

규소 시용에 의한 오이 흰가루병 발병억제

이중섭* · 임명순¹

원예연구소 원예환경과, ¹고령지농업시험장

요약 : 본 시험은 오이 양액재배시 배양액내 규산칼륨(K_2SiO_3) 처리에 의한 흰가루병 방제여부를 검토하기 위하여 규산칼륨(K_2SiO_3 , 25~27%의 SiO_2 , Kanto)을 0.85 mM($50 \text{ mg} \cdot L^{-1}$), 1.7 mM($100 \text{ mg} \cdot L^{-1}$) 및 3.4 mM($200 \text{ mg} \cdot L^{-1}$)의 농도로 배양액에 처리하고 1.7 mM, 8.5 mM, 17 mM 및 34 mM의 농도로 엽면살포하였다. 생육중기(정식 51일)에 규산 3.4 mM 배양액 처리구는 흰가루병 병반면적율이 2.3%로 0.95 mM 처리구의 38.3%에 비해 현저히 억제되었다. 그러나 1.7 mM과 3.4 mM 처리간에는 현저한 차이가 없었다. 배양액내 규산의 농도를 0.05 mM에서 4.10 mM까지 증가시켰을 때 잎당 병반수, 병반면적 및 발아관 길이는 규산의 농도 증가에 따라 감소하였다. 규산을 처리한 잎에서의 분생포자 발아율은 처리농도가 높아질수록 현저하게 감소하였으며, 저농도 처리구(1.40 mM 이하)에서는 14.7%~20.3%, 고농도처리구(1.85 mM 이상)에서는 9.0%~12.4%였다. 2% 물한천 배지에서 농도시험에서는 발아율이 1.1%~2.0%로 일정한 경향을 나타내지 않았다. 규산칼륨을 17 mM의 농도로 희석하여 엽면살포한 결과 무처리에 비하여 흰가루병 발생이 현저히 억제되었으며, 방제효과 지속기간은 병원균 접종후 4일까지였다.(2000년 4월 27일 접수, 2000년 6월 23일 수리)

Key words : 오이, 양액재배, 규산칼륨, 흰가루병, 방제.

서 론

양액재배에서 규산칼륨과 규산나트륨을 배양액에 사용하여 일부 식물병을 방제 할 수 있음이 보고(Carver 등, 1987)되었으나 아직까지 실용화된 바는 없다. 식물체내에 규소가 축적되는 장소는 뿌리와 잎 그리고 작물의 화관으로 보고되고 있다(Parry 등, 1975). 규소가 생물적 스트레스, 즉 병원균이나 해충의 피해를 줄일 수 있다고 보고되었는데, 생육중인 벼에 규소를 사용하면 도열병에 의한 피해가 현저히 감소되었으며 처리농도가 높아질수록 처리 효과가 컸다(Miyake와 Ikeda, 1932). 또한 고농도의 규소가 사용된 대나무, 사탕수수, *Eustachys paspaloides*, *Andropogon greenwayi* 및 *Panicum coloratum* 등 몇가지 병원균 및 해충의 침입에 현저한 저항성을 나타내었다고 보고되었다(McNaughton과 Tarrants, 1983). 배양액을 통한 규소 공급으로 포도나무 흰가루병(*Uncinular necatar*)을 방제하였다는 보고도 있다(Bowen 등, 1992). Stumpf와 Heath(1985)는 규소에 의한 병발생 억제가 병원균의 콜로니 형성 능력을 억제하는 현상 때문인지 분명하지 않다고 하였다. Yamauchi와 Winslow(1989)는 규소가 부족한 토양에 규소를 주면 수량 증수는 물론 벼의 병발생을 현저히 억제시켰다고 보고하고 있다. Miyake와 Takahashi(1983) 및 Adatia와 Besford(1986)는 Si를 식물체에 사용하면 자연 발병된 오이 잎에서의 흰가루병 병반면적을 및 잎당 병반수가 감소한다고 보고하였다. 본 연구의 목적은 수용성 규산칼륨을 뿌리와 잎에 각각 처리하였을 때 *Sphaerotheca*

*fuliginea*에 의한 흰가루병의 잎당 병반수, 병반면적, 병반크기 및 분생포자 발아의 변화를 측정하여 흰가루병의 방제 효과 및 효과지속을 조사하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 원예연구소 유리온실에 설치된 순환식 양액재배 시설에서 시험하였다. 발아된 오이(은성백다다기)종자를 72공 육묘상자에 26일 동안 육묘후 묘를 암면 큐브($10 \times 10 \text{ cm}$)에 정식하고 암면 슬라브 위에 올려놓아 정기적으로 배양액을 공급하면서 재배하였다. 사용한 양액은 원예연구소에서 '95년에 조성한 다량 원소 N, P, K, Ca, Mg 조성이 각각 12.7, 2.0, 7.0, 5.0, 2 $\text{me} \cdot L^{-1}$ 인 오이양액을 사용하였다. 미량원소는 B, Mn, Zn, Cu, Mo, Fe를 각각 0.5, 0.5, 0.05, 0.02, 0.01, 3 $\text{mg} \cdot L^{-1}$ 로 하여 공급하였다. 사용된 원수의 전기전도도(EC)는 0.1~0.2 $\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$, pH는 6.8~7.0, 규소농도는 0.17~0.25 mM 정도인 지하수를 사용하였다. 배양액의 공급시간은 생육 단계별로 조절하여 주간에만 하루 2시간 간격으로 1회당 4분씩 4회에서 12회까지 공급하였다. 배양액은 양액 탱크로부터 각 처리구의 끝까지 LD호스를 통하여 분당 3.1 mL의 속도로 공급하고 사용된 양액은 다시 탱크로 흡입하여 재순환하여 사용하였다. 병원균은 자연 발병한 오이잎에서 그 병징과 균학적 특성으로 흰가루병원균(*Sphaerotheca fuliginea*)임을 확인하였다. 오래된 분생포자를 털어낸 후 24시간 후의 신선한 포자를 채집하였다. 병원균 접종시 포자농도는 $25,000 \text{ 개} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 조절하였으며, 포자 현탁액을 잎당 20~25방울씩 떨어뜨려 접종하였다. 또 다른 접종방법으로 병든 잎을 7~8개의 병원

*연락처

균 균총을 가진 2 cm² 크기의 절편으로 잘라 잎 위에 눌러 접종하였다.

규산염의 배양액 첨가에 의한 병 발생 억제효과 조사

배양액은 Na₂SiO₃를 사용하여 규소의 농도가 0, 0.45, 0.9, 1.35, 1.8, 2.7 그리고 3.6 mM의 농도로 각각 조절하였다. 사용 지하수의 규소농도(0.17~0.25 mM) 및 0.05 mM의 규산염을 포함하는 처리구는 물(지하수)을 역삼투압 방식으로 1~3회 정수하여 규소를 0의 수준으로 만들었다. 배양액의 전기전도도(EC)는 2.0에서 2.6 dS·m⁻¹까지 규산염의 농도를 이용하여 증가시켰다. 접종 10일 후에 병반크기, 잎당 병반수, 병반면적, 분생포자의 발아율을 각각 조사하였다. 병반크기는 버어니어캘리퍼스를 이용하여 최대 직경을 측정하였으며 병반면적은 휴대용 엽면적 측정기(Li-Cor 3,000, USA)로 측정하였다. 잎의 규산함량을 분석하기 위해 각 처리당 16~20 cm 정도 크기의 10개 엽육조직을 채취하여 65°C에서 건조시켰다. 건조중량을 측정하고 막자사발에서 마쇄한 후 도가니에 넣어 375°C에서 예비회화를 1시간 한 후 550°C로 높여 16~20시간 회화(灰化)하였다. 규산염 탈수를 위해 태우고 난 회분을 1 N HCl을 1:1(v/v)로 처리하여 열판상에서 건조(乾固)를 위해 2시간 동안 증발시켰다. 그리고 나서 가열한 1.5 M HCl을 이용하여 회분속의 구성성분을 용출하기 위해 수회 반복하여 세척하였다. 세척 후 용액을 등근 눈금 플라스크 속에서 Whatman No. 40 무회여과지(ashless filter paper)를 사용하여 여과하였다. 여과 후 여과지상에 남은 불용성 잔재물을 건조시킨 후 750°C 회화로에서 8~9시간 재차 회화하여 데시케이터속에서 냉각시켜 규산(SiO₂)의 무게를 측정하였다.

규산염의 엽면살포에 의한 병 발생 억제효과 조사

규산염으로 규산칼륨을 이용하였고 무처리구는 같은 영양분을 포함하는 배양액(pH 6.0)을 사용하였으나 규산칼륨은 따로 공급하지 않았다(Si와 K의 배양액내의 농도: 각각 0.05 mM과 7.0 mM). 엽면살포 시기는 3장의 본엽이 완전히 전개하였을 때로 하였다. 규산칼륨은 1.7, 8.5, 17.0 mM의 농도로 살포하였으며, 여기에는 0.5, 2.5, 5.0 mM의 K를 각각 포함하고 있었다. 무처리구는 증류수(pH 5.5)를 살포하였다. 규산염 살포구는 규산칼륨을 증류수에 적당량 희석하여 인산을 가지고 pH를 5.5로 조절한 후 살포용액 500 mL당 Tween 20을 2~3방울 가하였다. 엽면처리시 8주의 잎 표면에 살포용액이 흘러내릴 정도로 충분히 처리하였다. 살포 24시간 후 처리구별로 흰가루병균을 접종하였다. 그 후 7~10일 동안 재배하면서 잎위에 형성된 흰가루병 균총수를 조사하였다. 본 시험은 34 mM Si 살포구를 첨가하여 반복 수행하였다.

규산염의 엽면살포시 흰가루병 발병억제 효과 지속기간

조사

온실 베드에 0.05 mM 규산이 포함된 배양액을 사용하여 오이를 재배하였으며, 처리시기는 두 번째 본엽이 완전히 전개하였을 때 처리당 12주의 2번 잎 윗면에 규산 17 mM를 살포하였다. 이때 살포액은 pH 5.5로 조절하였으며, 살포시기는 접종하기 336, 168, 96, 72, 48, 24시간 전으로 하였다. 잎당 병반수는 접종 7일 후에 조사하였다. 육안으로 조사한 균총의 수와 발병이 지연된 기간과의 관계 및 두 번째 본엽이 완전히 전개하였을 때 충분한 규산 엽면살포 후 병원균 접종과의 관계를 분산분석을 사용하여 유의성을 조사하였다.

규산염의 분생포자 발아 및 발아관 생장에 미치는 영향 조사

규산칼륨의 농도가 0, 1.7, 8.5, 17.0, 34.0 mM(인산으로 pH 5.5 적정)가 되도록 조절하여 2% 물한천 배지에 첨가하여 일회용 페트리 접시에 분주하였다. 그 후 *S. fuliginea*의 분생포자를 가진 병든 잎을 규산칼륨을 함유한 페트리 접시 위에 거꾸로 놓아 분생포자가 배지 표면위에 밀착하도록 접종하였다. 본 시험은 5반복으로 수행하였다. 처리된 일회용 페트리 접시는 20°C 암조건에서 24시간 두었다. 광학 현미경 100배시야에서 처리당 100개 이상의 분생포자를 임의로 선택하여 발아율을 조사하였고, 발아된 분생포자중 무작위로 10개를 선택하여 발아관의 길이를 측정하였다. 이때 분생포자의 발아관 길이가 포자의 폭만큼 길지 않은 것은 발아관으로 간주하지 않았다.

결과 및 고찰

규산염의 배양액 공급에 의한 병 발생 억제효과

흰가루병의 발병 및 진전은 1.85 mM과 2.3 mM 규산 처리구에서 무처리에 비하여 억제되었으나, 처리농도가 낮은 0.95 mM 이하 처리구에서는 하위엽에서 발병 정도가 높았으며, 상위엽으로 병반이 형성되어 진전되었다(그림 1).

정식후 51일(생육중기)에는 0.95 mM 규산 처리구에서 38.3%가 발생한 반면 2.3 mM 처리구에서는 2.3%로 발병이 현저히 억제되었다(그림 1). 이러한 결과는 Miyake와 Takahashi(1983)의 'Corona' 품종에 대한 규산 처리 결과와 일치되었다. 이들의 연구에 의하면 병 발생 억제는 규소가 잎의 큐티클층에서 세포간극 및 세포내에 축적되어 병원균 침입에 대한 물리적인 층으로 작용하여 병원균의 침입을 억제하였기 때문으로 보고하고 있다. 한편 규산 0.95 mM 이하의 저농도 처리구에서는 병 발생에 의한 잎의 손실로 수량이 감소하였다. 배양액을 통한 계속적인 규산 공급은 병 발생이 심한 순환식 양액재배지에서 병 발생 억제에 상당히 효과적이었다. *S. fuliginea*에 대한 잎당 병반수는 4번엽의 241개에서 19개로 92%까지 감소하여 부의 상관 관계를 나타내었다(표 1). 흰가루병 병반 크기는 규산 사용에 의해 4번엽에서 75%(표 1)까지 감소되었으며 병반면적에

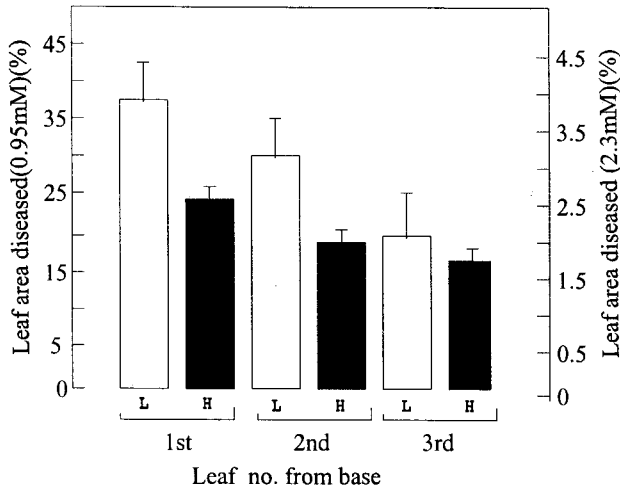


Fig. 1. Effect of K_2SiO_3 application on development of powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*, in late June before fungicide application. H : High rate (2.3 mM), L:low rate (0.95 mM). Vertical bars represent SE of the mean (18 plants per treatment).

서도 규산 농도의 증가에 의해 유의하게 감소하였다(표 1, 그림 2).

병반면적율은 규산의 농도를 0.05 mM에서부터 4.10 mM까지 단계적으로 증가시킬 때 4번잎에서 99%까지 감소하였다(표 1). 이러한 결과는 Miyake와 Takahashi(1983)가 규소를 처리하여 병반수를 줄였다고 보고한 것 보다 상당히 높은 효과를 나타내었다. 식물체의 조직속에 존재하는 규소의 양과 병발생 정도와의 관계는 벼의 도열병(Aleshin 등, 1986; Volk 등, 1958), 밀의 *Erysiphe graminis tritici* (Leusch와 Buchenauer, 1989) 및 보리의 흰가루병(Jiang 등, 1989)에서 보고되었다. Heath(1981)는 규소 처리가 병원균의 침입을 억제한다고 보고하였으나 정확한 방제기작은 밝히지 못하였다. 한편, 규소는 병원균의 침입처인 잎에서 현저하게 축적되었다. 본 시험에서도 *S. fuliginea*의 침입처에 다량의 규소가 축적되었는데, 축적된 규소는 물리적인 장벽으로 작용하여 병원균의 침입을 억제하는 것으로

판단되었다. *S. fuliginea*의 분생포자 발아는 4번잎에서는 47%가 감소되었으며, 규산 농도를 증가시킬 때에 의해 발아율이 현저하게 감소되었다(표 1). 규산농도가 낮은 배양액에서 성장한 식물체의 잎에서는 분생포자 발아율이 14.7~20.3%였으나 농도가 높은 배양액에서 성장한 식물체에서는 발아율이 9.0~10.1%였다(표 1). 한편 5번엽에서는 분생포자 발아율이 2.1~6.6%였으나 4번엽에서보다 규산의 처리 농도와의 관련성은 적었다(자료미제시). 이는 상위엽으로 갈수록 세포내에 축적되는 규소의 양이 줄어들기 때문으로 추정되었다. 따라서 배양액내 규산 농도를 1.8 mM 이상으로 증가시키는 것은 *S. fuliginea*의 발병억제에 추가적인 효과를 주지 못하였을 뿐만 아니라 규소의 축적량이 더 이상 증가하지 않기 때문에 흰가루병 억제효과의 증가로 나타나지 않는 것으로 생각되었다(그림 3).

규산 처리구 각각의 식물체로부터 잎을 채취하여 규소의 함량을 측정된 결과 잎에서의 규소함량과 배양액내 규산의 처리 농도사이에 유의한 관계를 나타내었으며(그림 3), 배양액내 규산의 처리농도가 높을수록 건물중이 증가되어 고농도 처리구에서는 규소함량이 3.6~6.2%였고 저농도 처리구에서는 0.3~3.8%의 범위를 나타내었다(표 2).

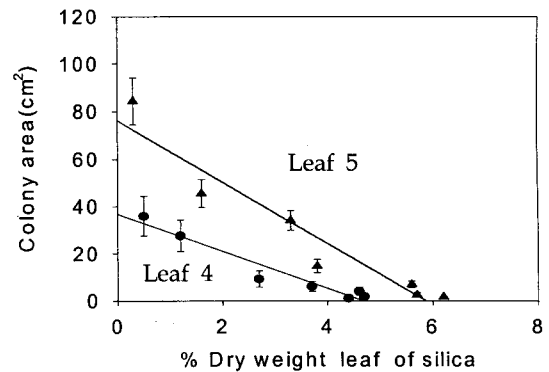


Fig. 2. Relationship between leaf silicate content and colony area of *Sphaerotheca fuliginea* on cucumber. ●=leaf 4, $Y=36.88+(-7.9x)$, $r^2=0.94$, $n=7$; ▲=leaf 5, $Y=76.3+(-12.98x)$, $r^2=0.92$, $n=7$.

Table 1. Effect of Na_2SiO_3 application on colony development of *Sphaerotheca fuliginea* on the 4th leaf of cucumber

| Si concentration (mM) | Colony number per leaf ^{a)} | Colony size(mm ²) ^{a)} | Diseased leaf area(cm ²) ^{a)} | Conidial germination(%) ^{a)} |
|-----------------------|--------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| 0.05 | 241 | 1.62 | 36.1 | 18.6 |
| 0.50 | 190 | 1.41 | 27.7 | 20.3 |
| 0.95 | 88 | 1.10 | 9.3 | 14.7 |
| 1.40 | 59 | 1.01 | 6.2 | 18.0 |
| 1.85 | 41 | 0.74 | 4.1 | 12.4 |
| 2.30 | 21 | 1.18 | 1.2 | 10.6 |
| 3.20 | 23 | 0.70 | 1.9 | 10.1 |
| 4.10 | 19 | 0.41 | 0.8 | 9.0 |

^{a)}Values are means of 5 replications.

Table 2. Effect of Si application concentration of Si on Si content in cucumber leaves.

| Silicate concentration applied(mM) | Silicate contents(% dry weight) ^{a)} | |
|------------------------------------|---|----------|
| | Leaf 4 | Leaf 5 |
| 0.05 | 0.5±0.05 | 0.3±0.02 |
| 0.50 | 1.1±0.22 | 1.5±0.08 |
| 0.95 | 2.5±0.39 | 3.2±0.10 |
| 1.40 | 3.6±0.44 | 3.5±0.16 |
| 1.85 | 4.4±0.52 | 5.2±0.32 |
| 2.30 | 4.5±0.66 | 5.5±0.43 |
| 3.20 | 4.7±0.75 | 6.0±0.61 |

^{a)}A total of five leaves were pooled per treatment.

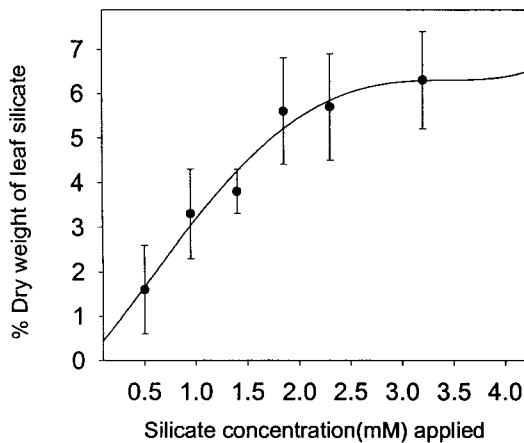


Fig. 3. Effect of soluble silicate application on cucumber plants and leaf content of silicate of the 5th leaf. $Y=-0.02+(3.9x)+(-0.6x^2)$, $r^2=0.98$, $n=7$.

규산염의 엽면살포에 의한 병발생 억제효과

1.7 mM 규산 농도의 배양액과 17.0 mM 이상의 높은 규산 농도의 배양액을 엽면처리한 결과, 무처리와 비교하여 흰가루병 병반수가 현저하게 감소하였다(표 3). 한편, 증류

수를 경엽에 살포한 처리구에서는 규산 처리구와 비교할 때 병반수가 감소되지 않았다. 또한 규산의 엽면 살포시는 처리농도가 높아질수록 잎의 병반 형성은 현저하게 감소하여 부의 상관을 나타내었다(그림 4). 17 mM 및 34 mM 규산칼륨의 엽면처리는 1.7 mM 규산을 배양액에 처리하여 뿌리를 통하여 흡수시킨 처리구와 유사한 발병 억제효과가 있었다(표 3).

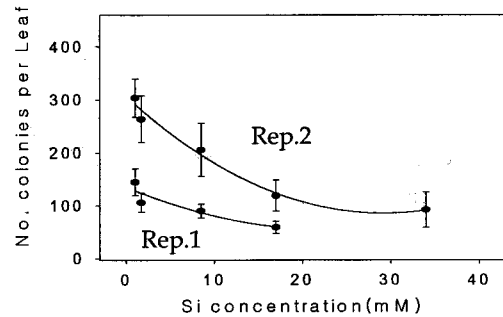


Fig. 4. Powdery mildew colony formation in response to Si concentration in foliar sprays. Curves fit to a logarithmic function of the form $y=y_0+ae^{(-bx)}$. Cucumber plants were inoculated with *Sphaerotheca fuliginea*, Replicate trial 1(Rep. 1), $R^2=0.4066$, $P<0.01$, $Y_0=42.9342$, $a=-69.3158$, $b=0.0189$; Rep. 2, $R^2=0.9057$, $P<0.001$, $Y_0=266.8682$, $a=-266.5922$, $b=0.0007$.

규산염의 엽면처리시 흰가루병 발병억제 및 지속효과

흰가루병 병반수의 증가 및 진전 양상을 보면 규산 엽면 살포 후 시간이 경과하면서 병원균의 접종시간이 지연됨에 따라 잎에서의 병반수는 증가되었다(그림 5).

반복 1에서 규산 엽면처리후 병반수가 감소하다가 100시간 처리시 다시 증가한 것으로 보아 잎에서의 병반형성이 억제되는 기간은 100시간 정도로 판단되었으며, 그 이후에도 발병이 억제되었으나(그림 5, Rep. 2) 그 정도가 크지 않기 때문에 추가적인 재살포가 요구되었다.

또한 규산의 엽면 살포와 *S. fuliginea*의 접종까지의 기간

Table 3. Effect of Si treatment on development of colonies of powdery mildew on cucumber^{a)} leaves

| Si concentration applied(mM) | Treatment | No. established colonies | |
|------------------------------|-------------------|--------------------------|--------|
| | | Rep. 1 | Rep. 2 |
| 0.0 | Untreated | 131 ab | 315 a |
| 1.7 | Nutrient solution | 71 de | 26 d |
| 0.0 | Si Spray | 145 a | 304 a |
| 1.7 | " | 106 bc | 264 ab |
| 8.5 | " | 90 cd | 206 bc |
| 17.0 | " | 59 e | 119 cd |
| 34.0 | " | - | 93 d |

^{a)}The colony counts were made on leaf 2. Mean separation in columns by DMRT($P<0.05$).

은 발병이 지연된 기간과 정의 상관관계를 나타내었다(그림 5).

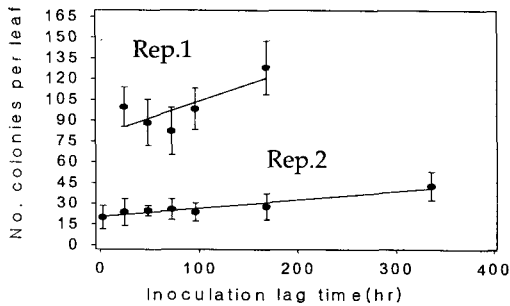


Fig. 5. Persistence of 17mM Si foliar sprays effect on reducing the number of colonies by *Sphaerotheca fuliginea* on leaves of cucumber. Lag time refers to the time interval between Si spray and pathogen inoculation. Replicate trial 1(Rep. 1), $Y=131.6041-2.4066X+0.0123X^2$, $R^2=0.8255$, $P<0.001$; Rep. 2, $Y=10.6805-0.0022X$, $R^2=0.0612$, $P<0.01$.

규산칼륨 기내처리와 분생포자 발아 및 발아관 성장에 미치는 영향

규산칼륨을 34 mM까지 배지에 처리한 결과 *S. fuliginea*의 분생포자 발아율은 1.1%~2.0%로 물한천 배지에 존재하는 규산칼륨 양은 분생포자 발아에 큰 영향을 미치지 않았다(표 4). *S. fuliginea* 분생포자 발아관의 평균길이는 규산칼륨을 첨가한 처리구에서는 26.1 μm 이었으며, 첨가하지 않은 처리구는 26.5 μm 로 물한천배지에서의 규산칼륨 처리량은 발아관의 길이에 아무런 영향을 주지 않았다(표 4). 그러나 Bowen 등(1992)은 포도 흰가루병에서 물한천 배지에 규산칼륨 처리 24시간 후 분생포자의 발아 및 *U. necator*의 발아관 성장이 증가한다고 보고하였다. 따라서 엽면살포에 의한 잎 표면위 규산칼륨 결정의 코팅은 잎 표피세포상의 병원균의 침입에 물리적인 장벽으로서 작용한

Table 4. Effect of Si on *in vitro* conidial germination and germtube growth of *S. fuliginea*

| Si concentration in media(mM) | Conidial germination(%) ^{a)} | Germtube length(μm) ^{b)} |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 0.0 | 1.8 a | 26.5 a |
| 1.7 | 1.1 a | 25.4 a |
| 8.5 | 1.4 a | 26.0 a |
| 17.0 | 2.0 a | 25.5 a |
| 34.0 | 1.9 a | 27.1 a |

^{a,b)}Means values, N=100, 10.

것으로 생각되었다.

배양액내에 규산칼륨 처리는 오이의 *S. fuliginea*에 대한 자연적 저항성을 증가시킨다는 것이 광학현미경과 주사전자현미경 관찰을 통하여 보고되었다(Menzies 등, 1991b). 또한 규소와 페놀화합물이 흰가루병 병원균의 침입부위 주변에 축적된다는 것도 보고되었다(Menzies 등, 1991b; Samuels 등, 1991a). 비록 이러한 비슷한 연구가 오이의 규산 엽면살포에 의해 행하여지지 않았다 하더라도 규소는 잎 속으로 흡수되어 뿌리를 통하여 흡수 공급시킨 규소의 양과 비슷한 방법으로 세포내에 축적되어 병원균에 대하여 물리적인 장벽으로 작용 할 것으로 추측되었다. 이러한 추측은 규산칼륨을 엽면 살포한 잎을 접종 4~5시간 전에 표면을 세척처리해도 규산칼륨을 살포하지 않은 잎보다 현저하게 균총수가 감소한 결과로 나타났다(표 5).

따라서 식물체내 규소의 흡수는 병원균의 침입처를 물리적으로 보호함으로써 병원균에 의한 발병을 억제하는 것으로 확인되었다. 그러나 규산칼륨의 엽면살포에 의해서는 그 효과의 지속기간이 길지 않기 때문에 발병억제 효과는 오랫동안 유지되지 못하였다(그림 5). Samuels 등(1991)은 오이 잎에 1.7 mM 규산칼륨 배양액을 엽면처리 하였을 경우 배양액으로부터 규산칼륨을 제거하였을 때 발병억제 효과가 단지 24시간 지속되었다고 하였다. 그러나 잎 표면위에 규산칼륨의 농도(17 mM) 엽면처리하는 규산이 조직속에 흡수되어 병원균의 발육 또는 침입을 100시간 정도 억제하는

Table 5. Effect of adaxial and abaxial application of 17mM Si and post-spray leaf washing on development of colonies of *Sphaerotheca fuliginea* on cucumber plants

| Period between Si spray and pathogen inoculation(h) | Leaf surface sprayed | No. colonies | |
|---|----------------------|--------------------|--------|
| | | Rep. 1 | Rep. 2 |
| 24 | Adaxial | 88 c ^{a)} | 35.7 b |
| 48 | " | | 31.3 b |
| 24 | Abaxial | 111 ab | 42.8 a |
| 48 | " | | 43.6 a |
| 24, washed off | Adaxial | 104 bc | 30.4 b |
| Untreated(control) | " | 150 a | 41.5 a |

^{a)}Mean separation in columns by DMRT(P<0.0002)(SAS, 1998).

것으로 판단되었다. 한편 17 mM 규산칼륨 배양액을 잎의 배측 표면위에 엽면처리시 병반수를 줄이지 못한 것은 규소 흡수를 위한 배측 잎 표면의 대사활동이 저하(무 활동성)한데에 원인이 있을지도 모른다. 반대로 배측 잎 표면을 통하여 흡수된 규소가 비이동적이기 때문에 잎에서 멀리까지 이동하지 못한데 기인하였는지 모른다. 규소의 이러한 비이동성은 흰가루병의 자연 감염에 대한 규산칼륨의 엽면 살포 효율을 저하시키는 요인으로 작용할 수도 있을 것이다. 규산칼륨의 엽면살포시 흰가루병의 발병억제에 관한 작용기작은 아직 명확하게 밝혀지지 않았다. 규산칼륨의 엽면 살포시 병 발생이 현저히 억제되었으나 물한천 배지 상에서는 규산칼륨 처리에 의해 영향을 받지 않았다(표 4). 이는 물한천 배지상에서는 환경조건이 다를 뿐 만 아니라 식물체 내에서처럼 규소가 흡수 및 탈수되어 결정체로 되는 상태가 저하되어 뚜렷한 차이를 나타내지 못한 것으로 추측되었다. 포장에서의 규소 처리에 관하여는 규산나트륨 250 kg/ha과 규산칼륨 4,500 kg/ha 까지의 범위에서 사용되었다 (Leusch와 Buchenauer, 1989; Mathai 등, 1978; Miyake와 Takahashi, 1983b). 본 연구결과 배양액 및 엽면처리는 이보다 아주 낮은 농도로 처리해도 효과적이라는 것을 입증해 주었다. 결과적으로 수용성 규산칼륨을 가지고 배양액을 조절하여 공급하는 것과 엽면살포는 흰가루병의 발생을 억제하였다(표 3). 이 결과는 오이 흰가루병에 대한 규소의 이용 가능성을 시사하고 있다.

인용문헌

- Adatia, M. H. and R. T. Besford (1986) The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.*, 58:343~351.
- Aleshin, N. E., E. R. Avakyan, E. R. Dyakyan, S. A. Dyakunchak, E. P. Aleshkin, V. P. Baryshok and M. G. Voronkov (1986) Role of silicon in resistance of rice to blast. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR* 29(2):499~502.
- Bowen, P., J. Menzies, D. Ehret, L. Samuels and A. D. M. Glass (1992) Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on Grape leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:906~912.
- Carver, T. L. W., R. J. Zeyen and G. G. Ahlstrand (1987) The relation between insoluble silicon and success or failure of attempted penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germlings on barley. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 31:133~148.
- Heath, M. C. (1981) The suppression of the development of silicon containing deposits in French bean leaves by exudates of the bean rust fungus and extracts from bean rust-infected tissue. *Physiol. Plant Pathol.* 18:149~155.
- Jiang, D., R. J. Zeyen and V. Russo (1989) Silicon enhances resistance of barley to powdery mildew.(Abstr.) *Phytopathology*. 79:1,198.
- Leusch, H. J. and H. Buchenauer (1989) Effect of soil treatments with silica-rich lime fertilizers and sodium trisilicate on the incidence of wheat by *Erysiphe graminis* and *Septoria nolorum* depending on the form of N-fertilizer. *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz.* 96(2):154~172.
- Mathai, G., P. V. Paily and M. R. Menon (1978) Effect of fungicides and silica in the control of sheath blight disease of rice caused by *Corticium sasakii*(Shiriai). *Agric. Res. J. Kerala.* 19(1):79~83.
- McNaughton, S. J. and J. L. Tarrant (1983) Grass leaf silicification: natural selection for an inducible defense against herbivores. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 80:790~791.
- Menzies, J. G., D. L. Ehret, A. D. M. Glass and A. L. Samuels (1991b) The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 39:403~414.
- Miyake, K. and M. Ikeda (1932) The relationship between addition of silica and *Dactylaria* disease of rice. *J. Sci. Soil and Manure.* 6:53~76.
- Miyake, Y. and E. Takahashi (1983) Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:71~83.
- Parry, D. W. and M. Kelso (1975) The distribution of silicon deposits in the roots of *Molinia caerulea* (L.) Moench. and *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Ann. Bot.* 39:995~1001.
- Samuels, A. L., A. D. M. Glass, D. L. Ehret and J. G. Menzies (1991) Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Can. J. Bot.* 69:140~146.
- Stumpf, M. A. and M. C. Heath (1985) Cytological studies of the interactions between the cowpea rust fungus and silicon-depleted French bean plants. *Physiol. Plant Pathol.* 27:369~385.
- Volk, R. J., R. P. Kahn and R. L. Weintraub (1958) Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus, *Piricularia oryzae*. *Phytopathology* 48:179~184.
- Yamauchi, M. and M. D. Winslow (1989) Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in the humid tropics. *Plant Soil* 113:265~269.

Effects of soluble silicon on development powdery mildew(*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants

Jung Sup Lee* · Myeong Sun Yiem¹(Nat'l Horticultural Research Institute, Suwon 440-310, Korea and ¹National Alpine Experiment Station, R.D.A., Pyongchang 232-950, Korea)

Abstract : Effects of silicon application on development of colonies of *Sphaerotheca fuliginea* were examined. Cucumber plants were applied with nutrient solutions amended with different concentrations of soluble silicon and selected leaves were inoculated with known concentrations of conidia of the pathogen. Colony number per leaf, colony area per leaf, and germination rate of conidia of *S. fuliginia* collected from the inoculated leaves were reduced as silicate concentrations in the nutrient solutions increased from 0.05 to 4.10 mM. The increase in resistance of plants to mildew infection was apparently due to silicate accumulation in leaves, and there was no correlation between cation or ionic strength effects and the silicate treatments. Silicate treatment in growth medium remarkably suppressed powdery mildew development on cucumber. Colonies of mildew fungus were visible with over approx. 38.3% of the mature leaf surface, while that of the leaves in high Si plants was 2.3% observed at 51 days after transplanting. No significant differences were observed between 1.7 mM and 3.4mM silicate treatments. Conidial germination rates were significantly reduced by increasing Si amendments. Conidial germination ranged from 14.7 to 20.3% for plants grown in low Si solution(<1.40 mM), and from 9.0 to 12.4% for plants grown in high Si solution(>1.8 mM). Foliar applications of Si with ≥ 17.0 mM decreased the number of powdery mildew colonies. Persistence of Si foliar sprays effects on cucumber demonstrated that the 17 mM Si spray applied 4 days before inoculation with *S. fuliginea* reduced mildew colony formation. The relationship was positive and linear.

*Corresponding author(Fax : +82-31-295-9548, E-mail : Jslee@nhri.go.kr)