

콩 점무늬병 (*Cercospora sojina* Hara) 피해해석에 의한 경제적 방제수준 설정

심홍식^{1*} · 이종형² · 이용환³ · 명인식¹ · 최효원¹

¹국립농업과학원, ²경기도농업기술원, ³농촌진흥청 재해대응과

Establishment of Economic Threshold by Evaluation of Yield Component and Yield Damages Caused by Leaf Spot Disease of Soybean

Hongsik Shim^{1*}, Jong-Hyeong Lee², Yong-Hwan Lee³, Inn-Shik Myung¹ and Hyo-Won Choi¹

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea

²Gyeonggi Province Agricultural Research and Extension Services, Hwasung 445-784, Korea

³Disaster Management Division, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

(Received on July 2, 2013; Revised on September 13, 2013; Accepted on September 16, 2013)

This study was carried out to investigate yield loss due to soybean leaf spot disease caused by *Cercospora sojina* Hara and to determine the economic threshold level. The investigations revealed highly significant correlations between disease severity (diseased leaf area) and yield components (pod number per plant, total grain number per plant, total grain weight per plant, percent of ripened grain, weight of hundred seed, and yield). The correlation coefficients between leaf spot severity and each component were -0.90, -0.90, -0.92, -0.99, -0.90 and -0.94, respectively. The yield was inversely proportional to the diseased leaf area increased. The regression equation, yield prediction model, between disease severity (x) and yield (y) was obtained as $y = -3.7213x + 354.99$ ($R^2 = 0.9047$). Based on the yield prediction model, economic injury level and economic threshold level could be set as 3.3% and 2.6% of diseased leaf area of soybean.

Keywords : Leaf spot, Soybean, Threshold level, Yield loss

서 론

콩은 쌀 다음으로 중요한 식량작물임에도 불구하고 대부분이 수입에 의존하고 있으며, 현재 약 7.1%만 국내에서 자급되며 그 재배면적은 전국적으로 약 71,420 ha가 재배되고 있다. 콩의 생산성 향상을 위해 병해충 관리는 필수적이며, 지금까지 알려진 콩에 발생가능한 병해로는 바이러스병 4종, 세균병 4종, 진균병 24종이 보고되어 있다(KSPP, 2009). 콩 점무늬병(*Cercospora sojina* Hara)은 콩의 잎, 줄기, 꼬투리 및 종자에 발생하여 수량을 감소시키며(Hartman 등, 1999), 초기에는 병반들이 불규칙하게 잎에 발생하며 이 병반들이 진전되어 합쳐지면 잎이 마르고, 조기에 탈락되어 감수요인이 된다(Wrathter 등,

2001). 미국의 경우 콩 점무늬병으로 인하여 17-21% 감소되며(Laviolette 등, 1970), 나이지리아의 열대기후 환경에서도 60% 이상 감소되었다는(Dashiell과 Akem, 1991) 보고가 있다. 국내에서 벼 도열병, 오이 흰가루병, 고추 역병 등(Kang 등, 2011; Kim 등, 2006; Shim 등, 2003; Yeh 등, 2008) 중요한 식물병에 대한 방제 수준 및 수량 감소 모델이 설정되어 있다. 현재까지 콩에 발생하는 병해 중 탄저병(Moon 등, 2010)과 불마름병(Hong 등, 2011)에 대한 피해해석 연구를 수행한 바 있다. 본 연구에서는 콩 점무늬병의 발병 정도에 따른 수량과의 관계를 구명하여 경제적 피해허용수준과 방제가 필요한 발병수준을 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

콩 재배 및 발병 조사. 시험은 경기도 연천의 경기도 농업기술원 소득자원연구소 내의 포장과 연천의 농가포

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0420, Fax) +82-31-290-0406

Email) hsshim@korea.kr

장에서 실시하였다. 콩 재배는 연천지역에서 일반 농가가 재배하는 방법을 따라 2010년 6월 상순에 점무늬병에 감수성인 대원콩을 70×20 cm 간격으로 파종하여 농가 관행재배법으로 재배하였다. 콩 점무늬병 발병조사는 병반면적률을 측정할 수 있는 이미지 분석 프로그램(APS Assess ver. 2.0)을 이용하여 병반면적률의 기준을 설정하고, 포장에서 육안으로 전체 포기에 대한 병반면적률의 등급을 0, 5, 10, 20, 40, 60%로 정하여 각 10주씩을 선정하여 조사하였으며, 병반면적률에 따라 발병된 포기를 표시하여 두었다가 수확 후 수량 및 수량구성요소 분석에 활용하였다.

콩 수량 구성요소 및 수량 조사. 콩 점무늬병이 수량 및 수량구성 요소에 미치는 특성을 조사하기 위하여 각 시험 구에서 발병 정도별로 각 10주씩 표시해 두었던 콩을 수확기에 일시에 수확하였으며, 수확한 콩에 대하여 주당 총협수(꼬투리수), 총립수, 총립중, 등숙률, 100립중 등 수량 구성 요소와 시험 구에서 생산된 단위 면적당 수확량을 조사하였다.

수량구성 요소 분석 및 경제적 방제수준설정. 콩 점무늬병 발병정도별 수량구성요소(주당 총협수, 총립수, 총립중, 등숙률, 100립중)와 수량은 던칸 다중 검정하였고, 이들 상호 요인간의 상관을 구하였으며, 발병도와 수량구성요소 및 수량에 대하여 직선 회귀식을 구하였다.

다음으로는 수익역치(Gain threshold)를 산정(총 방제비용을 농산물가격으로 나눈 값)하고, 경제적 피해허용수준과 경제적 방제수준을 설정하였다. 해충의 경제적 피해수준은 단위면적당, 단위 작물 당 또는 단위샘플 당 해충수를 말하는 것으로 작물의 피해율이나 해충 개체수와 피해정도를 둘 다 고려한 조합으로 표현하기도 하는데(Park 등, 2009), 작물 병에 있어서도 이러한 개념을 도입하여 응용할 수 있다. 따라서 이러한 자료를 근거로 하여 방제비용과 시장가격은 2009 농축산물소득 자료(RDA, 2010)를 근거로 하여 산출하였다.

결과 및 고찰

콩 점무늬병 발생. 경기도 연천 지역에서 콩에 발생하는 주요 병해를 조사한 결과, 들불병(*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*)이 가장 많이 발생하였으며 다음으로 점무늬병(*C. sojina*)의 발생이 많았고, 잎마름병(*Choarephora infundibulifera*), Sleeping blight병(*Septogloeum sojiae*) 등이 발생하였다. 콩 점무늬병(*C. sojina*)은 시험 조사 지역의 경우 대략 7월 중순부터 발병하기 시작되어 피해가 나타났다. 콩 점무늬병의 피해로 국내에서는 1991년 연천지역에서 약 15%가 감수되었으며, 보통 7월 하순부터 8월 상순의 기상환경이 24–26°C, 상대습도 83–87%로 중온다습 조건에서 발병률이 증가하고, 부위별로는 잎(75%) > 줄기(20%) > 꼬투리 (5%) 순으로 발병이 많은 것으로 조사되었다.

콩 점무늬병 발병 수준별 수량 및 수량 구성 요소. 콩 점무늬병 발병 정도에 따른 수량 특성을 보면(Table 1), 발병이 많아질수록 주당협수, 주당 총립수, 주당 총립중, 100립중과 수량이 유의하게 적어지는 경향이였다. 병반면적률 5% 수준에서는 수량 및 수량 구성 요소에 큰 차이를 보이지 않았으나, 병반면적률이 높아질수록 수량 및 수량 구성 요소는 감소하였다. 100립중의 감소는 수량 감소에 직접적인 영향을 주며(Hong 등, 2011), 콩 갈색무늬병 발병 정도(병반면적률)가 심할수록 수량이 감소하고(Lim, 1980), 콩 탄저병에 걸린 꼬투리가 많을수록 수량이 감소한다는(Moon 등, 2010) 보고와 같이 본 연구에서도 콩 점무늬병 발병이 심할수록 수량 및 수량 구성 요소가 각각 감소하는 경향이였다.

콩 점무늬병 발생 정도에 따른 수량 구성 요소와 수량과의 상관 및 수량 예측 모델. 콩 점무늬병과 수량구성요인들과의 상관을 보면 Table 2와 같다. 콩 점무늬병 발병도와 주당 협수, 주당 총립수, 주당 총립중, 등숙률, 100립중 및 수량과의 상관계수는 각각 -0.90, -0.90, -0.92,

Table 1. Yield and yield components of soybean according to the various leaf spot disease levels in fields at Yeoncheon, in Korea

Diseased leaf area (%)	No. pods /plant	No. total seeds /plant	Seed weight /plant (g)	Ripened grain (%)	100 seeds weight (g)	Yield (kg/10a)
0	132.2 ab ²	310.4 a	55.7 a	96.2 a	22.3 ab	382.6 a
5	131.3 ab	259.6 ab	51.9 ab	95.1 a	23.2 a	352.5 ab
10	133.8 a	262.0 ab	46.8 ab	93.8 ab	21.4 ab	313.3 ab
20	108.9 abc	199.1 b	39.5 bc	93.2 ab	20.1 bc	266.0 bc
40	81.4 c	158.8 b	29.8 c	86.2 ab	18.6 c	188.1 c
60	90.3 bc	166.0 b	31.6 c	83.8 b	18.7 c	190.8 c

²Values followed by the same letter are not significantly different at P = 0.05 based on Duncan's multiple range test.

Table 2. Studies on correlation coefficient between leaf spot disease severity and yield components of soybean in the field experiments

Factors	No. pods /plant	No. total seeds /plant	Seed weight /plant	% ripened grain	100 seeds weight (g)	Yield (kg/10a)
Percent of diseased leaf area	-0.90 ^a	-0.90	-0.92	-0.99	-0.90	-0.94
Number of pods per plant		0.94	0.95	0.91	0.93	0.95
No. of total seeds per plant			0.98	0.89	0.90	0.98
Seed weight per plant (g)				0.93	0.96	1.00
Percent of ripened grain					0.90	0.94
100 seeds weight (g)						0.96

^aSignificant at P = 0.05, respectively.

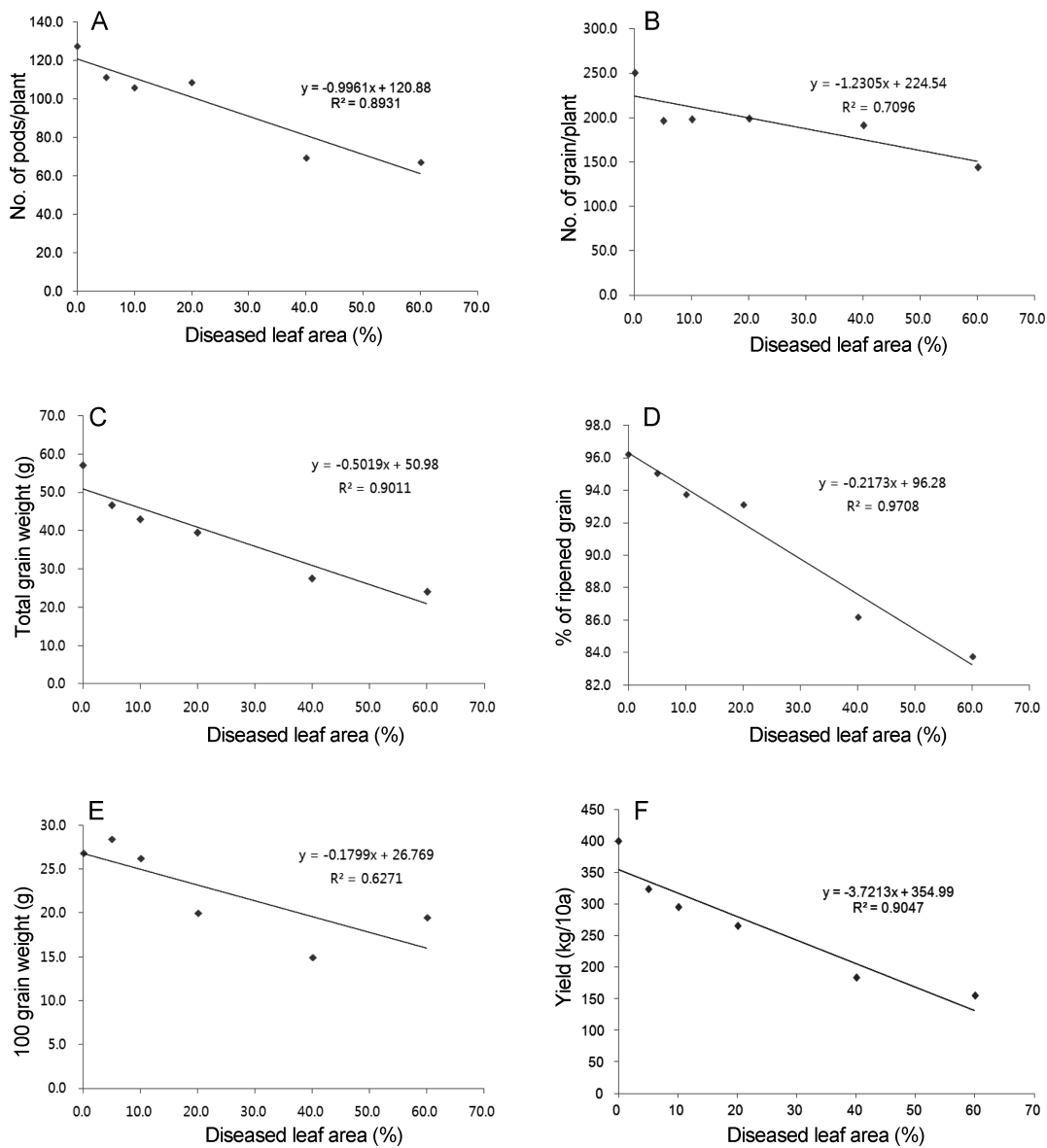


Fig. 1. Simple linear regression models derived for yield and its components of soybean plotted against % diseased leaf area with leaf spot disease in field experiments. A: number of pods, B: number of total grains per plant, C: total grains weight per plant, D: ripened grains per plant, E: a hundred grain weight, F: yield (kg/10a).

-0.99, -0.90, -0.94로 통계적으로 고도의 유의성을 나타내었다. 수량구성 요소들 간의 상관을 보면 주당 협수와 주당 총립수는 상관계수 0.94, 주당 총립수와 주당 총립중은 0.98, 주당 총립중과 등숙률은 0.93, 등숙률과 100립중은 0.90, 100립중과 수량은 0.96으로 고도의 유의성이 인정되었다. 이와 같은 관계로 볼 때 콩 점무늬병은 주당 협수를 적게 하고 등숙률 저하는 완전립수를 감소시키며 불완전립률을 증가시키고 100립중을 감소시킴으로서 결과적으로 수량이 감소되는 것으로 생각된다.

콩 점무늬병 발병면적률을 독립변수(x)로 하고 수량 및 수량구성 요인을 종속변수(y)로 하여 점무늬병 발병정도로 수량을 예측할 수 있는 단순직선회귀식을 작성하였다 (Fig. 1). 그 결과 병반면적률과 주당 총립수는 $y = -0.9961x + 120.88 (R^2 = 0.8931)$, 병반면적률과 주당 총립수는 $y = -1.2305x + 224.54 (R^2 = 0.7096)$, 병반면적률과 주당 총립중은 $y = -0.5019x + 50.98 (R^2 = 0.9011)$, 병반면적률과 등숙률은 $y = -0.2173x + 96.28 (R^2 = 0.9708)$, 병반면적률과 100립중과는 $y = -0.1799x + 26.769 (R^2 = 0.6271)$ 이었다. 이 중 모델의 적합도가 가장 높은 것은 주당 총립중(Fig. 1C)과 등숙률(Fig. 1D)이며, 점무늬병 발병면적률로 이들의 변이요인을 각각 90.1%와 97.1%로 해석이 가능하였다. 주당 총립수와 100립중을 예측하는 모델의 경우 이들보다 적합도가 약간 낮아 결정계수(R^2)가 0.7096(Fig. 1B)과 0.6271(Fig. 1E)로 나타났다. 한편 점무늬병 발병면적률에 따른 주당 협수를 예측하는 모델의 경우는 결정계수(R^2)가 0.8931(Fig. 1A)로 높게 나타났다.

병해 발생은 수확량과 직접적인 연관이 매우 높다. 발병정도를 무발병, 병반면적율 5%로부터 60%까지 평균화하여 수량과 비교분석하여 콩 점무늬병 발병정도(x)에 따른 수량(y) 예측모델을 산출하였다. 그 결과 $y(\text{수량}) = -3.7213x + 354.99$ 로 이때의 결정계수(R^2)는 0.9047이었다 (Fig. 1F). 따라서 이 수량예측모델을 사용했을 때 콩 점무늬병 발병으로 해석 가능한 수량의 변이는 최대 91%로 이 관계식을 이용하여 콩 점무늬병의 발병에 따른 수량 예측이 가능하리라 생각된다.

콩 점무늬병 경제적 방제수준 설정. Fig. 1F의 수량예측모델의 무발병구에서 수량 382.6 kg/10a를 대입하여 방제비용을 고려하지 않았을 때의 최대수량을 얻을 수 있는 방제수준은 아래와 같이 산출할 수 있다.

$$382.6 = -3.7213x + 354.99$$

위 식에서 $x = (382.6 - 354.99)/3.7213 = 7.419$, 즉 전혀 발병하지 않았을 경우 최대 수량을 얻기 위한 방제가 필요한 수준은 병반면적률 7.4%로 나타났다.

Table 3. Economic threshold level between yield and yield with percent diseased leaf area of soybean

Control cost ^a (won/10a)	Market price ^b (won/kg)	GT ^c (kg/10a)	EIL ^d (%)	ET ^e (%)
45,462	3,671	12.4	3.3	2.6

^aControl cost: fungicides price (11,383 won/10a × 2 times) + labor costs (5,674 won/hr × 2 hr × 2 times) = 45,462 won/10a.

^bMarket price: Based on income analysis of agricultural products in 2009 (RDA).

^cGT (Grain threshold) = Control cost/Market price.

^dEIL (Economic injury level) = GT/3.712 (coefficient of damage, $y = -3.7213x + 354.99$).

^eET (Economic threshold) = EIL (GT/a) × 0.8.

방제비용과 시장가격은 2009 농축산물소득 자료(RDA, 2010)를 근거로 하여 산출하였을 때, 10a당 방제비용은 45,462원이고, 시장가격은 kg당 3,671원을 기준으로 수익역치(GT)를 구하면 12.4가 되고, GT값 12.4에 수량 회귀식의 기울기 값인 피해계수 3.712로 나누면 경제적 피해 허용수준(EIL) 3.3%가 된다. 위에서와 같이 경제성을 고려하였을 때 방제비용을 보상할 수 있는 콩 점무늬병의 발병율을 한계는 3.3% 정도이었으며, 이 수준 이하의 발병 상태에서 살균제의 살포는 경제적 이익을 가져오지 않는 것으로 나타나고 있다. 그러나 실용적인 측면에서 경제적인 방제수준은 방제를 위해 소요되는 시간과 손실을 최소화하기 위하여 80% 수준에서(Park 등, 2009; Pedigo 등, 1986) 방제하는 것이 합리적이므로 경제적 피해허용수준(EIL)에 0.8을 곱하게 되면 경제적 방제수준(ET)은 2.6%로 설정할 수 있다(Table 3).

이 연구는 콩 생산 재배 농가에서 최근 큰 문제가 되고 있는 콩 점무늬병을 방제할 때 그 경제성을 고려한 방제 전략을 제안한다는 데에 큰 의의를 찾을 수 있을 것이다. 물론 이 연구에서 피해허용수준과 방제수준은 시기나 지역에 따라 달라지고, 농산물 가격과 인건비 등의 환경여건이나 수확량을 좌우하는 콩 품종에 따라 달라질 수 있다. 그러나 이러한 결과를 활용한다면 농약의 부적절한 사용을 줄이고, 농약에 대한 저항성균 출현 등의 심각한 문제를 합리적으로 개선할 수 있을 것으로 생각되며, 농가소득 증대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

콩 점무늬병이 수량에 미치는 영향을 평가하고 경제적 방제수준을 설정하고자 본 시험을 수행하였다. 점무늬병 발병정도와 주당 협수, 주당 총립수, 주당 총립중, 등숙률, 100립중 및 수량과의 상관계수는 각각 -0.90, -0.90,

-0.92, -0.99, -0.90, -0.94로 통계적으로 고도의 유의성을 나타내었다. 콩 점무늬병의 병반면적률이 증가됨에 따라 수량은 반비례하여 감소하였는데, 콩 점무늬병 발병정도(x)에 따른 수량(y) 예측모델을 산출한 결과, 회귀식은 $y = -3.7213x + 354.99 (R^2 = 0.9047)$ 로 고도의 부의 상관성이 있었다. 이 회귀식을 토대로 경제적 피해허용수준은 병반면적률 3.3%, 경제적 방제수준(ET)은 병반면적률 2.6%로 설정할 수 있었다.

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Agenda Program (PJ008579), Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Dashiell, K. E. and Akem, C. N. 1991. Yield losses in soybeans from frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*. *Crop Prot.* 10: 465-468.
- Hartman, G. L., Sinclair, J. B. and Rupe, J. C. 1999. Frogeye leaf spot. In: Compendium of Soybean Disease, 4rd ed., pp. 20-21. *Am. Phytopathol. Soc.*, St. Paul, MN.
- Hong, S. J., Kim, Y. K., Jee, H. J., Shim, C. K., Kim, M. J., Park, J. H., Han, E. J. and Lee, B. C. 2011. Influence of disease severity of bacterial pustule caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* on soybean yield. *Res. Plant Dis.* 17: 317-325. (In Korean)
- 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)
- KSPP (The Korean Society of Plant Pathology). 2009. List of Plant Diseases in Korea. 5th. 853 pp.
- Laviolette, F. A., Athow, K. L., Probest, A. H., Wilcox, J. R. and Abney, T. S. 1970. Effect of bacterial pustule and frogeye leaf spot on yield of clark soybean. *Crop Sci.* 10: 418-419.
- Lim, S. M. 1980. Brown spot severity and yield reduction in soybean. *Phytopathology* 70: 974-976.
- Moon, Y. G., Lee, J. H., Choi, J. K., Kang, A. S. and Han, S. S. 2010. Yield loss assessment and determination of economic thresholds limits against soybean anthracnose. *Korean J. Pestic. Sci.* 14: 133-137. (In Korean)
- Park, H. H., Yeh, W. H. and Park, H. M. 2009. Gain threshold estimation for some pests in major crops. *Korean J. Appl. Entomol.* 46: 63-69.
- Pedigo, L. P., Hutchins, S. H. and Higley, L. G. 1986. Economic injury level in theory and practice. *Ann. Rev. Entomol.* 31: 341-368.
- Rural Development Administration (RDA). 2010. Income analysis of agricultural products in 2009. 226 pp.
- 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)
- Wrather, J. A., Anderson, T. R., Arsyad, D. M., Tan, Y., Ploper, L. D., Porta-Puglia, A., Ram, H. H. and Yorinori, J. T. 2001. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998. *Can. J. Plant Pathol.* 23: 115-121.
- Yeh, W. H., Park, H. H., Nam, Y. J., Kim, S. A., Lee, J. H., Shim, H. S., Kim, Y. K., Lee, Y. H. and Lee, Y. H. 2008. Establishment of economic threshold by evaluation of yield component and yield damages caused by rice leaf blast (*Magnaporthe grisea*). *Res. Plant Dis.* 14: 21-25. (In Korean)