Strobilurin계 살균제에 대한 잣빛곰팡이병균 *Botrytis cinerea*의 저항성 검정

김아형¹ · 김선보² · 한기돈² · 김흥태^{1*}

¹충북대학교 농업생명환경대학 식물위학과, ²성보화학(주)

Monitoring for the Resistance of Strobilurin Fungicide Against *Botrytis cinerea* Causing Gray Mold Disease

Ah Hyeong Kim¹, Seon Bo Kim², Ki Don Han² and Heung Tae Kim^{1*}

¹Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Chungbuk, Korea

²Sungbo Chemical, 106 Daedeoksan-ro, Deogyang-gu, Goyang-si 412-170, Gyeonggi-do, Korea

(Received on May 29, 2014. Revised on June 5, 2014. Accepted on June 30, 2014)

Abstract This study was conducted to investigate the resistance of *Botrytis cinerea* to azoxystrobin, which belongs to strobilurin fungicides. The sensitivity of *B. cinerea* isolates, which were collected from infected pepper, strawberry, cucumber and tomato by a single spore isolation, to the fungicide was tested through a agar dilution method on PDA amended with fungicides and 100 µg mL⁻¹ of salicylhydroxamic acid (SHAM). All isolates of *B. cinerea* tested in this study were classified as a sensitive and a resistant group by 1.0 µg mL⁻¹ of EC₅₀ value to azoxystrobin. While the sensitive isolates accounted for 46.5% of *B. cinerea* population, the resistant ones did for 53.5%. According to the regions isolating *B. cinerea*, the highest isolation frequency was showed as 81.1% in Chungnam among the all. Among 4 host plants as pepper, strawberry, cucumber and tomato, the highest isolation frequency was obtained in strawberry, while the lowest was done in pepper. The isolate resistant to azoxystrobin showed the cross resistance to other fungicides included into strobilurins as kresoxim-methyl and trifloxystrobin. In spite of an excellent efficacy of strobilurins, it should be taken care to use them in the field, because of the high risk in the fields.

Key words *Botrytis cinerea*, Fungicide resistance, Strobilurins

서 론

Strobilurin계 살균제는 *Strobilurus* 속의 버섯에서 추출한 천연물을 기반으로 개발된 살균제로서 1996년부터 상품화되어 사용되고 있으며, 현재는 6종의 strobilurin계 살균제가 알려져 있다(Balba, 2007). 이 살균제들은 1999년 전 세계 농약시장의 약 10%에 해당하는 6억 2천만불 이상의 시장 점유율을 보여주었다. 특히 제일 먼저 상품화되었던 azoxystrobin은 72개국의 84종 작물에서 400종 이상의 식물병원

균의 방제에 사용되며, 살균제 중에서는 가장 큰 4억 1천 5백만불의 시장을 형성하고 있다(Pillips, 2001).

Strobilurin계 살균제는 cytochrome *bc1* 효소복합체에 부착하여 미토콘드리아의 호흡을 저해하는 살균제로서, 작용점이 특이하여 저항성의 발현 가능성이 매우 높은 살균제이다. Strobilurin계 살균제에 대한 포장저항성 발현은 1998년 북부 독일의 밀 재배 지역에서 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*에 의해서 발생하는 흰가루병에서 최초로 보고되었다(Heaney 등, 2000). 그 후 흰가루병균(Ishii 등, 2001; Sierotzki 등, 2000; Kim 등, 2008), 노균병균(Collina 등, 2005; Ishii 등, 2001), *Alternaria* spp. (Ma 등, 2003), *Pyricularia grisea* (Kim 등, 2003), *Venturia* sp. (Steinfeld 등, 2001) 등 다양한 식물병원균에서 살균제에 대해서 저항

*Corresponding author

Tel: +82-43-261-2556, Fax: +82-43-271-4414

E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

성이 발현하였다는 보고가 계속 되었다. 기주범위가 150여 종이 넘는 정도로 다양한 식물을 침입하는 *Botrytis cinerea*에서도 strobilurin계 살균제에 대한 저항성이 보고되었다. Ishii 등(2009)에 의하면, 2000년 일본 이바라끼현의 오이에서 분리한 34개의 *B. cinerea* 균주에서 저항성균은 하나도 없었지만, 2003년 이후 감귤과 딸기 등에서 저항성균의 출현율이 상승하였다. 특히 2008년 지바현의 딸기에서 분리한 23개의 균주는 모두가 저항성균으로 보고되었다.

국내에서는 감귤, 오이, 딸기 등에 발생하는 다양한 식물병의 방제를 위해서 strobilurin계 살균제가 단제 또는 혼합제의 형태로 여러 식물병을 대상으로 등록되어 사용되고 있기 때문에, 많은 병 방제를 위해서 여러 번 살균제를 처리할 경우에 약제저항성이 발생할 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 오이, 토마토, 딸기, 인삼 등에서 분리한 잣빛곰팡이병균을 사용하여 strobilurin계 살균제에 대한 실내 저항성 검정을 확립하고, 포장에서 분리한 균주에 대한 저항성 검정을 실시하여 저항성의 기준을 설정하고자 하였으며, azoxystrobin에 대해서 저항성인 균주가 다른 strobilurin계 살균제와 교차저항성이 있는지의 여부를 조사하였다.

재료 및 방법

병원균의 분리 및 보관

잣빛곰팡이병이 발생한 고추, 딸기, 오이와 토마토의 열매에서 병원균인 *Botrytis cinerea*를 단포자 분리하여 실험에 사용하였다. 잣빛곰팡이병균은 2011년 2월부터 3월 사이에 경기, 경남, 부산, 충남 지역에서 채집한 병든 고추, 딸기, 오이와 토마토의 열매를 채집한 후 단포자를 분리하였다. 채집한 시료에서 건전 부위와 발병 부분을 함께 적당한 크기로 잘라 petri dish (직경; 90 mm, 높이; 15 mm)에 넣고 20°C 항온기에서 2일간 광처리를 하여 포자를 발생시켰다. 이 때 petri dish에는 멸균수를 적신 여과지(직경; 90 mm)를 깔아 내부의 습도가 포화 상태로 유지되도록 하였다. 단포자 분리를 위해서 병징 표면에 형성된 포자를 현미경으로 관찰하며 capillary tube (직경; 1.5 mm, 길이; 90 mm)를 사용하여 포자를 한 개 씩 떼어내어 물한천배지에 치상하였다. 배지에서 2일간 배양한 후, 형성된 균사 끝을 떼어내어 PDA (potato dextrose agar, Difco) 배지에 이식하고 20°C 항온기에서 3일간 배양하였다. 형성된 균총의 균사 선단에서 균사조각을 떼어내어 PDA 사면 배지에 접종하고 20°C에서 다시 5일간 배양한 후, 4°C에서 보관하며 실험에 사용하였다.

살균제 저항성 모니터링

Strobilurin계 살균제인 azoxystrobin (a.i. 98.45%, Tech.), kresoxim-methyl (a.i. 44.2% SC), trifloxystrobin (a.i. 22%

SC)을 사용하여 잣빛곰팡이병균의 살균제에 대한 감수성 정도를 조사하였다.

병원균에 대한 살균제의 효과를 검정하기 위해서 PDA배지에서 한천희석법으로 병원균의 군사생장 억제효과를 조사하였다. 실험에 사용한 살균제를 DMSO (Dimethyl sulfoxide, Junsei Chemical Co., Ltd.)로 용해한 후 멸균한 PDA배지에 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1.0, 10.0, 100.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 농도가 되도록 첨가하였다. 이 때 배지 상에서의 DMSO의 최종농도는 1%가 넘지 않도록 조절하였다. Azoxystrobin을 제외한 나머지 2종의 살균제는 DMSO 대신에 멸균증류수를 사용하여 농도를 조절하였다. PDA배지에서 세균의 오염을 방지하기 위해서 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 streptomycin을 첨가하였다. 또한 병원균의 대체호흡을 억제하기 위해서 PDA배지에 SHAM (salicylhydroxamic acid)을 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 되도록 첨가하였다. 살균제의 효과는 병원균에 대한 군사생장 억제효과를 조사하여 검정하였다. 분리한 *B. cinerea* 균주를 PDA 배지에 접종한 후 20°C의 암상태에서 4일간 배양하고 군사선단 부위에서 직경 3 mm의 군사 조각을 떼어내어 각 살균제를 정해진 농도별로 첨가한 PDA 배지에 접종하였다. 병원균을 접종한 배지는 20°C에서 4일간 배양한 후 균총의 직경을 측정하고, 아래 식에 의해서 군사생장 억제율(%)을 계산하였다.

군사 생장 억제율(%) = $\{1 - (\text{살균제 첨가 배지에서 균총의 직경} / \text{무처리 배지에서 균총의 직경})\} \times 100$

계산한 군사생장 억제율을 가지고서 각 *B. cinerea* 균주에 대한 살균제의 EC_{50} 값을 구하여 살균제에 대한 감수성과 저항성의 분포를 비교하였다.

결과 및 고찰

잣빛곰팡이병균은 병든 고추, 딸기, 오이와 토마토에서 각각 11균주, 50균주, 10균주, 30균주 등 총 101개의 균주를 분리하여 실험에 사용하였다. 분리된 균주들을 지역별로 나누어보면 경기에서 14균주, 경남에서 31균주, 부산에서 19균주, 충남에서 37균주를 분리하였다.

Azoxystrobin의 군사생장 억제효과에 미치는 SHAM의 영향

B. cinerea 11-54에 대한 azoxystrobin의 군사생장 억제 효과는 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 SHAM을 PDA배지에 동시에 처리하였을 때만 나타났다(Fig. 1과 2). SHAM을 처리하지 않거나 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 만 처리하였을 때에는 1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 azoxystrobin의 효과가 각각 25.7과 27.5%에 지나지 않았지만, 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 SHAM을 처리하면 병원균의 군사생장을 100% 억제하였다.

Fig. 1. Effect of salicylhydroxamic acid (SHAM) on the activity of azoxystrobin against the mycelial growth of *Botrytis cinerea* 11-54. One hundred $\mu\text{g mL}^{-1}$ of SHAM was amended into PDA with each concentration of azoxystrobin.

Strobilurin계에 속하는 azoxystrobin은 미토콘드리아의 호흡대사에 관여하는 cytochrome *bc1*를 저해하는 살균제로 알려져 있다(Balba, 2007; Steinfeld 등, 2001). 인공배지상에서 *B. cinerea*와 *Mycosphaerella fijiensis* 등에 대한 strobilurin계 살균제의 활성을 검정하고자 할 때, 대체 호흡효소(alternative oxidase, AOX)의 활성에 의해서 살균제의 효과가 낮게 검정된다(Inoue 등, 2012; Wood와 Holloman,

2003; Seyran 등, 2010). 하지만 대체 호흡효소의 활성을 억제하는 SHAM을 처리하게 되면 그 효과가 상승하며 저항성과 감수성균의 구별이 가능해진다. 본 실험에서도 *B. cinerea* 11-54는 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 SHAM을 첨가하였을 때 배지상에서 azoxystrobin의 효과가 뚜렷하게 나타났다. 오이와 딸기 토마토 등에서 분리한 11-11을 비롯한 6개의 균주도 Fig. 3에서 보는 것처럼 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 SHAM을 배지에 첨가함으로써 azoxystrobin에 대한 감수성과 저항성 반응을 뚜렷하게 구별할 수 있었다. *B. cinerea* 11-11, 11-24, 11-107, 11-8, 11-31, 11-100 등 6균주를 SHAM을 첨가하지 않은 PDA배지에 접종하여 azoxystrobin의 군사생장 억제효과를 구한 결과, $0.01 \mu\text{g/mL}$ 의 azoxystrobin 처리구에서 억제 효과는 각각 18.3%, 17.9%, 18.8%, 11.4%, 9.8%, 63.2%이었으며, $0.1 \mu\text{g/mL}$ 의 azoxystrobin 처리구에서는 각각 50.1%, 25.3%, 48.1%, 13.3%, 11.9%, 62.8%로 나타났다. 하지만 $100 \mu\text{g/mL}$ 의 SHAM을 azoxystrobin과 같이 첨가하였을 경우에는 $0.1 \mu\text{g/mL}$ 의 azoxystrobin 처리구에서 각각 91.0%, 100%, 100%, 0.0%, 8.9%, 13.6%로, 그 효과가 큰 차이를 보이며 감수성과 저항성 균주로 구분되었다(Fig. 3).

Azoxystrobin에 대한 저항성 모니터링

각 지역의 고추, 딸기, 오이와 토마토에서 분리한 101개의 *B. cinerea* 균주는 Fig. 4에서 보는 것과 같이 azoxystrobin

Fig. 2. The efficacy of azoxystrobin on the mycelial growth of *B. cinerea* 11-54 on PDA with 100 (A) and 10 (B) $\mu\text{g mL}^{-1}$ of SHAM and without SHAM (C).

Fig. 3. Effect of azoxystrobin on the mycelial growth of *Botrytis cinerea* on PDA without SHAM (A) and with $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ of SHAM.

Fig. 4. Distribution of EC_{50} values of *Botrytis cinerea* isolates to azoxystrobin.

Fig. 5. Ratio of *Botrytis cinerea* isolates sensitive and resistant to azoxystrobin for the host plants (A) and the collection regions (B).

에 대한 반응이 $1.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 농도를 기준으로 감수성 반응과 저항성 반응으로 구분할 수 있었다. 전체 균주 중에서 감수성 균주의 비율은 46.5%이었으며, 저항성 균주는 53.5%를 차지하였다. 지역간 저항성 균주의 출현 비율은 경기, 경남, 부산에서 28.6, 41.9, 36.8%이었으며, 충남의 경우 81.1%로 다른 지역보다 높게 나타났다(Fig. 5B). 기주별로는 딸기, 오이, 토마토에서 분리한 균주의 68.0, 40.0, 50.0%가 저항성 균주로 판명되었지만, 고추에서는 9.1%만이 저항성 균주로 나타났다(Fig. 5A). 물론 집단마다 균주의 수가 동일하지 않았기 때문에 집단 간 저항성 발현 정도를 비교하기에는 어려움이 있을 것으로 판단한다. 하지만 포장에 나타나는 *B. cinerea*의 strobilurin계 살균제에 대한 저항성 발현 정도가 기주와 지역 간에 차이가 있음을 보여준다. 이 결과는 지역 간에, 그리고 기주 간에 처리하는 살균제의 종류가 다르며, 특히 충남지역과 딸기 재배지역에서 strobilurin

계 살균제의 사용이 많은 것을 보여주는 결과라고 생각한다. 따라서 이런 지역에서의 strobilurin계 살균제의 효과적인 사용과 저항성 관리를 위해서는 살균제를 계획적이며 효율적으로 사용할 수 있어야 한다.

Strobilurin계 살균제는 cytochrome *bc1*에 작용하여 전자 전달을 억제함으로써 결국 ATP 생성을 저해하는 매우 특이적인 작용점을 가지고 있다. 그러다보니 포장에서 저항성 발현 가능성이 높은 계통의 살균제로 관리되어 왔다. 벌써 *Alternaria alternata* (Ma 등, 2003), *Colletotrichum graminicola* (Avila-Adame 등, 2003), *Pyrenophora teres* (Sierotzki 등, 2007), *Erysiphe graminis* (Sierotzki 등, 2000), *Pseudoperonospora cubensis* (Zhang 등, 2008), *Veturia inaequalis* (Lesniak 등, 2011; Steinfeld 등, 2001) 등에서 저항성 발현이 보고되어 있으며, *B. cinerea*에서도 다수의 저항성 보고가 있다(Asadollahi 등, 2013; Chatzidimopoulos 등, 2013; Jiang 등, 2009; Zhang 등, 2011).

Asadollahi 등(2013)은 azoxystrobin에 대한 *B. cinerea*의 반응을 고저항성과 저저항성 그리고 감수성으로 구분하였다. 고저항성은 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ azoxystrobin을 처리한 PDA배지에서 *B. cinerea*의 생장을 무처리 배지에서 생장과 비교하여 50% 이상이 생장한 경우로 구분하였고, $1.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ azoxystrobin을 처리한 PDA배지에서 *B. cinerea*의 생장이 무처리 배지에서의 50% 이상이 되고, $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 를 첨가한 PDA배지에서는 생장하지 못하는 경우를 저저항성으로 구분하였다. 감수성의 기준은 $1.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 를 처리한 PDA배지에서 생장이 무처리 배지의 50% 이하일 경우이었다. 물론 이 때도 azoxystrobin에 대한 병원균의 반응을 검증하기 위해서 PDA배지에 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 SHAM을 첨가하여 실험하였다. Chatzidimopoulos 등(2013)은 azoxystrobin에 대한 반응을 포자 발아와 균사 생장 정도를 조사하여 구분하였는데, $10.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 azoxystrobin과 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ SHAM을 첨가한 처리에서 전혀 발아하지 못하고 균총을 전혀 형성하지 못하는 균주를 감수성 균주라고 구분하였다. 또한 Jiang 등(2009)은 $50.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 azoxystrobin과 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ SHAM을 첨가한 PDA배지에서 전혀 생장하지 못하는 균주를 감수성 균주로, 50.0과 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 azoxystrobin과 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ SHAM을 첨가한 PDA배지에서 생장이 가능한 균주를 저항성 균주로 구분하였다. 본 실험에서는 azoxystrobin에 대한 각 균주들의 EC_{50} 값을 구하여 감수성과 저항성 반응을 구분하고자 하였다. Azoxystrobin의 처리 농도에 대해서 실험에 사용한 101개의 *B. cinerea* 모든 균주의 반응을 보면 Fig. 6에서처럼 크게 두 개의 집단으로 나눌 수 있었으며, 각 균주의 EC_{50} 값의 분포를 표시한 Fig. 4에서도 뚜렷하게 두 개의 집단으로 구분되었다. 따라서 국내에서 채집한 *B. cinerea* 균주들은 azoxystrobin에 대한 반응을 가지고서 크게 감수성과 저항성의 두 개 집단으로 나

Fig. 6. Effect of azoxystrobin on the mycelial growth of 101 isolates of *Botrytis cinerea* isolated from pepper, strawberry, cucumber and tomato. Efficacy of azoxystrobin was investigated through a agar dilution method on PDA amended with 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of salicylhydroxamic acid (SHAM).

눌 수 있었는데, 각 균주들의 EC_{50} 값을 계산하여 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이상이면 저항성, 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이하이면 감수성으로 구분하였다.

Azoxystrobin에 대해서 감수성과 저항성 균주로 판명된 11-20과 11-74를 선발하여 동일한 strobilurin계 살균제로 알려진 kresoxim-methyl과 trifloxystrobin에 대한 교차 저항성 여부를 조사하였다(Fig. 7). 그 결과 azoxystrobin에 대해서 감수성이었던 *B. cinerea* 11-20은 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 kresoxim-methyl과 trifloxystrobin에서 균사의 생장이 100% 억제되었다. 하지만 저항성 균주로 판명되었던 11-74 균주는 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리에서조차 세 가지 살균제 모두에서 30% 이하의 균사생장 억제효과를 보여 주었다. 결국 다양한 기주에서 분리한 잣빛곰팡이병균인 *B. cinerea*는 서로 다른 살균제이지만 동일한 strobilurin 계열에 속하는 살균제에 대해서 동일한 반응을 나타내는 교차 저항성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

*Microdochium nivale*와 *Stemphylium vesicarium*에서도 azoxystrobin과 kresoxim-methyl에 대해서 저항성인 균주는 다른 strobilurin계 살균제인 trifloxystrobin, pyraclostrobin, picoxystrobin 등에도 저항성을 나타내는 교차 저항성이 보고되어 있다(Alberoni 등, 2010; Walker 등, 2009).

Strobilurin계 살균제는 미토콘드리아의 cytochrome *b*와 cytochrome *c1* 사이의 전자전달을 저해함으로써 미토콘드리아의 호흡을 저해하고 ATP 생성을 억제하여, 병원균이 기주식물을 침입하는 것을 방해한다(Sauter 등, 1999). 하지만 그 작용점이 매우 특이적이기 때문에 저항성의 발현 가능성이 높은 살균제로 알려져 있다. 특히 국내에서 잣빛곰

Fig. 7. Effect of three fungicides as azoxystrobin, kresoxim-methyl and trifloxystrobin including strobilurin group on the mycelial growth of *Botrytis cinerea* on PDA with 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

팡이병의 방제를 위해서 등록되어 있는 strobilurin계 살균제의 종류는 많지 않은데도 불구하고, 잣빛곰팡이병균인 *B. cinerea* 균주 중에서 strobilurin계 살균제에 대해서 저항성 균주가 출현된 것을 보면 포장에서 strobilurin계 살균제의 관리가 필요한 상황이다. Strobilurin계 살균제의 주요한 방제 대상 병원균도 아닌 *B. cinerea*에서 저항성균이 출현하고, 지역에 따라서 저항성균이 80% 이상으로 나타나는 이유는, 적용 범위가 넓은 strobilurin계 살균제들을 여러 가지의 식물병 방제에 사용하기 때문에 잣빛곰팡이병의 방제를 위해서 사용하지 않더라도 다른 병의 방제를 위해서 한 가지의 작물에서 이미 여러 차례 사용하고 있다. 따라서 포장에 전염원으로 남아있던 병원균은 살균제에 빈번하게 노출되고 저항성균이 나타나게 되었을 것으로 생각한다. 또한 strobilurin계에 속하는 동일한 계열의 살균제라고 할지라도 다른 상품명을 가진 다수의 품목이 포장에서 사용되고 있고, 다른 작용 기작을 가지고 있는 살균제와 혼합제의 형태로 개발되어 지속적으로 포장에서 사용되고 있는 것도 저항성 유발의 한 요인이 될 것으로 생각한다. 이러한 현실에서 살균제를 사용하는 농민이 살균제의 계열과 작용기작에 대해서 자세히 알지 못하고 사용하게 된다면, 포장에서 살균제 저항성 발현의 위험도는 더욱 높아지며, 병원균마다 저항성 발현 가능성에 차이가 있을 지라도 계속적으로 strobilurin계 살균제 저항성균이 나타나게 될 것이라고 생각한다. 따라서 포장에서 살균제에 대해서 저항성을 보이는 병원균의 출현을 방지하기 위해서는 최소한 주요 작물을 대상으로 그 작물에 발생하는 다양한 병을 종합적으로 방제할 수 있는 하나의 방제체계 확립이 중요하다고 생각한다. 종합 방제체계가 확립된다면 살균제의 사용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 동일한 작용기작을 갖는 살균제의 사용을 자제할 수 있기

때문에 저항성 관리도 효율적으로 실시할 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 “2012년도 충북대학교 학술연구지원사업”의 연구비 지원에 의하여 연구되어진 결과로, 연구비의 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

- Alberoni, G., D. Cavallini, M. Collina and A. Brunelli (2010) Characterisation of the first *Stemphylium vesicarium* isolates resistant to strobilurins in Italian pear orchards. *Eur. J. Plant Pathol.* 126:453-457.
- Asadollahi, M., A. Szojka, E. Fekete, L. Karaffa, F. Takács, M. Flippin and E. Sándor (2013) Resistance to QoI fungicide and cytochrome b diversity in the Hungarian *Botrytis cinerea* population. *J. Agr. Sci. Tech.* 15:397-407.
- Avila-Adame, C., G. Olaya and W. Koller (2003) Characterization of *Colletotrichum graminicola* isolates resistant to strobilurin-related QoI fungicides. *Plant Dis.* 87:1426-1432.
- Balba, H. (2007) Review of strobilurin fungicide chemicals. *J. Environ. Sci. Heal. Part B.* 42:441-451.
- Chatzidimopoulos, M., D. Papaevangelou and A. C. Pappas (2013) Detection and characterization of fungicide resistant phenotypes of *Botrytis cinerea* in lettuce crops in Greece. *Eur. J. Plant Pathol.* 137:363-376.
- Collina, M., L. Landi, P. Guerrini, M. B. Branzanti and A. Brunelli (2005) QoI resistance of *Plasmopara viticola* in Italy: biological and quantitative real-time PCR approaches, in *Modern Fungicides and Antifungal Compounds IV*, ed. by H. W. Dehne, U. Gisi, K. H. Kuck, P. E. Russell and H. Lyr. BCPC, Alton, Hants, UK, pp. 81-88.
- Heaney, S. P., A. A. Hall, S. A. Davies and G. Olaya (2000) Resistance to fungicide in the QoI-STAR cross-resistance group: current perspective, in: *Proceeding of the British Crop Protection Conference: Pest and Disease 2000*, Franham, Surrey, UK, British Crop Protection Council, pp. 755-762.
- Inoue, K., T. Tsurumi, H. Ishii, P. Park and K. Ikeda (2012) Cytological evaluation of the effect of azoxystrobin and alternative oxidase inhibitors in *Botrytis cinerea* FEMS *Microbiol. Lett.* 326:83-90.
- Ishii, H., B. A. Fraaije, T. Sugiyama, K. Noguchi, K. Nishimura and T. Takeda (2001) Occurrence and molecular characterization of strobilurin resistance in cucumber powdery mildew and downy mildew. *Phytopathology* 91:1166-1171.
- Ishii, H., J. Fountaine, W.-H. Chung, M. Kansako, K. Nishimura, K. Takahashi and M. Oshima (2009) Characterisation of QoI-resistant field isolates of *Botrytis cinerea* from citrus and strawberry. *Pest. Manag. Sci.* 65:916-922.
- Jiang, J., L. Ding, T. J. Michailides, H. Li and Z. Ma (2009) Molecular characterization of field azoxystrobin-resistant isolates of *Botrytis cinerea*. *Pest. Biochem. Physiol.* 93:72-76.
- Kim, J.-Y., S.-S. Hong, J.-W. Lim, K.-Y. Park and G.-G. Kim (2008) Screening of fungicide resistance of cucumber powdery mildew pathogen, *Sphaerotheca fusca* in Gyeonggi Province. *Res. Plant Dis.* 14:95-101.
- Kim, Y. S., E. W. Dixon, P. Vincelli and M. L. Farman (2003) Field resistance to strobilurin (QoI) fungicides in *Pyricularia grisea* caused by mutations in the mitochondrial cytochrome b gene. *Phytopathology* 93:891-900.
- Lesniak, K. E., T. J. Proffer, J. L. Beckerman and G. W. Sundin (2011) Occurrence of QoI resistance and detection of the G143A mutation in Michigan populations of *Venturia inaequalis*. *Plant Dis.* 95:927-934.
- Ma, Z., D. Felts and T. J. Michailides (2003) Resistance to azoxystrobin in *Alternaria* isolates from pistachio in California. *Pestic. Biochem. Physiol.* 77:66-74.
- Phillips McDougall (2001) Crop protection and agricultural biotechnology consultants. Report 249, July 2001.
- Sauter, H., W. Steglich and T. Anke (1999) Strobilurins: Evaluation of a new class of active substances. *Angew. Chem. Int. Ed.* 38:1328-1349.
- Seyran, M., T. B. Brenneman and K. L. Stevenson (2010) In vitro toxicity of alternative oxidase inhibitors salicylhydroxamic acid and propyl gallate on *Fusicladium effusum*. *J. Pest. Sci.* 83:421-427.
- Sierotzki H., J. Wullschlegel and U. Gisi (2000) Point mutation in cytochrome b gene conferring resistance to strobilurin fungicides in *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* field isolates. *Pestic. Biochem. Physiol.* 68:107-112.
- Sierotzki, H., R. Frey, J. Wullschlegel, S. Palermo, S. Karlin, J. Godwin and U. Gisi (2007) Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. tritici-repentis* and implications for QoI resistance. *Pest Manag. Sci.* 63:225-233.
- Steinfeld, U., H. Sierotzki, S. Parisi, S. Poirey and U. Gisi (2001) Sensitivity of mitochondrial respiration to different inhibitors in *Venturia inaequalis*. *Pest. Manag. Sci.* 57:787-796.
- Walker, A.-S., C. Auclair, M. Gredt and P. Leroux (2009) First occurrence of resistance to strobilurin fungicides in *Microdochium nivale* and *Microdochium majus* from French naturally infected wheat grains. *Pest. Manag. Sci.* 65:906-915.
- Wood, P. M. and D. W. Holloman (2003) A critical evaluation of the role of alternative oxidase in the performance of strobilurin and related fungicides acting at the Qo site of

Complex III. Pest. Mang. Sci. 59:499-511.
 Zhang, C., Y. Liu, L. Ding and G. Zhu (2011) Shift of sensitivity of *Botrytis cinerea* to azoxystrobin in greenhouse vegetables before and after exposure to the fungicide. *Phytoparasitica* 39:293-302.

Zhang, X., Y. Chen, Y. J. Zhang and M. G. Zhou (2008) Occurrence and molecular characterization of azoxystrobin resistance in cucumber downy mildew in Shandong Province of China. *Phytoparasitica* 36:136-143.

Strobilurin계 살균제에 대한 잣빛곰팡이병균 *Botrytis cinerea*의 저항성 검정

김아형¹ · 김선보² · 한기돈² · 김흥태^{1*}

¹충북대학교 농업생명환경대학 식물위학과, ²정보화학(주)

요 약 Strobilurin계 살균제인 azoxystrobin에 대한 잣빛곰팡이병균 *Botrytis cinerea*의 저항성 발현 여부를 조사하였다. *B. cinerea* 균주는 1.0 µg mL⁻¹의 azoxystrobin에 대한 반응을 기준으로 실험 균주 중에서 46.5%가 감수성 균주로, 53.5%가 저항성 균주로 판명되었다. 병원균을 분리한 지역별로 저항성 균주의 출현 비율은 경기, 경남, 부산에서 28.6, 41.9, 36.8%이었으며, 충남에서 81.1%로 다른 지역보다 높게 나타났다. 기주별로 저항성 균주는 딸기, 오이, 토마토에서 분리한 균주에서는 각각 68.0, 40.0, 50.0%, 고추에서는 9.1%만이 나타났다. Azoxystrobin에 대해서 감수성이었던 *B. cinerea* 11-20은 kresoxim-methyl과 trifloxystrobin에 대해서도 감수성 반응을 보였으며, 저항성 균주인 11-74는 3종의 살균제 모두에 대해서 교차 저항성이 있음을 보여 주었다. 본 실험의 결과 실험에 사용한 *B. cinerea* 균주의 53.5%가 저항성 반응을 보일 정도로 높은 저항성 출현율을 보였으며, 동일 계열의 살균제에 대한 교차 저항성 반응을 보이고 있기 때문에, 포장에서 strobilurin계 살균제에 대한 철저한 관리가 요구되어진다.

색인어 strobilurin계 살균제, 잣빛곰팡이병균, 살균제 저항성