

## 십자화과 채소작물에서의 후사리움 시들음병 발생과 그 원인균의 병원성 분화

문윤기 · 김완규<sup>1\*</sup> · 조원대<sup>1</sup> · 성재모

강원대학교 자원생물환경학부, <sup>1</sup>농업과학기술원 식물병리과

### Occurrence of Fusarium Wilt on Cruciferous Vegetable Crops and Pathogenic Differentiation of the Causal Fungus

Youn Gi Moon, Wan Gyu Kim<sup>1\*</sup>, Weon Dae Cho<sup>1</sup> and Jae Mo Sung

Department of Environmental Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>1</sup>Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea

(Received on June 20, 2001)

Occurrence of Fusarium wilt was surveyed in fields of cruciferous vegetable crops in Korea from 1996 to 1998. The disease severely occurred up to 40% in fields of Chinese cabbage and radish but slightly in fields of cabbage. A total of 123 isolates was obtained from roots of the diseased plants and identified as *Fusarium oxysporum* based on the morphological and cultural characteristics. Pathogenicity of nine isolates selected from the isolates was tested by artificial inoculation to the hosts. All the isolates had similar virulence on Chinese cabbage and cabbage, although there were some differences in virulence on cultivars tested among the isolates. The isolates from radish were more virulent to radish than those from Chinese cabbage and cabbage. All isolates from the crucifers were not virulent to eight species of vegetable crops except the crucifers. The results of pathogenicity tests showed that the pathotype of Chinese cabbage-infecting isolates was identical to that of cabbage-infecting isolates, but somewhat different from that of radish-infecting isolates.

**Keywords :** cruciferous vegetable crops, *Fusarium oxysporum*, Fusarium wilt, pathotype

무, 배추, 양배추는 대표적인 십자화과 채소작물로서 한국에서는 예전부터 대부분이 겨울 김장용으로 재배되어 왔으나 1980년대 이후부터 비닐하우스 등의 시설을 이용한 재배형태가 널리 보급되어 이들 채소가 연중 생산되고 있다. 또한 유통수단의 발달과 더불어 십자화과 채소작물의 도시근교 시설하우스 및 여름철 고냉지 재배면적이 늘어나고 있으나, 연작으로 인해 이들 작물에서는 각종 토양전염성 병해의 발생이 증가하고 있으며, 특히 최근에는 시들음병으로 인한 피해가 종종 발생하고 있다. *Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr.에 의한 많은 작물의 시들음병은 전세계적으로 발생하고 있으며, 이 병원균은 토양전염성으로 수백 종의 작물을 침해하며(Armstrong과 Armstrong, 1981; Booth, 1971; Kistler, 1997), 십자화과 채소작물의 경우에는 뿌리 내부에 침입하여 식물체의 생육을 지연시킨다. 이 균에 심하게 감염된 식물체는 시들고,

뿌리내부가 변색되어 일찍 말라죽기도 한다. 따라서 이 병은 한 번 발생하면 방제가 매우 어렵다.

십자화과 채소작물을 침해하는 시들음병균은 Wollenweber (1913)에 의해 양배추(*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)의 시들음병을 일으키는 병원균으로서 *Fusarium conglutinans* Wollenweb.가 처음으로 보고되었다. 이후 Snyder와 Hansen (1940)의 분류체계에 따라 *F. conglutinans*와 다른 9종의 *Fusarium*균은 *F. oxysporum*으로 통합되고, 양배추를 침해하는 *F. oxysporum*은 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* (Wollenweb.) Snyder & Hans.로 분류되었으며, 또한 십자화과 작물에 대한 병원성의 차이에 따라 여러 개의 병원형(race)으로 분류되었다(Armstrong과 Armstrong, 1952; Armstrong과 Armstrong, 1966; Armstrong과 Armstrong, 1981; Ramirez-Villupadua 등, 1985). 한편 무(*Raphanus sativus* L.)에 시들음병을 일으키는 *F. oxysporum*은 *F. oxysporum* f. sp. *raphani* Kendrick & Snyder로 분류되었으며(Kendrick와 Snyder, 1942), *F. oxysporum*의 f. sp. *conglutinans*와 f. sp. *raphani*의 기주에 대한 병원력 및 특이성은 환경조건, 특히 토양온도에 따라 변할 수 있다는

\*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0439, Fax) +82-31-290-0453

E-mail) wgkim@rda.go.kr

보고가 있었다(Nomura와 Ishii, 1989; Pound와 Fowler, 1953).

이와 같이 외국에서는 십자화과에 속하는 무와 양배추 등의 시들음병에 대해서는 오래 전부터 많은 연구가 이루어져 왔으나, 한국에서는 십자화과 채소작물에 시들음병을 일으키는 *F. oxysporum*에 관한 연구가 매우 미약한 실정이다. 특히 배추(*Brassica campestris* ssp. *pekinensis*)에 발생하는 시들음병은 국내에서 매우 최근에 기록되었다(조 등, 1997). 배추를 침해하는 *F. oxysporum*의 분화형(*forma specialis*)은 양배추를 침해하는 것으로 알려진 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*와 같은 것으로 기록되어 있으나(Booth, 1971), 그 후 이에 대하여 상세하게 연구된 바가 없다. 따라서 이 연구는 국내에서 재배하고 있는 십자화과 채소작물인 배추, 양배추 및 무에서의 시들음병 발생 상황을 전반적으로 조사하고, 그 원인균을 분리 동정하며, 기주별로 분리한 균주들의 병원성을 각 기주 및 품종별로 검정하여 이 균의 균주간 병원성의 분화정도를 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

**포장 발병조사.** 1996년부터 1998년까지 전국 십자화과 채소작물 재배단지를 중심으로 배추, 양배추, 무의 시들음병 발생을 조사하고, 병징을 관찰하였다. 병 발생율은 포장당 50~100주씩 3반복으로 조사하였으며, 관찰주수에 대한 발병주수의 비율로 환산하여 기술하였다.

**병원균 분리.** 조사한 십자화과 채소작물 중에서 시들음증상을 보이는 식물체의 뿌리를 채집하여 병원균을 분리하였다. 채집한 뿌리를 물로 깨끗이 세척한 다음, 뿌리 내부의 변색부위를 10~15 mm<sup>2</sup>의 크기로 절단하여 1% NaOCl용액에 1분간 표면 살균하고, 살균수로 세척 후, 살균된 여과지에서 물기를 제거하고, 2% 물한천배지(WA) 위에 올려 놓았다. 그리고 25°C 항온기에서 2~3일간 배양 후, 무균상에서 병반조각으로부터 자라 나온 균사의 선단부분을 살균한 백금선으로 떼어 감자설탕사면배지(PDA slant)에 옮겨 배양하였다.

수집 균주의 단포자 분리는 Toussoun과 Nelson(1976)이 사용한 방법을 약간 변형하여 수행하였다. PDA 사면배지에서 배양한 균주의 균총에 살균수를 첨가하여 분생포자 현탁액을 만들고, 분생포자 현탁액을 백금으로 찍어 WA 위에 W자형으로 획선을 그은 다음, 25°C의 항온기에서 12시간 배양하였다. 배양후 해부현미경하에서 발아된 단포자를 떼어 내어 항생제(streptomycin 0.05 g/L)를 첨가한 WA에 이식하였다. 그 후 25°C 항온기에서 3~4일간 배

양한 다음, 무균상에서 PDA사면배지에 다시 이식하여 배양후 보존하면서 실험에 사용하였다.

**병원균의 형태적 및 배양적 특성 조사.** 분리 균주들의 형태적 특성을 조사하기 위하여 단포자 분리된 균주를 Fisher 등(1982)이 개발한 카네이션잎배지(carnation leaf agar: CLA)에 이식하여 27°C 항온기에서 10~14일간 배양후 광학현미경하에서 소형 및 대형분생포자와 후막포자의 형태 및 크기를 균주당 50개씩 조사하였다. 또한 배양적 특성을 조사하기 위하여 공시균주들을 PDA 평판배지에 3반복으로 이식 후 27°C 항온기에서 7일간 배양한 다음, 균총의 형태를 관찰하였다.

**병원성 검정.** 배추, 양배추, 무에서 분리한 각 공시균주의 병원성을 검정하기 위하여 기주별로 3개씩의 균주

**Table 1.** List of vegetable crops used for pathogenicity tests of *Fusarium oxysporum* isolates

| Host            | Cultivar             | Production year | Seed company     |
|-----------------|----------------------|-----------------|------------------|
| Chinese cabbage | Chunhawang           | 1996            | Heungnong(Korea) |
|                 | Gonaengjiyeoreum     | 1995            | Jungang(Korea)   |
|                 | Jangmi               | 1997            | Nongwoo(Korea)   |
|                 | Manjeom              | 1996            | Seoul(Korea)     |
|                 | Yeoreumshingwan      | 1995            | Dongwon(Korea)   |
| Cabbage         | Daegong              | 1996            | Sakada(Japan)    |
|                 | Daetong              | 1996            | Seoul(Korea)     |
|                 | Green Hero           | 1997            | Hannong(Korea)   |
|                 | Gusto                | 1997            | Hannong(Korea)   |
|                 | Sagyehwak            | 1997            | Dakii(Japan)     |
| Radish          | Cheonhadaehyeong     | 1996            | Seoul(Korea)     |
|                 | Gosanjidaehyeong     | 1996            | Nongwoo(Korea)   |
|                 | Hanoldaehyeong       | 1996            | Hannong(Korea)   |
|                 | Jangbaekminong       | 1997            | Heungnong(Korea) |
|                 | Jangchundaehyeong    | 1996            | Seoul(Korea)     |
| Cucumber        | Baekrokdadagi        | 1995            | Seoul(Korea)     |
|                 | Eunseongbaekdadagi   | 1994            | Heungnong(Korea) |
| Eggplant        | Daeheukjang          | 1995            | Dongwon(Korea)   |
|                 | Heukmajang           | 1997            | Nongwoo(Korea)   |
| Melon           | Keumnodaji-euncheon  | 1994            | Nongwoo(Korea)   |
|                 | Keumssaragi-euncheon | 1996            | Heungnong(Korea) |
| Red pepper      | Keumsil              | 1996            | Cheil(Korea)     |
|                 | Pungchon             | 1996            | Heungnong(Korea) |
| Spinach         | Moogunghwa           | 1997            | Heungnong(Korea) |
|                 | Namul                | 1997            | Nongwoo(Korea)   |
| Tomato          | Seogwang             | 1995            | Heungnong(Korea) |
|                 | Gwangmyung           | 1995            | Hannong(Korea)   |
| Water melon     | Dalgona              | 1996            | Seoul(Korea)     |
|                 | Ondongne             | 1996            | Donwon(Korea)    |
| Welsh onion     | Seokchangwedaepa     | 1996            | Daenong(Korea)   |
|                 | Heugyeobhandaeppa    | 1997            | Nongwoo(Korea)   |

를 PDA 평판배지에 이식하여 25°C 항온기에서 10일간 배양 후, 1~2 cm의 크기로 잘라 옥수수-모래배지(옥수수가루:모래:증류수=23 g:210 g:40 ml)가 든 500 ml의 삼각플라스틱내에 5개씩 이식한 다음, 25°C 항온기에서 30~40일간 배양후 접종원으로 사용하였다.

작물별 병원성검정을 하기 위하여 시판되고 있는 십자화와 채소작물인 배추, 양배추, 무는 각각 5개 품종씩, 십자화와 이외의 작물인 고추 등 8개 작물은 각각 2개 품종씩 공시하였다(Table 1). 공시한 품종의 종자는 9 cm 페트리접시내의 살균수에 적신 2매의 습지 위에 올려놓고 25°C 항온기에서 24~48시간 배양하여 발아시킨 다음, 살균된 발토양(131°C, 4시간 살균)이 담긴 플라스틱 원형포트(직경 25 cm, 높이 21 cm)에 파종하였다.

병원균의 접종을 위하여는 파종후 23일에 식물체의 뿌리가 약간 나오도록 지제부 주변의 흙을 긁어낸 다음, 살균된 스푼으로 잘 섞은 접종원을 50 g씩 넣고 다시 긁어내었던 흙으로 덮었다. 대조구(control)에는 접종원과 같은 양의 옥수수-모래배지를 사용하였다. 모든 병원성검정 실험은 3반복으로 수행하였으며, 접종한 식물체는 온실(18~32°C)에 옮겨 재배하면서 접종 후 60일에 발병정도를 조사하였다. 발병정도의 평가는 접종한 그루의 뿌리내부가 심하게 변색되어 썩고, 식물체가 시드는 증상을 보인 경우에는 심한 증상(severe symptoms)으로, 뿌리내부가 변색은 되었으나 시드는 증상을 보이지 않는 경우에는 약한 증상(weak symptoms)으로 하였다.

## 결 과

**병발생 및 병징.** 1996년부터 1998년까지 국내 채소

재배단지를 중심으로 십자화와 채소작물의 시들음병 발생을 조사한 결과, 배추와 무에서는 시들음병이 각각 횡성과 청원 등 5개 지역에서 최대 40%로 매우 심하게 발생하였다(Table 2). 양배추에서는 제주와 홍천 지역의 일부 포장에서만 10%씩 발생하였다.

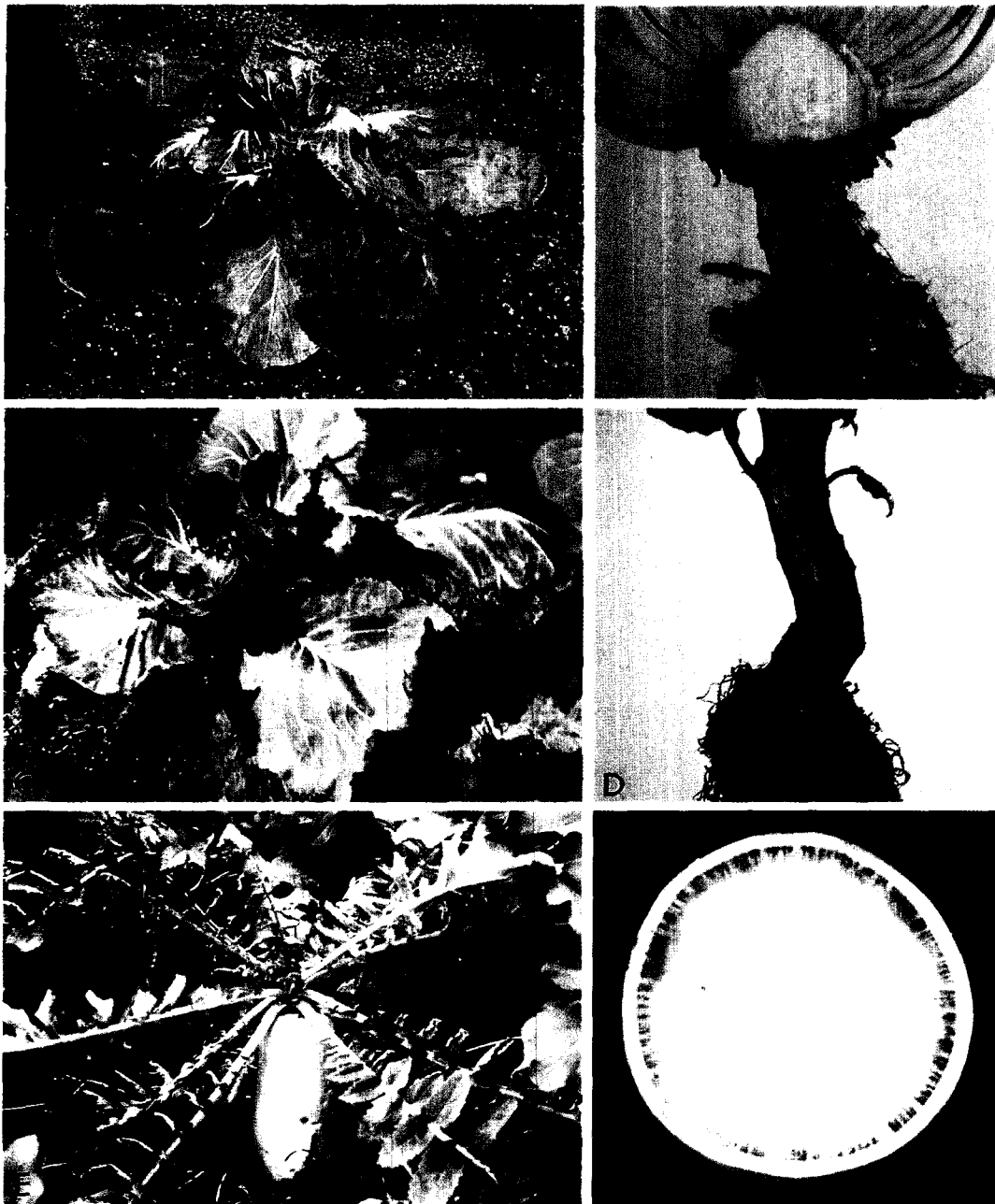
십자화와 채소작물에 발생하고 있는 시들음병의 병징은 아래쪽 잎부터 누렇게 변색되고, 생육이 불량하며(Fig. 1 A, C, E), 처음에는 푸른 상태로 시들다가, 후에 완전히 시들어 누렇게 말라죽었다. 병원균에 감염된 식물체는 때때로 오랫동안 쉽게 말라죽지 않고, 생육이 부진한 상태로 자라기도 하였다. 병든 뿌리 내부의 도관부는 갈색 내지 암갈색으로 변하는 것이 특징으로 나타났다(Fig. 1 B, D, F).

**병원균의 분리 및 동정.** 시들음증상을 보이는 십자화와 채소작물의 병든 뿌리로부터 분리한 *Fusarium* 균주들에 대한 형태적 및 배양적 특성을 조사한 결과, 분리 균주들은 모두 균사에서 단경자(monophialide)를 형성하고, 대형분생포자와 소형분생포자 및 후막포자를 형성하였다(Fig. 2 A~C). 대형분생포자는 주로 3~5개, 혹은 간혹 6개의 격막을 가진 초생달 모양이고, 그 크기는 18~70×2~6 μm였다. 소형분생포자는 타원형 혹은 난형으로 격막이 없거나 간혹 1개 혹은 2개의 격막을 가지고 있으며, 그 크기는 5~38×2~6 μm였다. 후막포자는 무색, 단세포로서 원형 내지 타원형이고, 그 크기는 4~12×4~12 μm였다.

분리 균주들을 PDA 평판배지에 배양하여 조사한 결과, 기중균사는 솜털모양으로 자랐으며, 배추와 무에서 분리한 균주들의 균총은 대체로 보라색을 띠고, 양배추에서 분리한 균주들은 흰색 내지 담황색을 띠었다(Fig. 2 D).

**Table 2.** Occurrence of *Fusarium* wilt on cruciferous vegetable crops in Korea from 1996 to 1998

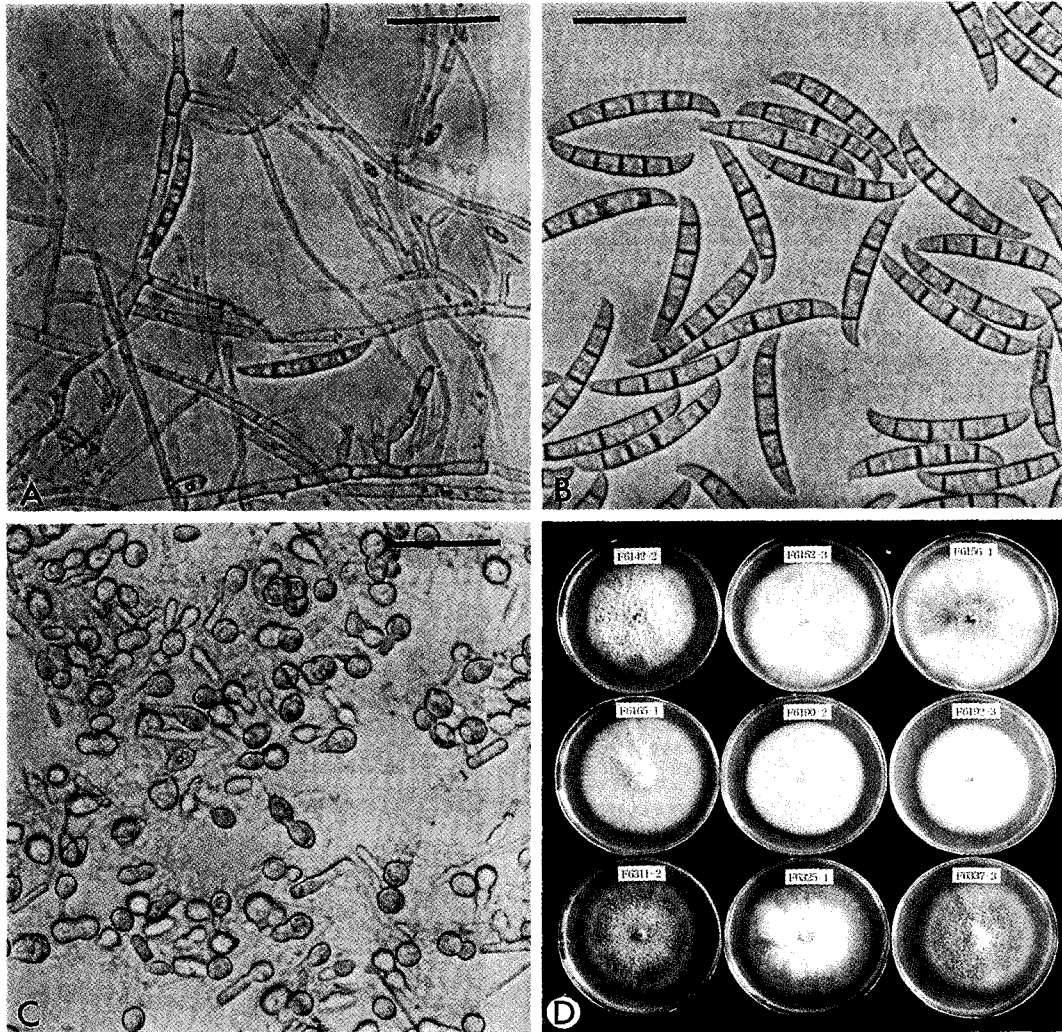
| Host            | Location    | Month surveyed | No. of fields surveyed | No. of fields infected | % Infected plants |
|-----------------|-------------|----------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Chinese cabbage | Hoengseong  | June           | 4                      | 3                      | 10~40             |
|                 |             | August         | 10                     | 1                      | 30                |
|                 | Hongcheon   | June           | 4                      | 1                      | <2                |
|                 |             | July           | 26                     | 10                     | 1~40              |
|                 | Jeju        | May            | 3                      | 1                      | <2                |
|                 |             | Pyeongchang    | July                   | 14                     | 8                 |
| Taebaek         | August      | 15             | 8                      | 2~10                   |                   |
| Cabbage         | Hongcheon   | July           | 5                      | 1                      | 10                |
|                 | Jeju        | May            | 5                      | 1                      | 10                |
| Radish          | Buyeo       | March          | 45                     | 3                      | 1~10              |
|                 | Cheongwon   | October        | 15                     | 3                      | 10~40             |
|                 | Paju        | June           | 11                     | 1                      | 30                |
|                 | Pyeongchang | June           | 19                     | 2                      | 2~10              |
|                 | Yeoncheon   | June           | 6                      | 2                      | 2~40              |



**Fig. 1.** Symptoms of *Fusarium* wilt on three species of cruciferous vegetable crops in the field. **A)** wilt and yellows of Chinese cabbage; **B)** a longitudinal section of the diseased Chinese cabbage root showing vascular discoloration; **C)** wilt and yellows of cabbage; **D)** a longitudinal section of the diseased cabbage root showing vascular discoloration; **E)** wilt and yellows of radish; **F)** a transverse section of the diseased radish root showing vascular discoloration.

이상의 형태적 및 배양적 특성은 다른 연구자들(Booth, 1971; Nelson 등, 1983; Snyder와 Hansen, 1940)이 기술한 *F. oxysporum*의 특성과 비슷하여 *F. oxysporum*으로 동정하였으며, 각 작물별 병원균의 분리 균주수는 배추에서 37개, 양배추에서 30개, 무에서 56개로서 모두 123 균주였다(Table 3).

**병원성.** 동정된 *F. oxysporum*을 분리 기주별로 각각 3 균주씩 선발하여(Table 4), 배추에 대한 병원성검정 결과, 대부분의 균주들이 분리 기주에 관계 없이 배추에 병원성이 있었으며, 각 균주의 병원성 정도는 배추의 품종에 따라 약하거나 강하게 나타났다(Table 5). 공시균주들은 또한 일부 배추품종에 병원성이 없었으나 전체적으로



**Fig. 2.** Morphological and cultural features of *Fusarium oxysporum* isolated from cruciferous vegetable crops. **A)** hyphae, conidiophores, microconidia and macroconidia; **B)** macroconidia; **C)** chlamydospores; **D)** colonies on PDA after seven days of incubation at 27°C in the dark. Each scale bar represents 30 µm.

**Table 3.** Isolation of *Fusarium oxysporum* from roots of cruciferous vegetable crops showing wilt symptoms from 1996 to 1998

| Common name     | Scientific name                                      | Location    | No. of isolates |
|-----------------|--|-------------|-----------------|
| Chinese cabbage | <i>Brassica campestris</i><br><i>ssp. pekinensis</i> | Hoengseong  | 6               |
|                 |  | Hongcheon   | 13              |
|                 |  | Jeju        | 8               |
|                 |  | Pyeongchang | 7               |
|                 |  | Taebaek     | 3               |
| Cabbage         | <i>Brassica oleracea</i><br><i>var. capitata</i>     | Hongcheon   | 5               |
|                 |  | Jeju        | 25              |
| Radish          | <i>Raphanus sativus</i>                              | Buyeo       | 20              |
|                 |  | Cheongwon   | 7               |
|                 |  | Paju        | 3               |
|                 |  | Pyeongchang | 20              |
|                 |  | Yeoncheon   | 6               |

**Table 4.** Isolates of *Fusarium oxysporum* used for examination of pathological characteristics

| Source of isolates | Isolate No. | Location  | Isolated year and month |
|--------------------|-------------|-----------|-------------------------|
| Chinese cabbage    | F6142-2     | Jeju      | June 1996               |
|                    | F6152-3     | Hongcheon | July 1996               |
|                    | F6156-1     | Hongcheon | July 1996               |
| Cabbage            | F6165-1     | Jeju      | June 1996               |
|                    | F6190-2     | Hongcheon | July 1996               |
|                    | F6192-3     | Hongcheon | July 1996               |
| Radish             | F6311-2     | Buyeo     | March 1998              |
|                    | F6325-1     | Buyeo     | July 1998               |
|                    | F6337-3     | Paju      | June 1998               |

**Table 5.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* isolates from cruciferous vegetable crops on Chinese cabbage by artificial inoculation

| Source of isolates | Isolate No. | Disease severity on Chinese cabbage cultivars <sup>a</sup> |                  |        |         |                 |
|--------------------|-------------|--|------------------|--------|---------|-----------------|
|                    |             | Chunhawang   | Gonaengjiyeoreum | Jangmi | Manjeom | Yeoreumshinkwan |
| Chinese cabbage    | F6142-2     | ++   | -                | +      | ++      | ++              |
|                    | F6152-3     | ++   | +                | -      | ++      | +               |
|                    | F6156-1     | +  | +                | ++     | ++      | ++              |
| Cabbage            | F6165-1     | ++   | +                | -      | +       | +               |
|                    | F6190-2     | +  | +                | ++     | ++      | ++              |
|                    | F6192-3     | ++   | ++               | -      | +       | ++              |
| Radish             | F6311-2     | ++   | ++               | +      | +       | ++              |
|                    | F6325-1     | -  | ++               | ++     | +       | +               |
|                    | F6337-3     | -  | +                | ++     | +       | +               |
| Control            |             | -  | -                | -      | -       | -               |

<sup>a</sup> ++: severe symptoms, +: weak symptoms, -: no symptom.

**Table 6.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* isolates from cruciferous vegetable crops on cabbage by artificial inoculation

| Source of isolates | Isolate No. | Disease severity on cabbage cultivars <sup>a</sup> |         |            |       |           |
|--------------------|-------------|--|---------|------------|-------|-----------|
|                    |             | Daegong  | Daetong | Green Hero | Gusto | Sagyehwak |
| Chinese cabbage    | F6142-2     | +  | +       | +          | ++    | +         |
|                    | F6152-3     | +  | +       | -          | ++    | +         |
|                    | F6156-1     | +  | +       | -          | ++    | +         |
| Cabbage            | F6165-1     | +  | +       | +          | ++    | -         |
|                    | F6190-2     | +  | +       | +          | ++    | +         |
|                    | F6192-3     | +  | +       | ++         | ++    | -         |
| Radish             | F6311-2     | -  | +       | +          | +     | -         |
|                    | F6325-1     | +  | +       | +          | +     | -         |
|                    | F6337-3     | +  | +       | +          | ++    | -         |
| Control            |             | -  | -       | -          | -     | -         |

<sup>a</sup> ++: severe symptoms, +: weak symptoms, -: no symptom.

배추에 대한 병원성은 균주들간에 뚜렷하게 구분되지 않았다.

공시균주들의 양배추에 대한 병원성검정 결과, 공시균주들은 Gusto품종을 제외한 4품종에 대하여 대부분 병원성이 약하거나 없었다(Table 6). 대부분의 공시균주들에 대하여 감수성을 보인 Gusto품종에서의 발병정도를 볼 때 배추 및 양배추분리 균주들이 무분리 균주들보다는 다소 병원성이 강한 것으로 나타났으나 전체적으로 공시균주들의 양배추에 대한 병원성은 균주들간에 뚜렷하게 구분되지 않았다.

공시균주들의 무에 대한 병원성검정 결과, 공시균주들 중에서 배추에서 분리한 3균주는 공시 무품종들에 대한 병원성이 미약하거나 없었다(Table 7). 양배추에서 분리한 균주들 중 F6165-1은 공시한 전 무품종에 대해 전혀 병원성이 없었으며, F6190-2는 한울대형에, F6192-3은 천하대형과 한울대형에 각각 병원성이 강한 것으로 나타났으나 이외의 다른 무품종에는 병원성이 전혀 없었다. 무에

서 분리한 균주들은 대부분 공시한 무품종에 병원성이 강한 것으로 나타났다. 공시균주들의 무에 대한 병원성에 있어서는 대체로 무분리 균주들이 배추 및 양배추분리 균주들보다 강한 것으로 나타났다.

공시균주들의 십자화과 이외의 채소작물에 대한 병원성검정 결과, 고추 등 8개 작물에 대해 모두 병원성이 없었다(Table 8).

## 고 찰

이 연구의 조사 결과, 국내 여러 지역에서 십자화과 채소작물에 시들음병이 다소 발생하고 있는 것으로 밝혀졌으며, 일부 포장에서는 발생율이 40%에 달해 병발생 포장에는 이 병원균의 밀도가 매우 높을 것으로 추정되고 있다. 시들음병의 발생시기는 주로 5월에서 10월 사이로 봄부터 가을에 걸쳐 십자화과 채소의 생육중기 이후에 발

**Table 7.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* isolates from cruciferous vegetable crops on radish by artificial inoculation

| Source of isolates | Isolate No. | Disease severity on radish cultivars <sup>a</sup> |                  |                |                |                   |
|--------------------|-------------|---|------------------|----------------|----------------|-------------------|
|                    |             | Cheonhadaehyeong                                  | Gosanjidaehyeong | Hanoldaehyeong | Jangbaekminong | Jangchundaehyeong |
| Chinese cabbage    | F6142-2     | -   | -                | -              | +              | +                 |
|                    | F6152-3     | -   | -                | +              | +              | -                 |
|                    | F6156-1     | +   | -                | +              | -              | -                 |
| Cabbage            | F6165-1     | -   | -                | -              | -              | -                 |
|                    | F6190-2     | -   | -                | ++             | -              | -                 |
|                    | F6192-3     | ++  | -                | ++             | -              | -                 |
| Radish             | F6311-2     | ++  | ++               | ++             | ++             | ++                |
|                    | F6325-1     | ++  | +                | ++             | ++             | ++                |
|                    | F6337-3s    | ++  | +                | ++             | ++             | ++                |
| Control            |             | -   | -                | -              | -              | -                 |

<sup>a</sup> ++: severe symptoms, +: weak symptoms, -: no symptom.

**Table 8.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* isolates from cruciferous vegetable crops on eight non-cruciferous vegetable crops

| Source of isolates | Isolate No. | Disease severity on crops <sup>a</sup> |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------|-------------|--|----|----|----|----|----|----|----|
|                    |             | RP                                     | EG | TO | WO | SP | CU | ME | WM |
| Chinese cabbage    | F6142-2     | - <sup>b</sup>                         | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6152-3     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6156-1     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Cabbage            | F6165-1     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6190-2     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6192-3     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Radish             | F6311-2     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6325-1     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
|                    | F6337-3     | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Control            |             | -                                      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |

<sup>a</sup> RP: red pepper, EG: eggplant, TO: tomato, WO: welsh onion, SP: spinach, CU: cucumber, ME: melon, WM: water melon.

<sup>b</sup> -: no symptom.

생하였으나, 일부 지역의 시설하우스내에서 재배중인 경우에는 생육 초기에도 시들음병이 심하게 발생하였다. 최근 배추와 무는 시설하우스내에서 연작으로 많이 재배되고 있기 때문에 연작장해 등으로 인한 피해와 더불어 앞으로 시들음병의 발생은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

십자화과 채소작물인 배추, 양배추, 무의 병든 뿌리로부터 *Fusarium oxysporum*을 분리 동정하고, 병원성 분화를 조사하는 것은 시들음병 방제를 위한 작부체계 결정 등 방제체계 확립에 매우 중요하다. 십자화과 채소작물에서 분리한 *F. oxysporum* 균주들의 병원성을 조사한 결과, 공시균주들은 십자화과 이외의 채소작물에는 병원성이 없었으며, 십자화과 채소작물에만 특이적인 병원성을 가지고 있었다. 그리고 공시균주들의 배추 및 양배추에 대한 병원성은 일부 품종에 따라 다소 차이는 있었으나, 분리작물별 차이 없이 모두 배추 및 양배추에 병원성이 있었

다. 기존의 연구 결과, 양배추감염 균주가 배추에도 병원성이 있는 것으로 보고되었는데(Nomura와 Ishii, 1989; Pound와 Fowler, 1953), 이 연구 결과에서도 배추에서 분리한 균주들의 병원성은 양배추에서 분리한 균주들의 병원성과 유사한 것으로 나타나, 배추감염 균주들의 분화형은 양배추감염 균주들의 분화형인 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*와 동일한 것으로 밝혀졌다. 그러나 공시균주들의 무에 대한 병원성 조사 결과, 대체로 무분리 균주들이 배추 및 양배추분리 균주들보다 병원성이 강한 것으로 나타나, 무감염 균주들과 배추 및 양배추감염 균주들의 분화형(*forma specialis*) 혹은 병원형(*race*)간에는 차이가 있는 것으로 여겨진다.

*F. oxysporum*에는 120개 이상의 분화형이 존재하며 (Armstrong과 Armstrong, 1981; Correll, 1991), *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*에는 여러 개의 병원형(*race*)이 존재하

는 것으로 보고되어 있다(Armstrong과 Armstrong, 1952; Armstrong과 Armstrong, 1966; Armstrong과 Armstrong, 1981; Ramirez-Villupadua 등, 1985). 특히 Armstrong과 Armstrong(1981)은 십자화과 채소작물을 침해하는 균주는 모두 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*에 속하며, 양배추와 무를 침해하는 균주를 각각 race 1과 2로 분류하였다. 한편 *F. oxysporum* 균주들의 병원성, isozyme 양상, 체세포화합성에 기초하여 조사한 결과에서는 양배추감염 균주와 무감염 균주의 분화형을 각각 f. sp. *conglutinans*와 f. sp. *raphani*로 분류하였으며(Bosland and Williams, 1987; Bosland and Williams, 1988), 분자생물학적인 분석 결과에서도 각각 특이한 단일 계통인 것으로 밝혀졌다(Kistler, 1997; Kistler 등, 1987; Kistler 등, 1991). 그러나 *F. oxysporum*의 f. sp. *conglutinans*와 f. sp. *raphani*의 기주에 대한 병원성은 환경조건, 특히 토양온도에 따라 변할 수 있으므로(Nomura와 Ishii, 1989; Pound와 Fowler, 1951) 이 두 분화형에 대한 십자화과 채소작물의 품종에 기초한 병원형 분류 연구가 더 심도있게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

저자들의 접종실험 결과, 공시한 양배추 품종 중에서 Gusto에서만 발병이 심하였는데, 양배추에서 분리한 균주라도 접종한 양배추의 품종이 저항성인 경우에는 병원력이 미약하거나 발병이 되지 않는 것으로 나타났다. 한편 宋 등(1996)은 대통 등 국내 양배추 재배품종이 대부분 저항성이라고 하였고, 사계확은 감수성이라 하였으나, 이 실험 결과 사계확도 저항성인 것으로 나타나 차이를 보였다.

저자들의 접종실험 결과, 일부 무에서 분리된 균주가 배추 및 양배추에 강한 병원성을 나타내고, 일부 배추 및 양배추에서 분리된 균주가 무에도 강한 병원성을 나타내므로 무시들음병이 발생한 포장에 배추 및 양배추를 재배하거나 배추 및 양배추시들음병이 발생한 포장에 무를 재배하게 되면 시들음병이 계속적으로 발생할 가능성이 높을 것이다. 또한 토양온도가 고온일 때에는 무에서 분리한 균주가 양배추에도 병원성을 나타내고, 양배추에서 분리한 균주가 무에도 병원성을 나타낼 수 있다(Nomura와 Ishii, 1989; Pound와 Fowler, 1953). 온도와 시들음병 발생 사이에는 높은 정(正)의 상관관계가 있으므로(Walker와 Smith, 1930) 십자화과 채소작물을 계속적으로 시설하우스내 고온에서 재배할 경우, 시들음병의 발생은 더욱 많아질 것으로 추정된다.

## 요 약

1996년부터 1998년까지 한국내 십자화과 채소작물의 포

장에서 시들음병 발생을 조사한 결과, 배추와 무에서는 발생율이 최대 40%까지 심하게 발생하였으며, 양배추에서는 일부 포장에서만 약간 발생하였다. 시들음증상을 보이는 십자화과 채소작물의 병든 뿌리로부터 총 123균주의 *Fusarium*균이 분리하였으며, 공시균주들의 형태적 및 배양적 특성을 조사한 결과, 모두 *Fusarium oxysporum*으로 동정되었다. 공시균주들의 배추 및 양배추에 대한 병원성은 공시품종에 따라 다소 차이는 있었으나 균주들간에 뚜렷하게 구분되지 않았다. 무에 대한 병원성에 있어서는 대체로 무분리 균주들이 배추 및 양배추분리 균주들보다 강한 것으로 나타났다. 공시균주들의 십자화과 이외의 채소작물에 대한 병원성검정 결과, 고추 등 8개 작물에 대해 모두 병원성이 없었다. 이 연구결과, 배추감염 균주들의 병원형은 양배추감염 균주들의 병원형과 동일하고, 무감염 균주들의 병원형과는 다른 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- Armstrong, G. M. and Armstrong, J. K. 1952. Physiologic races of the *Fusaria* causing wilts of the cruciferae. *Phytopathology* 42: 255-257.
- Armstrong, G. M. and Armstrong, J. K. 1966. Races of *Fusarium oxysporum* f. *conglutinans*; race 4, new race; and a new host forrace 1, *Lychnis chalcidonica*. *Phytopathology* 56: 525-530.
- Armstrong, G. M. and Armstrong, J. K. 1981. Formae speciales and races of *Fusarium oxysporum* causing wilt diseases. In: *Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy*, ed. by P. E. Nelson, T. A. Toussoun and R. J. Cook, pp. 391-399. The Pennsylvania State University Press, University Park, USA.
- Booth, C. 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England. 237pp.
- Bosland, P. W. and Williams, P. H. 1987. An evaluation of *Fusarium oxysporum* from crucifers based on pathogenicity, isozyme polymorphism, vegetative compatibility, and geographic origin. *Can. J. Bot.* 65: 2067-2073.
- Bosland, P. W. and Williams, P. H. 1988. Pathogenicity of geographic isolates of *Fusarium oxysporum* from crucifers on a differential set of crucifer seedlings. *J. Phytopathol.* 123: 63-68.
- 조원대, 김완규, 지형진, 최홍수, 이승돈, 최용철. 1997. 菜蔬病害 原色 圖鑑. 農業科學技術院, 水原, 韓國. 447pp.
- Correll, J. C. 1991. The relationship between formae speciales, races, and vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 81: 1061-1064.
- Fisher, N. L., Burgess, L. W., Toussoun, T. A. and Nelson, P. E. 1982. Carnation leaves as a substrate and for preserving cultures of *Fusarium* species. *Phytopathology* 72: 151-153.
- Kendrick, J. B. and Snyder, W. C. 1942. *Fusarium* wilt of radish. *Phytopathology* 32: 1031-1033.



- Kistler, H. C. 1997. Genetic diversity in the plant-pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 87: 474-477.
- Kistler, H. C., Bosland, P. W., Benny, U., Leong, S. and Williams, P. H. 1987. Relatedness of strains of *Fusarium oxysporum* from crucifers measured by examination of mitochondrial and ribosomal DNA. *Phytopathology* 77: 1289-1293.
- Kistler, H. C., Momol, E. A. and Benny, U. 1991. Repetitive genomic sequences for determining relatedness among strains of *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 81: 331-336.
- Nelson, P. E., Toussoun, T. A. and Marasas, W. F. O. 1983. *Fusarium* Species. An Illustrated Manual for Identification. The Pennsylvania State University Press, University Park, USA. 193pp.
- Nomura, K. and Ishii, K. 1989. Effect of environmental conditions on pathogenicity and host range of yellow fusaria, *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and f. sp. *raphani*. Bulletin of the College of Agriculture and Veterinary Medicine Nihon University, Japan. No. 46: 48-56.
- Pound, G. S. and Fowler, D. L. 1953. Fusarium wilt of radish in Wisconsin. *Phytopathology* 43: 277-280.
- Ramirez-Villupadua, J., Endo, R. M., Bosland, P. and Williams, P. H. 1985. A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* that attacks cabbage with type A resistance. *Plant Dis.* 69: 612-613.
- Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1940. The species concept in *Fusarium*. *Amer. J. Bot.* 27: 64-67.
- 宋準鎬, 金容旭, 趙駿衡. 1996. 양배추萎黃病抵抗性的品種間差異 및 遺傳. 한국육종학회지 28: 171-177.
- Toussoun, T. A. and Nelson, P. E. 1976. A Pictorial Guide to the Identification of *Fusarium* Species According to the Taxonomic System of Snyder and Hansen, 2nd edition. Pennsylvania State University Press, University Park, USA. 43pp.
- Walker, J. C. and Smith, R. 1930. Effect of environmental factors upon the resistance of cabbage to yellows. *J. Agric. Res.* 41: 1-15.
- Wollenweber, H. W. 1913. Studies on the *Fusarium* problem. *Phytopathology* 3: 24-49.