

## 기원이 다른 저항성 유전자를 갖는 근동질 계통에서 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*의 증식과 이동

강선주\* · 이성은\* · 김민정\* · 한진수\* · 최재을\*<sup>†</sup>

\*충남대학교 농업생명과학대학 응용식물학과, 대전광역시 유성구 공동 220

### Multiplication and Movement of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in Rice Leaves with Resistance Genes Derived from Different Origins

Sun Joo Kang\*, Sung Eun Lee\*, Min Jeong Kim\*, Jin Soo Han\*, and Jae Eul Choi\*<sup>†</sup>

\*College of Agric. & Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

**ABSTRACT** The multiplication and movement of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice leaves of seven near-isogenic lines(NILs) derived from different genetic sources and from the susceptible cultivar Toyonishiki were examined. The bacterium populations increased rapidly in susceptible cultivar leaves of the inoculation sites but increased gradually in NIL leaves. *X. oryzae* pv. *oryzae* were detected at 20cm above the leaves of the inoculated sites in IRBB103 and Toyonishiki but were not detected in the other NILs at 25 days after inoculation. These results support that resistant genes restrict bacterial movement not multiplication.

**Keywords** : bacterial density, movement, multiplication, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*

**벼흰잎마름병**은 벼 잎의 수공이나 상처를 통하여 침입한 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*가 도관 속에서 증식하여 수분의 이동을 방해하기 때문에 잎의 황변, 시들음, 마름 증상이 나타나는 병해이다. 본 병이 발병한 잎은 광합성의 감소로 등숙율이 낮아져 수량감소 및 품질저하를 초래한다.

벼흰잎마름병은 약제방제 효율이 매우 낮아 저항성 품종의 재배가 가장 효과적이기 때문에 벼를 재배하는 국가에서는 저항성 품종을 육성 보급하는 과정에서 30개 이상의 저항성 유전자가 보고되었으며(Cheema *et al.*, 2008), 새로운 저항성 유전자가 계속 보고되고 있다.

우리나라에서 벼흰잎마름병 저항성 품종의 육종은 Japonica와 Indica의 교배종인 통일벼가 최초의 저항성 품종이고, 그

후에 밀양30호, 청청벼, 풍산벼, 백양벼, 한강찰벼, 밀양42호 등이 육성 보급되었다. 일반계 품종에서는 *Xa1* 유전자를 갖고 있는 심진벼가 최초로 육성 보급되어 벼흰잎마름병 방제에 크게 기여하였으며(Choi *et al.*, 1983), 그 후에 Wase Aikoku 3에서 유래된 *Xa3* 유전자를 이용하여 화영벼, 주남벼, 동진1호, 신동진벼 등이 육성되어 K3 race가 분포하고 있는 호남지역 벼흰잎마름병 방제에 효과적으로 이용되었다.

우리나라의 벼흰잎마름병 방제가 일본 품종에서 도입한 *Xa1*과 *Xa3* 유전자를 갖는 품종으로도 가능함에 따라 다양한 저항성 유전자를 갖는 품종이 육성되지 못하였다. 그러나 *Xa3* 유전자를 침해하는 K3a race(Noh *et al.*, 2003)가 출현되면서 새로운 저항성 유전자를 이용한 저항성 품종육성에 관심을 갖게 되었다.

Kang *et al.*(1996)은 국내 race에 안정적인 저항성 유전자는 *xa5* 및 *Xa7*이라고 하였고, Choi *et al.*(2003)도 *xa5* 및 *Xa7* 유전자가 국내 균주에 안정 지속성이 매우 높은 유용한 저항성원이라고 하였다. 최근에 *xa5* 유전자 갖고 있는 강백벼와 *Xa3*과 *xa5* 유전자가 집적한 익산493호가 육성되었으며, 이 품종들은 남평벼에 비하여 발병률이 매우 낮았다고 하였다(Noh *et al.*, 2007; Noh *et al.*, 2008)

식물의 저항성과 감수성 품종에서 병원세균의 증식 및 이동에 관한 연구가 일찍부터 보고되어 발병 유무 및 병반장과 함께 세균병 저항성 평가에 활용되고 있다. Robinson and Callow (1986)은 친화적 관계인 벼흰잎마름병균은 비친화적 관계인 세균보다 증식률이 높다고 하였고, Barton Willis *et al.*(1989), Kim and Choi(1990)도 친화적 관계인 병원세균이 비친화적 세균보다 증식률과 이동이 많다 고하였다. 그러나 Parry *et al.*(1986)은 병원세균의 증식과 이동

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5729  
(E-mail) choije@cnu.ac.kr <Received August 23, 2010>

은 비친화적, 친화적 관계와는 관련이 없고 다만 병징 발현에 차이가 있다고 하였다.

이상과 같이 벼흰잎마름병 저항성과 병원균의 증식 및 이동에 관한 연구가 보고되었으나 저항성 유전자와의 관계가 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 벼흰잎마름병 저항성 유전자를 1개 또는 2개가 집적된 근동질 계통을 이용하여 벼흰잎마름병 저항성 유전자가 벼흰잎마름병균의 증식과 이동, 병징 발현과의 관계를 밝혀 저항성 유전자의 안전성 평가를 위한 자료로 활용하기 위하여 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 사용종자 및 재배법

본 시험에 사용한 벼 계통(품종)은 Toyonishiki를 반복친, 일본과 IRRI의 판별품종 등을 저항성친으로 육성한 near isogenic lines(NIL, 근동질계통)(Ogawa *et al.*, 1991)을 International Rice Research Institute (IRRI, Philippines)에서 분양받아 충남대학교 농업생명과학대학 내병성육종실에 보관 중인 종자를 사용하였다. 종자를 Petri dish에서 발아시킨 후 벼 육묘용 상토를 채운 포트에 이식하여 유리온실에서 재배하였다.

### 사용 균주 및 균배양법

저항성 검정용으로 KXO50 및 KXO2005 균주를 사용하였으며, 병원세균을 Wakimoto's 감자 반합성 고체 배지(Wakimoto, 1955)(감자 300g 추출액 1,000 ml,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 g,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.5 g, peptone 5 g, sucrose 15 g, agar 15g, pH 7.0)에 이식하여 28°C에서 3일간 배양하였다.

### 접종법 및 조사방법

배양된 세균에 멸균수를 가하여 약  $10^8$  cell/ml 농도로 희석한 다음 접종원으로 사용하였으며, 6-7엽기에 가위로 잎의 끝을 2 cm 정도 자르고 절엽접종을 하였다.

병반장은 접종부위로부터 변색된 부위의 길이를 측정하였다.

접종한 부위에서의 병원세균 밀도는 접종 5일, 10일, 15일 후에 조사하였으며, 병원세균의 이동은 접종 25일 후에 접종부위로부터 5 cm 및 20 cm 위쪽을 조사하였다. 벼 잎을 1cm<sup>2</sup>의 크기로 자르고 치아염소산나트륨으로 표면소독한 후 1.7 ml tube에 멸균된 1%의 펩톤수 500  $\mu\text{l}$ 와 함께 넣어 마쇄하였다. 마쇄한 용액을 멸균수로 희석하여 벼흰잎마름병균 측정용 배지인 Suwa배지(1962)(증류수 1,000 ml, Na-glutamate 2 g,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  1g, glucose 5 g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$

0.1g, Fe-EDTA 1 mg, peptone 10g, agar 10g, pH7.5)를 20 ml씩 부은 Petri dish에 100  $\mu\text{l}$ 씩 골고루 도말한 다음, 28°C의 항온기에서 암상태로 3~5일간 배양한 후 colony수를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 병원세균의 증식과 병징 발현

병원세균인 *X. oryzae* pv. *oryzae*(Xoo)의 증식과 병반장과의 관계는 Fig. 1 및 2와 같다. KXO50균주 접종 5일 후의 NIL IRBB101(Xa1), 103(Xa3), 104(Xa4), 105(xa5), 107(Xa7), 50(Xa4+xa5) 및 감수성 품종 Toyonishiki의 접종부위의 Xoo 밀도는 각각  $1.84 \times 10^5$ ,  $2.75 \times 10^5$ ,  $2.46 \times 10^5$ ,  $1.45 \times 10^5$ ,  $1.20 \times 10^5$ ,  $1.14 \times 10^5$ ,  $2.27 \times 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>이었다. NILs에서의 Xoo 밀도는  $10^5$  cfu/cm<sup>2</sup>로 감수성 품종인 Toyonishiki  $10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>에 비하여 10배 낮았다. 접종 5일 후의 Xoo 밀도는 높은 농도로 증식하였으나 잠재 감염되었을 뿐이고 어느 품종도 병징은 나타나지 않았다.

KXO2005균주 접종 5일 후의 IRBB101, 103, 104, 105, 107, 50 및 Toyonishiki의 접종부위의 Xoo 밀도는 각각  $2.15 \times 10^5$ ,  $3.16 \times 10^6$ ,  $3.22 \times 10^6$ ,  $1.32 \times 10^5$ ,  $1.96 \times 10^5$ ,  $1.68 \times 10^5$ ,  $2.26 \times 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>이었다. IRBB103과 104의 Xoo 밀도는 감수성 품종과 유사하였으나 그 밖의 NILs의 Xoo 밀도는  $10^5$  cfu/cm<sup>2</sup>로 Toyonishiki에 비하여 10배 낮았다. 접종 5일 후의 Xoo 밀도는 모든 품종에서 높았으나 잠재 감염되었을 뿐이고 병징은 나타나지 않았다.

KXO50균주 접종 10일 후의 IRBB101, 103, 104, 105, 107, 50 및 Toyonishiki의 접종부위의 Xoo 밀도는 각각  $1.57 \times 10^5$ ,  $2.74 \times 10^5$ ,  $3.62 \times 10^6$ ,  $4.65 \times 10^5$ ,  $2.20 \times 10^5$ ,  $2.77 \times 10^5$ ,  $9.44 \times 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>이었다. IRBB104에서의 Xoo 밀도는 접종 5일 후보다 증가하였으나 그 밖의 NILs에서는 큰 변화가 없었다. 접종 10일 후의 병징은 IRBB103, 105, Toyonishiki에서 각각 0.9, 1.0, 2.7cm로 나타났으며 다른 NILs에서는 높은 Xoo 밀도로 잠재 감염되었으나 병징은 나타나지 않았다.

KXO2005균주 접종 10일 후, IRBB101, 103, 104, 105, 107, 50 및 Toyonishiki의 접종부위의 Xoo 밀도는 각각  $2.35 \times 10^5$ ,  $2.09 \times 10^5$ ,  $4.22 \times 10^5$ ,  $4.75 \times 10^5$ ,  $5.30 \times 10^5$ ,  $3.15 \times 10^5$ ,  $1.2 \times 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 접종 5일 후의 Xoo 밀도와 유사하였으나 Toyonishiki에서는 증가하는 경향이였다. 접종 10일 후의 IRBB103, 105, Toyonishiki의 병반장은 각각 1.0, 0.5, 3.8cm로 나타났으며, 그 밖의 NILs에서는 높은 Xoo 밀도로 잠재 감염되었으나 병징은 나타나지 않았다.

KXO50균주 접종 15일 후, IRBB101, 103, 104, 105,

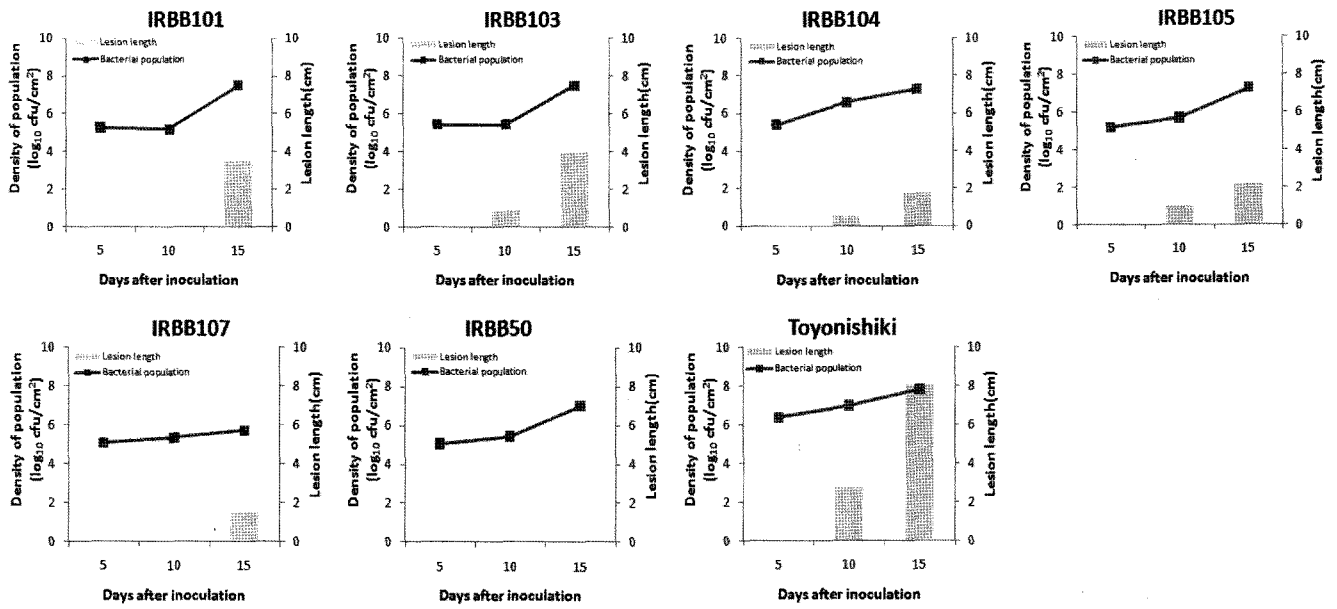


Fig. 1. Populations and lesion length of rice cultivars of inoculated with a KXO50 isolate of *X. oryzae* pv. *oryzae*. Leaves sampled 5, 10 and 15 days after inoculation with the KXO50 isolate through the clip inoculation method.

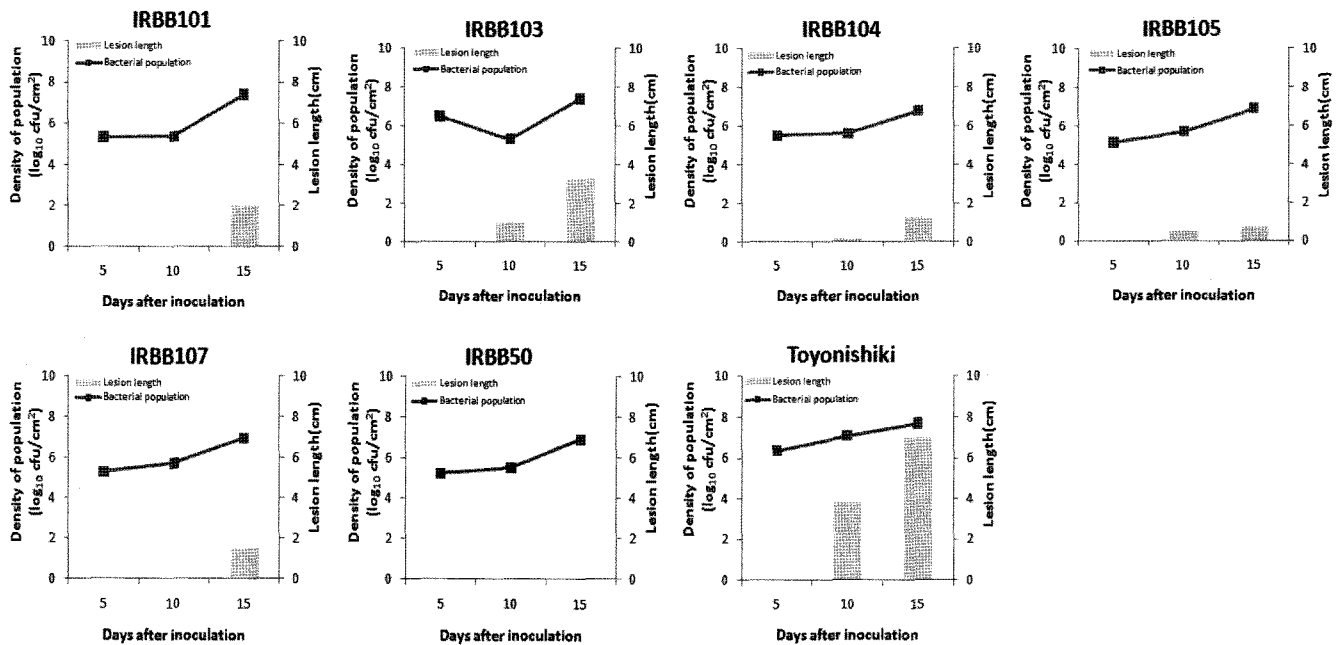


Fig. 2. Populations and lesion length of rice cultivars of inoculated with a KXO2005 isolate of *X. oryzae* pv. *oryzae*. Leaves sampled 5, 10 and 15 days after inoculation with the KXO2005 isolate through the clip inoculation method.

107, 50 및 Toyonishiki의 접종부위의 Xoo 밀도는 각각  $3.20 \times 10^7$ ,  $3.16 \times 10^7$ ,  $1.88 \times 10^7$ ,  $1.86 \times 10^7$ ,  $5.30 \times 10^5$ ,  $1.04 \times 10^7$ ,  $6.68 \times 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 IRBB107을 제외하면 10<sup>7</sup> cfu/cm<sup>2</sup>까지 높게 증가하였다. 접종 15일 후의 IRBB101, 103, 104, 105,

107 및 Toyonishiki의 병반장은 각각 3.5, 4.0, 1.8, 2.2, 1.5, 8.0cm로 NIL과 감수성 품종의 구분이 가능하였다. 그러나 IRBB50에서 Xoo는  $1.04 \times 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>의 높은 밀도를 나타냈으나 병징은 나타나지 않았다.

KXO2005균주 접종 15일 후의 IRBB101, 103, 104, 105, 107, 50 및 Toyonishiki의 접종부위 Xoo 밀도는 각각  $2.62 \times 10^7$ ,  $2.62 \times 10^7$ ,  $6.20 \times 10^6$ ,  $7.60 \times 10^6$ ,  $9.46 \times 10^6$ ,  $8.30 \times 10^6$ ,  $4.80 \times 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 NILs은 접종 10일보다 Xoo 밀도가 증가하는 경향이었으나 Toyonishiki에서는 유사하였다. 접종 15일 후의 IRBB101, 103, 104, 105, 107의 병반장은 각각 2.0, 3.3, 1.3, 0.7, 1.5로 감수성 품종인 Toyonishiki의 병반장 7.0cm와 구분되었다. 그러나 IRBB50에서는  $8.30 \times 10^6$ 의 높은 밀도를 나타냈으나 병징은 나타나지 않았다.

이상과 같이 감수성 품종인 Toyonishiki의 접종부위에서 베타원잎마름병균의 증식은 접종 5일 후에  $10^6 \sim 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 급속히 증식하여 접종 15일 후까지 유지하였다. 그러나 NILs에서는 접종 5일 후에  $10^5 \sim 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>로 감수성 품종보다 10배정도 낮았으며, KXO50균주를 접종한 15일 후에는 IRBB107을 제외하면  $10^6 \sim 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 증식하여 감수성 품종의 Xoo 밀도 수준까지 증식하였으나 병반장은 감수성 품종에 비하여 짧거나 병징이 나타나지 않았다.

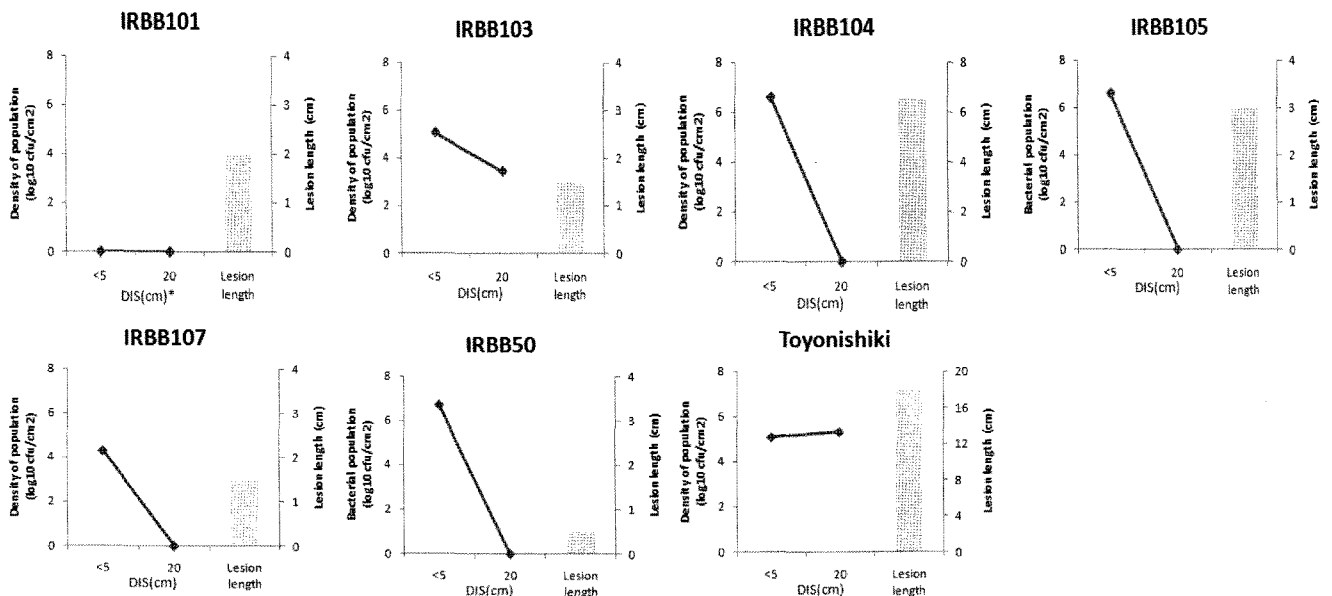
Mazzola *et al.*, (1994)는 11일묘의 IRBB21(*Xa21*) 및 감수성 품종에서 Xoo의 증식 차이가 없었다고 하였으나 21일묘에서는 감수성 품종이 IRBB21보다 100배로 증가하고 병반장의 구분이 가능하였다. 이러한 차이는 *Xa21* 유전자는 유묘기 저항성이 없기 때문이라고 하였다. Reimers and Leach(1991)는 10일묘의 저항성 품종(*Xa10*)과 감수성 품종에서 Xoo의 증식량은 구분이 가능하다고 하였다. 이러한

보고는 본 연구에서 저항성과 감수성 품종의 Xoo의 증식량은 접종 10일 후까지 구분이 가능하다는 결과와 일치하였다. 그러나 Iyer-Pascuzzi *et al.* (2008)는 IRBB105의 접종부위에서 Xoo의 증식은 접종 9일까지 감수성 품종인 Toyonishiki와 유사하나 13일 후에는 감수성 품종에서 10배 증가한다고 하여 본 연구결과와 상이하였다. 저항성과 감수성 품종에서 Xoo의 증식 차이는 접종원의 농도, 기온, 저항성 유전자, 생육단계, 접종 후의 조사일 등의 차이에 의한 것으로 추정된다.

NILs에서 접종 14일 후의 Xoo 밀도가 감수성 품종과 유사하게 존재하는 경우에도 병징이 나타나지 않거나 병반이 짧은 이유는 무엇일까? 이러한 이유는 감수성 품종은 접종 초기에 병원세균이 급속도로 증식하여 기주가 병원균을 인식하기 전에 병징이 발현되나 NIL에서는 병원세균의 증식 속도가 늦어 기주가 병원균을 인식하여 병징 발현이 억제되기 때문이라고 판단된다.

**접종부위로부터 병원세균의 이동**

NIL과 감수성 품종에 KXO2005균주를 접종하여 25일 후에 병반장과 세균밀도를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 접종 25일 후, 접종 5cm 위쪽 앞의 Xoo 밀도는 Toyonishiki, IRBB103, 104, 105, 107 및 50가 각각  $1.25 \times 10^5$ ,  $1.20 \times 10^5$ ,  $4.04 \times 10^6$ ,  $3.87 \times 10^6$ ,  $2.00 \times 10^4$ ,  $4.81 \times 10^6$ 이고 IRBB101에서는 분리되지 않았다.



**Fig. 3.** Multiplication and movement of *X. oryzae* pv. *oryzae* in the xylem vessels of the inoculated leaves of rice cultivars. Leaves sampled 25 days after inoculation with KXO2005 isolate through the clip inoculation method. DIS : Distance of inoculated site(cm).

접종 25일 후의 병반장은 Toyonishiki가 18cm, IRBB101, 103, 104, 105, 107, 50의 병반장은 각각 3, 3.5, 4.0, 3, 1.5, 0.5cm로 나타났다. NILs에서는 병징이 나타나지 않은 접종 부위로부터 5cm 위에서 Toyonishiki와 유사한 농도의 Xoo가 분리되었다. 접종 25일 후, 접종 20cm 위쪽 앞에서의 Xoo 밀도는 Toyonishiki와 IRBB103이 각각  $2.12 \times 10^5$ ,  $2.81 \times 10^3$  cfu/cm<sup>2</sup>로 건전한 부위에서 병원세균이 분리되었으나 그 밖의 NILs에서는 병원세균 분리되지 않았다. 이러한 결과는 IRBB103 이외의 NILs에서는 병원세균의 이동을 억제하기 때문으로 판단된다.

Iyer-Pascuzzi *et al.* (2008)의 는 보고에 의하면 IRBB105는 접종부위 3cm까지 Toyonishiki의 Xoo의 밀도와 유사하였다. 그러나 Toyonishiki는 접종부위에서 12cm까지 Xoo의 밀도 변화가 크지 않았으나 IRBB105에서는 접종부위가 멀어질수록 Xoo의 밀도가 낮았으며 12cm에서는 Xoo가 9일후까지는 분리되지 않았으며 13일후에도  $10^1$  이하로 분리되어 본 연구결과와 일치하는 경향이였다.

본 연구결과에 의하면 병징의 발현에 필요한 Xoo의 농도는 병원세균이 물의 이동을 방해할 수 있는 농도와 동일할 것으로 추정된다. 따라서 벼흰잎마름병의 병징발현에 필요한 병원세균의 농도는  $10^6 \sim 10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 추정되며 병징의 발현은 병원세균의 밀도가 높을수록 빠를 것으로 판단된다.

저항성 품종에서 병징없이 높은 농도로 증식한 Xoo는 앞에서 월동하여 다음 해의 1차 전염원으로 작용할 수 있을 것으로 추정된다. 따라서 육안으로 관찰되지 않는 건전한 잎도 전염원으로 작용할 수 있으므로 벼흰잎마름병의 방제 대책에 대한 새로운 개념이 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

저항성원이 다른 7개의 근동질 저항성 계통과 감수성 품종인 Toyonishiki에서 *X. oryzae* pv. *oryzae*의 증식과 이동에 관한 시험을 실시하였다. 접종 10일 후, NIL의 접종부위 앞의 세균밀도는 약  $10^5 \sim 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>이었으나 감수성 품종인 Toyonishiki에서는 약  $10^7$  cfu/cm<sup>2</sup>로 높게 나타났다. 이와 같이 감수성 품종에서의 세균 수는 급속히 증가하였으나 NIL에서는 점차적으로 증식하였다. IRBB103과 Toyonishiki는 접종 25일 후에 접종부위로부터 20cm 위쪽에서 세균이 검출되었으나 다른 NIL에서는 검출되지 않았다. 이와같이 *Xa1*, *Xa4*, *xa5*, *Xa7* 저항성 유전자는 세균의 이동을 크게 억제하였다.

## 사 사

본 연구는 Biogreen 21사업의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부임.

## 인용문헌

- Barton-Willis, P. A., P. D. Guo and J. E. Leach. 1989. Growth dynamics of *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* in leaves of rice differential cultivars. *Phytopathology* 79: 573-578.
- Cheema, K. K., N. K. Grewal, Y. Vikal, R. Sharma, J. S. Lore, A. Das, D. Bhatia, R. Mahajan, V. Gupta, T. S. Bharaj and K. Singh. 2008. A novel bacterial blight resistance gene from *Oryza nivara* mapped to 38 kb region on chromosome 4L and transferred to *Oryza sativa* L. *Genetics Res.* 90: 397-407.
- Choi S. H., S. W. Lee, S. S. Han, D. K. Lee and T. H. Noh. 2003. Identification of durable resistance genes against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in Korea. *Korean J. Breed.* 35: 283-288.
- Choi, J. E., S. H. Park and S. H. Bae, 1983. Resistance of rice varieties to bacterial leaf blight in Korea. *Res. Rept. ORD* 25(C): 134-143.
- Fry, S. M. and R. D. Milholland. 1990. Multiplication and translocation of *Xylella fastidiosa* in petioles and stems of grapevine resistant, tolerant, and susceptible to pierce,s disease. *Phytopathology* 80: 61-65.
- Iyer-Pascuzzi, A. S., H. Jiang, L. Huang and S. R. McCouch. 2008. Genetic and functional characterization of the rice bacterial blight disease resistance gene *xa5*. *Phytopathology* 98: 289- 295.
- Kang, H. K., J. E. Choi and N. K. Park. 1996. Reaction of resistant near-isogenic lines for bacterial blight bred in IRRI to Korean isolates of *Xanthomona oryzae* pv. *oryzae*. *Korean J. Breed.* 28: 247-254.
- Kim, H. Y. and J. E. Choi. 1990. Studies on manifestation of bacterial leaf blight resistant gene 1. Relationship between the resistance of rice to bacterial leaf blight and the multiplication and spread of the *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*. *Korean J. Crop Sci.* 35: 132-136.
- Mazzola, M., J. E. Leach, R. Nelson, and F. F. White. 1994. Analysis of the interaction between *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* and the rice cultivars IR24 and IRBB21. *Phytopathology* 84: 392-397.
- Noh, T. H., K. Y. Kim, D. K. Lee, H. K. Shim, M. H. Kang, and J. C. Park. 2008. Disease incidence, Yield and Quality comparisons among rice varieties with different resistance to bacterial leaf blight. *Res. Plant Dis.* 14: 171-175.
- Noh, T. H., D. K. Lee, J. C. Park, H. K. Shim, M. Y. Choi, M. H. Kang and J. D. Kim. 2007. Effect of bacterial leaf

- blight occurrence on rice yield and grain quality in different rice growth stage. Res. Plant Dis. 13: 20-23.
- Noh, T. H., D. K. Lee, M. H. Kang, M. S. Shin and S. Y. 2003. Identification of new race of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo) in Korea. Phytopathology 93(suppl.): S66(Abstr.).
- Ogawa, T., T. Yamamoto, G. S. Khush and T. W. Mew. 1991. Breeding of near-isogenic lines of rice with single gene for resistance to bacterial blight pathogen (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) Japan J. Breed. 41: 523-529.
- Parry, R.W.H. and J.A. Callow. 1986. The dynamics of homologous and heterologous interaction between rice and strains of *Xanthomonas oryzae*. Plant Pathol. 35: 380-389.
- Reimers P. J. and J. E. Leach. 1991. Race- specific resistance to *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* conferred by bacterial blight resistance gene *Xa-5* in rice (*Oryza sativa*) involves accumulation of a lignin-like substance in host tissues. Physiol. Plant Pathol. 38: 39-55.
- Robinson, J. N. and J. A. Callow. 1986. Multiplication and spread of *Xanthomonas campestris* in host and non-host plant. Plant Pathol. 35: 167-177.
- Suwa, T. 1962. Studies on the culture media of *Xanthomonas oryzae* (Uyeda et Ishiyama) Dowson. Ann. Phytopath. Soc. Japan 27: 165-171.
- Wakomoto, S. 1955. Studies on the multiplication of OP<sub>1</sub> phage (*Xanthomonas oryzae* bacteriophage) 1. One-step growth experiment under various condition. Sci. Bul. Fac. Agr. Kyushu. Univ. 15: 151-160.