

Phytophthora 속균의 특성 및 분류

지 형 진

농업과학기술원 병리과

역병균 및 역병

역병균은 Anton de Bary에 의해서 최초로 *Phytophthora*라 명명되었는데 식물파괴자란 뜻의 어원을 가지고 있다(Gk. *Phyto*=plant+*phthora*=destroyer). 1876년에 *Phytophthora*속의 기준 종인 (type species) 감자 역병균이 *Phytophthora infestans*(Mont.) de Bary로 명명된 이래로 120년이 지난 지금까지 세계적으로 59종(species)과 5 변종(variety)이 보고되어 있다(Table 1). 국가별로 보면 미국에는 32종, 일본은 26종, 중국과 대만은 각각 23종이 보고되어있으며(6, 14, 15), 국내에는 21종의 역병균이 기록되어 있는데 그 중, *P. carica* Hori와 *P. fagopyri* Takimoto는 국제적으로 공인되지 않는 종명으로 균의 특성에 대한 기록이나 표준균주가 남아있지 않으며, *P. colocasiae*, *P. macrospora*, *P. vignae*의 발생은 기록만 있을 뿐 최근에 확인된 바는 없다. 1996년부터 농업과학기술원 병리과에서 실시한 역병균의 분류 연구 결과에 의하면, 현재까지 국내에는 15종의 역병균이 46개 작물에서 발병되는 것으로 조사되었는데 (농업과학기술원 시험연구사업보고서 작물보호부편 1996, 1997년), 동정된 역병균의 종류와 분리 기주는 Table 2에 요약하였다.

*Phytophthora*속 균은 토양에서 분리된 3종 (*P. humicola*, *P. insolita*, *P. undulata*) 외에는 모두가 식물 병원균이며, 거의 모든 식물(식량작물, 수목, 과수, 채소, 화훼, 약초 등) 최소 1종 혹은 10종 이상의 역병균에 피해를 받는데 역병균은 기주 특이적 병원성을 가진 것도 있으나 1,000종 이상의 기주 식물을 침해하는 것도 있다 (3, 4, 31). 역병은 악성의 유행병이란 뜻으로 발병 환경이 적합하면 짧은 시간에 넓은 지역으로 전파되는 가장 피해가 큰 토양전염성 병해중 하나이다. 대부분의 역병균은 기주 식물에 대해 강한 병원성을 가지고 있으나 부생력과 다른 미생물들과 경쟁력이 매우 약하기 때문에 쉽게 사멸되기도 한다. 식물 역병균은 기주 식물에 상처가 없어도 세포벽을 분해하여 침입하는 1차 침입자이며 병든 조직을 2차로 침입하지 않기 때문에 이병식물체에서 분리된 역병균은 그 병해의 주원인이다. 식물 역병은 지구상의 모든 나라에서 발생되고 있는데 미국에서는 역병에 의한 경제적 손실을 매년 수 십억 달러로 추산하고 있으며 (3), 단일 작물로서 코아아역병의 피해는 세계적으로 매년 20억 달러 이상이 되는 것으로 알려져 있다 (5).

역병균의 특성 및 분류학적 위치

역병균은 일반 진균(true fungi)과는 매우 다른 여러 가지 특성을 가지고 있다. 수생균의 일종으로(water mold) 균사에 격막이 없고(coenocytic), 주머니 형태인 유주자낭(sporangium) 안에 두 개의 편모를 가진 유주자(biflagellate zoospore)를 형성하는데 이들은 유주자낭에서 유출되어 물속

Table 1. List of Phytophthora species, host range and geographical distribution

Species	Degree of host range ^a	Geographical distribution ^b	Species	Degree of host range	Geographical distribution
<i>P. arecae</i>	3	India	<i>P. japonica</i>	1	Japan
<i>P. boehmeriae</i>	2	As, Aus, sAm	<i>P. katsurae</i>	2	As, Aus, Af, Oc
<i>P. botryosa</i>	2	As	<i>P. lateralis</i>	1	USA
<i>P. cactorum</i>	4	Ww	<i>P. lepironiae</i>	1	Japan
<i>P. cajani</i>	1	India	<i>P. macrochlamydospora</i>	1	USA
<i>P. cambivora</i>	3	Ww	<i>P. macrospora</i>	2	Ww
<i>P. capsici</i>	4	Ww	<i>P. meadii</i>	3	As, Aus, Oc
<i>P. cinnamomi</i>	5	Ww	<i>P. medicaginis</i>	2	USA
<i>P. citricola</i>	3	Ww	<i>P. megakarya</i>	1	wAf
<i>P. citrophthora</i>	3	Ww	<i>P. megasperma</i>	4	Ww
<i>P. clandestina</i>	2	Asu	<i>P. melonis</i>	1	Japan
<i>P. colocasiae</i>	2	As, Pa	<i>P. mexicana</i>	1	Mexico
<i>P. cryptogea</i>	4	Ww	<i>P. mirabilis</i>	1	Mexico
<i>P. cyperi</i>	1	As	<i>P. nicotianae</i>	5	Ww
<i>P. cyperi-bulbosi</i>	1	India	(= <i>P. parasicita</i>)		
<i>P. drechsleri</i>	4	Ww	<i>P. palmivora</i>	4	Ww
<i>P. eriugena</i>	1	Ireland	<i>P. phaseoli</i>	2	Ww
<i>P. erythroseptica</i>	3	Ww	<i>P. porri</i>	2	Eu, As
<i>P. fragariae</i>	3	Ww	<i>P. primulae</i>	2	Aus, Eu
<i>P. gonapodyides</i>	2	Eu, nAm	<i>P. havae</i>	3	WW
<i>P. pseudotsugae</i>	1	nAm	<i>P. hibernalis</i>	2	Ww
<i>P. quininea</i>	1	cAm	<i>P. humicola</i>	?(soil)	Taiwan
<i>P. richardiae</i>	2	Ww	<i>P. ideaei</i>	1	UK
<i>P. sinensis</i>	1	China	<i>P. ilicis</i>	1	nAm
<i>P. sojae</i>	1	nAm, Aus	<i>P. infestans</i>	2	Ww
<i>P. syringae</i>	3	Ww	<i>P. trifolii</i>	1	USA
<i>P. tentaculata</i>	2	Germany	<i>P. undulata</i>	?(soil)	Alaska
<i>P. inflata</i>	1	nAm	<i>P. verrucosa</i>	1	UK
<i>P. insolita</i>	?(soil)	Taiwan	<i>P. vignae</i>	1	Aus, Japan
<i>P. iranica</i>	1	Iran			
<i>P. italica</i>	1	Italia			

plant.

^aDegree of host range: 1: only one, 2: 2-10, 3: 11-100, 4: >100, 5: about 1,000 species of host plant.

^bAbbreviation: Ww: worldwide, Am: America, cAm: central America, nAm: north America, sAm: south America, Af: Africa, wAf: west Africa, As: Asia, Eu: Europe, Aus: Australia, Oc: Oceania, Pa: Pacific region.

을 유영한다(motile). 유성생식의 결과로 생성되는 난포자는(oospore) 응성 생식기관인 장정기(antheridium)와 자성 생식기관인 장난기(oogonium)가 결합되어 형성되는데, 일반 진균은 단수체(haploid)이지만 역병균은 배수체(diploid)로서 장정기와 장난기가 형성될 때 감수분열하여 단수체(haploid gametangia)가 된다. 일반 곰팡이의 세포벽 주성분은 chitin으로 되어 있으나 역병균류는 cellulose와 β -glucan으로 구성되어 있다(Table 3).

역병균의 균사는 굵기가 약 5-8 μ m 정도이며 분지가 거의 90도로 이루어지면서 분지점이 약간 잘록해지고(constriction), 계란형이거나 서양배형 혹은 레몬형의 유주자낭을 형성하므로 다른 식물병원균과 쉽게 구별되지만 Pythium 속 균과는 혼동하기 쉽다. 역병균은 Pythium과 여러 가지

Table 2. List of *Phytophthora* species occurred in Korea and their host plants(농업과학기술원 시험 연구보고서, 1996 & 1997)

Phytophthora species	Host plant	No. of isolate collected
<i>P. boehmeriae</i>	가죽나무 ²⁶	1
<i>P. cactorum</i>	사과 ¹⁸ , 배, 복숭아 ¹⁶ , 딸기	3
<i>P. cambivora</i>	사과 ¹⁹	11
<i>P. capsici</i>	고추, 수박, 오이, 참외, 토마토, 호박	189
<i>P. cinnamomi</i>	낙엽송	6
<i>P. citricola</i>	대추	2
<i>P. citrophthora</i>	사과, 오렌지 ³¹ , 오미자, 유자토양	8
<i>P. cryptogea</i>	거베라 ¹⁷ , 배추	17
<i>P. drechsleri</i>	곰취, 구기자, 낙엽송, 멜론, 샥주 ²⁴ , 수박, 양다래, 오미자, 오이, 당귀, 지황, 참외, 토마토, 상추, 시금치	81
<i>P. erythroseptica</i>	쨌 ²⁵ , 황기	5
<i>P. infestans</i>	감자, 토마토	11
<i>P. megasperma</i>	토마토 ²³	9
<i>P. nicotianae</i> (= <i>P. parasitica</i>)	가지, 감귤토양, 감자, 선인장, 계피, 구기자, 물옥잠, 백합, 안개꽃, 안스리움, 오렌지토양, 유자 ²⁰ , 지황, 참깨, 대추	106
<i>P. palmivora</i>	아래카야자 ²¹ , 심비디움, 무화과	20
<i>P. sojae</i>	콩 ²²	8
Unidentified sp.	벤자미나 고무나무	6
Total 15 species	46 plants	553 isolates

특성이 다르지만 대부분의 특성들은 부분적으로 서로 겹치는데 유주자형성 위치는 완전히 다르다. 역병균은 유주자낭의 원형질이 유주자낭 안에서 분화되고 유주자로 성숙되어 밖으로 유출시키지만, Pythium은 유주자낭으로부터 소낭 (vesicle)을 형성하는데 원형질은 이곳으로 이동되고 여기서 유주자가 분화되고 성숙된 후 소낭의 막이 터지면서 유주자가 일시에 밖으로 유출된다.

역병균은 아직도 많은 식물병리학자에 의해 곰팡이로 취급되고 있지만 새로운 분류 체계에 따르면 역병균은 더 이상 진균계(Mycetae)에 속하지 않고 크로미스타계(Chromista)에 속한다(1, 3, 10). Chromista계에 속하는 생물들은 대부분 단세포이며(unicellular) 사상형이거나(filamentous) 균총형이며(colonial) 세포벽은 β-glucan으로 구성되어있다. 이들은 관상형의 편모(tubular flagella)를 가지고 있는데 Phytophthora를 포함한 난균류(Oomycetes) 들과 금조류(golden agae), 갈조

Table 3. Distinctive features of *Phytophthora* differentiated from true fungi

Character	<i>Phytophthora</i>	Fungi
Cell wall composition	Cellulotic, β-glucans	Chitin
Mycelium	Unicellular, aseptate, coenocytic	Multicellular, septate
Ploidy	Diploid	Haploid
Flagellar & motility	Biflagellate zoospore, tubular, motile	Absent, non-motile
Sexual structure	Oospore with antheridium & oogonium	Various typers (+, -) or sterile
Mitochondrial cristae	Tubular	Flattened
Sterol synthesis	No	Yes
Polyene antibiotics	Resistant	Sensitive

류(brown agae), 규조류(diatoms), 황조류(chrysophytes) 등이 여기에 속한다(10).

역병균 분류의 문제점

일부의 역병균은 몇 가지 특성만으로도 쉽게 동정 할 수 있지만, 대부분의 경우 역병균은 종간에 형태적인 특성 차이가 크지 않고 여러 종이 비슷한 형태를 가지고 있으며 배양 조건이나 균주에 따라 균의 형태적 특성이 매우 다양하게 나타나기 때문에 역병균의 동정은 매우 까다롭다. 그 뿐만 아니라 많은 종들은 기존의 다른 종들과의 사소한 형태적 특성 차이에도 불구하고 새로운 종으로 명명됨으로서 역병균 분류 연구에 많은 문제점을 야기하고 있다(3, 11). 오이역병균은 Katsura에 (1976) 의해서 *P. melonis*로 명명되어 한국, 일본, 중국, 대만 등에서 사용되고 있는 종명인데 형태적 배양적 특성은 *P. drechsleri*와 구분 할 수 없다. 또한, Katsura는 오이역병균을 자웅동주균이며 유주자낭은 반돌출형으로 기록하였으나 실제로는 대부분의 균주가 자웅이주균이며 비돌출형의 유주자낭을 형성한다. 따라서, 오이역병균은 *P. drechsleri*의 한 그룹으로 잘못 명명된 것으로 판단되고 있다(3, 13).

1980년대부터 여러 가지 분자 생물학적 기법(protein eletrophoresis patterns, isozyme patterns, DNA RFLPs 등) 역병균 분류 연구에 이용되고 있다. 그 결과로 오랫동안 명명에 혼란을 가져 왔던 *P. nicotianae*와 *P. parasitica*는 유전자 수준에서 동일종인 것으로 밝혀졌으며, *P. drechsleri*, *P. megasperma*, *P. capsici* 등은 종내에 유전적으로 서로 다른 여러 그룹이 존재하는 것으로 밝혀지기도 했다(7-9, 29, 30). 하지만, 역병균은 유전적으로는 이미 분화되어 있으나 표현형은 매우 유사하거나 형태적으로는 서로 다르지만 유전적으로는 구분이 어려운 경우가 많아 이들 방법 역시 기존의 형태적 분류를 기본으로 하지 않을 수 없는 어려움이 있다.

역병균 동정 방법

역병균의 분류에는 유주자낭의 유두돌기 형태(papillation)와 유성생식 방법(sexuality) 그리고 장정기의 부착형태(antheridial feature)가 기본이 되는데, Stamps 등은(33) 이런 특성들을 기초로 하여 역병균을 6개 group으로 구분하였다(Table 4). 하지만, 경험이 많지 않은 연구자들에게는 유두돌기의 돌출(papillate)과 반돌출(semi-papillate)를 구분하기가 쉽지 않고, 자웅이주균(heterothallic species)이라도 균주에 따라서 혹은 오랫동안 저장한 균주에서는 교배(mating) 없이도 난포자를 형성하는 경우가 종종 있으므로 위의 세 가지 특성만으로 역병균을 구분하는 것이 용이하지 않을 수도 있다. 역병균의 종을 동정하기 위해서는 유주자낭과 난포자의 형태적 특성뿐 아니라 유주자낭의 형성방법, 이탈성, 후막포자의 특성, 균사 형태, 생육 온도, 콜로니 모양 등등을 조사하여야 하는데 종 분류에 필수적인 사항들을 Table 5에 요약하였다.

1) 역병균 연구용 배양기

대부분의 역병균은 20~28°C에서 잘 자라지만 20°C 이상에서 잘 자라지 못하는 저온균들도 있으며

Table 4. Morphological criteria used to group *Phytophthora* species by Stamps *et al.* (1990)

	Taxonomic characters	Species belong to the group
I	Sporangia conspicuously papillate 4 μ m deep, exit pore 5-7 μ m, caducous, homothallic, paragynous	<i>P. cactorum</i> , <i>P. clandestina</i> , <i>P. idaei</i> , <i>P. iranica</i> , <i>P. italica</i> , <i>P. pseudotsugae</i> , <i>P. tentaculata</i>
II	Sporangia conspicuously papillate 4 μ m deep, exit pore 5-7 μ m, heterothallic, amphigynous	<i>P. arecae</i> , <i>P. boehmeriae</i> , <i>P. botryosa</i> , <i>P. capsici</i> , <i>P. citrophthora</i> , <i>P. heveae</i> , <i>P. katsurae</i> , <i>P. meadii</i> , <i>P. megakarya</i> , <i>P. mexicana</i> , <i>P. nicotianae</i> , <i>P. palmivora</i>
III	Sporangia semi-papillate, exit pore 5-7 μ m, either caducous or not, homothallic, paragynous	<i>P. citricola</i> , <i>P. cyperi</i> (not culturable), <i>P. inflata</i> , <i>P. lepironiae</i> (not culturable), <i>P. macrospora</i> , <i>P. porri</i> , <i>P. primulae</i> , <i>P. syringae</i>
IV	Sporangia semi-papillate, exit pore 5-7 μ m, usu. caducous, sympodial, heterothallic, amphigynous	<i>P. colocasiae</i> , <i>P. eriugena</i> , <i>P. hibenalis</i> , <i>P. ilicis</i> , <i>P. infestans</i> , <i>P. macrochlamydospora</i> , <i>P. mirabilis</i> , <i>P. phaseoli</i>
V	Sporangia nonpapillate, exit pore >12 μ m non-caducous, internally proliferated, homothallic, paragynous	<i>P. fragariae</i> , <i>P. humicola</i> , <i>P. insolita</i> , <i>P. lateralis</i> , <i>P. leersiae</i> , <i>P. medicaginis</i> , <i>P. megasperma</i> , <i>P. quininae</i> , <i>P. P. sojiae</i> , <i>P. trifolii</i> , <i>P. verrucosa</i>
VI	Sporangia nonpapillate, proliferated internally and externally, heterothallic, amphigynous	<i>P. cajani</i> , <i>P. cambivora</i> , <i>P. cinnamomi</i> , <i>P. cryptogea</i> , <i>P. drechsleri</i> , <i>P. erythrosetica</i> , <i>P. japonica</i> , <i>P. melonis</i> , <i>P. richardiae</i> , <i>P. sinensis</i> , <i>P. undulata</i> , <i>P. vignae</i>

Table 5. Primary criteria for identification of *Phytophthora* species

Structure	Characteristics required to be examined
Sporangium	Papillation (non-, semi-, papillate), caducity, pedicle length, shape, size, length-breadth ratio
Sporangiophore	Branching type (unbranched, irregularly branched, simple or compound sympodium, umbellate), internal proliferation
Sexual structure	Sexuality (homo- or heterothallic) Oogonia (size, shape, ornamentation) Oospores (size, plerotic or aplerotic) Antheridia (amphi- or paragynous, uni- or bicellular,)
Chlamydo-spore	Present or not, abundance, size
Hyphal swellings	Single, catenulate, or clustered
Cardianl temperature	Optimum, minimum, maximum
Cultural pattern in agar	Appressed or aerial, pattern (petalloid, stellate, rosette, etc)
Hyphae	smooth, sinuous, coralloid, coiling

로 균 분리시에는 20°C 항온기를 사용하는 것이 좋다. *P. cyperi*, *P. lepironiae*, *P. infestans* 등을 제외한 역병균은 일반 배양기에서 비교적 잘 자라지만, 일반적으로 PDA(Potato Dextrose Agar)에서는 균사 생장이 느리고 유·무성 포자 형성이 잘 되지 않으며, OMA(Oat Meal Agar)는 불투명하여 균의 여러 가지 형태를 관찰하기에 부적합하다. CMA(Corn Meal Agar)에서는 균사 생장은 빠르나 균총이 얇고 유·무성 포자의 형성이 미약하다. 역병균류 연구에 가장 많이 이용되는 V8A

(Vegetable 8 juice Agar)는 균사 생장도 빠르고 유주자낭과 난포자 형성도 잘되며 사용 목적에 따라 배양기 농도를 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있으며(3~30% V8A), 배양기를 투명하게 하기 위해서는 주스를 원심 분리한 후(7,000 rpm, 20 min.) 상층액을 이용할 수도 있다. 그러나 V8 주스는 미국산으로(Campbell Soup Co. Camden, NJ. USA) 구입이 용이하지 못한 경우가 종종 있다. 일반 시중에서 유통되는 국내산 당근주스, 토마토주스, 야채주스 등은 역병균의 균사생장 및 포자형성 정도가 V8 주스와 대등하며 가격이나 배양기의 투명도 등은 오히려 우수한 것으로 조사되었으므로 이들을 역병균 연구용 배양기로 이용할 수도 있을 것이다(농업과학기술원 시험연구사업보고서 작물보호부편 1997년). 하지만 역병균은 주스 배양기에서 콜로니 형태가 불분명하며 PDA상에서 가장 뚜렷하다. 온도별 균사생장 측정은 균사 생육이 빠르고 거의 투명한 CMA를 이용하는 것이 효과적이다.

2) 무성 번식기관(유주자낭, 이탈성, 후막포자, 팽윤균사)의 특성 조사

유주자낭에 돌기를 형성하는 대부분의 균들은(Table 4. Group I, II) V8 배양기에서 유주자낭을 잘 형성하지만 돌기를 형성하지 않는 균들은(Table 4. Group V, VI) 유주자낭을 거의 형성하지 않는다. 일반적으로 유주자낭 형성의 최적온도는 균사 생장 적온 보다 3-5°C 정도 낮고 빛을 조사하면 유주자낭 형성이 촉진된다. 유주자낭을 형성시키기 위해서는 V8A 등에서 3-4일간 배양된 균총의 가장자리를 떼어 내어 물속에 담그고 빛을 조사하면 된다(20). 어린 균사가 유주자낭 형성이 잘되며 증류수보다는 1% 토양 추출액이 더 효과적인데 살균하면 그 효과가 현격히 떨어지므로 millipore filter로 걸러서 사용해야 한다. 물속에 균총을 담그고 빛을 조사하면 보통 1-3일 내에 유주자낭이 형성되는데 5-6 시간만에 형성하는 균들도 있으며 *P. cinnamomi*는 Chen과 Zentmyer (2)의 salt solution을 사용하지 않으면 유주자낭이 거의 형성되지 않는다. 유주자는 성숙되면 실온에서도 유출되지만 동시에 많은 유주자를 얻기 위해서는 형성된 유주자낭을 5-15°C 정도에서 약 30분간 저온 처리한 후 실온에 두면 쉽게 유출된다. 유주자낭의 이탈성 유무는 슬라이드 글라스위에 물을 한 방울 떨어뜨리고 위의 방법으로 형성된 유주자낭을 물방울과 2-3회 접촉시킨 후 slide glass위에 떨어진 유주자낭의 유무와 형태를 관찰하면 된다. 후막 포자는 주로 오래된 균사에서 형성되므로 2주 이상 배양 한 후 관찰하는 것이 좋으며 팽윤균사는 주로 물 속에서만 형성된다.

3) 유성생식 기관(장난기, 난포자, 장정기)의 특성조사

자용동주균인(homothallic species) 경우에는 단일 균주가 V8A 등에 배양한지 5-7일 정도 지나면 난포자를 형성하기 시작하는데 오래 배양 할 수록 그 수가 많아진다. 자용이주균인(heterothallic species) 경우에는 유성생식형이 다른 균과의 교배에 의해서 난포자를 형성하는데, 이병식물체내에서나 오래 저장된 균주는 교배 없이도 난포자를 형성하는 경우가 종종 있으며 *P. drechsleri*는 자용이주균으로 알려져 있지만 자용동주인 균들도 있다. 빛은 난포자 형성을 억제하기 때문에 빛이 없는 항온기에서 배양해야 하며 난포자 형성 적온은 생육 적온 보다 약 5°C 정도 낮다(20°C 정도). 역병균의 경우 자용이주균의 두 가지 유성생식형을 각각 A1과 A2로 명명하였는데,

유성생식은 이들 상호간의 성호르몬 자극 (sex hormonal stimulation)에 의해서 유기된다. A1과 A2형 균주가 분비하는 성호르몬을 각각 α_1 , α_2 로 표현하는데, A1 균주가 분비하는 α_1 호르몬은 A2형 균주의 난포자 형성을 유도하고 A2 균주가 분비하는 α_2 호르몬은 A1형 균주의 유성생식을 유도한다. 이들 호르몬은 중 특이성이 아니기 때문에 종이 다른 균이도 생식형이 다르면 서로의 유성 생식을 유도한다. 따라서, 실험 균주의 난포자 형성을 위해서는 다른 종의 유성생식형 표준 균주를 이용할 수도 있다.

실험 균주와 생식형이 다른 표준균주를 대치 배양하면 유성생식형은 쉽게 구분할 수 있으나 배양기에 형성된 난포자 가운데 실험균주의 것을 구분하기가 어려우므로 생식 기관의 형태를 정확히 관찰할 수가 없다. 이러한 문제점은 polycarbonate membrane(PC MB 90 mm, 0.2 μ m, Nucleopore Co. USA)을 이용하여 다음과 같은 방법으로 해결할 수 있다 (28). 실험 균주와 표준 균주를 10% 혹은 20% V8 agar에서 4-5일간 배양한 다음 cork borer로 agar disks를 만든다(직경 7-12 mm). 실험균주의 agar disk를 새로운 petri dish에 옮기고 polycarbonate membrane을 그 위에 덮은 다음 유성생식형 표준균주의 agar disk를 서로 마주보게 위에 올려놓는다. 빛이 없는 항온기(보통 20°C)에서 7-14일 정도 배양한 후 membrane를 제거하고 실험 균주의 agar disk 표면에 형성된 난포자의 형태를 관찰하면 된다(20). Polycarbonate membrane은 양쪽 균주를 격리시키므로 두 균의 균사 접촉은 없으며 양쪽 균이 분비하는 성호르몬 자극에 의해서 selfing으로 각각의 난포자를 형성한다.

국내 발생 역병균의 종별 분류학적 특성

국내에서 발생이 확인되었거나 발생가능성이 높은 역병균의 균학적 특성을 요약하면 아래 표와 같다. 역병균의 형태적 특성과 용어는 Plate 1을 참조하기 바란다.

끝맺음

세계적으로는 60여종의 역병균과 1,000종 이상의 역병 기주 식물이 보고되어 있으나 국가별로 발생되는 역병균은 대개 20-30종 정도이다. 국내에는 권업모범장 연구보고서(1928)에 3종의 역병균이 9개 기주에 발생하는 것으로 보고된 이후로 작물보호연구 훈련강화사업(UNDP)이나 개별 연구자들에 의해 역병균 분류에 대한 연구가 이루어져 왔는데, 현재는 농업과학기술원에서 수행중인 '병해충 정밀 조사사업'에서 역병균의 분류에 대한 연구가 진행되고 있다. 현재까지 국내에는 15종의 역병균이 46개 작물에서 발생하는 것이 조사되었으며 약 600 균주가 확보되어 있다.

역병균은 중요한 토양 전염성 병원균으로 세계적으로 가장 많이 연구된 병원균중 하나이지만 아직도 각종 중요 작물에는 역병이 대 발생하여 큰 피해를 주는 경우가 종종 있으며, 역병균의 분류나 유성생식, 생리, 유전 등의 분야에는 잘 알려져 있지 않은 부분이 많이 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 역병균 분류는 많은 시간과 경험이 필요하지만 결코 어려운 일은 아니며 관심을 가지고 지속적인

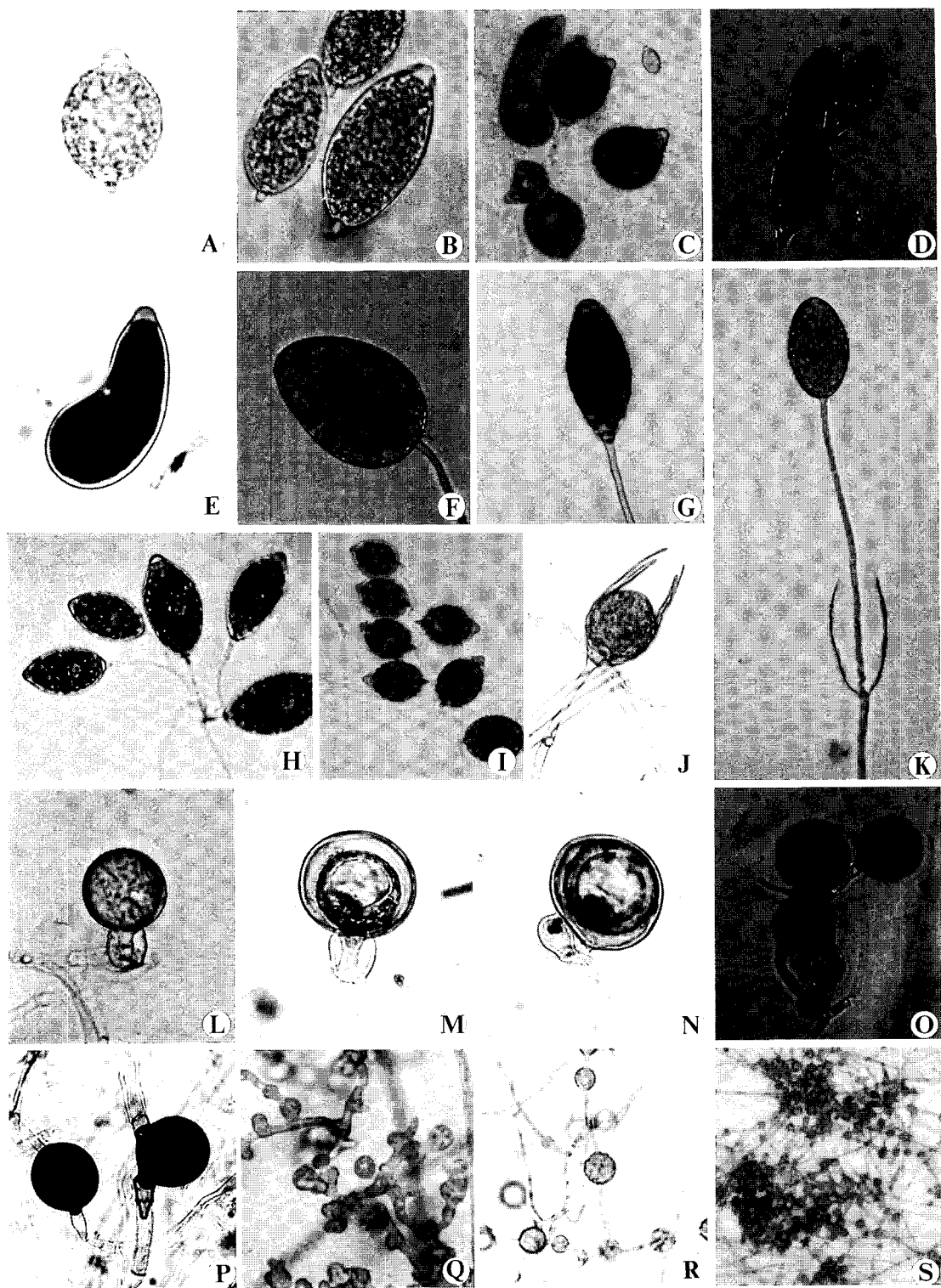


Plate 1.

Plate 1. Morphology of *Phytophthora*. A; Papillate sporangium with a short pedicel of *P. cactorum*, B; Papillate sporangium with a short pedicels of *P. palmivora*, C; Irregular shapes of papillate sporangia with one or two papilla of *P. capsici*, D: Semi-papillate deciduous sporangia of *P. infestans*, E; Semi-papillate sporangium of *P. citricola*, F; Non-papillate sporangium of *P. cryptogea*, G; Non-papillate sporangium of *P. drechsleri*, H; Umbellate sporangiophore of *P. capsici* with typical sporangia, I; Close sympodial sporangiophore of *P. cactorum*, J; Internally proliferated sporangium of *P. megasperma*, K; Externally proliferated sporangium of *P. drechsleri*, L; Plerotic oospore with an amphigynous antheridium of *P. nicotianae*, M; Aplerotic oospore with an amphigynous antheridium of *P. citricola*, N; Aplerotic oospore with a paragynous antheridium of *P. citricola*, O; Chlamydo spores of *P. palmivora*, P; Intercalary chlamydo spores of *P. nicotianae*, Q; Coralloid hypha of *P. cinnamomi*, R; Hyphal swellings in chains of *P. drechsleri*, S; Clustered hyphal swellings of *P. cryptogea*.

로 역병균의 특성을 조금씩 파악해 가면 다른 병원균에 비해 다루기 쉬운 점도 있다. 아직은 국내에 발생하는 역병균의 체계적인 분류가 제대로 이루어지지 못하였고 표준균주도 모두 확보되지 않았지만 가까운 장래에 국내에 발생하는 작물의 역병과 역병균에 대한 monograph이 발간되어 역병연구에 많은 도움이 되기를 기대해 본다.

참고문헌

1. Agrios, G. N. 1997. *Plant pathology*, 4th ed. Academic Press.
2. Chen, D. W. and Zentmyer, G. A. 1970. Production of sporangia by *Phytophthora cinnamomi* in axenic culture. *Mycologia* 62 : 397-402.
3. Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. APS press, St. Paul. Minnesota, USA. pp. 562.
4. Erwin, D. C., Barnicki-Garcia, S. and Tsao, P. H., eds. 1983. *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. APS press, St. Paul. Minnesota, USA. pp. 392.
5. Evans, H. C. and Prior, C. 1987. *Cocoa pod diseases: Causal agents and control*. Outlook Agric. 16 : 35-41.
6. Far, D. F., Bills, G. F., Chamuris, G. P. and Rossman, A. Y. 1989. *Fungi on plants and plant products in the United States*. APS press, St. Paul, Minnesota USA. pp. 1252.
7. Forster, H. and Coffey, M. D. 1993. Molecular taxonomy of *Phytophthora megasperma* based on mitochondrial and nuclear DNA polymorphisms. *Mycol. Res.* 97 : 1101-1112.
8. Forster, H. and Coffey, M. D. 1991. Approaches to the taxonomy of *Phytophthora* using polymorphism in mitochondrial and nuclear DNA. Pages 164-183 in: *Phytophthora*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
9. Forster, H., Oudemans, P. and Coffey, M. D. 1990. Mitochondrial and nuclear DNA diversity within six species of *Phytophthora*. *Exp. Mycol.* 14 : 18-31.

10. Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C. and Pegler, D. N. 1995. *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. 8th ed. IMI. CAB International.
11. Ho, H. H. and Jong, S. C. 1987. Critical problems in taxonomy of *Phytophthora* species in culture. *Mycotaxon* XXIX: 207-232.
12. Ho, H. H. 1981. Synoptic keys to the species of *Phytophthora*. *Mycologia* 73 : 705-714.
13. Ho, H. H. 1986. *Phytophthora melonis* and *P. sinensis* synonymous with *P. drechsleri*. *Mycologia* 78 : 907-912.
14. Ho, H. H. 1996. The genus *Phytophthora* in mainland China. *Mycotaxon* LVIII : 93-118.
15. Ho, H. H., Ann, P. J. and Chang, H. S. 1995. *The genus Phytophthora in Taiwan*. Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 15.
16. Ho, H. H. and Jong, S. C. 1986. A comparison between *Phytophthora cryptogea* and *P. drechsleri*. *Mycotaxon* 27 : 289-319.
17. 임양숙, 정기채, 지형진, 김진수, 여수갑. 1998. *Phytophthora cactorum*에 의한 복숭아 과일 역병. 한국식물병리학회지. 14 : 인쇄중
18. Jee, H. J., Kim, W. G., Lee, S. Y. and Cho, W. D. 1996. *Phytophthora cryptogea* causing the foot rot of *Gerbera jamesonii* in Korea. *Korean J. of Plant Pathol.* 12(3) : 374-376.
19. Jee, H. J., Cho, W. D. and Kim, W. G. 1997. *Phytophthora* diseases of apple in Korea: I. Occurrence of a destructive collar rot caused by *P. cactorum*. *Korean J. Plant Pathol.* 13(3): 139-144.
20. Jee, H. J., Cho, W. D. and Kim, W. G. 1997. *Phytophthora* diseases of apple in Korea: II. Occurrence of an unusual fruit rot caused by *P. cactorum* and *P. cambivora*. *Korean J. Plant Pathol.* 13(3) : 145-151.
21. Jee, H. J. Cho, W. D. Kim, K. S. and Kim, E. S. 1997. Occurrence of yuzu (*Citrus junos*) gummosis caused by *Phytophthora nicotianae*. *Korean J. Plant Pathol.* 13(6) : 442-445.
22. Jee, H. J., Kim, W. G. and Cho, W. D. 1997. First report of *Phytophthora palmivora* isolated from Areca palm and soil in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 13(6) : 438-441.
23. Jee, H. J., Kim, W. G. and Cho, W. D. 1998. Occurrence of *Phytophthora* Root Rot on Soybean (*Glycine max*) and Identification of the Causal Fungus. *RDA J. Crop Protection.* 40(1) : in press.
24. Jee, H. J., Kim, W. G. and Cho, W. D. 1998. Survey on Tomato Root Rot Caused by *Phytophthora* Species and Identification of the Causal Fungi. *RDA J. Crop Protection.* 40(1) : in press.
25. Kim, D. K., Jee, H. J. and Kim, H. K. 1997. Occurrence of rhizome rot of *Atractylodes* spp. caused by *Phytophthora drechsleri*. *Korean J. Plant Pathol.* 13(6) : 433-437.
26. 김병수, 김점순 1993. 칩을 침해하는 *Phytophthora* sp.의 동정. 한국식물병리학회지 9권 4호. pp.

319.

27. 김점순, 김병수. 1993. *Phytophthora boehmeriae*에 의한 가죽나무 역병. 한국식물병리학회지 9권 4호 pp. 327.
28. Ko, W. H. 1978. Heterothallic *Phytophthora*: Evidence for hormonal regulation of sexual reproduction. *J. Gen. Microbial.* 107:15-18.
29. Mills, S. D., Forster, H. and Coffey, M. D. 1991. Taxonomic structure of *Phytophthora cryptogea* and *P. drechsleri* based on isozyme and mitochondrial DNA analysis. *Mycol. Res.* 95 : 31-48.
30. Oudemans, P. and Coffey, M. D. 1991. A revised systematics of twelve papillate *Phytophthora* species based on isozyme analysis. *Mycol. Res.* 95 : 1025-1046.
31. Ribeiro, O. K. 1978. *A source book of the genus Phytophthora*. J. Cramer, Lehre, Germany. pp. 420.
32. 송장훈, 권혁모, 문덕영, 강혜영, 고영진. 1997. 수입 오렌지로부터 갈색썩음병균(*Phytophthora citrophthora*)의 분리 및 동정. 한국식물병리학회지 13(2) : 129-131.
33. Stamps, D. J., Waterhouse, G. M., Newhook, F. J. and Hall, G. S. 1990. Revised tabular key to the species of *Phytophthora*. *Mycological Papers* No. 162.
34. Yu, Y. H., Ohh, S. H. and Cho, Y. S. 1988. Identification and host range of *Phytophthora* species isolated from *Panax ginseng*. *Korean J. Plant Pathol.* 4(2) : 149-155.