistant (HR)
1-10% infection	Resistant (R)
11-25% infection	Moderately Resistant (MR)
26-50% infection	Moderately Susceptible (MS)
51-75% infection	Susceptible (S)
76-100% infection	Highly Susceptible (HS)

Downy mildew incidence (%) = (Number of DM infected plants/ Total number of plants) x 100

선발 방법의 검정을 위하여 매우 중요하다. 국내품종에서 접종 6주차의 노균병 등급은 대부분 highly susceptible (HS)로 차이가 없었으나, 봄에 파종한 접종 4주차에서는 강다옥, 양안옥, 일미찰 등에서 resistant (R) 및 moderately resistant (MR) 등급이 나타났다(Table 3). 반면 양안옥은 가을에 파종한 접종 4주차에서 HS등급으로 접종 초반부터 높은 등급이었으며 봄과 차이가 있음을 확인하였다. NAM parent 계통에서도 접종 6주차의 노균병 등급은 대부분 HS이었으며, 몇몇의 품종에서만 MR등급이 나타났다. 하지만, 봄에 파종한 접종 4주차에서 12개(P39, Ms71, Mo18W, M37W, CML103, CML228, CML322, CML 333, Ki3, Ki11, CML69, CML247)의 NAM parent 계통이 MR 및 highly resistant (HR) 등급이었으며, 이것은 가을에 파종한 접종 4주차에서 3개(CML228, Ki3, Ki11)의 NAM parent 계통만 R 및 MR 등급인 것과는 다르게 나타났다. 육성품종 또한 접종 6주차에 노균병 등급이 susceptible (S), moderately susceptible (MS), 그리고 HS이었으며, 특히 가을에 파종한 접종 6주차에서는 모두 HS등급을 확인하였다. 반면 봄에 파종한 접종 4주차에서는 4개의 육성품종인 14VK1, 14VK3, 14VK6, 그리고 14VK7 등에서 R 및 MR등급을 확인하였으나, 가

을에는 7개의 모든 육성품종에서 노균병 저항성보다는 감수성에 가까운 S 및 HS 등급이 나타났다.

과거 대부분의 연구에서는 노균병 저항성 등급을 판단하기 위하여 접종 후 3~4주차에 병징을 확인하였으나(Shabani & Frederiksen, 1982; Narayana *et al.*, 1995; Ajala *et al.*, 2003; Pascual *et al.*, 2005), 최근에는 노균병 접종 후 5~6주차에 병징을 확인하고 등급을 판단하고 있는 추세이다(Cardwell *et al.*, 1997a; Phruetthitthep *et al.*, 2008; Hooda *et al.*, 2012; Premalatha *et al.*, 2012; Nagabhushan *et al.*, 2014). 본 연구에서는 접종 후 4주차와 6주차를 비교하였으며, 3~4주차부터 노균병의 징후가 시작하였으나, 5주차를 걸쳐 6주차까지도 계속해서 노균병이 퍼지는 것을 확인할 수 있었다(Table 3). 접종 후 6주차 이후부터는 더 이상 전염되지 않았고, 성장이 멈춰 말라서 죽거나, 성장을 하더라도 키가 작고 수꽃과 암꽃의 발달 저하 및 억제되어 기형의 옥수수수를 관찰할 수 있었다. 감염된 옥수수는 전반적으로 황록색 또는 노랗게 변하였으며, 심하게 감염된 시험포장은 노균병 저항성에 강한 포장에 비하여 키가 훨씬 작았다(Fig. 2). 결론적으로 접종 후 6주차까지 노균병 전염성의 확산이 계속되고 있음을 확인할 수 있었으며, 6주차 이후부

Table 3. Disease reaction of 7 Korean inbreds, 26 NAM parent lines, and 7 breeding lines from against downy mildew in Phnom Penh, Cambodia 2015.

Variety	Disease rating* from mid-April to June		Disease rating from early Sept. to October	
	4 weeks	6 weeks	4 weeks	6 weeks
Gangdaok	R	S		
Kwangpyeongok	S	HS	S	HS
Dapyeongok	HS	HS		
Yanganok	MR	S	HS	HS
Ilmichal	R	HS		
Jangdaok	MS	HS		
Pyeonganok	MS	HS		
Oh43	MS	S		
Oh7B	S	HS		
I114H	HS	HS	HS	HS
Ky21	S	HS		
P39	MR	HS		
B73	MS	HS	HS	HS
B97	MS	HS		
HP301	S	HS		
Ms71	MR	HS		
Mo18W	MR	HS		
Tx303	HS	HS		
M37W	HR	R	S	HS
CML103	MR	HS		
CML228	HR	HR	MR	MR
CML322	HR	HS		
CML333	MR	HS		
Ki3	HR	HR	MR	MR
Ki11	HR	R	R	MR
NC350	MS	HS	HS	HS
NC358	S	HS		
CML69	MR	MR	HS	HS
Tzi 8	S	HS		
CML247	HR	MR	HS	HS
CML277	S	HS		
CML52	S	HS		
CML270	HS	HS	S	HS
14VK1	R	S	HS	HS
14VK2	MS	MS	HS	HS
14VK3	MR	MS	S	HS
14VK4	MS	S	S	HS
14VK5	S	S	HS	HS
14VK6	R	MR	S	HS
14VK7	MR	MS	S	HS

*Disease reactions were classified into six classes: 0%, Highly Resistant (HR); 1-10%, Resistant (R); 11-25%, Moderately resistant (MR); 26-50%, Moderately susceptible (MS); 51-75%, Susceptible (S); 76-100%, Highly susceptible (HS)

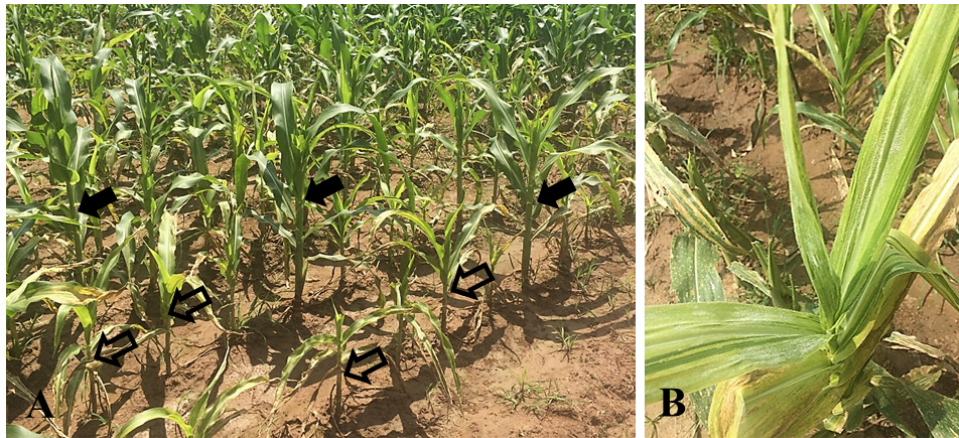


Fig. 2. Symptoms of downy mildew disease. A. short plant: susceptible (clear arrows), tall plant: resistant (black arrows); B. Infected plant.

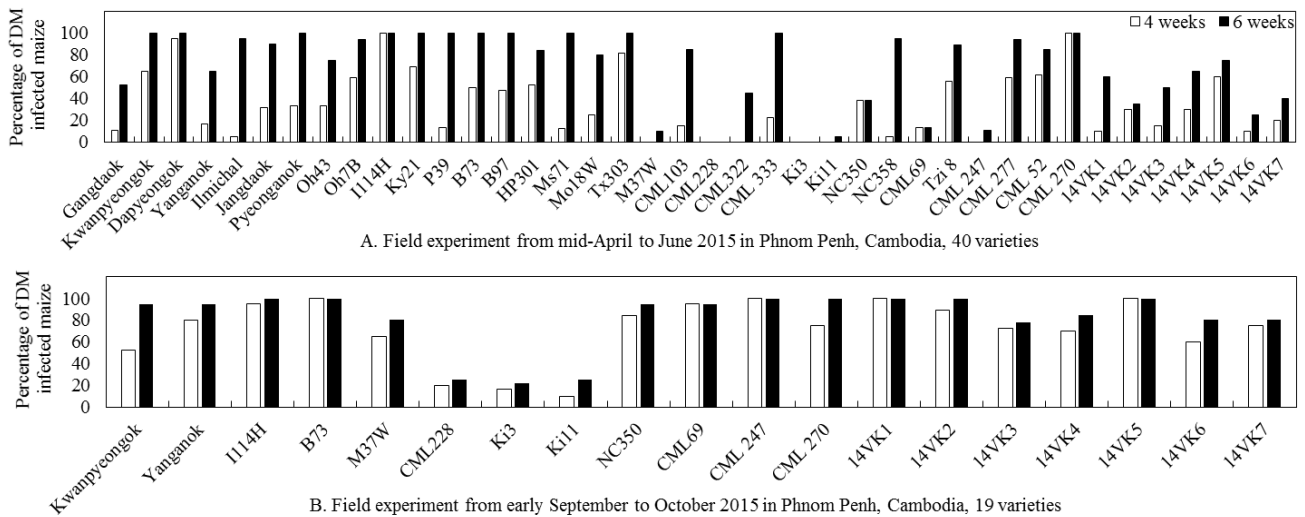


Fig. 3. Comparison of two different seasons in Phnom Penh, Cambodia 2015.

터 모든 품종에서 더 이상의 노균병이 전염되지 않았다.

현지 계절에 따른 노균병 발생률 비교

캄보디아 현지 시험포장에 4월 중순과 9월 초순 등 두 차례에 걸쳐 파종 및 노균병을 접종한 결과, 계절에 따른 노균병 확산이 다르다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3에서 A는 봄에 해당되는 4월 중순에서 초여름 6월 말까지 계절에 해당되며, 국내 품종은 52.6~100%의 노균병이 발생하였고, 대부분의 NAM parent 계통에서도 45~100%의 발생률 및 감수성을 보였으며, 육성 품종 또한 감수성이 나타났으나, 다른 품종들에 비해 노균병 발생률이 35~65%로 낮았다. 반면 NAM parent 계통 중 M37W (10%), CML228 (0%), Ki3 (0%), Ki11 (5%), CML69 (13.3%), CML247

(11.1%), 그리고 육성 품종 중 14VK6 (25%) 등이 노균병에 대한 저항성이 비교적 크게 나타났다(Fig. 3A). 본 연구에서 4월에 연구한 결과를 바탕으로 비교적 노균병 발생률이 적고 저항성이 큰 품종들을 확인하기 위하여 연구 재료로 채택하여 두 번째 시즌인 9월 초부터 10월 말까지 노균병 접종을 수행하였다. 국내 품종인 광평옥(94.7%)과 양안옥(95%)은 여전히 노균병 발생률이 높았으며, 육성 품종 모두 첫 번째 시즌과 비교했을 때 80~100%로 훨씬 높은 발생률을 보였다(Fig. 3B). NAM parent 계통은 봄/여름 시즌과 비교했을 때, 대부분의 품종에서 노균병 발생률이 84.2~100%로 높게 나타났으나, Ki3 (22.2%), Ki11 (25%), 그리고 CML228 (25%)에서는 여전히 노균병에 대한 저항성이 나타났다. 이들 3 품종은 그래프를 통해서 두 차례 실

험결과 모두 다른 품종에 비해 낮은 발생률 즉, 노균병 저항성 품종임을 확인할 수 있다(Fig. 3).

특히 Ki3는 SDM (*Peronosclerospora sorghi*)에 대해 저항성을 가진 Suwan-1으로부터 개발된 노균병 저항성 품종이며, CML228 역시 Suwan-1으로부터 개발된 저항성 품종으로 현지 노균병 접종 결과 두 품종 모두에서 저항성을 관찰할 수 있었다(Maize Genetics and Genomics Database). 또한 Ki11은 Kasetsart inbred로서, 1982년에 개발된 노균병 저항성 계통이다(Hallauer, 2000).

본 연구는 국내에서 옥수수 노균병을 발견 및 연구하기에 어려움 및 제약이 있으므로, 노균병이 많이 발생하는 캄보디아 현지에서 spreader row technique을 이용하여 현지 노균병 접종에 대한 효율적인 방법을 모색하고 시험포장 관리의 효율성을 높이고자 하였다. 현지 연구결과 변형된 spreader row technique이 손쉽게 시험구 옥수수에 접종할 수 있었으며, 최소 3주차부터 최대 6주차까지 노균병이 발생하는 것을 확인하였다. 본 연구에서 이용한 spreader row technique을 노균병 접종에 잘 활용하기 위해서는 노균병에 대한 확실한 감수성 품종을 이용하고, 현지에서 노균병에 감염된 옥수수를 잘 발견 및 선택하는 것이 가장 큰 관건이다.

두 차례 노균병 접종을 실험한 결과 대부분의 품종에서는 시즌 별로 노균병 발병률 및 감수성이 비슷하였으나, 몇몇 품종에서 시즌 간의 결과에서 차이가 발생하였다(Table 3, Fig. 2). 그 이유는 계절별 온도와 상대습도 등이 다르게 나타나기 때문에 온실에서 실험하지 않은 이상 계절에 따른 변수가 작용하였음을 알 수 있었다. Fig. 1은 2015년 3월부터 10월까지 프놈펜 현지 날씨인 강수량, 습도, 그리고 온도 등을 월별 평균치로 나타낸 것이며, 4월부터 6월 사이의 최고 평균온도는 36°C, 최저 평균온도는 26°C, 최고 평균습도는 87.6%, 최저 평균습도는 41%로, 9월부터 10월 사이의 기상 조건보다 최고 및 최저 평균온도가 높았으며, 최고 및 최저 평균습도는 낮았다. 다만 Fig. 1에서 월평균 최고 최저 습도가 비슷해 보이지만, 월별 일평균으로 보면 4월부터 6월 사이의 최고 습도(90~100%) 일수는 1~10일 정도이며, 9월부터 10월 사이의 최고습도 일수는 24~25일 정도 확인되었다. 일반적으로 노균병은 서늘한 기온에서 가장 활발하게 발생하며, 특히 SDM은 17~29°C에서 포자량이 생산되며, 21~25°C에서는 병원체가 감염되기에 최적의 온도조건이다(CIMMYT: Downy mildew extended information). 따라서 4월에 노균병 발병률이 9월보다 낮은 이유가 일반적인 기상 상태 및 조건, 특히 상대 습도와 온도에 의해 결정되기 때문에 상대적으로 발생률 및 감수성이 낮게 나타났다. Cardwell *et al.* (1997b)은 질병 감염을 높이기 위하여

높은 습도 및 안개가 낀 기상 조건에서 온도는 18~29°C가 알맞다고 제안하였으며, Kimigafukuro (1988)도 포자 형성은 낮과 밤의 온도와 높은 상대 습도에 의해 결정된다고 보고하였다. 한편 인도에서는 Kharif(파종: 5~7월, 수확: 9~10월)와 Rabi(파종: 10~12월, 수확: 4~5월) 시즌이 있는데, Nagabhushan *et al.* (2014)은 이러한 두 시즌에 SDM을 접종한 결과, Kharif 시즌은 23개의 품종에서 SDM 발병률이 높았으며, 나머지 27개의 품종은 Rabi시즌에서 발병률이 높다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 계절 및 기상적 요인이 작용하여 본 연구 결과와 비슷한 양상이 나타난 것으로 생각한다. 또한, Schuh *et al.* (1987)은 SDM이 기상 조건 뿐만 아니라, 토양 온도, 습도, 토성, 접종원(포자)밀도에 영향을 받는다고 보고하였으며, 특히 토양 온도는 25°C, 토양 수분은 -0.2 bar, 토성 및 접종원(포자)밀도는 토양 100 g 당 80%의 모래 함유량과 5 g의 난포자(oospore)에서 가장 높은 발병률이 발생했다고 보고하였다.

본 연구는 옥수수 노균병에 대하여 감수성 및 저항성 그리고 발병률을 평가하였으며, 본 연구에서 사용된 spreader row technique은 캄보디아 현지 노균병 접종 방법에 적합하였고 이 방법은 또한 동남아시아 지역에서도 노균병 검증이 충분할 것이라고 생각된다. 뿐만 아니라 시험 포장에서 접종 방법 또한 손쉽게 때문에 시간적 소모 및 노동력은 인공 접종을 이용한 접종 방법보다 훨씬 효율적이라고 생각되며, 노균병 실험에 대한 빠른 결과를 얻을 수 있는 것이 가장 큰 장점이다. 이러한 접종 방법은 추후 다른 종류의 병징에서도 활용 가능할 것이며, 포자 발아 및 병원체의 이동성에 대한 정보와 온도 및 기상적 요인만 잘 확인하면, 연구 효율성 및 활용도가 높을 것으로 생각된다.

적 요

옥수수 노균병에 대한 저항성 및 감수성을 확인하기 위하여 캄보디아 현지에서 노균병을 수집 및 채집하였으며, spreader row technique을 이용하여 봄/여름과 늦여름/가을 동안 시험포장에 노균병을 접종한 후 4주차와 6주차에 노균병 발병률을 확인하였다. 국내 품종 7개와 육성 품종 7개는 노균병 접종 후 6주차에서 노균병에 대하여 대부분 highly susceptible (HS)의 등급을 확인하였으며, 발병률은 80~100%로 NAM parent계통보다 높게 나타났다. 이것은 국내 품종과 육성 품종 모두는 노균병에 대한 감수성이 있는 품종으로 확인하였다. 반면, Ki3, Ki11, CML228 계통은 봄/여름 시즌에서는 0~5%의 발병률과 highly resistant (HR) 또는 resistant (R)의 등급을 확인할 수 있었고, 늦여름/가을 시즌

에는 22.2~25%의 발병률 및 moderately resistant (MR)의 발병 등급이 나타났다. 효율적인 노균병 접종을 위해서 기상 조건 및 습도, 그리고 온도를 중요시하며, 접종 방법 또한 간단하면서 손쉽게 관리할 수 있는 방법이 가장 중요하다. 본 연구에서 사용한 spreader row technique은 다양한 병징 연구에 활용이 가능하며, 저항성 및 감수성 품종을 효율적으로 확인 및 선발할 수 있다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 동남아시아 적응 수출용 옥수수 품종 및 수출 촉진화 기술 개발(213001-04-3-SB920)에 의해 이루어진 것임.

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00993903)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- AccuWeather, <http://www.accuweather.com/en/kh/phnom-penh/49785/weather-forecast/49785>
- Ajala, S. O., J. G. Kling, S. K. Kim, and A. O. Obajimi. 2003. Improvement of maize populations for resistance to downy mildew. *Plant Breeding* 122 : 328-333.
- Anaso, A. B., P. D. Tyagi, A. M. Emechebe, and S. K. Manzo. 1987. Identity of a downy mildew in maize in Nigerian Guinea Savanna. *Samaru J. Agric. Res.* 5 : 13-23.
- Anahosur, K. H. and R. K. Hegde. 1979. Assessment of the techniques used for screening sorghum genotypes to downy mildew. *Mysore J. Agric. Sci.* 13 : 449-451.
- Bonde, M. R. 1982. Epidemiology of downy mildew disease of maize, sorghum and pearl millet. *Trop. Pest Manage.* 28 : 49-60.
- Broyles, J. W. 1956. Observations on time and location of penetration in relation to amount of damage and chemical control of *Physoderma maydis*. *Phytopathology* 46 : 8.
- Cardwell, K. F., J. G. Kling, and C. Bock. 1997a. Methods for screening maize against downy mildew *Peronosclerospora sorghi*. *Plant Breeding* 116 : 221-226.
- Cardwell, K. F., F. Schulthess, R. Ndemah, and Z. Ngoko. 1997b. A systems approach to assess crop health and maize yield losses due to pests and diseases in Cameroon. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 65(1) : 33-47.
- CIMMYT: Downy mildew (extended information) <http://maizedoctor.org/en/downy-mildew-extended-information>
- Craig, J. 1976. An inoculation technique for identifying resistance to downy mildew. *Plant Dis Rept.* 60 : 350-352.
- Craig, A., J. Bockholt, R. A. Frederiksen, and M. S. Zuber. 1977. Reaction of important corn inbred lines to *Peronosclerospora sorghi*. *Plant Dis. Rept.* 61 : 563-564.
- Dalmacio, S. C. 2000. Importance of and growing concern for maize diseases in the Asian region. In: Vasal, S. K., F. Gonzalez Cenicerros, and F. XiongMing (eds). *Proc 7th Asian Regional Maize Workshop*. PCARRD, Los Baños, Philippines. pp. 267-277.
- Fajemisin, J. M. 1980. Downy mildew of maize in Nigeria. A position paper presented at the international conference on the graminaceous downy mildew diseases: Strategies for control of graminaceous downy mildew diseases. Bellagio, Italy. 1979.
- George, M. L. C., B. M. Prasanna, R. S. Rathore, T. A. S. Setty, F. Kasim, M. Azrai, S. Vasal, O. Balla, D. Hautea, A. Canama, E. Regalado, M. Vargas, M. Khairallah, D. Jeffers, and D. Hoisington. 2003. Identification of QTLs conferring resistance to downy mildews of maize in Asia. *Theor. Appl. Genet.* 107 : 544-551.
- Hallauer, A. R. 2000. *Specialty corns*, 2nd ed. CRC press. pp. 277.
- Hooda, K. S., J. C. Sekher, V. Singh, T. A. Sreerama Setty, S. S. Sharma, V. Parnidharan, R. N. Bunker, and J. Kaul. 2012. Screening of elite maize lines for resistance against downy mildews. *Maize Journal* 1(2) : 110-112.
- Jeffers, D., H. Córdova, S. Vasal, G. Srinivasan, D. Beck, and M. Barandiarán. 2000. Status in breeding for resistance to maize diseases at CIMMYT. In: Vasal, S. K., F. Gonzalez Cenicerros, F. XiongMing (eds). *Proc 7th Asian Regional Maize Workshop*. PCARRD, Los Baños, Philippines, pp. 257-266.
- Jones, B. L. 1970. A simple technique of inoculating sorghum with *Sclerospora sorghi* using conidia as inoculum. *Plant Dis. Rept.* 54 : 603-604.
- Kimigafukuro, T. 1988. Effect of temperature and relative humidity on the infection of maize with downy mildew (*Peronosclerospora philippinensis*). *Extension Bulletin-ASPAC, Food and Fertilizer Technology Center*. No. 283. pp. 8.
- Kling, J. G., K. F. Cardwell, and S. K. Kim. 1994. Advances in screening methods and breeding for downy mildew resistance (*Peronosclerospora sorghi*) of maize. *Proc. 4th Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference: Maize Research for Stress Environment*, Harare, Zimbabwe, March 28-April 1. pp. 164-168.
- Maize Geneics and Genomics Database http://maizegdb.org/data_center/stock?id=66879
- Murray, M. G. 2009. <http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Downy-mildew-of-maize-and-sorghum-CP-2009.pdf>
- Nagabhushan, H. C. Lohithaswa, T. A. Sreeramasetty, Puttaramanaik, and Shailaja Hittalmani. 2014. Identification of stable source of resistance to sorghum downy mildew in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology and Natural Resource Management* 1(3) : 176-178.
- Narayana, Y. D., L. K. Mughogho, and R. Bandyopadhyay. 1995. Evaluation of greenhouse inoculation techniques to screen

- sorghum for resistance to downy mildew. *Euphytica* 86 : 49-53.
- Olanya, O. M., J. M. Fajemisin, and P. Oyekan. 1993. Incidence and geographical distribution of downy mildew on maize caused by *Peronosclerospora sorghi* in Nigeria. *Int. J. Pest Manag.* 39 : 28-34.
- Pascual, C. B., B. Jr. Caliliung, N. Bituin, A. D. Raymundo, D. M. Hautea, and A. M. Salazar. 2005. Host resistance and pathogen conidial characteristics across locations of Philippine corn downy mildew. *The Philippine Agricultural Scientist* 88(4) : 489-494.
- Phruetthuthep, C., K. Vayuparp, W. Promkum, J. Phoomthaisong, and W. Thanomsub. 2008. Reaction of sweet corn inbred to downy mildew. In: Zaidi, P. H., M. Azrai, and K. V. Pixley. (eds). *Maize for Asia: Emerging trends and technologies. Proceeding of the 10th Asian Regional Maize Workshop, Makassar, Indonesia, 20-23 October. Mexico D. F. : CIMMYT*
- Pingali, P. L. 2001. CIMMYT 1999-2000 World maize facts and trends. Meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. CIMMYT, Mexico, D. F.
- Premalatha, N., K. Mohana Sundaram, and S. Arumugachamy. 2012. Screening and source of resistance to downy mildew (*Peronosclerospora sorghi*) in maize (*Zea Mays* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding* 3(2) : 788-793.
- Raymundo, A. D. 2000. Downy mildew of maize in Asia: new perspectives in resistance breeding. In: Vasal, S. K., F. Gonzalez Cenicerros, F. XiongMing (eds). *Proc 7th Asian Regional Maize Workshop. PCARRD, Los Baños, Philippines. pp. 277-284.*
- Rao, B. M., H. S. Prakash, H. S. Shetty, and K. M. Safeeulla. 1985. Downy mildew inoculum in maize seeds: techniques to detect seed-borne inoculum of *Peronosclerospora sorghi* in maize. *Seed Science and Technology* 13 : 593-600.
- Renfro, B. L., U. Pupipat, N. Singburaudom, K. Choonhawongse, S. S. Bhat, J. Singh, B. Wongsinchaum, B. Sardud, and S. M. Shah. 1979. The corn downy mildew disease research program. Bangkok, Thailand. *Int. Conf. on the Granubaceous downy mildew Dis. Bellagio Italy. Nov. 28- Dce. 3.*
- Rifin, A. 1983. Downy mildew resistance of single cross progenies between Indonesia and Philippine corn inbred lines. *Penelitian Pertanian* 3 : 81-83.
- Schuh, W., M. J. Jeger, and R. A. Frederiksen. 1987. The influence of soil temperature, soil moisture, soil texture, and inoculum density on the incidence of sorghum downy mildew. *Phytopathology* 77 : 125-128.
- Shabani, S. and R. A. Frederiksen. 1982. Symptoms of sorghum downy mildew on maize following inoculations with conidia and oospores. *Plant Disease* 66 : 1006-1008.
- Shekhar, M. and S. Kumar. 2012. Inoculation methods and disease rating scales for maize diseases. ICAR, New Delhi, India. pp. 17-19.
- Singburaudom, N. and B. L. Renfro. 1982. Heritability of resistance in maize to sorghum downy mildew [*Peronosclerospora sorghi* (Weston and Uppal) C. G. Shaw]. *Crop Protect.* 1 : 323-332.
- Siradhana, B. S., S. R. S. Dange, R. S. Rathore, and K. L. Jain. 1976. Conidial inoculation technique for evaluating maize germplasm against sorghum downy mildew (*Sclerospora sorghi*) of maize. *Plant Dis. Rep.* 60 : 603-605.
- Weather Underground, <http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather/hdfForecast?query=phnom+penh>