

## 시설 수박 흰가루병 방제를 위한 살균제 교차방제 체계

# Alternative Fungicide Spraying for the Control of Powdery Mildew Caused by *Sphaerotheca fusca* on Greenhouse Watermelon (*Citrullus lanatus*)

강효중<sup>1\*</sup> · 김영상<sup>1</sup> · 한봉태<sup>1</sup> · 김태일<sup>1</sup> · 노재관<sup>1</sup> · 김이기<sup>1</sup> · 신현동<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충청북도농업기술원 수박연구소, <sup>2</sup>고려대학교 환경생태공학부

Hyo-Jung Kang<sup>1\*</sup>, Youngsang Kim<sup>1</sup>, Bongtae Han<sup>1</sup>, Taeil Kim<sup>1</sup>, Jaegwan Noh<sup>1</sup>, Yeegi Kim<sup>1</sup> and Hyeon-Dong Shin<sup>2</sup>

**\*Corresponding author**

Tel : +82-43-220-5862  
Fax: +82-43-220-5859  
E-mail: pine86@korea.kr

<sup>1</sup>Watermelon Research Institute, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Eumsung 369-824, Korea

<sup>2</sup>Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

Received January 9, 2014  
Revised February 28, 2014  
Accepted March 11, 2014

Alternative spraying was developed using fungicides and potassium phosphonate to control watermelon powdery mildew (WPM) caused by *Sphaerotheca fusca* under greenhouse condition. In 2010 trial, a total of 9 combinations of 6 fungicides which are legally registered in Korea and currently used on watermelon farms were tested for the control efficacy against WPM. Though the combination of chlorothalonil (Chl)-myclobutanil (My)-fenarimol (Fen)-hexaconazole (Hex) was the most effective (82.6%) in the first-year trial, it had the problem that My, Fen and Hex have the same mode of action. Therefore, in the second-year trial to improve the fungicide combination and to reduce fungicide application, fungicides and potassium phosphonate (P) combinations were tested for WPM control using 500 ppm aqueous potassium phosphonate solution which is both eco-friendly and showing different mode of action from the fungicides tested. The P-My-Fen-Hex applied at 10-day intervals provided relatively high control (75.6%), whereas Chl-My-Fen-P provided 31.8% control. To improve the control, fungicides and P were applied at 7-day intervals in the third-year trial. Though Chl-My-Fen-Hex provided the highest control (89.6%), P-My-Fen-Hex also provided relatively high control (83.5%) compared to 65.9 % control with Chl-My-Fen-P, which suggests that Chl-My-Fen-Hex could be replaced with P-My-Fen-Hex for WPM control.

**Keywords:** Control, Fungicide, Watermelon powdery mildew

## 서 론

충북의 시설수박은 음성과 진천을 중심으로 1,550 ha가 재배되고 있으며, 최근 들어 소득이 높아 매년 5% 정도 증가 추세로 지역 특화작목으로 성장하고 있으나 흰가루병 발생으로 피해를 입고 있다. 수박에 흰가루병을 일으키는 병원균은 *Sphaerotheca fusca*(=*Podosphaera xanthii*)로 오이, 참외, 호박

등에 발생하는 흰가루병균과 동일한 종으로 알려져 있다(Shin, 2000). 그러나 재배 특성상 오이, 참외, 호박 등과 달리 수박은 전체 생육기간 동안 주당 한 개의 상품과를 생산하고 있어 모 든 잎이 수량과 품질에 결정적인 영향을 미치므로 흰가루병이 발생하면 경제적 피해가 크다. 특히 공기 전염하는 흰가루병의 특성상 시설 재배지에서는 초기 방제에 실패할 경우 전체 시설로 급속히 전파되어 큰 피해를 초래하고 있다(Kim 등, 2008). 2008년 진천군 이월면 일부 수박 재배 농가에서는 흰가루병만 연으로 인하여 30-50%의 소득이 감소하는 큰 피해가 발생한 사례가 있었다.

아인산칼륨 수용액은 아인산을 물에 녹여 만든 수용액에 수산화 칼륨을 첨가하여 중화한 농자재로서, 아인산 음이온이 다양한 작용기작을 통하여 식물병 방제에 기여하고 있는 것으로 보고되고 있어 흔히 아인산으로 통용되고 있다(Jee 등, 2002). 농약을 대체할 수 있는 흰가루병 방제를 위한 친환경농자재는 오이, 상추, 딸기 등의 작물에서 우유, 전해수, 중복기생균, 아인산, 난황유, 우유 등 다양하게 사용기술이 개발되고 있다(Jee 등, 2002, 2008; Lee 등, 2000, 2007; Nam 등, 2005). 수박에서는 흰가루병 저항성 품종을 이용한 방제 방법이 연구되고 있고 (Davis 등, 2006) 일부 품종이 개발되어 시판되기 시작했으나, 살균제를 이용한 화학적 방제가 수박 재배 농가에서 흰가루병 방제를 위하여 가장 널리 사용되고 있다.

한편 흰가루병균은 약제 저항성이 쉽게 발달하는 특성이 있어(McGrath, 2001) 교호방제의 필요성이 매우 크지만 수박 흰가루병에 대한 연구결과는 거의 없다. 또한 수박 재배 농업인 교육 현장에서 수박 흰가루병 방제를 위하여 작용 기작이 서로 다른 약제의 교호살포가 강조되고는 있으나 시설수박 재배농가에서 활용할 수 있는 교호방제체계에 대한 포장시험 연구결과는 전혀 없어, 농약의 오남용을 막고 방제효율을 증진하기 위한 효율적 약제방제체계 확립을 위한 연구가 절실하다. 이를 위해서는 각 살균제의 흰가루병균에 대한 효과, 약제 저항성 발생 상황, 약제 저항성균의 분포 등에 대한 체계적인 선행연구가 수행되어야 하지만, 영농현장에서 필요한 교호방제체계의 시급성과 농약사용량 절감이라는 정책적 필요성에 부응하기 위하여 우선 수박 흰가루병에 등록된 약제를 이용하여 작용 기작이 아닌 주성분이 다른 약제의 교호방제체계에 대한 시험을 수행하였다. 특히 수박 신규 재배 농가에서 즉시 사용 가능한 저비용, 고효율 방제체계를 제시하고자 국내에서 수박 흰가루병에 등록된 약제 가운데, 제형이 혼합제가 아닌 단제이면서 가격이 저렴한 약제를 선택하여 몇 가지 약제처리 조합을 만들고 이들의 방제효과를 비교하였다. 또한 아인산칼륨 등의 교차살포를 통한 농약 방제횟수 절감 가능성을 검토하고자 이 연구를 수행하였다.

### 재료 및 방법

**재배방법.** 수박 재배는 무가온 비닐하우스를 이용하여 ‘삼복꿀’ 수박(대목: ‘불로장생’)을 45×125 cm의 재식밀도로 4월 상순에 정식하고 7월 상순에 수확하는 반촉성 재배법을 이용하여 시험을 수행하였다. 포기당 3줄기를 유인하여 1과를 착과하는 재배 방법을 사용하였으며, 5월 하순경에 꿀벌을 이용하여 수분을 하였다. 2010년에 수박 흰가루병 방제에 등록된 살균제를 이용하여 살균제 4회 처리조합을 만들고 방제시험을 수행하여 가장 효과적인 교차방제체계를 선발하고자 하였다. 2011년에는 2010년에 선발된 살균제 4회 교차방제체계를 바탕으로 아인산칼륨과 살균제를 10일 간격으로 교차살포 하였을 때, 아인

산칼륨을 어느 시기에, 몇 회까지 살균제를 대체하여 살포할 수 있는지 알아보려고 시험을 수행하였다. 2012년에는 방제효과를 개선하고자 약제살포간격을 줄여 방제효과가 증진되거나 아인산칼륨의 살균제 대체 횟수를 증가시킬 수 있는 지 알아보려고 시험을 수행하였다.

**병조사.** 흰가루병 발생은 자연 발병을 유도하였으며, 고랑에 관수하고 야간에 측창을 닫아 두어 흰가루병 발생을 촉진시켰다. 시험은 난괴법 2반복으로 수행하였다. 2010년에는 반복당 6포기를 심고 양쪽 가장자리 2포기를 제외한 4포기에 대하여 약제를 살포하고 6월 25일에 병조사를 하였다. 2011년에는 반복당 11주를 심고 가장자리 2포기를 제외한 9포기에 대하여 약제를 살포하고 7월 16일에 병조사를 하였다. 2012년에는 반복당 9주를 심고 가장자리 2포기를 제외한 7포기에 대하여 약제를 살포하고 7월 2일에 병조사를 하였다. 병조사는 처리당 200엽에 대하여 이병엽율(%), 병반면적율(%), 발병도 등을 다음과 같이 조사하였다.

$$\begin{aligned} \text{이병엽율}(\%) &= \text{이병엽수} / \text{조사엽수} \times 100 \\ \text{병반면적율}(\%) &= \text{병반면적} / \text{엽면적} \times 100 \\ \text{발병도} &= \{(\text{발병계수} \times \text{발병엽수}) / (4 \times \text{조사엽수})\} \times 100 \end{aligned}$$

- 0: 발병 없음
- 1: 병반면적율 1–5%
- 2: 병반면적율 5.1–20%,
- 3: 병반면적율 20.1–40%
- 4: 병반면적율 40% 이상

**Table 1.** Fungicide combinations treated in 2010

Fungicides sprayed	Spraying dates
Az <sup>a</sup> -Chl-My-Hex	May 18, May 31, June 7, June 19
Fen-Az-Hex-My	May 18, May 31, June 7, June 19
Chl-My-Fen-Hex	May 18, May 31, June 7, June 19
My-Az-Chl-Hex	May 18, May 31, June 10, June 14
Hex-Chl-Az-Fen	May 18, May 31, June 7, June 19
Tri-Tri-Tri-Tri	May 18, May 31, June 10, June 19
Az-Az-Az-Az	May 18, May 31, June 10, June 19
Chl-Chl-Chl-Chl	May 18, May 31, June 7, June 14
Hex-Hex-Hex-Hex	May 18, May 31, June 10, June 19
No fungicides	

<sup>a</sup>Az, Chl, My, Hex, Fen, Tri stand for Otiba (flowable, a.i. azoxystrobin 21.7%), Daconilace (flowable, a.i. chlorothalonil 53%), System (wettable powder, a.i. myclobutanil 6%), Hexaconazole (flowable, a.i. 2%), Dongbuwenari (emulsifiable concentrate, a.i. fenarimol 12.5%), and Trihumin (wetttable powder, a.i. triflumizole 30%), respectively.

**약제 처리조합 선발과 약제 처리.** 수박 흰가루병 방제를 위하여 등록된 약제 가운데 신규로 등록되어 사용기간이 오래 되지 않은 약제, 생산이 중단되거나 구입이 어려운 약제를 제외한 진천, 음성 지역 농가에서 사용되고 있는 약제 가운데 주성분이 다른 4가지 계통 5종류의 약제를 이용하여 Table 1과 같이 5가지의 살균제 4회 처리조합과 4가지 단일약제의 4회 반복 처리 조합을 설정하여 살포하였다(Table 1). 약제 살포간격, 약제 처리 농도 등은 농약사용지침서상의 안전사용 기준을 준수하여 Table 1과 같이 각각의 약제별 20리터 당 처리량은 아족시스트로빈 액상수화제(Az, 오티바, 8 ml), 클로로탈로닐 액상수화제(Chl, 다코닐에이스, 20 ml), 마이클로부타닐 액상수화제(My, 시트텐, 20 g), 헥사코나졸 액상수화제(Hex, 삼공헥사코나졸, 10 ml), 페나리몰 유제(Fen, 동부웨나리, 6.7 ml), 트리플루미졸 수화제(Tri, 트리후민, 5 g)로 하였다. 최초 약제 처리시기는 시험포장에 흰가루병이 자연 발병하여 흰가루병 병반이 처음 관찰되었을 때부터 약제를 처리하기 시작하였다.

**살균제와 아인산칼륨 교차살포.** 2010년에 선발된 살균제 4회 교차 방제체계(Chl-My-Fen-Hex)를 바탕으로, 살균제 살포횟수를 줄이기 위하여, 살균제를 아인산칼륨 500 µg/ml 수용액으로 1-3회 대체하여 살포하는 시험을 수행하였다. 아인산칼륨 500 µg/ml 수용액은 아인산 (98% H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>, Acros organics, USA) 500 µg/ml 수용액을 조제한 후 수산화칼륨(86.0% KOH, Kanto chemical, Japan)을 첨가하면서 pH meter를 이용하여 pH를 5.8-6.5로 맞추어 사용하였다. 2011년에는 수박연구소 내 비가림하우스 시설을 이용하여 살균제로서 주성분이 서로 다른 유기염소계의 클로로탈로닐 액상수화제(Chl), 트리아졸계의 마이클로부타닐 수화제(My)와 헥사코나졸 액상수화제(Hex), 피리미딘계열의 페나리몰 유제(Fen) 등 4종류의 살균제와 아인산칼륨 500 µg/ml 수용액(P)를 이용하여 ① P → My → Fen → Hex ② P → P → Fen → Hex, ③ P → P → P → Hex, ④ Chl → My → Fen → P 등 처리조합을 만들고 발병 초부터 10일 간격 4회 경엽살포 하였다. 2012년에는 방제효과를 향상시키고자 2011년과 동일한 시험조건에서 약제 처리 간격을 7일로 단축하여 시험을 수행하였다.

**통계분석.** 2010년, 2011년, 2012년 시험결과 얻어진 흰가루병 발병도 조사 자료에 대하여 독립적으로 분산분석을 수행하고, 처리 평균에 대한 Duncan's multiple range test를 이용하여 처리 평균간 비교를 하였다.

**결과 및 고찰**

처리한 9개 조합가운데 1차 또는 2차 방제에서 클로로탈로닐 액상수화제를 포함한 처리의 방제효과가 비교적 높게 나타났다(Table 2). 반면에 Az를 4회 살포한 처리의 방제효과는 극

**Table 2.** Control efficacy of nine different spraying on powdery mildew of watermelon in greenhouse in 2010

Treatment	DSI <sup>a</sup>			Control value (%) <sup>b</sup>
	Replicate 1	Replicate 2	Mean	
Az → Chl → My → Hex <sup>c</sup>	0	47.2	23.6 bcd <sup>d</sup>	75.4
Fen → Az → Hex → My	52.8	38.9	45.8 abcd	52.2
Chl → My → Fen → Hex	0	33.3	16.7 cd	82.6
My → Az → Chl → Hex	16.7	72.2	44.4 abcd	53.6
Hex → Chl → Az → Fen	16.7	33.3	25.0 bcd	73.9
Tri → Tri → Tri → Tri	69.4	66.7	68.1 abc	29.0
Az → Az → Az → Az	100	66.7	83.3 ab	13.0
Chl → Chl → Chl → Chl	0	0	0 d	100
Hex → Hex → Hex → Hex	47.2	0	23.6 bcd	75.4
No treatment	100	91.7	95.8 a	-

<sup>a</sup>Disease severity index =  $\frac{\sum(\text{class} \times \text{no. of leaves in class}) \times 100}{\text{total no. of plants} \times 4}$

, where the classes are established by diseased leaf area as follows: 0 = no symptoms; 1 = 1-5%; 2 = 5.1-20%; 3 = 20.1-40%; 4 > 40.1%.

<sup>b</sup>Control value (%) =  $\frac{(\text{DSI of no treatment} - \text{DIS of treatment}) \times 100}{\text{DSI of no treatment}}$

<sup>c</sup>Az, Chl, My, Hex, Fen and Tri stand for azoxystrobin applied as Otiba (21.7% flowable, Syngenta) at 0.009 ml a.i./l, chlorothalonil applied as Daconilace (75% flowable, Kyungnong) at 0.53 g a.i./l, myclobutanil applied as System (6% wettable powder, Kyungnong) at 0.06 g a.i./l, hexaconazole applied as Samgonghexaconazole (2% flowable, Hankooksamgong) at 0.01 ml a.i./l, fenarimol applied as Dongbuhwe-nari (12.5% emulsifiable concentrate, Dongbuhannong) at 0.04 ml a.i./l and triflumizole applied as Trihumin (30% wettable powder, Youngilchemical) at 0.075 g a.i./l, respectively.

<sup>d</sup>Values followed by the same letter are not significantly different at P = 0.05 based on Duncan's multiple range test.

히 낮은 방제효과를 나타내어 무처리와 비슷한 정도의 발병을 보였다. Chl를 4회 살포한 처리에서는 흰가루병이 전혀 발생하지 않아 100%의 높은 방제효과를 나타내었다. Chl 처리의 방제 효과가 높게 나타난 것은 약제 처리간격이 7일로서 다른 약제에 비하여 약제 살포 간격이 짧았던 것도 한 원인으로 분석되며, Az 방제효과 저하는 시험포장 내에 Az에 대한 약제 저항성균의 출현 때문으로 추정된다. 한편 우리나라에서 오이 흰가루병에서 Az에 대한 약제저항성은 보고된 바 있으며(Kim 등, 2008), 참외 등 수박 이외의 다른 박과류 작물 흰가루병에서도 Az에 대한 약제 저항성 발생을 시사하는 방제시험 결과가 학술 발표된 바 있다(Lee 등, 2010). 또한 Az는 fungicide resistance action committee에 따르면 약제저항성 고위험군으로 분류되어 있다. 이러한 상황을 종합하여 고려할 때 본 연구에서 Az 4회 처리 또는 Az가 포함된 처리의 방제효과 저하는 약제 저항성균 출현에 따른 것으로 추정되며, Az의 수박 흰가루병 방제효과 저하 현상은

진천, 음성 지역을 포함한 우리나라 수박 재배지에서 광범위하게 나타나고 있을 것으로 생각된다.

한편 2010년 시험 결과 방제효과가 가장 좋게 나타난 1번과 3번 살포체계 가운데 Az를 포함하지 않으며 방제 효과가 비교적 높게 나타난 3번 조합 Chl-My-Fen-Hex의 살균제 4회 처리 조합을 기본 방제체계로 선정하였다. Chl-My-Fen-Hex의 약제 방제 체계는 Chl를 제외한 3가지 약제의 작용기작이 동일하다는 (DMI, Demethylation inhibitor) 문제점을 안고 있다. 특히 스테롤 생합성을 저해하는 살균제(SBI, sterol biosynthesis inhibitor) 가운데 DMI 살균제간에는 동일한 곰팡이에 대하여 교차저항성이 있다고 판단하는 것이 합리적이다. 그러나 현재까지 국내에 이에 대한 보고가 없고 농가에서 수박 흰가루병 방제를 위하여 적법하게 사용할 수 있는 가용한 등록 살균제가 제한적인 점을 고려할 때 Chl-My-Fen-Hex의 방제체계는 수박 재배 농가에 제시할 수 있는 불가피한 선택으로 판단된다. 다만 이러한 방제 체계가 효과적이지 않다고 판단되는 농가에서는 DMI 살균제들 가운데 2가지를 항생제 계통인 폴리옥신D, 메트라페논, 또는

친환경자재 등으로 대체할 수 있을 것으로 생각된다.

2년차 연구에서는 Chl-My-Fen-Hex의 방제체계를 기본으로 하여 아인산칼륨과의 교호 살포를 통한 농약사용량 절감 및 약제 저항성균 출현억제를 위한 방제체계를 확립하고자 시험을 수행하였다. 아인산칼륨 500 µg/ml 수용액과의 교호 살포를 위하여 4회 방제체계 가운데 1차, 또는 1,2차, 1,2,3차 또는 4차 방제에서 살균제를 P로 대체하는 처리 조합을 만들고 시험을 수행하였다. 그 결과 1차 방제용 살균제를 아인산칼륨으로 대체하여 살포한 처리에서 75.6%의 비교적 높은 방제 효과를 유지하였다(Table 3). 이와는 달리 살균제를 아인산칼륨으로 2회 또는 3회 대체하여 살포하거나 4회 처리용 살균제를 아인산칼륨으로 대체한 처리의 방제효과는 크게 감소하였다. 이는 포장내 흰가루병균의 발병 압력이 높을 경우 아인산칼륨 10일 간격 처리가 병방제에 효과적이지 않기 때문으로 생각되며, 특히 1차 대체 처리의 방제효과가 4차 대체 처리에 비하여 의미 있는 차이를 보인 것은 아인산칼륨 처리에 따른 기주식물의 방어 기작

**Table 3.** Control efficacy of four different spraying on watermelon powdery mildew in green house in 2011<sup>a</sup>

Treatment	DSI <sup>b</sup>			Control value <sup>c</sup> (%)
	Replicate 1	Replicate 2	Mean	
① P <sup>d</sup> → My → Fen → Hex	3.2	8.9	6.1a <sup>e</sup>	75.6
② P → P → Fen → Hex	19.3	16.2	17.8ab	29.0
③ P → P → P → Hex	18.0	18.0	18.0ab	28.0
④ Chl → My → Fen → P	25.4	8.7	17.1ab	31.8
⑤ No treatment	25.4	24.6	25.0b	–

<sup>a</sup>Five treatments, including an untreated control, were assigned to plots in a randomized block design with two replicates in 2011. Each plot contained 11 plants, where 9 plants inside were treated and rated for disease severity.

$$^b\text{Disease severity index} = \frac{\sum(\text{class} \times \text{no. of leaves in class}) \times 100}{\text{total no. of plants} \times 4}$$

, where the classes are established by diseased leaf area as follows: 0 = no symptoms; 1 = 1–5%; 2 = 5.1–20%; 3 = 20.1–40%; 4 > 40.1%.

$$^c\text{Control value (\%)} = \frac{(\text{DSI of no treatment} - \text{DIS of treatment}) \times 100}{\text{DSI of no treatment}}$$

<sup>d</sup>P, Chl, My, Hex and Fen stand for potassium phosphate solution (500 µg/ml), chlorothalonil applied as Daconilace (75% flowable, Kyungnong) at 0.53 g a.i./l, myclobutanil applied as System (6% wettable powder, Kyungnong) at 0.06 g a.i./l, hexaconazole applied as Samgonghexaconazole (2% flowable, Hankooksamgong) at 0.01 ml a.i./l, and fenarimol applied as Dongbuhwenari (12.5% emulsifiable concentrate, Dongbuhannong) at 0.04 ml a.i./l, respectively. Each chemical was sprayed at 10-day intervals from June 9. Disease severity was rated 8 days after final treatment.

<sup>e</sup>Values followed by the same letter are not significantly different at P = 0.05 based on Duncan's multiple range test.

**Table 4.** Control efficacy of four different spraying on powdery mildew of watermelon in greenhouse in 2012<sup>a</sup>

Treatment	DSI <sup>b</sup>			Control value (%) <sup>c</sup>
	Replicate 1	Replicate 2	Mean	
① P <sup>d</sup> → My → Fen → Hex	14.4	4.7	9.6cd <sup>e</sup>	83.8
② P → P → Fen → Hex	36.4	16.7	26.5bc	55.1
③ P → P → P → Hex	34.7	34.4	34.6b	41.4
④ Chl → My → Fen → P	18.3	21.9	20.1bcd	65.9
⑤ Chl → My → Fen → Hex	6.4	5.8	6.1d	89.6
⑥ No treatment	53.6	64.4	59.0a	–

<sup>a</sup>Six treatments, including an untreated control, were assigned to plots in a randomized block design with two replicates in 2012. Each plot contained 9 plants, where 7 plants inside were treated and rated for disease severity.

$$^b\text{Disease severity index} = \frac{\sum(\text{class} \times \text{no. of leaves in class}) \times 100}{\text{total no. of plants} \times 4}$$

, where the classes are established by diseased leaf area as follows: 0 = no symptoms; 1 = 1–5%; 2 = 5.1–20%; 3 = 20.1–40%; 4 > 40.1%.

$$^c\text{Control value (\%)} = \frac{(\text{DSI of no treatment} - \text{DIS of treatment}) \times 100}{\text{DSI of no treatment}}$$

<sup>d</sup>P, Chl, My, Hex and Fen stand for potassium phosphate solution (500 µg/ml), chlorothalonil applied as Daconilace (75% flowable, Kyungnong) at 0.53 g a.i./l, myclobutanil applied as System (6% wettable powder, a.i. Kyungnong) at 0.06 g a.i./l, hexaconazole applied as Samgonghexaconazole (2% flowable, Hankooksamgong) at 0.01 ml a.i./l, and fenarimol applied as Dongbuhwenari (12.5% emulsifiable concentrate, Dongbuhannong) at 0.04 ml a.i./l, respectively. Each chemical was sprayed at 7-day intervals from June 5. Disease severity was rated 7 days after final treatment.

<sup>e</sup>Values followed by the same letter are not significantly different at P = 0.05 based on Duncan's multiple range test.

자극에 따른 저항성 유도 효과에 의한 것으로 추정된다(Jee 등, 2002). 한편, 모든 처리에서 아인산칼륨과 살균제 교차 살포에 다른 약해는 발생하지 않았다.

3년차 연구에서는 살균제와 아인산칼륨 교차방제체계의 방제 효과를 증진하고자 약제 또는 아인산칼륨 처리 간격을 10일에서 7일로 단축하여 시험을 수행하였다. 그 결과 10일 간격 처리에 비하여 1차 방제에서 아인산칼륨을 살균제로 대체한 처리의 방제효과가 다소 향상되는 것으로 나타났다(Table 4). 그러나 2회 또는 3회 대체 처리한 처리의 방제효과는 크게 향상되지 않아 전염원의 밀도가 높으며 흐린 날이 많거나 잦은 강우 등 흰가루병 발생에 유리한 기상조건에서 2회 이상 살균제 처리를 아인산칼륨으로 대체할 경우 흰가루병 방제에 실패할 가능성이 높은 것으로 생각된다. 한편 Chl-My-Fen-Hex의 살균제 4회 방제체계는 89.6%의 비교적 높은 방제가를 유지하는 것으로 나타나, 이 방법은 수박 흰가루병 방제를 위하여 농가에서 농약 관리법을 준수하면서 안정적으로 선택할 수 있는 한 가지 살균제 교차방제체계가 될 수 있다고 생각된다.

이 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 약제 적용시기의 제한성, 가격, 타 약제와의 혼용 또는 근접살포 회피 등을 고려한 약제 선발로 인하여 국내에서 수박에 등록된 모든 약제를 대상으로 한 시험을 수행하지는 못하였다. 또한 약제 처리순서에 대한 모든 조합의 방제효과를 검토하지 못한 한계점을 안고 있다. 따라서 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

흰가루병균은 생활환을 완성하기 위하여 무성생식과 유성생식을 반복한다. 따라서 유성생식 과정에서 새로운 형질을 획득할 가능성이 높으며, 작물 생육 기간 중에는 여러 차례의 무성생식을 반복함으로써 다른 식물병원균에 비하여 약제 저항성이 쉽게 발달하는 것으로 생각되고 있다.

한편 우리나라 수박 재배지에서 수박 흰가루병균의 유성세대는 아직 보고된 바 없다. 다만 일단 약제 저항성균이 출현할 경우 무수히 많은 분생포자를 형성하고 작물 생육기간 동안 여러 차례의 무성세대를 반복하는 특성 때문에 약제 저항성 집단이 쉽게 확산될 가능성이 높은 것으로 생각된다. 또한 농가에서는 수박이 고소득 작물인 까닭으로 신규로 등록되는 값비싼 동일 약제를 반복적으로 사용하는 경우가 많아 약제 저항성균 출현을 조장하는 환경에 있으나, 현재까지 국내에서 수박 흰가루병균에 대한 약제 저항성이 보고된 사례는 없다. 그러나 오이에서는 Az에 대한 약제 저항성 발생이 보고되었으며(Kim 등, 2008), 참외에서는 약제 저항성균 출현을 시사하는 방제시험 결과가 보고된 바 있다(Lee 등, 2010).

이 연구에서 제시된 Chl-My-Fen-Hex의 4회 방제체계는 흰가루병 방제에 어려움이 있는 신규 재배농가에서 농약안전사용 기준을 준수하면서 저비용으로 약해 발생에 대한 위험 없이 활용할 수 있는 교차방제체계로 생각된다. 또한 P-My-Fen-Hex의 아인산칼륨-살균제 교차 방제체계는 수박재배기술이 어느 정도 정착된 농가에서 농약 사용량과 방제 비용을 절감할 수 있는

교차방제체계로 사료된다.

## 요 약

우리나라 수박 재배지에서 발생하고 있는 흰가루병 방제를 위한 아인산칼륨-살균제 교차방제체계를 개발하였다. 2010년 시험에서는, 우리나라에서 수박 흰가루병 방제를 위하여 등록되어 합법적으로 사용 가능하며, 농가에서 사용중인 6종류의 살균제를 이용하여 9가지 처리조합을 구성하여 시험하였다. 그 결과 클로로탈로닐(Chl)-마이클로부타닐(My)-페나리몰(Fen)-헥사코나졸(Hex)의 처리가 가장 효과가 우수한 것으로 나타났으나, My, Fen, Hex의 작용 기작이 동일하다는 문제점이 있었다. 따라서 2년차 시험에서는 처리조합을 개선하고 농약사용을 줄이기 위하여 이들 살균제 외에 작용기작이 다르면서도 친환경적인 약제인 아인산칼륨을 이용하여 살균제-아인산칼륨 교차 살포 조합을 선발하기 위한 포장시험을 수행하였다. 10간격 처리에서, Chl-My-Fen-P는 31.8%의 방제효과를 나타낸 반면, Chl-My-Fen-P는 75.6%의 비교적 높은 방제효과를 나타냈다. 방제효과를 개선하기 위하여 3년차 시험에서는 살균제와 아인산칼륨을 7일 간격으로 살포하였다. Chl-My-Fen-Hex가 가장 높은 89.6%의 방제효과를 나타냈으나, 65.9%의 방제효과를 나타낸 Chl-My-Fen-P와 달리 P-My-Fen-Hex 또한 83.5%의 비교적 높은 방제효과를 나타냄으로써, 수박 흰가루병 방제를 위하여 Chl-My-Fen-Hex의 방제체계는 P-My-Fen-Hex로 대체할 수 있음을 시사하고 있다.

## Acknowledgements

This research was supported by a grant from the Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ007281 and PJ009282), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Davis, A. R., Levi, A., Wehner, T. C. and Pitrat, M. 2006. PI 525088-pmr, a melon race 1 powdery mildew-resistant watermelon line. *Hortscience* 47: 1527-1528.
- Jee, H. J., Cho, W. D. and Kim, C. H. 2002. Effect of potassium phosphonate on the control of phytophthora root rot of lettuce in hydroponics. *Plant Pathology J.* 18: 142-146.
- Jee, H. J., Ryu, K. Y., Park, J. H., Choi, D. H., Ryu, G. H., Ryu, J. G. and Shen, S. S. 2008. Effect of COY (cooking oil and yolk mixture) and ACF (air-circulation fan) on the control of powdery mildew and production of organic lettuce. *Res. Plant Dis.* 14: 51-56. (In Korean)
- Kim, J. Y., Hong, S. S., Lim, J. W., Park, K. Y. and Kim, H. K. 2008.

- Screening of fungicide resistance of cucumber powdery mildew pathogen, *Sphaerotheca fusca* in Gyeonggi province. *Res. Plant Dis.* 14: 95–101. (In Korean)
- Lee, J. H., Park, W. S., Park, E. S. and Han, B. S. 2010. The preventive and curative effects of fluthianil against powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea* on oriental melon. *Res. Plant Dis.* 16: 354–355. (Abstract)
- Lee, S. Y., Kim, Y. G. and Kim, H. G. 2007. Mass cultivation of a hyperparasite, *Ampelomyces quisqualis* 94013 for biological control of powdery mildew. *Res. Plant Dis.* 13: 191–196. (In Korean)
- Lee, Y. H., Cha, K. H., Ko, S. J., Park, I. J., Park, B. I. and Seong, K. Y. 2000. Evaluation of electrolyzed oxidizing water as a control agent of cucumber powdery mildew. *Plant Pathology J.* 16: 206–210.
- Liu, S. Y., Wang, L. L., Jiang, W. T., Li, Y. and Liu, Y. Y. 2011. Morphological and molecular characterizations of powdery mildew, *Podosphaera xanthii* occurring on cucurbits in Changchun Agri-Expo Garden, China. *Mycosystema* 30: 702–712.
- McGrath, M. T. 2001. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Dis.* 85: 236–245.
- Nam, M. H., Lee, W. K., Lee, S. S., Kim, N. G. and Kim, H. G. 2005. Control efficacy of milk concentration against powdery mildew of strawberry. *Plant Pathology J.* 21: 270–274.
- Shin, H. D. 2000. Erysiphaceae of Korea. In: *Plant Pathogens of Korea I*. National institute of agricultural science and technology, Suwon, Korea. 320 pp.
- Uchida, K., Takamatsu S., Matsuda S., So, K. and Sato, Y. 2009. Morphological and molecular characterization of *Oidium* subgenus *Reticuloidium* (powdery mildew) newly occurred on cucumber in Japan. *J. Gen. Plant Pathol.* 75: 92–100.