

***Ulocladium atrum*을 이용한 백합 잎마름병 및 오이 잿빛곰팡이병의 생물학적 방제**이남영 · 권은미 · 김진철<sup>1</sup> · 유승헌\*충남대학교 농업생명과학대학 농생물학과, <sup>1</sup>한국화학연구원 생물기능연구팀**Biological Control of *Botrytis* Leaf Blight of Lily and *Botrytis* Gray Mold of Cucumber by *Ulocladium atrum***Nam Young Lee, Eun Mi Kwon, Jin-Cheol Kim<sup>1</sup> and Seung Hun Yu\*Department of Agricultural Biology, College of Agriculture and Life Sciences,  
Chungnam National University, 305-764, Korea<sup>1</sup>Biological Function Research Team, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-606, Korea

(Received on November 9, 2004)

This study was conducted to investigate the effect of *U. atrum* treatment on control of *Botrytis* leaf blight of lily and *Botrytis* gray mold of cucumber, and to evaluate the *U. atrum* as the biological control agent of *Botrytis* diseases. The antagonistic isolates CNU 9037 and CNU 9054 isolated from tomato leaves were identified as *Ulocladium atrum* Preuss based on morphological characteristics. This is the first record of *U. atrum* in Korea. In bioassays on dead leaves of tomato and cucumber, treatment of *U. atrum* colonized the dead leaves and suppressed sporulation of *Botrytis* as compared with the untreated control. The suppression of spoulation of *Botrytis* on dead leaf segments by *U. atrum* was higher when *U. atrum* was treated before *Botrytis* was treated. The effect of treatments with conidial suspension of *U. atrum* on leaf blight of lily and gray mold of cucumber caused by *Botrytis elliptica* and *B. cinerea*, respectively, was investigated under greenhouse conditions. Spraying *U. atrum* ( $1 \times 10^6$  conidia per ml) at intervals of 1 week for three times resulted in a significant reduction of natural infections of lily leaves caused by *B. elliptica*. Protective value of *U. atrum* treatment was higher than that of the fungicide (procymidone) treatment. Spraying *U. atrum* also resulted in a significant reduction of cucumber gray mold caused by *B. cinerea*. Our results show that *U. atrum* has a potential for biological control against diseases caused by *Botrytis* spp. in lily and cucumber.

**Keywords :** Biological control, *Botrytis cinerea*, *Botrytis elliptica*, *Ulocladium atrum*

*Botrytis* spp.는 온실과 포장에서 재배하는 각종 작물에 경제적으로 심한 피해를 주는 병원균으로 잘 알려져 있다. 그 중 *B. cinerea*는 기주범위가 넓은 다범성균으로 토마토, 오이, 딸기 등 각종 채소류와 시클라멘, 제라늄, 사과, 포도, 키위 등 각종 식물에 잿빛곰팡이병을 일으키며 (Agrios, 1997; Ellis, 1971), *B. elliptica*는 백합 잎마름병을 일으킨다(Ellis, 1971). 또한, 이 균은 이차적으로 저장, 운송, 판매중의 과일류와 채소류에 부패병을 일으킨다(Agrios, 1997). 잿빛곰팡이병은 온도가 비교적 낮고, 습도가 높을 때 많이 발생하며, 식물체의 죽거나 노쇠한 부

위로부터 발병되기 시작하여 일단 발병되고 나면 병원균의 생육적온이 아니더라도 병의 진전은 계속된다(Sosa-Alvarez 등, 1995; Berto, 2001).

*Botrytis*에 의한 식물병 방제를 위하여 유기합성 농약이 사용되고 있으나, 과다 살포로 인한 약제 저항성 균이 출현되면서 방제가 어려워졌을 뿐만 아니라 잔류 농약에 의한 환경오염 문제가 야기되기도 한다. 따라서 *Botrytis*에 의한 식물병의 생물학적 방제를 위한 관심과 연구가 늘어나고 있다.

*Ulocladium*속은 불완전균류, 총생균강(Hypomycetes), 암색선균과(Dematiacea)에 속하는 균류로서 대부분은 비병원성균으로서 식물체의 잔재에 존재하거나(David, 1995; Simmons, 1967), 식물 조직 속에서 내생균으로도 존재한

\*Corresponding author

Phone)+82-42-821-5762, Fax)+82-42-823-8679

E-mail)shunyu@cnu.ac.kr

다(Peláez 등, 1998). 이 균은 피사 조직위에서 다른 부생 균들과 경쟁적으로 정착하여 선점함으로써 다른 균들의 포자형성을 억제한다. 이러한 작용기작은 *B. cinerea*나 *B. elliptica*의 포자형성을 억제하는데 효과적이다(Köhl 등, 1995, 1999, 2003). 최근 유럽에서는 *U. atrum*의 잣빛곰팡이병에 대한 방제효과가 뛰어난 것이 입증되어 이 균을 이용한 미생물살균제 개발에 관한 연구가 활발하다(Köhl 등, 1998, 1999; Schoene와 Köhl, 1999; Yohalem, 2000; Boff 등, 2002). 특히, 백합 잎마름병(Köhl과 Elmer, 1998; Köhl 등, 1995), 시클라멘의 잣빛곰팡이병(Köhl 등, 1998, 2000; Kessel 등, 1999, 2001, 2002), 딸기잣빛곰팡이병(Berto 등, 2001; Boff 등, 2002; Köhl과 Boff, 2002), 양파 잣빛곰팡이병(Köhl 등, 1997, 2003) 및 장미잣빛곰팡이병(Köhl과 Gerlagh, 1999; Yohalem, 2000)을 대상으로 *U. atrum*의 처리효과와 생물학적 방제제로서의 이용가능성에 대한 연구가 수행되고 있다.

*Ulocladium*은 배양과 분생포자 형성이 잘 되어 미생물 살균제로서 산업화하기에 용이한 균이다. 그러나 국내에서는 *Ulocladium*에 관한 보고 및 연구가 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 국내에서 분리한 *U. atrum* 균주를 이용하여 *Botrytis*병의 방제 효과와 *Botrytis*의 분생포자 형성 억제력을 조사함으로써 *U. atrum*의 생물학적 방제제로의 이용 가능성을 평가하기 위해 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 균 분리

*Ulocladium*균을 분리하기 위하여 토마토, 오이, 고추 등 채소류의 건전한 잎, 줄기, 뿌리 등을 채집하여 잎은 1 cm<sup>2</sup> 크기로, 줄기와 뿌리는 1 cm 길이로 잘라 1% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액에 1분간 침지하여 표면소독한 후 습지법(blotter method)으로 근자외선광(NUV)이 1일 12시간 간격으로 조사되는 25°C 항온기에서 2~3일 동안 배양하였다. 식물체의 조직에 형성된 균류의 분생포자를 해부현미경(×50)으로 관찰하여 *Ulocladium*속으로 확인된 분생포자를 potato dextrose agar(PDA) 배지에 단포자 분리하였다. 분리된 균주는 PDA 사면배지에 옮겨 배양한 후, 5°C 냉장고에 보관하면서 필요한 실험에 사용하였다.

### 분리균주의 동정

분리된 균주의 균총을 V-8 juice agar 배지에 접종하여 NUV광이 1일 12시간씩 조사되는 20°C 항온기에서 7일간 배양한 후 형성된 분생포자를 복합현미경(×400)으로

관찰하여 그 특징을 조사하였고 50개의 분생포자와 분생자경을 취하여 그 크기를 측정하였다.

### *U. atrum*의 *Botrytis* 포자 형성 억제력 검정

분리한 *U. atrum*의 분생포자현탁액을 고사된 토마토 및 오이 잎 절편에 처리하여 잎에서의 정착력 및 *B. cinerea* 포자형성 억제력을 조사하였다(Köhl 등, 2001). 공시한 식물의 건전한 잎을 60°C dry oven에서 48시간 건조시킨 다음 2 cm<sup>2</sup> 크기로 잘라 멸균수에 넣고 shaking incubator (150 rpm)에서 5분씩 3번 세척한 후 여과지 위에 놓고 건조시켰다. 첫 번째 처리구는 건전한 잎 절편에 *U. atrum*의 포자현탁액(1×10<sup>6</sup> spores/ml)을 분무 접종하고 12시간, 24시간동안 20°C 항온기에서 배양한 후에 각각 *B. cinerea*의 포자현탁액(1×10<sup>5</sup> spores/ml)을 분무 접종하였다. 두 번째 처리구는 *B. cinerea*를 먼저 접종하고 12시간, 24시간 후에 *U. atrum*을 접종하였다. 각 처리구를 20°C 항온기에서 일주일 배양한 후 *B. cinerea*의 포자형성면적율을 조사하였다.

### *U. atrum*의 *Botrytis*병 방제 효과 검정

**포자현탁액 조제.** *U. atrum*의 분생포자현탁액을 만들기 위해 분리균주(CNU 9037, 9054)를 500 ml 삼각 후라스크의 밀 배지(밀 100 g, D.W 60 ml)에 접종하여 25°C에서 15~20일간 배양하였다. 배양 중 균사 엉킴을 방지하기 위하여 2~3일에 한번씩 삼각 후라스크를 흔들어 주었다. 배양 후 밀배지에 형성된 분생포자를 증류수로 씻어 2겹의 거즈(gauze)로 걸러낸 후 분생포자 현탁액(포자농도 1×10<sup>6</sup>/ml)을 조제하였다.

**공시 식물 및 처리 방법.** *Ulocladium* 균주의 백합 잎마름병 및 오이 잣빛곰팡이병 방제효과를 조사하였다. 백합 잎마름병 방제 실험은 충남 태안에 위치한 백합시험장 포장에서 생육중인 백합(품종: 라이잔)을 이용하였으며 잎마름병 발병 초기의 백합에 *U. atrum* 포자현탁액(1×10<sup>6</sup> spores/ml, 0.01% Tween 20)을 1주일 간격으로 3회 경엽 처리하였고, 대조약제로는 procymidone(wp, 50%, 1000배)을 살포하였다. 처리시기는 2002년 7월과 2003년 8월, 2차례 실시하였으며 처리 당 20주씩 3반복으로 하였다. 조사는 최종처리 1주일 후에 이병엽율을 조사하였고 방제가를 산출하였다.

오이 잣빛곰팡이병 방제 실험은 온실에서 생육중인 오이(품종: 장백다다기)를 이용하였다. 파종 후 3개월 된 오이에 *U. atrum* 균주(CNU 9037, 9054)의 포자현탁액(포자농도 1×10<sup>6</sup>/ml)을 경엽살포하였고, 아침, 저녁으로 온실 바닥에 관수를 충분히 하여 온실내를 습한 상태로 유지

하였으며 온실온도는 15~25°C를 유지하였다. 이병을 조사는 처리당 20주씩 2반복으로 최종처리 1주일 후에 이병과율을 조사하였고 방제가를 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{방제가} = \frac{[\text{무처리구의 이병과(엽)율} - \text{처리구의 이병과(엽)율}]}{\text{무처리의 이병과(엽)율}}$$

## 결과 및 고찰

### *Ulocladium* 균주의 동정

토마토 잎 표면에서 분리한 CNU 9037 균주와 토마토 조직 속에서 분리한 CNU 9054 균주의 형태적 특징을 조사하여 종을 동정하였다. V-8 juice 배지에서 배양한 CNU 9037, 9054 균주의 형태적 특징은 다음과 같다. 분생자경은 가늘고 길며, 종종 분지하고 연한 갈색~진한갈색을 나타냈다. 표면은 대부분 매끈하고, 1~4개의 포자 부착 흔적 부위를 갖고 있었고, 크기는 8~98×3~5 μm였다.

분생포자는 대부분이 원형, 타원형이고 간혹 한쪽 끝이 약간 뾰족한 난형 등 다양하였고, 어린 포자는 연한 갈색이지만, 성숙한 포자는 어두운 갈색을 띠고, 표면에 많은 돌기가 있었다. 1~3개의 횡격벽과 1~2개 종격벽이 있으며, 크기는 14.5~30.5×8~15 μm였다(Fig. 1).

이상의 형태적 특징은 David(1995) 및 Simmons(1967)가 보고한 *U. atrum* Preuss와 일치하므로 CNU 9037, CNU 9054 균주를 *U. atrum* Preuss로 동정하였다.

### *U. atrum*의 *Botrytis* 포자형성 억제력

토마토 및 오이의 괴사된 잎에서 *U. atrum*의 *Botrytis* spp. 포자형성억제 효과를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 건조된 토마토와 오이 잎에 *B. cinerea*를 전처리하고 12

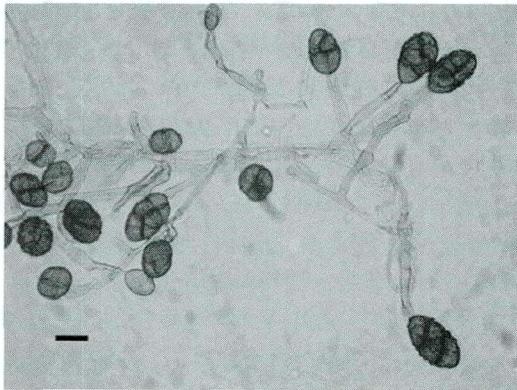


Fig. 1. Conidia and conidiophores (×400) of *U. atrum* on V8-juice agar. Bar=15 μm.

Table 1. Effect of an *Ulocladium atrum* treatment on sporulation of *Botrytis cinerea* on dead leaf segments of tomato and cucumber

Treatment	% leaf area with <i>B. cinerea</i> sporulation	
	1st	2nd
<i>B. cinerea</i> (10 <sup>3</sup> spores/ml) → <i>U. atrum</i> (10 <sup>6</sup> spores/ml) after 12h	8.2	6.0
<i>B. cinerea</i> (10 <sup>3</sup> spores/ml) → <i>U. atrum</i> (10 <sup>6</sup> spores/ml) after 24h	45.0	25.5
<i>U. atrum</i> (10 <sup>6</sup> spores/ml) → <i>B. cinerea</i> (10 <sup>3</sup> spores/ml) after 12h	0	0
<i>U. atrum</i> (10 <sup>6</sup> spores/ml) → <i>B. cinerea</i> (10 <sup>3</sup> spores/ml) after 24h	0	0
<i>B. cinerea</i> (10 <sup>3</sup> spores/ml)	80.5	78.5

시간과 24시간 후에 각각 *U. atrum*을 처리하여 *B. cinerea*의 포자형성율을 비교한 결과 12시간 후에 *U. atrum*을 처리했을 때 *B. cinerea* 포자형성면적율이 8%, 6%인 것에 비해서, 24시간 후 *U. atrum* 처리했을 때는 45%, 26%로 높게 나타났다. 그러나 *U. atrum*을 전처리하고 12시간 및 24시간 후에 *B. cinerea*를 접종하였을 경우 *Ulocladium*의 정착과 포자형성으로 인하여 *Botrytis*의 포자형성이 완전히 억제되었다(Table 1).

Köhl 등(1997, 1998, 2000, 2003)은 양과와 시클라멘의 잿빛곰팡이병을 대상으로 *U. atrum*의 처리효과와 생물학적 방제제로서의 이용 가능성을 연구하였다. 즉 죽은 양과 잎과 시클라멘 잎을 이용한 검정에서 *U. atrum* 분생포자 현탁액(1×10<sup>6</sup> spores/ml) 처리는 *B. cinerea* 포자형성을 각각 85%, 76% 억제하였다.

또한 Gerlagh 등(2001)은 괴사된 제라늄에 *U. atrum* 포자현탁액을 처리하여 *B. cinerea*에 대한 *U. atrum*의 포자형성 억제능력을 확인하였으며, Boff 등(2002)도 딸기에 *U. atrum*의 포자현탁액을 처리함으로써 *B. cinerea*에 대한 병 억제력을 조사하였다. 그 결과 *U. atrum*의 포자현탁액은 개화 후기 또는 열매 성숙 초기 단계에 처리하는 것이 *B. cinerea* 병 방제에 효과적인 것으로 나타났다. 즉 *U. atrum*이 딸기의 시든 꽃잎에 먼저 정착하여 우점함으로써 *Botrytis*병의 발생과 진전을 억제할 수 있는 것이다.

본 연구의 결과와 Köhl 등(1999), Gerlagh 등(2001), Boff 등(2002)의 보고를 종합할 때 *U. atrum*은 부생균으로써 *B. cinerea*와의 경쟁에서 먼저 정착하여 우점함으로써 *Botrytis*의 포자형성을 억제함을 확인하였다.

Köhl 등(2003)은 괴사된 양과 잎에서 *U. atrum* 및 *Alternaria* spp.와 *Cladosporium* spp.의 정착력을 비교한 결과 무처리구에서는 *Alternaria* spp.와 *Cladosporium* spp.의 포자형성 면적율이 40%, 60%로 높게 나타났으나, *U.*

*atrum* 포자현탁액 처리구에서는 0, 10%로 매우 낮게 나타났다. 반면 *U. atrum*의 포자형성면적율은 60%로 다른 부생균들에 비해 정착력이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

#### *Ulocladium atrum*의 *Botrytis* 병 방제 효과

**백합 잎마름병 방제효과.** *U. atrum*(CNU-9037)의 백합 잎마름병(*B. elliptica*)방제효과를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 제 1차년도(2002년) 실험결과 CNU 9037 균주의 분생포자 현탁액 처리구의 잎마름병 방제가는 69%로 살균제(Procymidone) 처리구(58%)보다 우수한 방제가를 나타내었다(Table 2). 무처리구의 이병엽율은 33%로 방제효과를 검정하기에 충분했으며 잎마름증상 외에도 꽃에서 심한 병징이 나타났다.

제 2차년도(2003)의 실험 결과는 *U. atrum* 분생포자 현탁액 처리구의 백합 잎마름병 방제가는 65%였고, 살균제 처리구의 방제가는 63%였다(Table 2). Köhl과 Elmer (1998), Köhl 등(2000)은 백합과 시클라멘 잎에 *U. atrum*의 분생포자 포자현탁액( $1 \times 10^6$  spores/ml)을 접종함으로써 *B. elliptica*와 *B. cinerea*의 분생포자형성이 억제된다

**Table 2.** Effect of treatments of lily with *Ulocladium atrum* on control of *Botrytis* leaf blight<sup>a</sup>

Treatment	Infected leaves (%)	Protective value (%) <sup>b</sup>
Experiment 1 (2002)		
<i>U. atrum</i> ( $10^6$ /ml)	10.5 ± 3.0	68.5
Procymidone(wp. 50%)	14.1 ± 2.7	57.7
Untreated	33.3 ± 2.4	
Experiment 2 (2003)		
<i>U. atrum</i> ( $10^6$ /ml)	5.2 ± 2.0	64.9
Procymidone(wp. 50%)	5.5 ± 1.5	62.8
Untreated	14.8 ± 2.4	

<sup>a</sup>*U. atrum* was applied as conidial suspension containing 0.01% Tween 20 with  $1 \times 10^6$  conidia per ml.

<sup>b</sup>Protective value = (% infected leaves of untreated - % infected leaves of treated) / %infected leaves of untreated.

**Table 3.** Effect of treatment of cucumber with *Ulocladium atrum* on *Botrytis cinerea* disease incidence<sup>a</sup>

Treatment	Infected fruits (%)	Protective value (%) <sup>b</sup>
<i>U. atrum</i> CNU 9037	9.2 ± 4.0	66.3
<i>U. atrum</i> CNU 9054	8.0 ± 3.2	71.4
Untreated	27.3 ± 2.7	

<sup>a</sup>*U. atrum* was applied as conidial suspension containing 0.01% Tween 20 with  $1 \times 10^6$  conidia per ml.

<sup>b</sup>Protective value = (% infected fruits of untreated - % infected fruits of treated) / %infected fruits of untreated.

고 보고하였는데 본 연구에서도 *U. atrum* 포자현탁액의 백합 잎마름병 방제효과를 확인할 수 있었다.

**오이 잿빛곰팡이병 방제효과.** *U. atrum* CNU 9037 및 CNU 9054 균주의 오이 잿빛곰팡이병(*B. cinerea*)방제효과를 조사한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 방제가 66% 및 71%를 나타내었다. 무처리구(대조구)의 잿빛곰팡이병 이병율은 27.3%로 병 방제효과를 조사하기에 충분하였다.

*U. atrum*은 다양한 환경조건에서 괴사된 지상부 식물 조직에 부생적으로 정착할 수 있다(Köhl 등, 1995; Köhl과 Molhoek, 2001). 즉, *U. atrum*은 *Botrytis* spp.가 정착할 수 있는 기질에서 정착함으로써 괴사조직으로부터 병원체를 제거할 수 있다. 이러한 괴저 조직은 *Botrytis* spp.와 같은 necrotrophic한 병원체에 의한 식물병의 병환(disease cycle)에서 전염원으로서 중요한 역할을 한다. *U. atrum*은 강한 부생성균으로 괴사된 식물체의 잎에 높은 정착력을 보이고 있고, 이런 작용은 *Botrytis* 균들과의 경쟁에 있어서도 기주의 죽은 조직에 먼저 정착, 선점함으로써 *Botrytis* 정착을 억제할 수 있음을 나타낸다. 최근 *U. atrum*을 딸기(Boff 등, 2002), 시클라멘(Köhl 등, 1998, 2000), grapevine(Schoere과 Köhl, 1999), 제라늄(Gerlagh 등, 2001), 장미(Yohalem, 2000) 등의 작물에 처리할 경우 포장 및 온실 조건에서 *Botrytis*병 방제 효과가 있음이 보고되어 있다. 본 연구의 결과 국내 분리균주인 *U. atrum* 9037, 9054균주를 백합 및 오이에 처리할 경우 *Botrytis*병의 방제효과가 인정되었으며, *U. atrum*이 *Botrytis*병의 생물학적 방제제로의 개발 가능성이 높음을 알 수 있었다.

## 요 약

본 연구는 부생성 균류인 *Ulocladium atrum*을 이용하여 *Botrytis* spp.에 의한 백합 잎마름병 및 오이 잿빛곰팡이병의 방제효과를 조사하고 그 작용특성을 규명함으로써 *U. atrum*의 생물학적 방제제로서의 이용 가능성을 평가하기 위해 실시하였다. 토마토 잎의 표면과 조직 속에서 분리한 *Ulocladium* sp. CNU 9037과 CNU 9054 균주는 형태적 특징에 의하여 *U. atrum*로 동정되었으며 이것이 *U. atrum*의 국내 최초의 보고이다. 토마토 및 오이의 괴사된 잎을 이용하여 *U. atrum*의 *Botrytis* spp. 포자형성 억제력을 실내검정으로 조사하였던 바, *U. atrum*은 괴사된 잎 절편에서 *Botrytis*의 포자형성을 효과적으로 억제하였다. *Botrytis*의 포자형성억제력은 *U. atrum*을 *Botrytis*보다 먼저 처리했을 경우 효과가 높았다. 백합 잎마름병 방제를 위한 포장(온실)실험 결과 *U. atrum* CNU 9037 균



주의 포자현탁액 처리는 백합 잎마름병을 효과적으로 억제하였으며 방제가는 70%, 77%로 procymidone 약제 처리구의 방제가(58%)보다 우수하였다. *U. atrum*(CNU 9037, CNU 9054) 포자현탁액처리하는 오이 잣빛곰팡이병도 효과적으로 억제하였으며, 그 방제가는 66~71%였다. 본 연구의 결과는 *U. atrum* 균주가 오이, 백합의 *Botrytis*병의 생물학적 방제제로서 개발 가능성이 있음을 나타낸다

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린 21사업의 지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Agrios, G. N. 1997. Plant pathology. Academic Press, New York. 635pp.
- Berto, P., Haissam, J. M. and Lepoivre, P. 2001. Possible role of colonization and cell wall-degrading enzymes in the differential ability of three *Ulocladium atrum* strains to control *Botrytis cinerea* on necrotic strawberry leaves. *Phytopathology*. 91: 1030-1036.
- Boff, P., Kastelein, P., de Kraker, J., Gerlagh, M. and Köhl, J. 2001. Epidemiology of grey mould in annual waiting-bed production of strawberry. *European Journal of Plant Pathology* 107: 615-624.
- Boff, P., Köhl, J., Gerlagh, M. and de Kraker, J. 2002. Biocontrol of grey mold by *Ulocladium atrum* applied at different flower and fruit stages of strawberry. *BioControl* 47: 193-206.
- David, J. C. 1995. *Ulocladium atrum*, IMI Descriptions of Fungi and Bacteria No. 1224. *Mycopathologia*. 129: 47-48.
- Ellis, M. B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England. 608pp.
- Gerlagh, M., Amsing, J. J., Molkhoek, W. M. L., bosker-van Zessen, A. I., Lombaers-van der Plas, C. H. and Köhl, J. 2001. The effect of treatment with *Ulocladium atrum* on *Botrytis cinerea*-attack of geranium (*Pelargonium zonale*) stock plants and cuttings. *European Journal of Plant Pathology* 107: 377-386.
- Kessel, G. J. T., de Hass, B. H., Lombaers-van der Plas, C. H., Meijer, E. M. J., Dewey, F. M., Goudrian, J., van der Werf, W. and Köhl, J. 1999. Quantification of mycelium of *Botrytis* spp. and the antagonist *Ulocladium atrum* in necrotic leaf tissue of cyclamen and lily by fluorescence microscopy and image analysis. *Phytopathology* 89: 868-876.
- Kessel, G. J. T., de Haas, B. H., Lombaers-van der Plas, C. H., van den Ende, J. E., Pennock-vos, M. G., van der Werf, W. and Köhl, J. 2001. Comparative analysis of the role of substrate specificity in cyclamen with *Ulocladium atrum*. *European Journal of Plant Pathology* 107: 273-284.
- Kessel, G. J. T., de Haas, B. H., van der Werf, W. and Köhl, J. 2002. Competitive substrate colonisation by *Botrytis cinerea* and *Ulocladium atrum* in relation to biological control of *B. cinerea* in cyclamen. *Mycol. Res.* 106: 716-728.
- Köhl, J., Belanger, R. R. and Fokkema, N. J. 1997. Interaction of four antagonistic fungi with *Botrytis aclada* in dead onion leaves: A comparative microscopic and ultrastructural study. *Phytopathology* 87: 634-642.
- Köhl, J. and Boff, P. 2002. Biological control of gray mold with *Ulocladium atrum* in annual strawberry crops. *Plant Disease*. 86: 220-224.
- Köhl, J. and Elmer, P. A. G. 1998. The survival and saprophytic competitive ability of the *Botrytis* spp. antagonist *Ulocladium atrum* in lily canopies. *European Journal of Plant Pathology* 104: 435-447.
- Köhl, J. and Gerlagh, M. 1999. Biological control of *Botrytis cinerea* in roses by the antagonist *Ulocladium atrum*. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent. 64: 441-445.
- Köhl, J., Gerlagh, M., de Hass, B. H. and Krijger, M. C. 1998. Biological control of *Botrytis cinerea* in cyclamen with *Ulocladium atrum* and *Gliocladium roseum* under commercial growing conditions. *Phytopathology* 88: 568-575.
- Köhl, J., Gerlagh, M. and Grit, G. 2000. Biocontrol of *Botrytis cinerea* by *Ulocladium atrum* in different production systems of cyclamen. *Plant Disease* 84: 569-573.
- Köhl, J., Lombaers-van der Plas, C. H., Molhek, W. M. L., Kessel, G. J. T. and goossen-van der Geijn, H. M. 1999. Competitive ability of the antagonists *Ulocladium atrum* and *Gliocladium roseum* at temperatures favourable for *Botrytis* spp. development. *BioControl*. 44: 329-346.
- Köhl, J. and Molhoek, W. M. L. 2001. Effect of water potential on conidial germination and antagonism of *Ulocladium atrum* against *Botrytis cinerea*. *Phytopathology* 91: 485-491.
- Köhl, J., Molhoek, W. M. L., Goosson-van de Geijn, H. M. and Lombaers-van der Plas, C. H. 2003. Potential of *Ulocladium atrum* for biocontrol of onion leaf spot through suppression of sporulation of *Botrytis* spp. *BioControl* 48: 349-359.
- Köhl, J., Molhoek, W. M. L., van der Plas, C. H. and Fokkema, N. J. 1995. Effect of *Ulocladium atrum* and other antagonists on sporulation of *Botrytis cinerea* on dead lily leaves exposed of field conditions. *Phytopathology* 85: 393-401.
- Schoene, P. and Köhl, J. 1999. Biologische bekämpfung von *Botrytis cinerea* mit *Ulocladium atrum* in reben und cyclamen. *Gesunde Pflanzen*. 51: 81-85.
- Sosa-Alvarez, M., Madden, L. and Ellis, M. A. 1995. Effect of temperature and wetness duration on sporulation of *Botrytis cinerea* on strawberry leaf residues. *Plant Dis.* 79: 609-615.
- Yohalem, D. S. 2000. Microbial management of early establishment of grey mould in pot roses. Danske Plantevarnskonference, DJF-Rapport 12: 97-102.