콩 불마름병 발생정도가 수량에 미치는 영향

홍성준* · 김용기 · 지형진 · 심창기 · 김민정 · 박종호 · 한은정 · 이봉춘¹

농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과, ¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물환경과

Influence of Disease Severity of Bacterial Pustule Caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* on Soybean Yield

Sung-Jun Hong*, Yong-Ki Kim, Hyeong-Jin Jee, Chang-Ki Shim, Min-Jeong Kim, Jong-Ho Park, Eun-Jung Han and Bong-Choon Lee¹

Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development administration, Suwon 441-707, Korea

¹Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development administration, Suwon 441-707, Korea

(Received on November 4, 2011; Revised on December 4, 2011; Accepted on December 8, 2011)

Bacterial pustule of soybean (*Glycine max*) caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* is one of the most prevalent bacterial diseases of soybean in Korea, where it causes considerable yield loss. This study was carried out to develop yield prediction model for bacterial pustule by analyzing correlation between the percentage of diseased leaf area and yield. The severe disease incidence of soybean bacterial pustule caused yield losses by 19.8% in 2006 and 16.8% in 2007, respectively. Severity of bacterial pustule greatly affected on 100 seed weight and yield, but did not on stem length, number of branches per plant, number of pods per plant, number of seeds per plant. On the other hand, correlation coefficients between diseased leaf area and yield were -0.93^{**} (06) and -0.77^{**} (07), respectively. The regression equation obtained by analyzing correlation between the percentage of diseased leaf area and yield loss in 2006 and in 2007 was $y = -3.2914x + 348.19$ ($R^2 = 0.8603$) and $y = -2.9671x + 302.08$ ($R^2 = 0.9411$), respectively. These results will be helpful in estimating losses on a field-scale and thereby predicting the production of soybean.

Keywords : Estimation of yield loss, Soybean bacterial pustule, *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*

서론

콩은 중요한 식량작물이며 지력 유지 및 증진을 위한 작부체계측면에서도 매우 중요한 작물이다. 최근에 곡물 가격 폭등, GMO 콩의 수입 등으로 인한 국산 콩의 우수성 및 안전성에 대한 인식 향상으로 콩 수요가 증가 추세에 있으며, 또한 콩은 벼 다음으로 식량안보차원에서 안전생산 기반 확충이 필요한 중요한 작물이다. 하지만 국내의 식용콩 자급률은 32.5%, 사료용을 포함한 자급률은 8.4%

정도로 국내자급도가 매우 낮은 실정이다(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010). 콩의 생육기간 중에는 다양한 종류의 병이 발생하는데 현재까지 콩을 침해하는 병원균으로 국내에 발생이 보고된 것은 약 30종으로 세균 4종, 곰팡이 22종, 바이러스 4종이 확인되고 있다. 이들 중 약 10여종이 주요 병으로 구분되고 있으며, 바이러스병은 괴저모자이크병(SMV), 세균병에는 불마름병과 들불병, 곰팡이병에는 자주무늬병, 미이라병, 탄저병, 역병, 갈색무늬병, 점무늬병, 뿌리썩음병 등이 주요 병으로 알려져 있다. 특히 세균성 병해 중 우리나라에서는 주로 잎에 발생하는 콩 불마름병은 식물병원세균인 *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*에 의해 발생하는 병으로, 우리나라에 발생하는 세균성 병해 중 가장 문제시되고 있다. 불마

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0555, Fax) +82-31-290-0507

Email) hongsj7@korea.kr

름병은 보통 7월에서 9월까지 콩 재배포장에서는 어디거나 관찰되는데, 근래 전국적으로 확산되고 있는 실정이다. Lee(1999)의 보고에 따르면 우리나라에서 널리 재배되고 있는 황금콩과 장엽콩 뿐만 아니라, 장려품종으로 지정된 진품콩, 검정콩 1호, 무한콩, 태광콩, 보광콩 등 공시된 거의 모든 품종에서 불마름병에 감염되는 것으로 조사되었다. 최근 영남지역 콩 불마름병 발생조사 결과 78개 포장 중 89.7% 인 70개 포장에서 불마름병 발생이 확인되었으며(Hong 등, 2010), 97-98년 2년간에 걸쳐 전국적으로 조사한 바에 의하면 경기, 강원, 충북, 충남, 경북, 전북 등 99개 콩 재배포장 중 약 86%인 85개 포장에서 불마름병 발생이 확인되었다(Lee, 1999).

콩에 발생하는 병에 의한 피해는 미국의 경우 2007년 약 8백만 톤 정도의 수량이 감소되었으며 그 중 세균성 병해(불마름병, 들불병, 세균점무늬병 등)에 의해서는 16.7만 톤 정도 수량감소가 되었다(Wrathier와 Koenning, 2009). 세균성 병해에 의한 16.7만 톤의 수량감소는 우리나라 2009년 콩 총생산량인 13.9만 톤을 넘는 수준으로 세균성 병해에 의한 피해가 콩 생산에 큰 걸림돌이 된다고 하겠다. 콩 세균점무늬병에 의한 수량감소는 Park 등(1986)이 감수성 품종에서 인공접종을 통하여 수량 5-15%, 종자 무게 5-9% 감소된다고 보고하였으며, 또한 Williams 등(1980)도 세균점무늬병에 의하여 수량이 17.9% 감소된다고 하였다. 국내에서는 갈색무늬병에 의한 수량 평가에서 인공접종을 통해서 16.1%, 자연감염에 의해서는 9.0% 감소된다는 보고가 있다(Oh와 Kwon, 1983). 콩 불마름병 발생에 의한 수량감소에 대해서 Weber 등(1966)은 감수성 품종에서 4.3% 감소된다고 하였으며, Hartwig 등(1953)은 인공접종을 통하여 저항성 품종보다 감수성 품종에서 11% 정도 수량이 감소되고 또한 종실의 주요 영양성분인 단백질 함량을 낮춘다고 하였다. 특히 미국 남부지역의 경우 자연전염을 통해 저항성 품종에 비해 감수성 품종에서 8-11% 더 수량이 감소된다는 보고(Graham, 1953)가 있으며, 인도의 경우에는 병원균 인공접종을 통해 14-53% 수량감소를 보고하였다(Shukla, 1994). 하지만 Hwang과 Lim(1992)은 콩에 발생하는 세균성 병해인 불마름병, 세균점무늬병, 들불병 병원균을 단독 혹은 혼합접종하여도 자연감염된 처리구의 수량과 통계적인 유의성이 없다고 하였다. 국내의 경우는 불마름병에 의한 직접적인 수량감소에 대한 보고가 아직까지 없는 실정이지만 외국의 보고와 비교하면 국내도 심각한 피해를 줄 것으로 생각되어진다. 작물의 병에 의한 수량감소의 실질적인 평가는 정밀한 실험을 통한 자료가 필요하며, 또한 다양한 병 발생에 따른 작물수량감소모델은 최소한의 수량 예측을 가

능하도록 하기 때문에 콩의 안정된 수량 확보를 위한 기초 자료로 불마름병의 발병에 대한 피해 해석은 중요하다고 하겠다. 국내에서 도열병, 흰가루병, 역병 등(Shim 등, 2003; Kim 등, 2006; Kang 등, 2011) 중요한 식물병에 대한 방제수준 및 수량감소모델이 설정되어 있지만 아직까지 국내에서 불마름병 발병에 따른 수량감소 등 피해에 대한 직접적인 연구는 거의 수행되지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 콩 불마름병 발병 정도에 따른 수량과 수량구성요소에 미치는 영향을 조사하여 병 발생 정도에 따른 수량예측모델을 제시하고, 이를 통하여 향후 콩의 안정된 생산 및 수량 확보를 위한 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험 품종 및 재배 방법. 콩 불마름병 발병정도와 시기에 따른 피해정도 및 수량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2006년, 2007년 2년 동안 영남농업연구소 시험포장 및 하우스(포트재배)에서 시험을 실시하였다. 연구소 포장에 불마름병 감수성 품종인 태광콩을 1주 2립씩(5 kg/10a), 비닐멀칭(흑색), 재식거리 40 cm × 25 cm로 파종하였고(06년 5월 29일, 07년 6월 12일), 시비량은 성분량(N-P₂O₅-K₂O)으로 콩 표준시비량인 4-7-6 kg/10a을 전량 기비로 사용하였으며 나머지는 농촌진흥청 표준재배법에 따라 재배하였다. 포트실험은 감수성 품종인 태광콩, 만리콩 그리고 저항성 품종인 풍산나물콩 등 3품종을 사용하였다. 시험품종별 2립씩 각각 30포트에 파종(06년 6월 16일, 07년 6월 21)한 후 1일 2회 5분간 스프링클러로 관수하면서 재배하였다.

처리별 발병조절 및 발병조사. 시험포장에서의 불마름병 발병률에 따른 피해정도를 알아보기 위해 발병정도를 4수준(병반면적률 기준)으로 조절하였으며 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 각 처리구의 면적은 최소 20 m²로 구획하였다. 발병정도별 4개 처리구의 병 발생은 인공접종 및 약제처리를 통하여 조절하였다. 병원균 접종에 사용된 *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*는 전년도 시험포장의 병든 잎에서 분리하여 동정 후 병원성 검정을 통해 병원성이 확인된 균주를 -70°C에서 동결보존하면서 실험에 사용하였다. 병원균 배양은 PSA (peptone-sucrose agar) 배지에서 3일간 28°C 배양기에서 키워서 사용하였으며, 접종 농도는 OD₆₀₀값으로 0.5(약 5 × 10⁸ cfu/ml)를 맞춘 후 살균된 10 mM MgCl₂를 가지고 희석하여 농도를 조절하였다. 약제처리는 불마름병 병원균 방제에 효과가 있다고 알려진 테트라싸이클린 계통의 약제를 선발하여 추천농도로

Fig. 1. Disease progress curve of soybean bacterial pustule when its pathogen was inoculated at different time in 2007. Treatment I: Control, bactericide spraying, Treatment II: Pathogen inoculation, bactericide spraying, Treatment III: Pathogen inoculation, Treatment IV: Pathogen inoculation (7/13, 7/20, 7/26, 10^{6-7} cfu/ml).

처리하였다(Hong 등, 2010).

처리구별 발병조절은 Shukla(1994)가 불마름병 발병률을 조절했던 방법에서 병원균 접종 및 약제살포횟수를 약간 다르게 하여 수행하였다. 포장시험에서는 처리구IV는 병원균을 10^{6-7} cfu/ml 농도로 7월 이후 일주일 간격으로 3회에 걸쳐 스프레이 접종을 하였으며, 처리구III은 병원균 농도 10^{5-6} cfu/ml로 일주일 간격 2회 접종, 처리구II는 병원균 농도 10^{5-6} cfu/ml로 병원균 1회 접종 및 약제 1회 처리 그리고 처리구I은 무접종, 약제 2회 처리하여 병 발생정도에 차이를 두었다. 일반적인 불마름병 발생의 경우 7월부터 9월에 날씨가 고온다습하고 비가 자주 오는 경우에 심하게 발생하기 때문에 처리구의 병원균 인공접종을 7월에 실시하였다. 불마름병 발병시기에 따른 수량감소 및 피해정도를 구명하기 위한 포트시험은 발병시기를 3본엽기(V3 stage)-5본엽기(V5 stage), 개화시(R1 stage)-개화기(R2 stage) 두 시기로 조절하여 시험을 실시하였다. 발병조절은 병원균을 10^{6-7} cfu/ml 농도로 3본엽기-5본엽기는 7월 중순경에 2번, 개화시-개화기는 8월 중순경에 2번 인공접종하여 발병을 유도하였다.

불마름병의 포장에서의 발병조사는 7월부터 9월까지 1주일 간격으로 처리별 20주 이상, 3반복으로 다음과 같은 기준으로 병반면적률을 조사하였다.

$$\text{포기당 병반면적률 (\%)} = \frac{\text{조사 엽의 병반면적률 합계}}{\text{총 조사 엽수}} \\ (\text{포기당 상위 20 엽 이상을 조사})$$

$$\text{평균 병반면적률 (\%)} = \frac{\text{포기당 병반면적률 합계}}{\text{총 조사 포기 (처리구당 20 포기 조사)}}$$

수량 및 수량구성요소조사. 콩 불마름병 발병이 수량 및 수량구성요소에 미치는 영향을 조사하기 위해 포장시험에서는 처리구별로 20주씩 3반복 수확하여 경장, 분지수, 협수, 립수, 100립 중 수량을 조사하였다. 포트시험에서는 3품종의 발병시기별로 10주씩 수확하여 접종시기별, 품종별 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

자료분석. 불마름병 발병정도에 따른 경장, 분지수, 협수, 립수, 100립중과 수량은 SAS의 분산분석(ANOVA)으로 유의성을 검정하였다. 또한 이들 상호요인간의 상관을 구하여 병반면적률과 상관이 높은 요인들에 대하여는 회귀분석법을 이용하여 회귀식을 구하였다.

결과 및 고찰

콩 불마름병 발생 및 중간생육조사. 07년도의 시험포장 병 발생조사 결과를 보면 처리구별로 접종한 후 5-7일 경에 초기 병징이 확인이 되었으며 무처리구(무접종)에서의 자연발병은 7월 말에 병징이 처음 확인되었다. 07년도의 처리구별 발생정도는 병 발생이 심해지는 8월 중순을 기준으로 처리구I은 병반면적률 3-8%, 처리구II는 병반면적률 9-15%, 처리구III은 병반면적률 16-22% 그리고 처리구IV는 병반면적률 23-30%로 조사되었다(Fig. 1). 또한 콩 불마름병 발생이 심해지면 엽병 부위가 약해지면서 비바람 등에 의해 구부러진 후(Fig. 2A) 조기낙엽되는 증상을 보였으며(Fig. 2B), 병 발생정도에 따라 생육중기(9월 19일 조사)에 수량 구성요소, 엽수 및 광량을 조사한 결과, 경장과 분지수, 피해협수 등은 처리구에 따른 유의성 차이가 없으나 협수, 엽수, 광량은 처리구에 따른 유의성이 있는

Fig. 2. Typical symptoms of soybean bacterial pustule caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* on the field. (A) Damaged leafstalk and leaves, (B) Symptoms of the infected soybean after defoliation, (C) Severely infected soybeans by artificially inoculating with *X. axonopodis* pv. *glycines*, (D) Naturally infected field.

Table 1. Growth measurements and disease severity of soybean bacterial pustule at grain filling period of soybean^a

Treatment (Diseased leaf area)	Plant length (cm)	Stem length (cm)	Number of				Intensity of radiation ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
			Branches	Pods	Damaged pods	Leaves	
Treatment I (7.6%)	99.2 ^{ns}	67.1 ^{ns}	5 ^{ns}	85.8ab	12.25 ^{ns}	117a	1045.6a ^x
Treatment II (10.4%)	98.7 ^{ns}	62.5 ^{ns}	4.9 ^{ns}	101.2a	11.5 ^{ns}	102a	919.4ab
Treatment III (18.2%)	98.9 ^{ns}	63.3 ^{ns}	5.4 ^{ns}	96.2a	9.5 ^{ns}	83.5ab	770.8bc
Treatment IV (20.6%)	93.6 ^{ns}	61.1 ^{ns}	4.4 ^{ns}	53.3b	14 ^{ns}	65b	562.4c

^xWithin columns, means followed by the same letters are not significantly different ($P = 0.05$) according to Duncan's multiple range test, ns: not significant. ^aSeptember 19 in 2007.

것으로 조사되었다. 특히, 엽수와 광량은 처리구IV(병반면적률 20.6%)의 개체당 엽수 65개, 1 m^2 당 엽에서 받는 광량은 $562.4\text{ }\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 처리구I (병반면적률 7.6%)의 개체당 엽수 117개, 광량 $1045.6\text{ }\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 보다 엽수 및 1 m^2 당 엽에서 받는 광량이 약 50% 정도 적음을 알 수 있었다(Table 1). 또한 성숙기가 되어 병원균 집중으로 인해 병 발생이 많았던 처리구IV (Fig. 2C)와 약제처리로 병 발생이 적었던 처리구I(Fig. 2D)를 같은 날(10월 4일) 비교하였을 때 처리구IV가 눈에 띄게 조기 낙엽된다는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 발병률이 높은 처리구에서 조기낙엽된다는 것을 확인할 수 있었으며, 조기낙엽되기 시작한 시점이 8월말부터 9월초로 처리구IV의 병반면적률이 갑자기 감소되었으며(Fig. 1) 이때의 콩 생육상태

는 종실 비대기에 해당된다. 조기낙엽이 되기 시작하면 광량이 적어져서 광합성 효율이 떨어지며 이에 따라 종실이 충실하게 성숙되지 못하게 되는데 위와 같은 이유로 인해 종자 크기의 감소 및 미성숙된 종자가 생산되고 결과적으로 100립중 및 수량에 영향을 주는 것으로 생각된다. 이것은 Weber 등(1966)이 종자 크기감소가 수량감소에 영향을 준다는 보고와 일치되는 경향이였으며, 위와 같은 종자 무게 감소에 의한 수량감소는 콩 세균점무늬병과 갈색무늬병(Brown spot)에서도 보고된 바 있다(Park 등, 1986, Pataky 등, 1981).

발병정도에 따른 수량 조사(포장). 발병정도의 기준은 위에서 조사한 발생조사를 기본으로 하여 병 발생이 심해지는 8월 중하순 기간의 병반면적률을 평균하여 처리

Table 2. Yield and yield components of cultivar Taekwangkong in 2006

Treatment (Diseased leaf area %)	Stem length (cm)	Yield components			100 seed wt. (g)	Yield (kg/10a)	Yield index (%)
		Branches per plant	Pods per plant	Seeds per plant			
Treatment I (5.0%)	93.1	5.8 ^{ns}	106.3 ^{ns}	195.8 ^{ns}	23.6a	328.0a ^x	100
Treatment II (13.0%)	81.7	5.0 ^{ns}	116.5 ^{ns}	217.9 ^{ns}	20.6b	318.9ab	97.2
Treatment III (20.0%)	78.5	5.4 ^{ns}	96.1 ^{ns}	177.2 ^{ns}	21.3b	266.9b	81.4
Treatment IV (27.0%)	70.1	4.1 ^{ns}	98.5 ^{ns}	178.5 ^{ns}	21.3b	264.9b	80.8

^xWithin columns, means followed by the same letters are not significantly different ($P = 0.05$) according to Duncans's multiple range test, ns: not significant.

Table 3. Yield and yield components of cultivar Taekwangkong in 2007

Treatment (Diseased leaf area %)	Stem length (cm)	Yield components			100 seed wt. (g)	Yield (kg/10a)	Yield index (%)
		Branches per plant	Pods per plant	Seeds per plant			
Treatment I (7.0%)	81.3	3.9 ^{ns}	89.6 ^{ns}	117.0 ^{ns}	23.1a	277.4a ^x	100
Treatment II (11.0%)	80.3	3.7 ^{ns}	87.0 ^{ns}	117.5 ^{ns}	22.4a	276.9a	99.8
Treatment III (19.0%)	75.0	3.5 ^{ns}	75.0 ^{ns}	111.1 ^{ns}	22.2a	240.2ab	86.6
Treatment IV (25.0%)	68.4	3.5 ^{ns}	75.4 ^{ns}	117.9 ^{ns}	20.9b	230.7b	83.2

^xWithin columns, means followed by the same letters are not significantly different ($P = 0.05$) according to Duncans's multiple range test, ns: not significant.

구별 병반면적률 기준으로 설정하였다. 2개년의 수량을 비교하였을 때 07년도 수량이 06년도에 비해 크게 감소되었는데, 이는 07년도의 이상기후 및 일조량 부족으로 인한 기상상황의 영향으로 생각되어진다. 시험결과 2개년도 모두 불마름병 병반면적률이 증가함에 따라 유의성 있게 수량이 감소하는 것을 알 수 있었으며, 불마름병이 심하게 발병된 처리구의 경우 무처리구(약제처리)와 비교하면 수량이 19.8%(2006년), 16.8%(2007년) 감소되는 것으로 조사되었다(Table 2, 3). 06년 경우 처리구I(평균 병반면적률 5.0%)과 처리구II(평균 병반면적률 13.0%)의 처리간 평균 병반면적률은 8.0% 정도 차이가 발생하였지만 수량 차이는 9.1 kg 정도이었으며, 처리구III(평균 병반면적률 20.0%)과 처리구IV(평균 병반면적률 27.0%)의 처리간 평균 병반면적률 차이는 7.0%이지만 수량 차이는 2 kg 밖에 차이가 나지 않았다. 하지만 처리구II(평균 병반면적률 13.0%)와 처리구III(평균 병반면적률 20.0%)의 평균 병반면적률 차이는 7.0%이지만 수량은 52.0 kg 차이가 발생하였다(Table 2). 07년도 비슷한 결과를 확인할 수가 있었는데 처리구I(평균 병반면적률 7.0%)과 처리구II(평균 병반면적률 11.0%)의 수량 차이는 0.5 kg, 처리구III(평균 병반면적률 19.0%)과 처리구IV(평균 병반면적률 25.0%)의

수량 차이는 9.5 kg이었으나 처리구II(평균 병반면적률 11.0%)와 처리구III(평균 병반면적률 19.0%)의 수량 차이는 36.7 kg로 차이가 크게 발생하였다(Table 3). 위의 결과를 보면 평균 병반면적률이 증가함에 따라서 수량이 감소되지만 병반면적률 11% 이하일 경우에는 통계적인 유의성이 있을 정도의 수량감소는 되지 않는 것을 알 수 있었다. 하지만 평균 병반면적률이 11~20%에서 수량이 급격히 감소하는 것을 확인할 수가 있었는데 이것은 아마도 어느 수준 이상으로 병원균에 의해 피해를 받게 되면 콩의 보상능력의 한계를 넘어서 수량감소가 되는 것으로 생각되며 그 수준이 평균 병반면적률 11%에서 20% 사이일 것으로 판단된다. Shukla(1994)는 인도에서 인공접종과 약제처리를 이용하여 불마름병 발병을 5단계로 조절하여 수량 및 100립중을 조사하였는데 10% 이하 처리구를 기준으로 하여 수량감소율은 15~53%이었다. 본 실험에서의 최대 수량감소율이 19.8%인 것을 생각하면 2배 이상 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 불마름병의 발병환경이 인도가 더 적합하여 병원균의 생육 및 전파가 더 유리하기 때문일 것이라 생각된다. 수량 뿐만 아니라 100립중도 병반면적률에 따라 감소되는 것으로 조사되었는데 06년의 경우 23.6 g(처리구I)에서 21.3 g(처리구IV)으로, 2007년에

Table 4. Yield measurements with disease severity of soybean bacterial pustule when the pathogen was inoculated on three cultivars of potted soybean at different growth stages in 2006

Cultivar	Inoculation stage	Stem length (cm)	Number of			100 seed wt. (g)	Yield (g/plant)
			Branches	Pods	Seeds		
Taekwangkong	V3-V5 stage	38.9 ^b	5.0 ^{ns}	54.3 ^{ns}	104.2 ^{ns}	21.2 ^b	21.7 ^b ^x
	R1-R2 stage	39.1 ^b	4.1 ^{ns}	43.6 ^{ns}	87.0 ^{ns}	21.1 ^b	18.3 ^b
	Control	43.3 ^a	4.6 ^{ns}	58.9 ^{ns}	115.6 ^{ns}	25.3 ^a	29.1 ^a
Mallikong	V3-V5 stage	35.9 ^{ns}	5.2 ^{ns}	49.8 ^b	106.9 ^{ns}	19.3 ^{ns}	20.3 ^b
	R1-R2 stage	38.8 ^{ns}	5.3 ^{ns}	61.3 ^a	135.3 ^{ns}	21.2 ^{ns}	28.4 ^{ab}
	Control	38.9 ^{ns}	5.1 ^{ns}	67.8 ^a	138.4 ^{ns}	22.7 ^{ns}	31.7 ^a
Pungsan-namulkong	V3-V5 stage	36.3 ^{ns}	7.4 ^{ns}	114.6 ^{ns}	255.2 ^b	16.2 ^{ns}	41.9 ^{ns}
	R1-R2 stage	31.8 ^{ns}	7.0 ^{ns}	123.6 ^{ns}	327.4 ^a	13.9 ^{ns}	45.3 ^{ns}
	Control	37.3 ^{ns}	6.8 ^{ns}	148.5 ^{ns}	328.5 ^a	13.4 ^{ns}	43.7 ^{ns}

^xWithin columns, means followed by the same letters are not significantly different ($P = 0.05$) according to Duncan's multiple range test, ns: not significant, Inoculation time: V3-V5 stage (14 July, 24 July), R1-R2 stage (9 August, 14 August).

Table 5. Yield measurements with disease severity of soybean bacterial pustule when the pathogen was inoculated on three cultivars of potted soybean at different growth stages in 2007

Cultivars	Inoculation stage	Stem length (cm)	Number of			100 seed wt. (g)	Yield (g/plant)
			Branches	Pods	Seeds		
Taekwangkong	V3-V5 stage	41.4 ^{ns}	1.5 ^{ns}	40.3 ^{ns}	64 ^{ns}	23.4 ^b	15.5 ^b ^x
	R1-R2 stage	46.3 ^{ns}	1.9 ^{ns}	47.8 ^{ns}	75 ^{ns}	26.5 ^{ab}	19.4 ^a
	Control	45.5 ^{ns}	2.3 ^{ns}	47.1 ^{ns}	75.2 ^{ns}	27.3 ^a	21.1 ^a
Mallikong	V3-V5 stage	43.4 ^{ns}	2 ^{ns}	41.1 ^{ns}	71.3 ^{ns}	22.6 ^b	17.6 ^b
	R1-R2 stage	41.8 ^{ns}	2 ^{ns}	43.9 ^{ns}	70.9 ^{ns}	22.1 ^b	20.3 ^a
	Control	41.3 ^{ns}	2.3 ^{ns}	45.7 ^{ns}	66.9 ^{ns}	27.6 ^a	19.5 ^{ab}
Pungsan-namulkong	V3-V5 stage	48.0 ^a	2.9 ^{ns}	78.9 ^{ns}	153.4 ^{ns}	12.2 ^b	21.7 ^{ns}
	R1-R2 stage	36.0 ^b	2.3 ^{ns}	98.7 ^{ns}	174.3 ^{ns}	12.5 ^b	22.3 ^{ns}
	Control	40.8 ^{ab}	3.1 ^{ns}	81.8 ^{ns}	167.8 ^{ns}	12.9 ^a	22.7 ^{ns}

^xWithin columns, means followed by the same letters are not significantly different ($P = 0.05$) according to Duncan's multiple range test, ns: not significant, Inoculation time: V3-V5 stage (13 July, 24 July), R1-R2 stage (21 August, 24 August).

는 23.1 g(처리구I)에서 20.9 g(처리구IV)으로 줄어드는 것을 알 수 있었다(Table 2, 3). 하지만 수량구성요소 중 경장, 분지수, 협수, 립수는 병반면적률에 따른 처리구별 유의성이 인정되지 않았으며 100립중 및 수량만이 유의성이 인정되었다. 이것은 Laviolette 등(1970), Hartwig 등(1953)이 콩 불마름병에 의한 경제적 피해는 콩의 수량구성요소 중 협당립수 및 100립중을 감소시켜 7–15%의 수확량 감소를 가져온다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다. 즉 수량구성요소 중 100립중의 감소가 수량감소에 직접적인 영향을 주는 것으로 조사되었다. 하지만 Moon 등(2006)이 불마름병 인공접종에 의해 콩의 수량구성요소 중 주당협수 및 100립중이 감소하고 수량도 감소하는 경향이었으나 유의성이 인정되지 않는다는 보고와는 다소

차이가 나는 결과를 나타내었다. 또한 Hwang 과 Lim(1992)은 콩은 빠른 영양생장으로 광합성 보상능력이 뛰어나 영양생장시기에 불마름병이나 세균점무늬병에 의한 조기낙엽은 수량에 영향을 미치지 않지만 착엽기(R3 stage)에 조기낙엽증상이 발생한다면 수량에 영향을 미친다고 보고하였다. 본 실험에서는 병원균 접종 후 발병률이 높았던 처리구IV의 경우 조기낙엽이 착엽기 이후인 종실비대기 경에 발생하였다. 이런 이유 등으로 불마름병 발병에 따른 수량감소는 충분한 설득력을 가질 것으로 생각된다.

발병시기가 수량에 미치는 영향(포트재배). 3개 품종을 대상으로 시험을 수행한 결과, 태광콩과 만리콩의 경우 불마름병의 발병률은 3본엽기–5본엽기의 경우는 12.5–20% 정도의 병반면적률, 개화시–개화기는 5–12% 정도의

Table 6. Correlation between diseased leaf area and yield components in 2006

	No. of pods per plant	No. of seeds per plant	100 seed wt. (g)	Yield (kg/10a)
Percentage of diseased leaf area	-0.34 ^{ns}	-0.43 ^{ns}	-0.66 ^{ns}	-0.93 ^{*a)}
No. of pods per plant		0.98*	-0.22 ^{ns}	0.65 ^{ns}
No. of seeds per plant			-0.22 ^{ns}	0.72 ^{ns}
100 seed wt.(g)				0.44 ^{ns}

*: significantly different at 5% level, ns: not significant.

Table 7. Correlation between diseased leaf area and yield components in 2007

	No. of pods per plant	No. of seeds per plant	100 seed wt. (g)	Yield (kg/10a)
Percentage of diseased leaf area	-0.68*	-0.04 ^{ns}	-0.77*	-0.77 ^{*a)}
No. of pods per plant		0.74*	0.24 ^{ns}	0.8*
No. of seeds per plant			-0.31 ^{ns}	0.45 ^{ns}
100 seed wt.(g)				0.59*

*: significantly different at 5% level, ns: not significant.

병반면적률을 나타내었으며, 풍산나물콩은 두 시기 모두 약 5% 정도의 병반면적률을 나타내었다. 06년도 태광콩, 만리콩은 발병시기에 따른 경장, 분지수, 협수, 립수, 100립중, 수량 등 모든 요소에 대해 유의차가 인정되지 않아 영향이 없는 것으로 나타났으나, 병원균을 접종하지 않은 무처리구와 비교했을 때는 포장실험과 유사하게 100립중 및 수량에서 유의성 있는 차이가 확인되었다(Table 4). 태광콩, 만리콩은 불마름병에 대해 감수성 품종으로 발병정도에 따른 수량의 유의차가 인정되었으나, 풍산나물콩은 두 품종에 비해 중도저항성 품종으로 인공접종에 의한 발병률이 높지 않았고 이에 따라 모든 수량구성요소들에 대해 영향이 없는 것으로 조사되었다. 07년 결과도 06년과 유사하게 풍산나물콩은 아무런 영향이 없었으며, 태광콩과 만리콩의 경우 발병시기에 따라 경장, 분지수, 협수, 립수, 100립중에는 영향이 없었으나 수량에서는 약간의 유의성을 나타내었다(Table 5). 본 시험에서는 발병시기를 2개로 구분하여 수량에 미치는 영향을 확인하고자 하였으나 06년 시험에서는 100립중 및 평균수량에서는 차이가 나는 경향이 보였으나 통계적인 유의성은 없는 것으로 조사되었다. 하지만 07년 시험에서는 발병시기에 따른 수량의 변화가 유의성 있게 조사되어 환경요인을 줄이고자 시설하우스 내에서 포트 실험을 진행했음에도 연차 간 외부환경요인을 완전히 배제하지 못한 것으로 생각된다. 향후 발병시기가 더 세분화된 시험이 필요할 것으로 생각된다. Park 등(1986)은 콩 세균점무늬병 피해해석실험에서 생육시기(V3, V6, R2, R3, R5 stage)별로 인공접종을 실시하여 발병률과 수량을 조사한 결과 착엽기(R3 stage)에서 접종했을 때 발병률과 수량감소가 가장 심하

다고 보고하면서 그 원인을 피해를 입은 중위엽들의 광합성 엽면적의 감소에 있다고 하였다. 이것은 콩에서 상위엽이나 하위엽의 제거보다 중위엽 제거시 가장 큰 수량감소를 가져온다는 보고와 일치하는 내용이다(Johnston과 Pendleton, 1968).

수량구성요인과의 상관 및 수량예측모델. 콩 불마름병 병반면적률에 따른 수량구성요소 및 수량과의 상관관계를 분석한 결과 06년도는 병반면적률에 대한 수량과의 상관은 5% 유의수준에서 -0.93 부의상관이 있었으며 개체당 협수, 립수, 100립중은 유의차가 인정되지 않았다. 하지만 07년도는 병반면적률에 대한 100립중 및 수량의 상관은 5% 유의수준에서 -0.77, 개체당협수는 -0.68의 부의상관이 있음을 알 수 있었다(Table 6, 7). 2년에 걸친 실험의 결과를 보면 각 요인과의 상관이 조금씩 차이는 있었으나 병반면적률에 따른 수량과의 관계는 06년, 07년 모두 부의상관이 있음을 확인하였다. 이와 같은 관계를 볼 때 불마름병 발생은 개체당 협수를 적게 하고 100립중을 감소시킴으로서 결과적으로 수량이 줄어드는 것으로 생각되어진다. 하지만 이것도 연차간 변이와 콩 생육에서의 보상효과 등에 대한 변이를 완전히 배제하지는 못할 것으로 사료된다. 상관분석결과를 가지고 불마름병 평균 병반면적률을 독립변수(X)로 하고 수량을 종속변수(Y)로 회귀분석을 한 결과, 06년도는 $y = -3.2914x + 348.19$ ($R^2 = 0.8603$), 2007년도는 $y = -2.9671x + 302.08$ ($R^2 = 0.9411$) 이라는 직선회귀식을 구할 수 있었다(Fig. 3, 4). 이런 회귀식을 불마름병의 발병에 따른 수량예측모델로 사용하였을 때 불마름병 발병으로 해석가능한 수량의 변이는 최대 86.0%(06년)-94.1%(07년)였고, 나머지 5.9%

Fig. 3. Linear regression between yield and percent of diseased leaf area in 2006.

Fig. 4. Linear regression between yield and percent of diseased leaf area in 2007.

(07년)–14.0%(06년)는 불마름병 발병 외의 환경요인에 의한 것으로 생각할 수 있을 것이다. 이런 예측모델의 변이요인을 줄이고 적합도를 높이기 위해서는 좀 더 세분화된 발병률 조절, 다양한 품종과 지역에서 반복적인 포장 시험이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

Xanthomonas axonopodis pv. *glycines*에 의해 발병되는 콩 불마름병은 콩에 가장 많이 발생하는 중요한 세균성 병해 중 하나로 콩 수량에 심각한 손실을 가져온다. 본 연구는 불마름병 병반면적률에 따른 수량예측모델을 개발하기 위해 수행되었다. 이번 실험의 결과 불마름병이 심하게 발병된 처리구의 경우 수량이 19.8%(2006년), 16.8%(2007년) 감소되는 것으로 조사되었다. 또한 발병률의 차이에 따라 100립중 및 수량은 영향을 받으나 경장, 분지수, 협수, 립수는 유의성있는 차이를 나타내지 못하였다. 즉 수량구성요소 중 100립중의 감소가 수량감소에 직접적인 영향을 주는 것으로 조사되었다. 2006년도와 2007년도의 연차별 콩 불마름병 병반면적률과 수량과의 상관관계를 5% 유의수준에서 분석한 결과, $-0.93(06년)$, $-0.77(07년)$ 부의상관이 있었으며, 회귀식은 각각 $y = -3.2914x + 348.19$ ($R^2 = 0.8603$), $y = -2.9671x + 302.08$ ($R^2 = 0.9411$)

로 나타낼 수 있었다. 이런 결과들은 포장에서 불마름병 발병에 따른 수량손실을 평가하고 콩 생산량을 예측하는데 도움을 줄 것으로 생각한다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ006902)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Graham, J. H. 1953. Overwintering of three bacterial pathogens of soybean. *Phytopathology* 43: 189–192.
- Hartwig, E. E. and Johnson, H. W. 1953. Effect of the bacterial pustule disease on yield and chemical composition of soybeans. *Agron. J.* 45: 22–23.
- Hong, S. J., Kim, Y. K., Jee, H. J., Lee, B. C., Yoon, Y. N. and Park, S. T. 2010. Selection of Bactericides for Controlling Soybean Bacterial Pustule. *Res. Plant Dis.* 16: 266–273. (In Korean).
- Hwang, I. and Lim, S. M. 1992. Effects of individual and multiple infections with three bacterial pathogens on disease severity and yield of soybeans. *Plant Dis.* 76: 195–198.
- Johnston, J. G. and Pendleton, J. W. 1968. Contribution of leaves at different canopy levels to seed production of upright and lodged soybeans. *Crop Sci.* 8: 291–292.
- Kang, H. J., Jeong, K. H., Ahn, K. S., Han, C. U., Kim, A. H. and Kim, Y. G. 2011. Damage analysis and establishment of control threshold for phytophthora blight of hot pepper. *Res. Plant Dis.* 17: 1–12. (In Korean)
- Kim, J. Y., Hong, S. S., Lee, J. G., Park, K. Y., Kim, H. K. and Kim, J. W. 2006. Determinants of Economic Threshold for Powdery Mildew on Cucumber. *Res. Plant Dis.* 12: 231–234. (In Korean).
- Laviolette, F. A., Athow, K. L., Probst, A. H. and Wilcox, J. P. 1970. Effect of bacterial pustule on yield of soybeans. *Crop Sci.* 10: 150–151.
- Lee, S. D. 1999. Occurrence and characterization of major plant bacterial diseases in Korea. Ph. D. thesis. Seoul University, Korea.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2010. Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook. pp. 300–301. (In Korean)
- Moon, J. K., Seo, M. J. and Ku, J. H. 2006. Screening of resistant germplasm and development of molecular markers against soybean bacterial pustule disease. *Treat. Crop Sci.* 6: 149–160.

- Oh, J. H. and Kwon, S. H. 1983. Assessment of the soybean yield reduction due to infection of Septoria brown spot, *Septoria glycines* Hemmi. *Korean J Plant Prot.* 22: 7–14. (In Korean)
- Park, E. W. and Lim, S. M. 1986. Effects of bacterial blight on soybean yield. *Plant Dis.* 70: 214–217.
- Pataky, J. K. and Lim, S. M. 1981. Effects of Septoria brown spot on the yield components of soybeans. *Plant Dis.* 65: 588–590.
- Shim, H. S., Kim, Y. K., Han, S. S. and Sung, J. M. 2003. Assessments of rice yield loss according to infection time of neck blast. *Res. Plant Dis.* 9: 68–71. (In Korean)
- Shukla, A. K. 1994. Pilot estimation studies of soybean yield losses by various levels of bacterial pustule infection. *Int. J. Pest Manag.* 40: 249–251.
- Weber, C. R., Dunleavy, J. M. and Fehr, W. R. 1966. Effect of bacterial pustule on closely related soybean lines. *Agron. J.* 58: 544–545.
- Williams, D. J. and Nyvall, R. F. 1980. Leaf infection and yield losses caused by brown spot and bacterial blight diseases of soybean. *Phytopathology* 70: 900–902.
- Wrather, J. A. and Koenning, S. R. 2009. Effects of diseases on soybean yields in the United States 1996 to 2007. Online. *Plant Health Progress* DOI:10.1094.