

국내에서 육성한 감자품종의 역병 저항성평가

류경열* · 지형진 · 심창기 · 이병모 · 박종호 · 최두희 · 류갑희 · 박영은¹농업과학기술원 친환경농업과, ¹고령지농업연구소 작물과

Evaluation of Phytophthora Late Blight Resistance of Potato Variety in Korea

Kyoung-Yul Ryu*, Hyeong-Jin Jee, Chang-Ki Shim, Byung-Mo, Lee, Jong-Ho, Park, Du-Hoe Choi, Gab-Hee Ryu and Young-Eun Park¹

Organic Farming Technology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Crop Research Division, National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang, Gangwon 224-840, Korea

(Received on November 8, 2006)

Since the cultivation of resistance cultivar is essential for organic agriculture, Phytophthora late blight resistance of 16 advanced potato clones obtained from the potato breeding laboratory at the National Institute of Highland Agriculture was evaluated. Resistance of the clone was examined through artificial inoculation in the laboratory and in the field. Dominant isolates of the pathogen in Gangwon province produced abundant sporangia on leaves of most clones showing susceptibility. The number of sporangia ranged from 10^{7-8} sporangia/m² in the susceptible clones at 7 days after inoculation. However, one clone is resistant in organic farming fields. Disease incidence was 2.3% using the resistant clone. The area under disease progress curve (AUDPC) was 75.5. Contrarily, disease incidence of the susceptible variety was 100% and the AUDPC was 1773.5 during the same cultivation period. The resistance clone named as "Haryeong" is considered suitable for organic potato cultivation in Gangwon province in Korea.

Keywords : Haryeong, Late blight, Potato, Resistance

감자는 세계 4대 식량작물 중 하나로 원산지가 남미 안데스의 고산지역으로 알려지고 있으며 전 세계적으로 재배면적이 2000만 ha에 이르는 작물로서 신흥공업 국가를 중심으로 소비량이 해마다 증가하고 있으며 선진국에서는 안정적인 생산체계를 구축하고 있다(International Potato Center, 2004).

국내의 감자생산은 재배법 개선, 화학농약과 비료를 사용하여 생산성을 향상시키는 목적을 이루었지만 유럽의 농업선진국에서는 40톤 이상/ha 수준으로 높고 우리나라는 30톤/ha 내, 외로 생산하고 있어 국가간 생산성이 큰 차이가 있다(고령지농업연구소, 2005). 그러나 감자재배

과정에 생산성을 높이기 위해 투입되는 화학합성 농자재는 환경에 미치는 영향이 증가하여 그곳에서 생산한 농산물에 대한 소비자의 신뢰를 저하시키는 경우가 많아졌으며 이런 변화에 대응하는 새로운 요구로 친환경농산물에 대한 생산과 소비가 증가하고 있다. 그 동안 관행농업은 재배과정에 발생하는 병해충을 방제하기 위하여 화학농약을 효과적으로 사용하여 수량증가의 목표를 달성하였다(Zhang 등, 2005). 또한 농산물의 생산성을 향상시키는 관행농업이 식량문제를 해결하는 유일한 농사법이었지만 선진국에서는 농업환경을 지속적으로 보존할 수 있는 자연순환 농업과 농산물의 안전성에 많은 관심이 집중되고 있다.

따라서 소비자의 요구에 부합하는 농산물을 효과적으로 생산하기 위해서는 재배과정에 발생하는 다양한 증상에 대하여 더 많은 노력과 관심이 필요하고 또한 병해충

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0503, Fax) +82-31-290-0505

E-mail) kyryu@rda.go.kr

에 의한 피해를 경제적 허용수준이하로 관리하기 위한 여러 가지 친환경 농자재의 투입이 현실적으로 요구되고 있다(Postma 등, 2003). 그러나 유기농업에서 활용이 가능한 농자재의 개발 및 보급은 아직 원활하지 못하여 저항성 품종을 육종하거나 다양한 친환경 농자재의 개발이 시급하게 필요한 시점이다(Stephan 등, 2005, Zhu와 Evert, 2004).

국내 유기감자 재배지에서는 11종의 병해가 기상조건에 따라 다양하게 발생하는 것으로 보고되었지만 감자역병은 관행재배와 유기재배 포장에서 모두 발생하며 가장 치명적이 피해를 유발하는 것으로 알려져 있다(류 등, 2005). 국내 감자재배지는 해마다 역병이 발생하고 기상조건이 병 발생에 적합한 경우 감자역병은 초 발생 이후 2주 이내에 전포장의 90% 이상이 감염되어 엄청난 수량 감소를 가져오는 것으로 알려져 있다. 관행재배지에서는 감자역병의 발생을 억제하기 위하여 반복적으로 농약을 살포하여 병해에 의한 피해를 최소화하고 있다. 그러나 감자역병이 상습적으로 발생하는 지역에서 빈번한 농약 살포는 해당약제에 대한 병원균의 저항성을 증가시키고 병원성이 강화되는 방향으로 병원균 특성이 변화되어 새로운 약제를 다시 개발하거나 감자역병에 대한 저항성 품종을 육종하여야 하는 필요성을 증가시켰다(Koh 등, 1994, Kim 등, 2000).

본 연구는 감자 재배지에 적합한 품종을 선발하여 소비자가 요구하는 안전농산물을 효과적으로 공급하기 위한 목적으로 관행농업과 유기농업 실천포장에서 실시하였으며 얻어진 결과를 보고하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료. 본 실험에 사용한 감자품종 및 계통은 고령지농업연구소 감자육종연구실에서 분양받은 육성계통 16종과 품종 4종을 사용하였으며 포장 및 실내에서 감자역병에 대한 저항성 반응, 병반면적진전을 및 수량을 조사하였다.

병원균 분리. 실험에 사용한 감자역병균은 국내 감자주산지에서 분리한 균주 중에서 가장 분리빈도가 높은 병원균을 사용하였다. 병원균 분리는 감자 재배지역에서 전형적인 수침형 병반을 보이는 병든 잎을 수집하여 병원균 분리에 사용하였다. 병든 식물체는 병징 부위를 2 cm × 2 cm 크기로 잘라내어 멸균한 페트리접시에 놓고 그 위에 절단한 감자절편을 올려두었다. 감자는 감수성 반응이 뚜렷한 수미(superior) 품종으로 표면을 깨끗이 씻고 건조시킨 다음 70% 에탄올로 표면소독을 하여 실험용 칼

로 감자를 7~8 mm 두께로 절편을 만들어 사용하였다. 감자절편은 병든 잎 위에 올려두고 20°C 항온기에서 4~5일 동안 배양하였다. 그 후 감자절편 위쪽에 형성된 다량의 균사선단은 조심스럽게 선택성 배지와 호밀배지에 옮겨서 병원균의 균학적 특징을 확인한 후 실험실에서 보관하며 저항성 평가 및 병원균 특징을 조사하는 실험의 재료로 사용하였다(류 등, 2005).

진성저항성 검정. 감자역병균에 대한 육성계통 및 감자품종의 저항성 반응을 평가하기 위하여 감자주산지에서 수집한 병원균(*Phytophthora infestans*) 레이스 4(R4)는 감자절편을 사용하여 충분히 유주자낭을 형성시켰다. 그 후 멸균 증류수를 이용하여 감자절편에 형성한 유주자낭을 회수하고 균사 및 잔재물을 제거하였다. 그 다음 milipore filter(pore size 20 μm)를 이용하여 여과한 후 필터위에 남아 있는 유주자낭을 수거하여 저항성 반응을 검정하는 실험에 사용하였다. 저항성 평가에 사용한 접종원의 유주자낭 농도는 1.0×10^4 sporangia/ml로 조절하여 물 한천배지에 놓여진 16종 육성계통과 4개 품종의 잎 뒷면에 각각 10 μl씩 접종하였다. 병원균이 접종된 감자 잎은 실온에서 overnight한 후 표면이 위쪽으로 향하게 돌려놓은 다음 20°C 항온기에서 4일 동안 배양하였다. 그 후 감자잎 표면에 발생한 병원균 포자발아 및 유주자낭 형성량을 현미경을 이용하여 조사하였고 이를 저항성 여부를 판단하는 지표로 사용하였다. 또한 감자 잎에 발생하는 병징은 수침형병반이 진행된 괴사(necrosis), 흑갈색 병반(brown area), 흑갈색 반점(brown spot)과 궤양(canker)로 구분하여 조사하였다.

포장저항성 평가. 실험에 사용한 16개 육성계통과 4개 품종은 포장저항성 반응을 평가하기 위하여 고령지농업연구소 실험포장에 25×70 cm 간격으로 30주씩 파종하여 완전임의배치법 3반복으로 실험을 실시하였다. 감자는 5월 10일에 파종하여 재배기간 동안 포장에서 감자역병 약제처리 없이 관리하며 감자역병 초발생후 병징진전도(AUDPC, Area Under the Disease Progress Curve)를 분석하였다. $AUDPC = \sum(X_i + X_{i+1})/2 \times (T_{i+1} - T_i)$ 에서 X_i 는 첫 번째 병반면적율, X_{i+1} 은 첫 번째 이후의 증가한 병반면적율, $T_{i+1} - T_i$ 은 두 조사시점의 경과 일수를 말한다. 유전자원의 저항성 평가는 동일 조건에서 재배한 감수성 품종의 병반면적진전도에 따라 저항성 중도저항성 감수성으로 판단하였다. 또한 관행재배 포장에서 선발된 육성계통은 유기농업 실천 포장에서도 동일한 방법으로 재배하며 병반면적진전을 조사하였다(International Potato Center, 2004). 유기농업포장에서 수량은 감자파종 후 110일에 수확하여 수미품종의 수량과 비교하였다.

결과 및 고찰

진성 저항성평가. 병원균 레이스가 다양한 감자포장에서 저항성 반응을 평가한 육성계통에 대하여 감자주산지에 가장 많은 분포를 보이는 병원균을 접종하여 저항성 반응을 조사한 결과는 Table 1과 같았다. 병원균은 농도가 10^3 - 4 유주자낭/m²인 경우 포자발아는 차이가 없이 접종한 12개 잎중에서 7~12개의 감자 잎에서 감자역병균의 특징인 백색의 균사형성과 함께 다량의 유주자낭을 형성하였다. 그러나 육성계통 및 품종에 따라서 병원균 접종으로 형성된 병반은 수침형병반과 갈색반점형 같이 특이적으로 확대되고 있음을 알 수 있었다. 감자역병 병반형성과 유주자낭 형성량은 일치하지 않았지만 병원균이 정착하여 각각의 기주에 형성한 병반이 다른 특징을 보이는 것은 유전적 차이로 생각되었다(International Potato Center, 2004). 특히 포장에서 저항성 반응이 뚜렷하였던 대관 78은 병원균 접종 후 5일에 0.7×10^8 /m²로 병원균

유주자낭이 대량으로 형성되어 접종한 병원균에 저항성 반응을 기대할 수 없었다. 이는 특이적인 저항성 유전자를 보유하지 않은 양친의 교배로 얻어진 것이므로 당연한 결과이지만 이런 반응을 보인 개체가 포장에서 보여준 저항성 반응은 육종의 방향을 새롭게 제시하는 결과로 생각된다. 또한 저항성 감자품종 조종은 1988년 신품종으로 육성하여 보급할 당시 우리나라 감자역병균에 대하여 상당한 저항성 반응을 보였던 품종이지만 최근 저항성반응이 약화되는 것을 볼 수 있으며 포장시험 및 실내검정 결과 다른 감수성 품종과 큰 차이가 없었다(고령지농업연구소, 2005).

감자 품종은 병원균의 특성에 따라 저항성 반응이 다르게 나타나므로 지속적으로 주요병해에 대한 저항성 및 해당 병원균의 억제반응 평가가 있어야 포장에서 돌발하는 병해충에 대한 대비가 가능할 것으로 판단된다.

포장저항성 평가결과. 감자육성계통과 품종에 대한 저항성 평가를 수행한 관행재배 시험포장은 해마다 감자역

Table 1. Evaluation of resistance of potato clones by artificial infection

Clone	Sporulation ^a	Sporangia ^b	Symptom ^c	Clone	Sporulation	Sporangia	Symptom
DK 75	12/12	1.2×10^7	BA	DK 12	10/12	0.2×10^7	WS
DK 76	11/12	1.8×10^8	WS	DK 13	12/12	1.1×10^8	"
DK 78	7/12	0.7×10^8	"	DK 14	11/12	2.9×10^8	"
DK 79	9/12	0.6×10^8	"	DK 15	9/12	0.6×10^7	"
DK 82	7/12	2.2×10^7	BS	DK 16	10/12	2.1×10^7	"
DK 83	8/12	1.6×10^8	WS	DK 17	9/12	0.4×10^7	"
DK 84	12/12	2.1×10^8	"	Superior	12/12	0.6×10^8	"
DK 85	10/12	0.9×10^8	"	Atlantic	12/12	3.1×10^8	"
DK 86	11/12	3.1×10^8	"	Chopong	12/12	1.1×10^8	"
DK 87	8/12	2.3×10^8	"	Dejima	12/12	2.1×10^8	"
				Gahwang	9/12	3.0×10^8	"

^aNo. of sporulated leaves/inoculated leaves.

^bNo. of sporangia at five days after inoculation (sporangia/m²).

^cBA, Brown color and water soaking lesion; WS, water soaking lesion; BS, brown spot and water soaking lesion.

Table 2. Evaluation of resistance of potato clones by natural infection in fields

Clone	Incidence ^a	AUDPC ^b	Response	Clone	Incidence	AUDPC	Response
DK 75	53	1550.5	Susceptible	DK 12	37	1191.1	Susceptible
DK 76	73	1678.9	"	DK 13	70	1571.5	"
DK 78	23	928.2	Intermediate	DK 14	68	1691.6	"
DK 79	77	1834.0	Susceptible	DK 15	50	1381.5	"
DK 82	33	1226.1	"	DK 16	55	1442.7	"
DK 83	27	975.5	Intermediate	DK 17	30	1192.5	"
DK 84	33	1206.5	Susceptible	Superior	43	1460.2	"
DK 85	33	1310.1	"	Atlantic	30	1269.5	"
DK 86	35	1382.5	"	Chopong	58	1475.9	"
DK 87	27	1079.1	"	Dejima	43	1407.0	"
				Gahwang	37	1304.5	"

^aLesion area at four weeks after disease occurrence (%).

^bAUDPC (Area Under Disease Progress Curve).

병이 자연적으로 발병하는 곳으로 대개 파종 후 50~60일 사이에 초 발생하여 별도의 병원균 접종이 필요 없었다. 또한 시험포장 주변의 기상환경은 감자역병이 쉽게 발생하는 온도 18~20°C, 습도 80% 이상을 유지하여 감자역병에 대한 저항성 반응을 평가하기 위한 최적의 조건을 갖추고 있는 장소이다.

감자유성 계통과 품종은 Table 2에서와 같이 포장에서 다양한 저항성 반응이 나타났다. 그러나 대조품종은 모두 감수성 반응을 보이며 초 발생 이후 2~3주 사이에 지상부 조직이 완전히 파괴되었다(Fig. 1B). 그러나 감자품종 육성 계통 가운데 대관 78과 대관 83은 조사기간 동안 저항성 반응을 보이며 초 발생 이후 4주까지도 지상부 조직이 유지되고 있었으며 AUDPC가 928~975로 감수성 반응을 보이는 품종들의 AUDPC 1269~1475와는 큰 차이를 보였다.

육성계통 대관 78은 대서(atlantic)와 수미(superior) 품종을 교배하여 얻어진 개체로 포장에서 저항성 반응이 뛰어났지만 두 품종은 모두 동일지역에서 감수성 반응을 보였고 관행재배 포장에서 엄청난 수량 감소가 있었으나 교배계통들은 유기농업 및 관행재배 포장에서 상대적으로 저항성반응이 탁월하여 저항성 유전에 대한 분석이 필요

하였다. 국제감자연구소 보고에 따르면 특이적인 저항성 유전자를 보유하지 않는 품종 및 계통을 이용한 교배를 통하여 저항성 유전자가 확인되지 않음에도 불구하고 포장에서 뚜렷한 저항성 반응을 보이는 것으로 알려져 있고 이를 이용한 지속 저항성품종 육종 프로그램이 확립하고 있다(International Potato Center, 2004). 국내 감자포장은 다양한 병원균 레이스가 존재하여 단일저항성 유전자가 지배하는 품종은 저항성반응이 오랫동안 유지되지 못하고 감수성반응을 보인다(Ryu 등, 2005). 이는 병원균 레이스 분포가 단순한 포장에서는 특정 레이스의 병원성이 더욱 강하게 작용하여 쉽게 감염되지만 다양한 병원균 레이스가 분포하는 포장에서는 병원성이 발휘하지 못한 것으로 생각된다. 병원균은 본래의 특성을 효과적으로 발휘하기 위해서는 적합한 환경조건이 필요하지만 다양성이 유지된 환경에서는 미생물체계의 평형이 유지되기 때문이라고 생각되지만 더 많은 연구가 필요하다.

유기농포장에서 감자역병에 대한 반응 평가. 농산물에 대한 소비자의 안전성 요구가 증가하여 합성농약 및 화학비료를 사용하지 않고 농산물을 생산하는 유기재배 면적이 증가하고 있는 실정이다. 유기농업은 근간이 농업환경을 개선하여 작물 및 토양의 건전성을 향상시키고 외부환경 및 병해충에 대한 저항성을 높이는 것이지만 그 기준은 농업여건에 따라 허용자재와 범위는 차이가 있다. 따라서 감자 생산은 가장 치명적인 병을 일으키는 역병에 대한 저항성 품종을 선발하여 농가에 효과적으로 보급하는 것이 가장 시급한 일이다. 그 동안 품종육성은 다수성을 목표로 하였기 때문에 감자 재배에서 적합한 저항성 품종선택은 매우 어렵다.

본 연구는 관행재배포장에서 선발한 감자유성 계통이 유기농업 포장에 적응성을 평가한 결과는 Table 3과 같았다. 육성계통인 대관 78호, 83호는 대조품종인 수미에 비하여 감자역병에 대한 저항성 반응과 수량이 높게 나타났다. 육성계통인 대관 78는 감자역병 초 발생이후에 병진전이 거의 없었으나 수미품종은 발병주율이 100%에

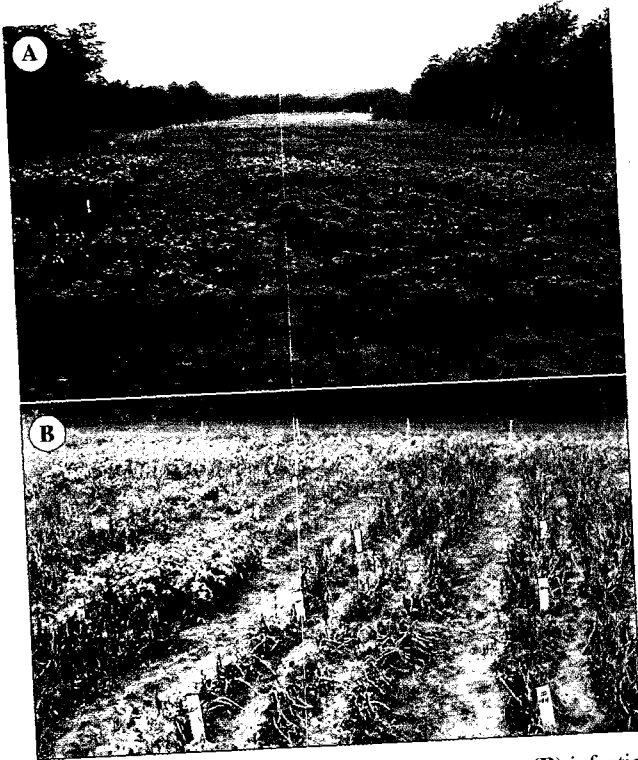


Fig. 1. Pictures of potato fields before (A) and after (B) infection by late blight under the high disease pressure in Gangwon province.

Table 3. Response of potato clones against potato latew blight in organic farming fields

Clone	Incidence (%)	AUDPC	Response ^a	Yield (ton/10a)
Daekwan 78	2.3	75.5	R	4.70
Daekwan 83	12.3	481.5	R	4.58
Daekwan 90	45.0	880.5	M	4.64
Superior	100	1773.5	S	2.65

^aR, resistance; M, moderate; S, susceptible.

이르며 조기에 지상부 줄기가 파괴되는 감수성반응을 보였다(Ryu 등, 2005). 감자역병 발생 이후에 지상부 줄기의 파괴는 감자수량에 큰 영향을 주어 지속적인 저항성 반응을 보인 대관 78호는 4.7톤/10a이었지만 감수성 품종은 2.85톤/10a으로 대관 78호에서 65% 정도 증수를 보였다. 한편 유기감자포장에서 감자역병의 진전도를 분석한 결과 지속저항성 반응을 보인 대관 78호는 AUDPC가 75.5인 반면 감수성 반응을 보인 수미품종은 1773.5로 현저한 차이를 보였으며 관행재배 포장에서 보다는 많은 진전을 가져온 것을 알 수 있었다. 이는 관행재배포장에서 감자를 재배할 경우 감자역병에 대한 약제사용을 하지 않지만 다른 병해충에 대한 약제방제를 실시하기 때문에 상대적으로 병반면적 진전이 지연한 것으로 생각되었다(Zhang 등, 2005). 그러나 유기감자생산 포장에서는 병해충 방제를 하기 위하여 유기농업에 허용된 보로도액만을 살포하였기 때문에 병진전이 커졌던 것으로 판단되었다. 한편 관행포장과 유기재배포장에서 발병율이 차이를 보인 것은 Ryu 등(2005)이 보고한 것과 같이 동일 감자포장에 존재하는 병원균 집단의 분포가 다르기 때문이라고 본다. 그러나 실험에 사용한 감자가 적용한 포장에 따라서 약간의 저항성 반응 차이가 있지만 국내에서 재배되는 감자는 대부분이 감수성 품종으로 농약을 사용하지 않고는 엄청난 수량감소를 가져오는 시점에서 관행재배 및 유기재배포장에서 약제 살포 없이 중도저항성 이상의 반응을 보인 개체를 선발한 것은 역병으로 인한 피해를 줄이는데 크게 기여할 것으로 보인다. 본 연구결과 감자역병에 저항성 반응을 보인 육성계통 대관 78은 하령이란 품종으로 고령지농업연구소에서 신품종 등록을 마쳤으며 앞으로 종자생산 체계를 거쳐 유기농업 및 관행농업 농

가에 품종보급이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- 고령지농업연구소. 2005. 감자총서(개정판). 355 p.
- 류경열, 지형진, 최두희, 천정욱, 김종태, 김병섭. 2005. 유기농 감자재배지에서 감자역병에 의한 병 진전 및 수량감소. 식물병 연구 1: 122-127.
- Kim, B. S., Choi, J. H., Chun, W. H., Ryu, K. Y., Hahm, Y. I. and Lee, Y. S. 2000. Mating type and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolated from Gangwon area in Korea. *Kor. J. Pesti. Sci.* 4: 59-63.
- Koh, Y. J., Chung, H. J. and Fry, W. E. 1994. Changes in frequencies and distribution of A2 mating types and metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 10: 92-98.
- International Potato Center. 2004. Annual report Late Blight New Development 9-13 pp.
- Postma, J., Montanari, M., Paul, H. J. F. and van den Boogert. 2003. Microbial enrichment to enhance the disease suppressive activity of compost. 2003. *European J. of Soil Biology* 39: 157-163.
- Stephan, D., Schmitt, A., Carvalho, S. M., Seddon, B. and Koch, E. 2005. Evaluation of biocontrol preparation and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato leaves. *European J. of Plant Pathology* 112: 235-246.
- Zhang, X. Z., Ryu, K. Y., Kim, J. S., Cheon, J. U. and Kim, B. S. 2005. Changes in the sensitivity to metalaxyl, dimethomorph and ethaboxam of *Phytophthora infestans* in Korea. *Plant Pathol. J.* 21: 33-38.
- Zhou, X. G. and Everts, K. L. 2004. Suppression of *Fusarium* of water melon by soil amendment with hairy vetch. *Plant Dis.* 88: 1357-1365.