

보리 흰가루병에 대한 몇 가지 계면활성제의 방제 효과

장경수 · 김흥태* · 유주현 · 최경자 · 김진철 · 조광연

한국화학연구원 스크리닝연구부 농약활성연구팀

요약 : Tween 20을 비롯한 8 종류의 계면활성제를 선발하여 보리흰가루병(병원균: *Erysiphae graminis* f.sp. *hordei*)에 대한 방제효과와 기존약제에 첨가하였을 때 약효에 미치는 영향을 조사하였다. 1,000 µg/mL 처리구에서 흰가루병에 대하여 90%의 방제효과를 보인 PNPP가 공시한 다른 계면활성제보다 높은 예방효과를 보였다. 그러나 치료효과의 실험에서는 LN 13.0이 가장 우수한 효과를 나타냈으며, 특히 500 µg/mL의 LN 13.0은 병원균을 집중하고 4일 후에 처리하여도 흰가루병의 발병은 4.0%의 미미한 수준에 그쳤다. 물한천배지 상에서 실시한 포자발아 억제실험에서 LN 13.0을 비롯한 공시한 모든 계면활성제는 흰가루병균의 포자 발아를 억제하였다. Triforine, triadimefon, benomyl의 처리 용액을 증류수로 조제하였을 때에는 benomyl만이 방제 효과를 나타내었고, 효과가 없었던 triadimefon과 triforine은 LN13.0과 Tween 20을 첨가하여 살포하면 우수한 효과를 나타내었다. 또한 SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0, DBC 등의 계면활성제는 10,000 µg/mL의 고농도로 보리에 처리하면 심한 약해가 유발되었으나, Tween 20, SLIS, PAS, PNPP 등은 동일한 농도에서 약해를 보이지 않았다.(2001년 3월 29일 접수, 2001년 5월 24일 수리)

Key words : surfactant, polyoxyethylene lauryl amine ether, powdery mildew, fungicidal effect, phytotoxicity.

서 론

계면활성제는 습윤, 분산, 유화, 가용화, 세정, 살균작용 등 다양한 작용을 지니고 있으며, 농약, 의약, 섬유공업, 식품공업, 금속공업 등 광범위한 분야에서 대량으로 사용되고 있다. 농약의 경우도 약제의 유화, 분산, 현탁, 전착, 붕괴 및 확산 등 다양한 목적을 위하여 계면활성제가 첨가된다 (Watanabe, 1982). 계면활성제의 종류는 매우 다양하고, 농약의 신제품 또는 신제형의 도입 및 개발과 병행하여 새로운 제품이 계속적으로 개발되고 있다. 이러한 계면활성제들은 농약과의 협력작용에 의해서 방제효과를 상승시키거나 그 자체만으로도 방제효과를 보이기 때문에 식물병 방제제로 개발하려는 시도도 있었다 (Clifford와 Hislop, 1975; Kajikawa 등, 1984; Lee 등, 1993; Stanghellini 등, 1996a; Stanghellini 등, 1996b).

Watanabe 등 (1988)은 *in vitro*의 실험에서 계면활성제인 emulgen 120을 *Pyricularia grisea*, *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum lagenarium* 등의 식물 병원 사상균에 처리함으로써 병원균의 세포벽이 영향을 받아 살균제의 흡수가 촉진되어 살균활성이 증가한다고 보고하였다. Homma 등 (1981)은 실제 sodium bicarbonate과 비이온 및 양이온 계면활성제를 첨가하여 식물체의 잎에 처리하여 오이흰가루병과 벼도열병에 대한 효과가 상승하였다고 보고하였다. 계면활성제는 약제의 효과를 상승시키는 작용뿐만 아니라 Stanghellini 등 (1987)의 결과처럼 비이온 계면활성제인 Agral[®]은 처리한 지 1분 이내에 *Pythium*과 *Phytophthora* 유주자의 세포막을 파괴하여 운동성을 급속하게 저하시키는 직접적인 병원균 생육 억제효과와 Kajikawa 등 (1984)은 양이온 계면활성제를 오이에 직접 처리하여 흰가루병을

방제하므로써 계면활성제 단독으로도 살균제로서의 가능성을 보고한 결과도 있다.

흰가루병은 곡류, 화분과 작물, 채소, 과수, 관상수 등 거의 모든 종류의 식물에 발생하는데, 주로 식물체의 잎에서 발생한다. 흰가루병균은 식물의 표피세포에 흡기라는 구조물을 생성하여 식물체의 영양분을 흡수하는데, 흰가루병균의 침입을 받은 기주는 광합성이 감소하고 호흡, 증산 등이 증가되어 결국 20 - 40%의 수량이 감소한다.

본 시험은 4종의 비이온성 및 4종의 이온성 계면활성제를 대상으로 보리흰가루병에 대한 직접적인 방제효과와 기존 살균제와 혼합하여 처리할 경우 상승효과를 조사하였다.

재료 및 방법

병원균 및 접종원

절대활물기생균인 보리흰가루병균(*Erysiphae graminis* f. sp. *hordei*)은 감수성 품종인 동보리 1호에 직접 접종하여 계대배양하며 유지, 보관하였다. 기주식물인 동보리 1호는 일회용 폴리비닐 포트(직경 6.5 cm×높이 7.5 cm)에 15립씩을 파종한 후 온실에서 7일간 재배한 1엽기의 식물체를 사용하였다. 이때 사용한 토양은 vermiculite와 원예용 상토(부농상토)를 같은 비율(v/v, 1:1)로 균일하게 혼합하여 만들었다. 보리 잎상에 이미 형성된 흰가루병균의 포자를 접종원으로 직접 이용하여 계대배양에 사용할 보리의 1엽에 충분히 털어서 접종한 후, 접종한 식물체는 20±1°C의 항온습실실에서 보관하며 발병을 유도하였다. 보리 1엽에서 형성된 포자는 병방제 효과 실험에 사용하였다.

계면활성제의 병방제 효과 조사

4 종의 비이온 계면활성제와 4 종의 양이온 계면활성제를 선발하여 실험에 사용하였다 (표 1).

*연락처

Table 1. List of surfactants tested in the experiment

Abbreviation or common name	Chemical name
Non-ionic	
Tween 20	Polyoxyethylene sorbitan monolaurate
SP 13.0	Polyoxyethylene alkyl aryl ether
NP 13.0	Polyoxyethylene nonyl phenyl ether
LN 13.0	Polyoxyethylene lauryl amine ether
An-ionic	
SLIS	Sodium lignosulfonate
PAS	Polyoxyethylene alkyl sulfonate
PNPP	Polyoxyethylene nonyl phenyl phosphate
DBC	Calcium dodecylbenzene sulfonate

병방제효과 실험을 위해서는 동보리 1호 종자를 일회용 폴리비닐 포트(직경 4.5 cm × 높이 5.0 cm)에 5립씩 파종하여 1엽기까지 재배한 후 사용하였다. 시험한 계면활성제의 예방 및 치료효과는 일정 농도의 계면활성제 용액을 포트 당 5 mL씩 분무처리한 1 일 후와 처리하기 1 일 전에 흰가루병균의 포자를 기주식물에 접종하고, 20±1°C의 항온습실에서 보관하며 흰가루병 발병을 유도하였다. 또한 효과가 우수했던 LN 13.0과 PNPP는 계면활성제 처리 시간에 따른 병 방제 효과를 별도 조사하였다. 병원균을 접종하기 1일전과 접종한 직후, 접종하고 1일 후부터 4일째 까지 매일 500 µg/mL의 용액을 경엽처리하였다. 병원균을 접종한 직후의 처리를 위해서 계면활성제 용액을 접종한 후 정확하게 2시간만에 경엽처리하였다. 접종한 보리는 항온습실(20±1°C)로 옮겨 발병을 유도하였으며, 접종하고 7일 후에 처리한 잎에서의 흰가루병의 발생면적을 한국화학연구소의 조사 방법에 준하여 조사하였다. 시험한 계면활

성제의 방제효과는 아래 식을 이용하여 방제가를 계산한 후 비교하였다.

$$\text{방제가} = \left(1 - \frac{\text{계면활성제 처리구에서의 병반면적율}}{\text{무처리구에서의 병반면적율}} \right) \times 100 (\%)$$

포자발아 억제효과

흰가루병이 발생한 보리의 1엽을 털어서 병반에서 형성된 흰가루병균의 포자를 제거한 후에 다시 항온습실(20±1°C)에 보관하였다. 1일 후에 보리의 1 엽에 균일하게 형성된 포자를 계면활성제가 처리된 물한천배지 표면에 고르게 털고 26°C의 암상태에서 6시간 배양하였다. 현미경 하에서 한 처리 당 100개의 포자를 4 반복으로 포자의 발아율을 조사하였다. 이 때 물한천배지에는 NP 13.0, LN 13.0, PNPP, PAS 등의 계면활성제를 100, 20, 4, 0.8, 0.16 µg/mL의 농도가 되게 첨가하였다.

기존 살균제와의 상승효과

흰가루병의 방제약제로 사용되는 triadimefon, triforine, benomyl을 실험에 사용하였다. 살균제는 acetone에 녹인 후, 500 µg/mL의 LN 13.0과 Tween 20 및 증류수에 희석하여 시험한 농도로 조제하였다. 이때 acetone의 최종농도는 10%로 맞추었다. 각 약제 용액은 동보리 1호의 1 엽에 예방과 치료 효과를 볼 수 있도록 처리하여 약효를 비교하였다.

결 과

계면활성제의 식물체에 대한 약해와 예방 및 치료 효과

실험에 사용한 8 가지 계면활성제 중에서 SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0, DBC는 10,000 µg/mL의 처리구에서 심한 갈색 반점이 발생하는 약해 증상을 보였으나, Tween 20과 SLIS, PAS, PNPP 등에서는 약해 증상을 관찰할 수 없었

Table 2. Controlling activity^{a)} of several surfactants on barley powdery mildew caused by *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* and those phytotoxicity on the first leaf of barley

Surfactant	Control value ^{b)} (%)	Phytotoxicity ^{c)}	
		10,000 µg/mL	1,000 µg/mL
Tween 20	4.5	-	-
SP 13.0	79.8	+++	+
NP 13.0	75.1	+++	+
LN 13.0	71.9	+++	+
SLIS	0	-	-
PAS	0	-	-
PNPP	90.0	-	-
DBC	82.7	+++	+

^{a)}Tested surfactants were applied on the first leaf of barley seedlings one day before inoculation.

^{b)}Control value was calculated with following formula;

$$\text{Control value}(\%) = \left(1 - \frac{\text{disease severity of a surfactant treatment}}{\text{disease severity of an untreated control}} \right) \times 100$$

^{c)}>50% Phytotoxicity, +++; 10~50% Phytotoxicity, ++; <10% Phytotoxicity, +; No phytotoxicity, -.

다 (표 2).

10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리에서 심한 약해 증상을 보였던 SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0과 DBC의 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 처리에서는 보리 1엽의 선단이 갈변하는 미미한 약해 증상을 나타냈다. 8 가지의 계면활성제를 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 처리하여 보리흰가루병에 대한 예방효과를 조사한 결과, Tween 20, SLIS, PAS등은 효과가 전혀 없었으며, PNPP는 90%의 방제효과를 보였고, SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0, DBC등은 70% 이상의 효과를 보였다 (표 2). NP 13.0, LN 13.0, PNPP는 처리한 농도가 증가함에 따라 흰가루병에 대한 예방효과도 증가하였다 (그림 1). 그 중에서 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리에서 90.3%의 효과를 보인 PNPP의 병방제 효과가 가장 좋았다.

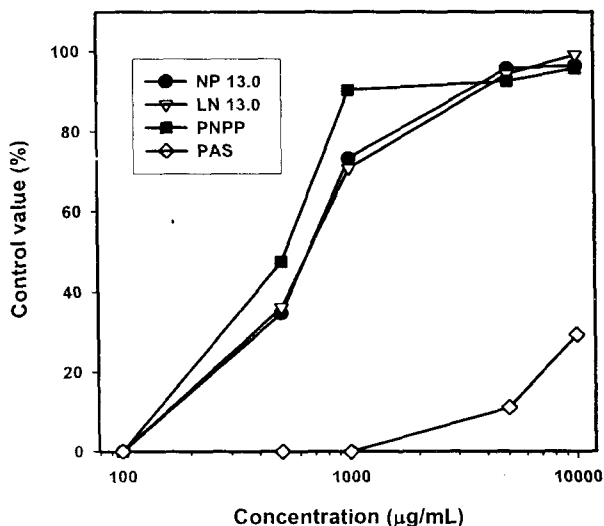


Fig. 1. Preventive effect of surfactants on barley powdery mildew by leaf spraying. *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* was inoculated one day after the treatment of surfactants by dusting spores.

치료효과를 조사하기 위하여 병원균을 식물체에 접종하고 1일 경과 후에 계면활성제를 경엽처리하였다. 그 결과 LN 13.0은 모든 처리 농도에서 실험에 사용한 다른 계면활성제들보다 높은 치료효과를 보였으며, LN 13.0을 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 처리하였을 때 보리 흰가루병을 91.2% 방제하였다 (그림 2). NP 13.0과 PNPP는 처리한 모든 농도에서 비슷한 효과를 보였다. 예방효과가 아주 미약했던 PAS는 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서만 59% 정도의 효과가 있었을 뿐 5,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이하의 농도에서는 효과가 없었다.

포자발아 억제효과

NP 13.0과 LN 13.0, PNPP, PAS를 선발하여 흰가루병균의 포자발아억제 효과를 조사하였다. 처리한 모든 계면활성제의 처리 농도가 높아질수록 포자 발아 억제율은 증가하였다 (그림 3). 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리에서는 PNPP만이 85.1%의 억제효과로 다소 낮았으며, 다른 계면활성제 모두가 90% 이상의 높은 포자 발아억제율을 보였다. 특히 보리

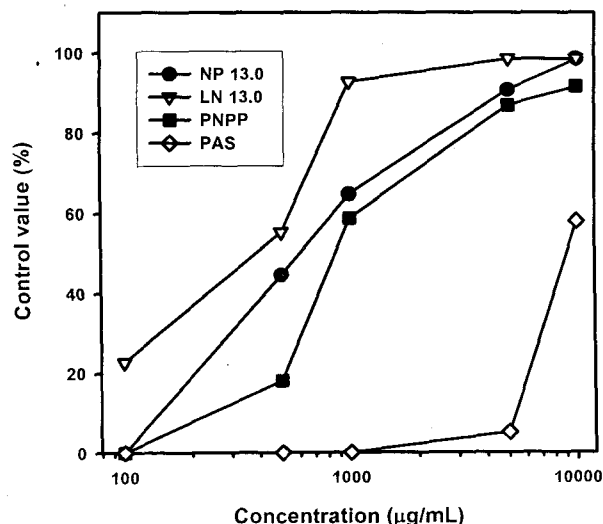


Fig. 2. Curative effect of several surfactants on barley powdery mildew by leaf spraying. Four surfactants was applied one day after inoculation by dusting spores.

유묘 실험에서 미약한 예방과 치료효과를 보였던 PAS도 4.0, 20.0, 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리구에서 흰가루병균의 포자 발아를 58.1%, 62.8%, 99.0% 억제하였다.

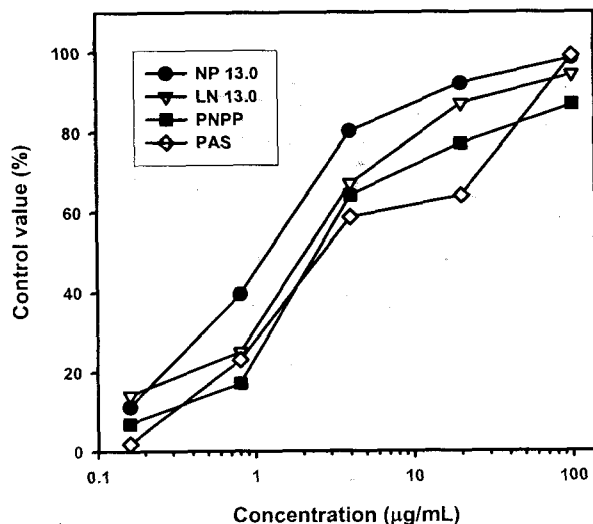


Fig. 3. Inhibitory effect of surfactants on the spore germination on water agar amended with surfactant at the indicated concentration.

치료효과의 경시적 변화

예방효과와 치료효과가 우수했던 PNPP와 LN 13.0을 선발하여 병원균을 접종하기 1일전과 접종 당일 그리고 1, 2, 3, 4일 후에 시간별로 경엽처리하였다. 이때, 대조구로서는 증류수와 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 Tween 20을 사용하였다. 증류수 처리구에서는 처리 시간과 관계없이 모든 처리구에서 30% 이상의 발병율을 보였다 (그림 4). 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 Tween 20 처리구에서는 접종당일 처리구에서만 50%의 효과가 있

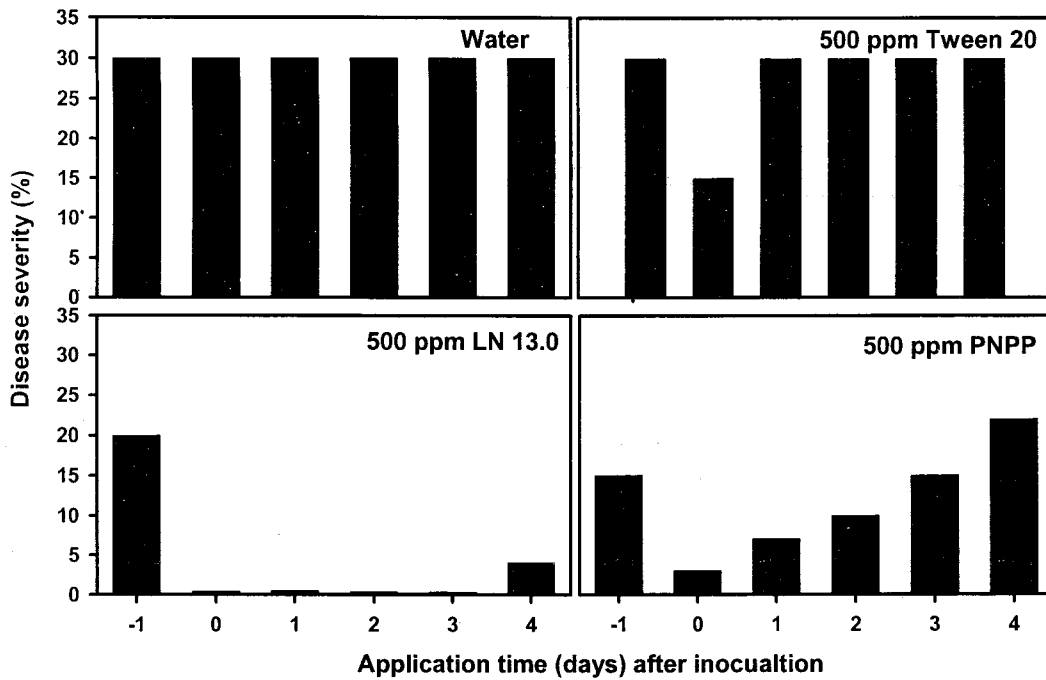


Fig. 4. Controlling activity of LN 13.0 and PNPP against barley powdery mildew by the application time after inoculation.

었고, 나머지 처리구에서는 모두 증류수 처리와 마찬가지로 30% 이상의 발병율을 보였다. 예방효과가 가장 우수하였던 PNPP의 경우는 접종 하루 전 처리에서 15%의 발병을 보였지만 접종 당일 처리에서는 5% 이하의 낮은 발병율을 보였다. 그러나, 처리시간이 늦어짐에 따라 그 효과는 감소하였는데, 4일 후 처리에서는 25%까지 병 발생이 증가하였다. 치료효과가 가장 우수하였던 LN 13.0은 접종 하루 전 처리에서 20%의 발병을 보였지만, 접종 당일부터 4일 후 처리까지도 4.0%의 낮은 발병율을 보여 치료효과가 오래 지속됨을 알 수 있었다.

살균제와의 병방제 상승효과

흰가루병에 대한 예방효과가 인정되었고, 특히 치료효과가 좋았던 LN 13.0을 선발하여 다른 살균제의 효과에 미치는 영향을 조사하였다. 이때 대조구로는 증류수와 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 Tween 20을 사용하였다. 시험한 살균제로는 흰가루병 방제에 사용하고 있는 triadimefon, triforine, benomyl을 사용하였다.

증류수를 사용하였을 때 triadimefon의 예방과 치료 효과를 보기 위한 처리에서는 모든 처리구에서 25% 이상의 흰가루병이 발생하여 triadimefon의 효과가 인정되지 않았다 (그림 5). 그러나, Tween 20 또는 LN 13.0을 사용하였을 경우에는 triadimefon의 농도가 증가할수록 예방과 치료 효과를 보기 위한 모든 처리구에서 발병이 크게 감소하였다. 특히 치료효과를 보기 위한 LN 13.0의 0.4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 처리에서는 흰가루병이 1% 이하로 발생하여 증류수만을 사용하였을 때보다도 triadimefon의 약효를 90% 이상 향상시켰다. 그러나 Tween 20과 LN 13.0을 사용하여 조제한 triadimefon의 효과에는 차이가 없었다.

□ Distilled water ▨ Tween 20 ■ LN 13.0

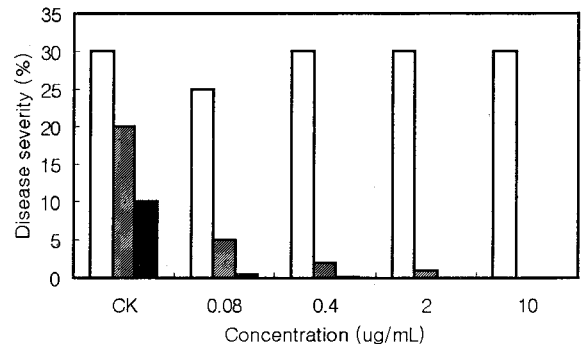
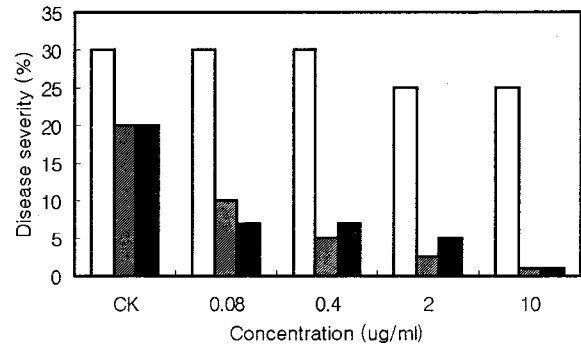


Fig. 5. Protective (up) and curative (down) effect of triadimefon on barley powdery mildew.

Triforine의 경우에도 증류수를 사용하였을 때에는 약제의 효과가 없었다(그림 6). 그러나 Tween 20과 LN 13.0을 사용하여 예방 효과를 조사한 결과 2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 triforine처리에서 12.5%와 2.5%의 발병을 보여 증류수만 처리하였을 때 보다 triforine의 약효가 증가하였다. 치료효과에서는 LN 13.0을 사용하였을 때 triforine의 약효가 증류수나 Tween 20을 사용한 처리구보다도 증가하였다.

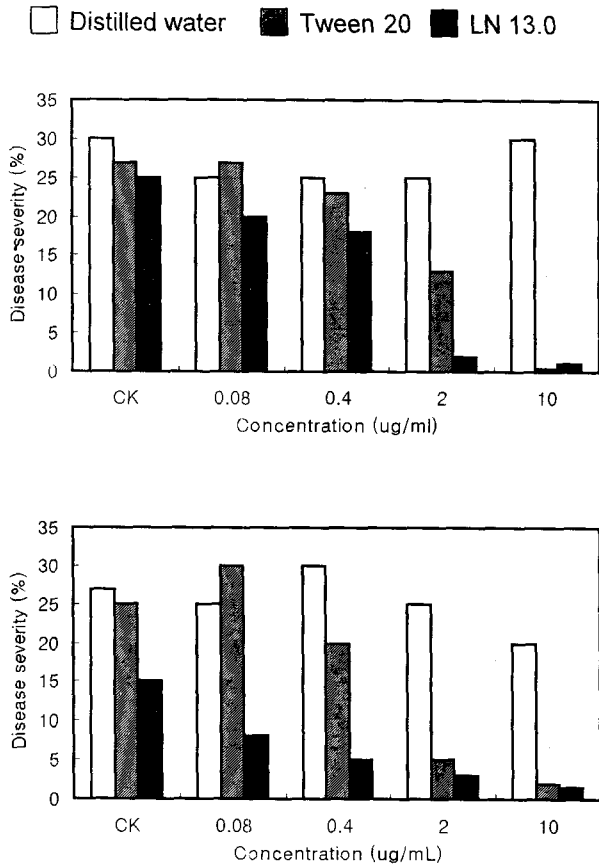


Fig. 6. Protective (up) and curative (down) effect of triforine on barley powdery mildew.

Triadimefon과 triforine은 증류수를 사용하여 약액을 조제하였을 경우 효과가 전혀 나타나지 않았지만, benomyl은 예방과 치료처리 모두에서 흰가루병에 대한 방제 효과를 나타내었다 (그림 7). 특히 예방처리에서는 LN 13.0을 첨가한 benomyl의 모든 처리구보다도 우수한 효과를 보였다.

고찰

계면활성제는 분산, 유화, 안정, 가용화, 약해경감 등의 목적으로 농약의 제제에 사용되는 중요한 재료이다 (Watanabe, 1982). 이러한 계면활성제는 그 자체가 식물병에 대한 방제 효과를 보이거나, 살균제의 효과를 증가시키기 위해서 사용되고 있다. 본 실험에서는 4종의 비이온 계면활성제와 4종의 음이온 계면활성제를 선발하여 보리에

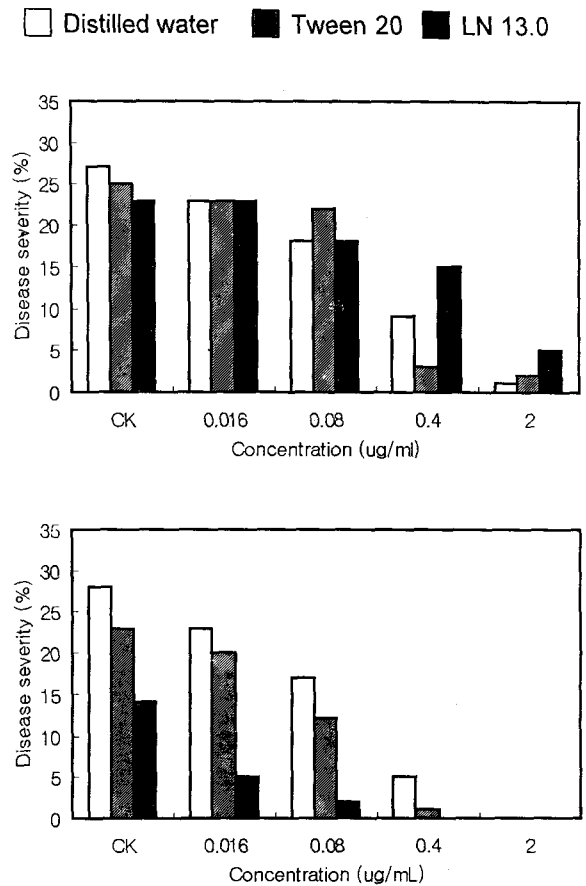


Fig. 7. Protective (up) and curative (down) effect of benomyl on barley powdery mildew.

대한 약해와 보리 흰가루병에 대한 방제 효과, 흰가루병 방제 약제로 사용되는 기존의 살균제와 혼합하였을 때 살균제의 효과에 미치는 영향 등을 조사하였다.

실험에 사용한 SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0과 DBC는 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리구에서 보리에 대하여 심한 약해 증상을 보였지만, 다른 계면활성제들은 약해를 유발하지 않았다. Ralph와 Hilton (1963)은 계면활성제를 오이에 처리하였을 때 나타나는 괴사와 위조 증상의 약해는 양이온, 비이온, 음이온 계면활성제의 순서로 심하게 발생하였다고 보고하였다. 그러나 유 등(1989)의 실험에 의하면 2 - 4엽기의 밀에 대한 계면활성제의 약해 유발 최소 농도는 LE 8.0이 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, NP 13.0, LN 13.0, PAS가 5,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Tween 20과 SP 13.0이 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이었으며, DBC는 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서도 약해가 발생하였다. 또한 이 등(1993)은 벼에 대한 비이온 계면활성제와 음이온 계면활성제의 약해를 조사하였는데, LE 13.6, NP 13.0, LN 13.0, DBS 등의 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리에서 벼에 심한 괴저 현상이 발생함을 보고하였다. 이처럼 식물체에 따라서 계면활성제의 약해가 조금씩 차이가 나기 때문에 계면활성제를 식물병 방제에 직접 이용하거나, 약효의 증가 효과를 위하여 기존의 살균제와 혼합하여 사용할 때 반드시 약해에 대한 검정 실험이 수행되어야 할 것이다.

계면활성제의 예방과 치료효과를 보기 위해 방제 실험을

한 결과, 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 처리한 LN 13.0은 70.1%와 91.2%로 치료 효과가 더 우수하였던 반면에, PNPP는 90.3%와 58.3%로 예방 효과가 더 우수하였다 (그림 1과 2). 이러한 결과는 그림 4에서도 나타나고 있는데, LN 13.0은 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 처리에서 집중 하루 전에 처리한 예방 효과보다도 집중하고 4일 후의 치료효과가 더 우수하였다. 그러나 PNPP의 예방과 치료효과를 비교하여 보면 집중하기 1일 전의 예방처리와 집중하고 3일 후까지의 치료처리에 의한 효과는 동등하였으나, 4일 후부터는 감소하였다. 그런데 Kajikawa 등 (1984)의 보고에 의하면 didodecyl-dimethylammonium bromide ($\text{L}_2\text{Me}_2\text{N}^+\text{Br}$)도 오이 흰가루병에 대하여 예방효과보다는 치료효과가 우수하다고 알려져 있다. 그들은 이러한 결과를 $\text{L}_2\text{Me}_2\text{N}^+\text{Br}$ 를 병원균에 처리할 때 치료 처리의 경우는 병원균 전체에 고르게 접촉하여 충분한 효과를 보일 수 있지만 예방 처리의 경우에는 $\text{L}_2\text{Me}_2\text{N}^+\text{Br}$ 를 처리한 후에 병원균을 집중하기 때문에 일부의 병원균에만 접촉하여 나타나는 결과일 것으로 보고하였다. 계면활성제의 병원균에 대한 살균활성은 흰가루병뿐만 아니라 난균류에 속하는 *Phytophthora capsici*와 *Pythium aphanidermatum*에서도 보고되어 있다 (Stanghellini 등, 1987; Stanghellini 등, 1996a; Stanghellini 등, 1996b). *P. capsici*와 *P. aphanidermatum*에 처리한 비이온 계면활성제인 Agral[®]은 병원균의 유주자의 운동성을 단시간 내에 크게 억제하는 것으로 밝혀졌으며, 수경 재배 중에 발생하는 *Phytophthora*와 *Pythium*의 방제에 이용하고 있다. 그러나 식물병원체군 중에는 계면활성제를 처리함으로써 발병이 심해지는 경우도 보고되어 있다. 감귤에서 패양병을 일으키는 *Xanthomonas axonopodis* pv. *citrumelo*는 계면활성제를 처리하면 기공 주변이 젖어 기공을 통한 세균의 침입이 용이해져, 계면활성제를 처리하지 않은 무처리군보다 심하게 발병됨을 확인할 수 있었다 (Gottwald 등, 1997). 이러한 결과는 방제하고자 하는 식물병에 따라서 계면활성제가 다르게 사용되어야 한다는 것을 보여주고 있다.

증류수를 사용하여 처리용액을 조제한 triadimefon과 triforine은 보리 흰가루병에 대한 예방과 치료 효과가 전혀 보이지 않았으나, benomyl의 경우는 Tween 20이나 LN 13.0과 같은 계면활성제를 사용했을 때와 대등한 예방과 치료효과를 보였다. 살균제가 치료 효과를 보이기 위해서는 처리한 약제가 식물체 내로 용이하게 침투하여 이미 식물체에 침입하여 성장하고 있는 병원균의 생육을 억제할 수 있어야 한다. 일반적으로 농약의 침투성은 농약의 큐티클과 물과의 분배계수 ($\log P_{\text{CW}}$)와 비례하는 것으로 보고되어 있는데, 큐티클과 물의 분배계수는 수용해도가 작을수록, 옥타놀과 물의 분배계수 ($\log P_{\text{OW}}$)는 클수록 크다고 알려져 있다 (Kerler 등, 1988; Schonherr 등, 1989; Schonherr 등, 1994). Benomyl의 수용해도가 3.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고, triforine과 triadimefon은 각각 9.0과 64 mg/mL 인 것을 보면, 간단하게 이야기하기는 어렵지만 증류수를 사용하였을 때 수용해도가 작은 benomyl이 식물체로 침투가 용이하여 다른 두 살균제보다 우수한 효과를 보였다고 생각된다. 그러나 세 가지 살균제의 $\log P_{\text{OW}}$ 를 보면 benomyl이 1.37, triforine과 triadimefon이 각각 2.2와

3.11로서 수용해도의 경우와는 반대로 triadimefon의 침투가 가장 높을 것으로 예상되었으나, 증류수로 조제한 triadimefon은 흰가루병에 대한 방제 효과가 전혀 없었다. 이 결과는 살균제의 식물체 침투가 단순히 수용해도나 옥타놀과 물의 분배계수 등만으로 설명하거나, 약제의 침투가 약제의 치료 효과와 비례한다고 이야기하기는 어렵다는 것을 시사하고 있다고 생각된다.

계면활성제는 농약의 침투성을 증진시킬 목적으로 첨가하여 사용하기도 하기 때문에, 살균제에 혼합하여 사용할 때 살균제의 효과에 영향을 미치기도 한다. Triadimefon과 triforine은 증류수 대신 계면활성제인 Tween 20과 LN 13.0을 사용하였을 때 치료와 예방 효과가 모두 증가하였다. 감자 역병의 방제를 위해서 사용하는 dimethomorph 수화제와 보리 흰가루병의 방제를 위하여 분산성 액제로 제형화한 1-(4-chlorobenzyl)-4-phenylpiperidine는 첨가하는 계면활성제의 종류에 따라서 역병과 흰가루병에 대한 치료효과가 급격히 상승하였다 (Grayson 등, 1995; Grayson 등, 1997).

이상의 결과처럼 계면활성제는 식물체에 약해를 유발하기도 하고 병원균에 대한 직접적인 살균활성도 보이며, 살균제와 혼합하여 사용하면 효과를 증진시키기도 한다. 따라서 계면활성제의 작용은 식물체나 사용하는 살균제의 종류에 따라 달라지므로 살균제의 제형화 과정에서 첨가되는 계면활성제는 다양한 실험을 통하여 충분한 결과를 얻은 후에 결정되어야 한다고 생각한다.

인용문헌

- Clifford, D. R. and E. C. Hislop (1975) Surfactants for the control of apple mildew. *Pestic. Sci.* 6:409~418.
- Gottwald, T. R., J. H. Graham and T. D. Riley (1997) The influence of spray adjuvants on exacerbation of citrus bacterial spot. *Plant Dis.* 81:1305~1310.
- Homma, Y., Y. Arimoto and T. Misato (1981) Effects of emulsifiers and surfactants on the protective values of sodium bicarbonate. *J. Pesticide Sci.* 6:145~153.
- Kajikawa, A., T. Watanabe, K. Akutsu, K. Ko and T. Misato (1984) Effect of cationic surfactants on powdery mildew of cucumber. *J. Pesticide Sci.* 9:763~768.
- Kerler, F. and J. Schonherr (1988) Accumulation of lipophilic chemicals in plants cuticles: Prediction from octanol/water partition coefficients. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17:1~6.
- Ralph, E. T. and H. W. Hilton (1963) The effect of surfactants on the water solubility of herbicides and the foliar phytotoxicity of surfactants. *Weeds* 11:297~300.
- Schonherr, J. and M. Riederer (1989) Foliar penetration and accumulation of organic chemicals. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 108:1~70.

- Schonherr, J. and P. Baur (1994) Modelling penetration of plant cuticles by crop protection agents and effects of adjuvants on their rates of penetration. *Pestic. Sci.* 42:185~208.
- Stanghellini, M. E., D. H. Kim, S. L. Rasmussen and P. A. Rorabaugh (1996) Control of root rot of peppers caused by *Phytophthora capsici* with nonionic surfactant. *Plant Dis.* 80:1113~1116.
- Stanghellini, M. E. and J. A. Tomlinson (1987) Inhibitory and lytic effects of a nonionic surfactant on various asexual stages in the life cycle of *Pythium* and *Phytophthora* species. *Phytopathology* 77:112~114.
- Stanghellini, M. E., S. L. Rasmussen, D. H. Kim and P. A. Rorabaugh (1996) efficacy of nonionic surfactants in the control of zoospore spread of *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system. *Plant Dis.* 80:422~428.
- Watanabe, R., N. Ogasawara, H. Tanaka and T. Uchiyama (1988) Effects of fungal lytic enzymes and non-ionic detergents on the actions of some fungicides against *Pyricularia oryzae*. *Agric. Biol. Chem.* 52:895~901.
- Watanabe, T. (1982) Surfactants for pesticide formulation. *J. Pesticide Sci.* 7:203~210.
- 유주현, 구석진, 조광연 (1989) 계면활성제의 약해 유발 농도와 그 증상, *한국환경농학회지* 8:119~127.
- 이종규, 김홍태, 조광연 (1993) 계면활성제와 살균제의 벼잎 집무늬마름병에 미치는 영향, *한국식물병리학회지* 9:218~225.

Controlling effect of several surfactants on barley powdery mildew caused by *Erysiphae graminis*

Kyung Soo Jang, Heung Tae Kim*, Joo Hyeon Yoo, Gyung Ja Choi, Jin-Cheol Kim and Kwang Yun Cho (Screening Division, Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O. Box 107, Yusong, Taejeon 305-600, Korea)

Abstract : Controlling effect of several surfactants on barley powdery mildew (pathogen : *Erysiphae graminis*) and those influence on fungicidal activity by tank-mixing with commercialized fungicides were investigated in greenhouse test with barley seedlings. While protective activity of PNPP showed 90% at 1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, that of LN 13.0 91.2%, the best among 8 surfactants used in curative test. With 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$, LN 13.0 showed 4% of disease percentage on the first leaf of barley continuously 4 days after the curative application. Except for PNPP, the other surfactants, including NP 13.0, LN 13.0, and PAS, showed good inhibitory activity against spore germination in water agar medium amended with those surfactants. PAS, which showed very poor effect against barley powdery mildew in greenhouse test, strongly inhibited spore germination. Fungicide of triadimefon and triforine showed no controlling activity against *Erysiphae graminis* in barley seedlings, but they highly controlled powdery mildew in case of addition with 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ of LN 13.0 and Tween 20. SP 13.0, NP 13.0, LN 13.0 and DBC showed severe phytotoxicity in first leaf of barley seedlings, but Tween 20, SLIS, PAS, and PNPP not at 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

*Corresponding author (Fax : +82-42-861-4913, E-mail : htkim@pado.kRICT.re.kr)