

## 호박 흰가루병의 피해 해석 및 경제적 방제수준 설정

문윤기 · 최준근\* · 강안석

강원도농업기술원 환경농업연구과

### Yield Loss Assessment and Economic Thresholds of Squash Powdery Mildew Caused by *Sphaerotheca fuliginea*

Youn-Gi Moon, Jun-Keun Choi\* and An-Seok Kang

Agricultural Environment Research Section, Gangwon Provincial Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 200-150, Korea

(Received on April 9, 2010; Accepted on July 1, 2010)

The experiments were carried out in fields for two years from 2008 to assess yield losses of squash due to powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea* and to determine its economic thresholds. Powdery mildew disease was first observed in late June, about 50 days after field-transplanting, progressed rapidly during late July to early August, and began to reduce from late August. Powdery mildew severity was negatively correlated with squash yields. A positive correlation was observed between fruit weight and % marketable fruits. A simple linear regression model was obtained as  $Y = -10.399 X + 6607.5$  with  $R^2 = 0.9700$  when squash yields (Y) was predicted using powdery mildew severity as an independent variable(X). Spray threshold for maximizing squash yields without economic considerations was estimated as 6.5% in terms of leaf lesion area with powdery mildew. Economic threshold and economic spray threshold able to compensate the costs of fungicide sprays were determined as 21.6% and 17.3% in leaf lesion area, respectively.

**Keywords :** Economic threshold, Powdery mildew, Spray threshold, *Sphaerotheca fuliginea*, Squash, Yield loss model

박과류에 흰가루병을 일으키는 병원균은 세계적으로 *Sphaerotheca fuliginea*와 *Erysiphe cichoracearum* 두 종류가 보고되어 있는데(Zitter 등, 1996), 국내에서는 주로 *S. fuliginea*에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다(Shin, 2000). 흰가루병은 시설이나 노지재배를 불문하고 잎에 흔히 발생하는데 병든 잎은 일찍 떨어지고 주 전체의 자람이 약화되면서 결국 수량이 저하한다(이 등, 2001).

흰가루병의 방제에는 농약살포(McGrath, 1991, 1992; 장 등, 2001), 중복기생균을 이용한 생물학적 방제(Shin과 Kyeung, 1994; 이 등, 2005), 식물성 기름의 이용(McGrath과 Staniszevska, 1996), 저항성 품종 재배(조 등, 2004) 등 여러 가지 방법이 있다. 그 중 약제방제가 가장 일반

적이나 주기적 농약 살포로 인한 비용과 노력의 증가, 약제 저항성균의 출현에 의한 약효 감소가 방제를 어렵게 하는 요인이 되고 있다(이 등, 2001). 흰가루병은 발생 초기에 방제시기를 설정하는 것이 매우 중요하며 그 시기를 놓치면 약제 살포의 효과가 떨어져 병이 급격히 퍼져서 탄소동화작용이 감소하여 과실의 착생과 비대가 불량해지며 결국 수량이 감소한다(이 등, 2001).

흰가루병에 의한 수량감소의 예를 들어보면 Verhaar 등(1993)은 오이 흰가루병의 경우 병반면적율이 20%일 때 경제적 손실이 시작된다고 하였으며, Beloanger 등(1998)은 병반면적율이 50% 이상에 달하면 수량이 35% 감소한다고 하였다. 우리나라의 경우 김 등(2006)은 최근의 연구에서 오이 흰가루병의 경제적 피해수준을 병반면적율 17.6%로 산출한 바 있다. 그러나 호박 흰가루병에 대해서는 그 발생의 중요성에 비추어 아직 피해해석에 관한 연구가 전혀 없어 방제시기의 결정, 약제방제의 경제성

\*Corresponding author

Phone) +82-33-248-6101, Fax) +82-33-248-6100

Email) cjk5370@korea.kr

분석 등에 많은 어려움이 있었다.

본 연구는 호박 흰가루병의 발생 정도와 수량에 대한 관계를 조사하여 요방제 수준 및 경제적 방제수준을 설정하기 위하여 2008년부터 2년 간 수행하였다.

## 재료 및 방법

**호박 재배.** 시험은 2008년과 2009년, 2년에 걸쳐 강원도 춘천 소재, 강원도농업기술원 시험포장에서 수행하였다. 실험에 사용한 호박품종은 ‘호반에호박’으로 3월 하순에 파종, 온실에서 육묘하였으며, 5월 중순에 포장에 정식하였다. 포장 내 시설하우스용 파이프를 설치하여 식물체를 유인하였고 이 밖의 관수 및 비배관리는 농촌진흥청이 제시한 표준재배법(농진청, 2001)에 따랐다. 시험구의 크기는 구당 20 m<sup>2</sup>로 흰가루병 발생수준별 6처리를 두고 난피법 3반복으로 배치하였다.

**흰가루병 발생유도.** 흰가루병 발생수준을 6단계(처리)로 하여 병반면적율 0%(무발병), 5% 이하(소), 6~10%(중), 11~20%(다), 21~40%(심), 41% 이상(극심) 및 무조절구(대조구)로 구분하였다. 자연발병으로 초기전염을 유도한 후 이 후의 각 수준별 발생 정도는 흰가루병 전용약제인 테트라코나졸 유제를 사용하여 조절하였다.

**호박 수량조사.** 각 구별로 생육기간 동안 생산된 호박 과실의 개수, 과실 생체중, 상품과율을 농촌진흥청의 표준조사방법(농진청, 2003)에 의거 조사하였다. 생산된 전체과실의 생체중량을 각 구의 수량으로 산출하였다.

**흰가루병 발생조사.** 처리구별 흰가루병의 발생 정도는 6월 하순부터 10월 중순까지 7일 간격으로 표준조사방법(농진청, 2003)에 의거 병반면적율을 조사하였다.

**요방제 수준 및 경제적 방제수준의 설정.** 흰가루병의 발생 정도(병반면적율)와 수량, 수확 과실수, 과실 생체중, 상품과율과의 상관을 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다. 수량(Y)을 종속변수로, 흰가루병 발생 정도(X)를 독립변수로 하여 회귀식을 산출하였고, 분산분석을 통하여 유의성을 검정하였다. 도출된 회귀식을 사용하여 경제성을 고려함이 없이 흰가루병의 발생이 호박수량에 영향을 주기 시작하는 흰가루병 발생수준인 요방제 수준과, 살포 비용 등을 정당화시킬 수 있는 경제적 피해수준 및 경제적 방제수준을 Pedigo 등(1996)이 제시한 방법에 따라 산출하였다.

## 결과 및 고찰

**호박 흰가루병의 발생 추이.** 흰가루병 방제약제를 살

포하지 않은 포장에서의 흰가루병의 발생은 정식 50일 경인 6월 하순에 발생하기 시작하여 7월 초순에는 처리구별로 병반면적율이 6~17%에 달하였고, 그 이후 급격히 진전하여 8월 초순에 최대치인 40.4%에 달하였다(Fig. 1). 30°C 이상의 고온이 지속되는 8월 중순 이후는 발생이 점차 감소하다가 기온의 떨어지기 시작하는 9월 초순부터 다시 증가하여 9월 하순까지 비슷한 발생수준을 유지하였으며 그 이후 감소하였다. 이와 같은 발생진전곡선은 발생 정도와 상관없이 처리구별로 비슷한 경향을 보였다. 따라서 호박 흰가루병의 최대 발생시기는 8월 초순과 9월 중순으로 두 번의 피크가 있는 것으로 생각된다.

**흰가루병 발생 수준별 호박 수량 및 수량 구성요인.** 흰가루병의 발생 정도가 높을수록 수확 과실의 개수는 감소하였으며, 과실무게도 감소하는 경향을 나타냈으며, 이러한 경향은 병 발생이 비교적 적은 경우(발병도 20% 이하)보다 발생이 심한 경우에 더욱 뚜렷하게 나타났다(Table 1). 상품과율은 발생수준과 상관없이 87~88%의 범위에 있으며, 발생 정도가 낮을 경우 다소 높게 나타났다. 이와 같이 발생 정도가 심해짐에 따라 수량이 낮아지는 것은 Wright 등(1990)과, 이 등(2001)의 보고에서와 같이 흰가루병이 주로 잎에 발생하여(Fig. 2A) 광합성과 호흡을 저해함으로써 동화작용과 증산작용을 감소시켜 생육과 과실의 품질저하를 초래하며, 또한 잎에 형성된 병반이 오래되면 인접병반과 융합하여 조기 낙엽되고 결과적으로 초세가 약화되면서 수량 감소를 초래하는 것으로 생각된다. 근사로부터 수직으로 분지한 분생자경은 크기가 108~265×16~24 μm이며, 그 끝에 분생포자가 형성된다. 분생포자는 연쇄모양이며, 무색, 단세포의 타원형 또는 장타원형으로 크기는 28~32×16~24 μm이다(Fig. 2B, C).

**흰가루병과 호박수량 및 수량구성요인과의 상관.** 흰가루병 발생 정도와 과실개수, 과실의 생체중, 상품과율, 수량과는 고도의 부의 상관이 있었으며, 상관계수도 상품과율을 제외하고는 모두 -0.94 이상이었고 p=0.05 수준에서 유의성이 있었다(Table 2). 수량구성요인인 과실개수,

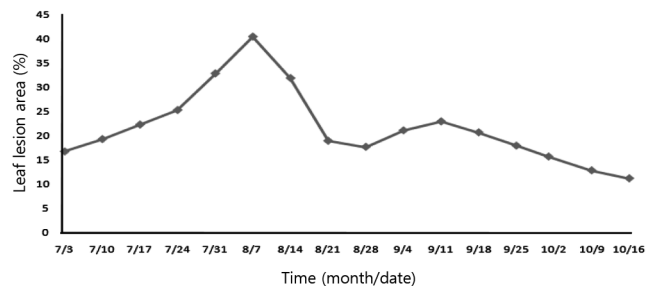


Fig. 1. Disease progress curve of squash powdery mildew in field plots without fungicide sprays.

**Table 1.** Squash fruit yields as affected by the severity of powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea*

Disease severity (%) <sup>a</sup>	No. fruits harvested/10a	Fresh weight (g)/fruit	Fruits marketable (%)	Yield (kg/10a)
≤5	15,578	419.8	88.6	6,540.2
6~10	15,561	418.6	88.3	6,514.5
11~20	15,615	417.3	87.6	6,545.4
21~40	15,112	417.0	87.9	6,298.2
41≤	14,876	415.2	87.1	6,173.0
Check <sup>b</sup>	14,655	415.4	87.6	6,085.3

<sup>a</sup>Percentage of leaf area covered with powdery mildew fungus.<sup>b</sup>Field plots without fungicide spray.**Fig. 2.** Photographs of disease symptom of powdery mildew on squash plants (A), conidial chains and conidiophores (B) and conidia (C) of the causal fungus *Sphaerotheca fuliginea* (bar = 18 μm).**Table 2.** Correlation coefficients between powdery mildew severity and squash yields or yield components

Factors	Disease severity (%)	No. fruits harvested/10a	Fresh weight(g)/fruit	Fruits marketable (%)	Yield (kg/10a)
Disease severity (%)	-				
No. fruits harvested/10a	-0.9715 <sup>a</sup>	-			
Fresh weight(g)/fruit	-0.9419 <sup>*</sup>	0.8549 <sup>*</sup>	-		
Fruits marketable (%)	-0.7874 <sup>*</sup>	0.6670	0.9398 <sup>*</sup>	-	
Yield (kg/10a)	-0.9849 <sup>*</sup>	0.9972 <sup>**</sup>	0.8914 <sup>*</sup>	0.7184 <sup>*</sup>	-

<sup>a</sup>: \* and \*\* are statistically significant at p = 0.05 and at p = 0.01 level, respectively.

과실무게, 상품과울 간에는 대부분 유의성 있는 정의 상관관계를 나타냈으나, 과실개수와 상품과울 간에는 상관관계가 낮았다.

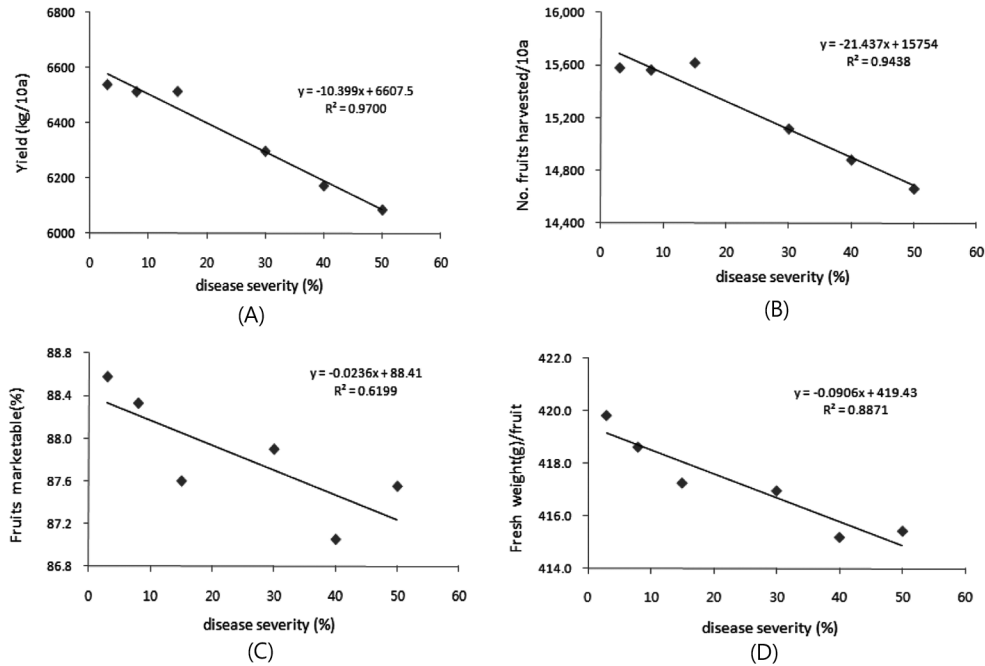
**흰가루병의 수량예측 모델.** 흰가루병 발병정도를 독립변수로 하고 호박의 수량 혹은 수량 구성요인을 종속변수로 하여 단순직선회귀식(simple linear regression)을 구하여 수량감수모델을 작성하였다(Fig. 3). 수량, 수확과실수, 과실무게에 있어서의 변이는 흰가루병의 발병정도로 각각 97%, 94%, 89%의 설명이 가능하였다. 흰가루병의 병반면적율(X)로 호박의 수량(Y)을 예측할 수 있는 모델은  $Y = -10.399X + 6607.5$  ( $R^2 = 0.9700$ )로 모델의 적합도도 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 상품과울의 경우는 다른 변이요인이 커서 발병정도로는 유의적인 해석이 불가능한 것으로 나타났다. 작성된 각 모델의 회귀계수를

포함한 회귀식, 결정계수( $R^2$ ), F 수치 및 유의수준은 Table 3과 같다.

**요방제 수준 및 경제적 방제수준의 산출.** 흰가루병 발병정도와 호박수량과의 회귀식에서 흰가루병 발병도 5% 이하에서 획득 가능한 최대수량을 얻기 위한 요방제 수준을 아래 식에서 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{발병도 5\% 이하에서의 실제수량}(Y) &= 6540.2 \\ &= -10.399X + 6607.5 \end{aligned}$$

위식에서  $X = (6607.5 - 6540.2)/10.399 = 6.5$  즉, 흰가루병 병반면적율 5% 이하에서의 최대 수량을 얻기 위하여 방제비용을 고려하지 않은 요방제 수준은 병반면적율 6.5%였다. 방제비용을 고려한 경제적 피해수준은 농약 값 등 필요비용과 생산물의 판매가격(소득)을 대비하여 아래



**Fig. 3.** Simple linear regressions of yield (A) or yield components (B: No. fruits harvested/10a, C: fruits marketable (%), D: fresh weight(g)/fruit) obtained based on those factors being predicted by using powdery mildew severity as an independent variable.

**Table 3.** Regression equations derived from the relationships between yield or yield components of squash and disease severity of powdery mildew when used those as a dependent and an independent variable, respectively

Dependent variable	Regression equation	Coefficient of determination	F value	Probability level (p)
No. fruits harvested/10a	$Y = -21.437X + 15754$	0.9438	67.29**	0.001
Fresh weight(g)/fruit	$Y = -0.906X + 419.4$	0.8871	31.44**	0.004
Fruits marketable (%)	$Y = -0.022X + 88.4$	0.6199	6.52	0.063
Yield (kg/10a)	$Y = -10.399X + 6607.5$	0.9700	129.27**	0.0003

와 같이 산출하였다.

농약구입비	19,800원/10a × 7회 =	138,600원
방제비용 살포노력비	6,966원/시간 × 1인(남) × 7회 =	48,762원
대농구상각비		18,493원
계		205,855원

소득 : 916원/kg (시설호박 단가, 2008년 농진청 발간 지역별 농산물소득자료)

$$\text{면적당 방제비용 동가 수량} = 205,855(\text{원}/10\text{a}) / 916(\text{원}/\text{kg}) = 224.7 \text{ kg}/10\text{a} \quad (\text{A})$$

$$\text{경제적 피해수준} = (\text{A}) / \text{피해계수} = 224.7 / 10.399 = 21.6 \quad (\text{B})$$

$$\text{경제적 방제수준} = (\text{B}) \times 0.8 \text{ (경제적 피해수준의 80\%)} = 21.6 \times 0.8 = 17.28\%$$

위의 산출식에서 보는 바와 같이 경제적 측면을 고려했을 때 방제비용을 정당화 시킬 수 있는 최소한의 환가

루병 발병정도는 병반면적을 21.6%이었으며, 농가현장에서 적용할 수 있는 경제적 방제수준은 피해수준의 80%인 병반면적을 17.3%였다. 따라서 호박의 흰가루병 병반면적이 이 수준에 도달하면 농민들은 살균제 살포 등의 방제수단을 실행해야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 호박생산의 가장 큰 제한요인중의 하나인 흰가루병의 경제성을 고려한 방제지침을 우리나라에서는 처음으로 수립했다는 데에 가장 큰 의의를 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 지금까지는 이에 대한 지침이 없어 흰가루병에 의한 피해정도나 경제적인 방제방법 등을 잘 알지 못하여 호박 생산농가가 여러 가지 애로가 있었으나 본 연구 결과를 잘 활용하면 앞으로 흰가루병이 발생하더라도 농가 이득을 극대화한 최선의 방제체계를 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 도출한 요방제 수준이나 경제적 방제수준은 절대적인 것이 아니고 농산물 가격이나 인건비 등 방제비용, 호박품종 등 환경요인에

따라 많은 영향을 받기 때문에 재배지역이나 시기에 따라 얼마든지 달라질 수 있으므로 향후 시기와 장소를 달리하여 반복실험을 수행함으로써 이를 보완해 나가면 좀 더 보편적으로 사용할 수 있는 피해예찰모델이나 경제적 방제수준의 도출도 가능할 것으로 생각된다.

## 요 약

호박 흰가루병의 수량감수 모델, 요방제 수준 및 경제적 방제수준을 산출하기 위하여 2008년부터 2년간 포장에서 시험하였다. 호박 흰가루병은 정식 후 50일경인 6월 하순에 발생하기 시작하여 7월 하순~8월 상순에 가장 심하였고, 그 이후 감소하는 경향을 보였다. 흰가루병의 발병정도와 수확 과실수, 과실의 생체중, 수량(생체중×수확 과실수)간에는 고도의 부의 상관성이 있었고 생체중과 상품과율은 정의 상관을 보였다. 흰가루병의 발병수준(X)에 따른 호박의 수량(Y) 추정 단순직선회귀식은  $Y = -10.399X + 6607.5$ 였고 결정계수( $R^2$ )는 0.9700으로 모델의 적합도가 매우 높았다. 방제비용을 고려하지 않은 흰가루병의 요방제 수준은 병반면적을 6.5%였으며, 방제비용을 정당화 시킬 수 있는 경제적 피해수준은 병반면적을 21.6%였고, 농가에서 실제로 적용 가능한 경제적 방제수준은 병반면적을 17.3%로 산출되었다.

## 참고문헌

Beloanger, R. R., Dik, A. J. and Menzies, J. M. 1998. Powdery mildews recent advances toward integrated control. In: Plantmicrobe Interactions and Biological Control, ed. by Boland, G. J. and Juykendall, D. L. Marcel Dekker, New York.

조명철, 엄영현, 김대현, 허운찬, 김정수, 박효근. 2005. 흰가루병 저항성 동양종 호박 품종 육성. 식물병연구 11: 106-114.

조명철, 엄영현, 허운찬, 김정수, 박효근. 2004. 호박의 흰가루병 저항성, 쓴맛, 과피 경도 및 과형의 유전. 한국육종학회지 36: 271-275.

장석원, 김성기, 김희동. 2001. 단호박 흰가루병의 약제방제. 식물병연구 7: 31-36.

김진영, 홍순성, 이진구, 박경열, 김홍기, 김진원. 2006. 오이 흰가루병의 경제적 피해 허용 수준 설정. 식물병연구 12: 231-234.

이상엽, 류재당, 김홍기. 2005. *Ampelomyces quisqualis* 94013의 오이 흰가루병균 기생에 영향을 미치는 환경조건과 기주 범위. 식물병연구 11: 167-172.

이옥희, 황희숙, 김주영, 한정혜, 유영신, 김병수. 2001. 고추 흰

가루병에 대한 저항성 재료 탐색. 원예과학기술지 19: 7-11.

이용환, 서중분, 최경주, 박인모, 양원모. 2004. 잎절편을 이용한 오이 흰가루병에 대한 내병 성 검정법. 식물병연구 10: 78-81.

임주락, 최선우, 김주희, 문형철, 이기권, 김대향, 류정, 이상구, 황창연. 2008. 시설가지에서 점박이용애의 경제적 피해수준. 한국응용곤충학회지 47: 395-400.

McGrath, M. T. 1991. Evaluation of fungicides and effect of timing of bayleton applications on control of pumpkin powdery mildew, 1990. *Fungic. Nematicide Tests* 46: 164.

McGrath, M. T. 1992. Efficacy of fungicides applied preventatively or based on disease occurrence for managing powdery mildew of pumpkin, 1991. *Fungic. Nematicide Tests* 47: 124.

McGrath, M. T. and Staniszewska, H. 1996. Management of powdery mildew in summer squash with host resistance, disease threshold-based fungicide programs, or an integrated program. *Plant Dis.* 80: 1044-1052.

농촌진흥청. 2001. 표준영농교본 호박재배. pp. 68-94.

농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사 분석기준 491 pp.

농촌진흥청. 2008. 2008 지역별 농산물 소득자료. 36 pp.

농업과학기술원. 2003. 경제적 피해수준 설정 workshop. 39 pp.

Pedigo, L. P. 1996. General models of economic thresholds. pp. 41-57. In Higley, L.G. and Pedigo, L. P. eds. *Economic Thresholds for Integrated Pest Management*. University of Nebraska Press, Lincoln.

Shin, H. D. 2000. Erysiphaceae of Korea. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. pp. 227-235.

Shin, H. D. and Kyueng, H. Y. 1994. Isolation of hyperparasitic fungi to powdery mildews and selection of superior isolates for biocontrol of cucumber powdery mildew. *RDA. J. Agri. Sci.* 36: 141-151.

Stone, J. D. and Pedigo, L. P. 1972. Development and economic injury level of the green cloverworm on soybean in Iowa. *J. Econ. Entomol.* 65: 197-201.

Verhaar, M. A. and Hijwegen, T. 1993. Efficient production of phialoconidia of *Verticillium lecanii* for biocontrol of cucumber powdery mildew *Sphaerotheca fuliginea*. *Neth. J. Pathol.* 99: 101-103.

Wright, D. P., Scholes, D., Horton, P., Baldwin, B. C. and Shepphard, M. C. 1990. The relationship between the development of haustoria of *Erysiphe graminis* and the energy status of leaves. In: *Current Research in Photosynthesis*, Vol. 4, ed. by Baltscheffsky, M., pp. 223-226. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Zitter, T. A., Hopkins, D. L. and Thomas, C. E. 1996. *Compendium of Cucurbit Diseases*. APS Press, St. Paul, MN, USA. 87 pp.