

관주 접종법을 이용한 효율적인 배추 뿌리혹병 저항성 검정법

조수정 · 장경수 · 최용호 · 김진철 · 최경자*

한국화학연구원 산업바이오화학연구센터

Convenient Screening Method of Chinese Cabbage for Resistance to *Plasmodiophora brassicae* Using Soil-Drenching Inoculation

Su-Jung Jo, Kyoung Soo Jang, Yong Ho Choi, Jin-Cheol Kim and Gyung Ja Choi*

Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea

(Received on June 25, 2010; Accepted on September 11, 2010)

Clubroot caused by *Plasmodiophora brassicae* is a widespread disease that causes serious problems in many brassica growing areas. To establish more simple and reliable clubroot screening method of Chinese cabbage to *P. brassicae* using soil-drenching inoculation, the development of clubroot on Chinese cabbage according to several conditions such as soil type, inoculum concentration of *P. brassicae* GN-1 (race 9), plant growth stage and incubation period was studied. In a commercial horticulture nursery media soil (CNS), disease severity of the seedling according to inoculum concentration increased in a dose-dependent manner, but did not in mixture of CNS and upland soil (1:1, v/v). To facilitate and acquire precise result of resistance screening of Chinese cabbage to clubroot, 10-day-old seedlings should be inoculated by drenching the spore suspension of *P. brassicae* to give inoculum density of 4.0×10^8 spores/pot. To develop the disease, the inoculated seedlings were incubated in a growth chamber at 20°C for 3 days, and then cultivated in a greenhouse (25 ± 5°C) for five weeks. Under the optimum conditions, 25 clubroot-resistant (CR) and 3 clubroot-susceptible (CS) cultivars were tested for resistance to *P. brassicae*. All CR cultivars showed very clear resistance response, on the other hand all CS cultivars severely infected with the pathogen. The results suggest that this method is efficient screening method of Chinese cabbage for resistance to clubroot disease.

Keywords : Breeding, Clubroot, Crucifer crops, Cultivar, Resistant

*Plasmodiophora brassicae*에 의한 배추 뿌리혹병은 전 세계적으로 발생하여 큰 피해를 주고 있는 주요 토양전염병이다. *P. brassicae*는 절대기생균으로 배추 외에도 양배추, 꽃양배추, 브로콜리, 무 등의 배추과 작물에 뿌리혹병을 일으키며(김 등, 2003; 장 등, 2005), 휴면포자, 유주자, 변형체 등의 형태로 토양에 존재한다(Braselton, 1995). 우리나라에서는 1990년대 초반부터 배추 재배지역에 이병이 발생하기 시작하여(심 등, 1998), 1990년대 후반에는 뿌리혹병 발생면적이 700여 ha에 달하였으며(김 등, 1999), 현재는 전국에 걸쳐 배추, 양배추 등의 배추과 작물에 뿌리혹병이 발생하고 있다.

배추 뿌리혹병을 방제하기 위하여 토양의 pH 조절과 윤작 등의 경종적 방제, 미생물을 이용한 생물학적 방제(Cheah와 Page, 1995; Cheah 등, 2000), 그리고 fluazinam, flusulfamide 및 cyazofamid 등의 살균제를 이용하는 화학적 방제 등에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 경종적 방제는 뿌리혹병에 대한 방제효과가 낮고, 살균제를 이용한 화학적 방제는 일시적으로 병원균의 밀도를 저하시켜 단기간 내에 방제 효과를 볼 수 있으나 약효가 떨어지면 다시 병원균의 밀도가 높아져 뿌리혹병이 발생하게 된다(Yoshigawa, 1983). 또한 농약의 과다사용으로 인한 경제적 부담과 환경오염 유발 등의 문제점을 야기하고 있다. 따라서 오늘날에는 뿌리혹병 방제를 위하여 저항성 배추 품종의 재배 등 환경친화적인 방법이 요구되고 있다.

배추과 작물의 뿌리혹병 저항성 유전양식은 작물에 따

*Corresponding author

Phone) +82-42-860-7434, Fax) +82-42-861-4913

Email) kjchoi@kriict.re.kr

라 다양하게 보고되고 있다. James와 Williams(1980)는 배추의 뿌리혹병 저항성을 단인자 우성으로, Voorrips와 Kanne(1997)는 양배추의 저항성을 2개의 보족유전자로, Laurens와 Thomas(1993)는 케일의 배추 뿌리혹병 저항성을 양적형질로 보고하고 있으나, 아직 이견이 분분하여 앞으로 많은 연구가 필요하다. 한편 병원균의 다양한 분화는 저항성 품종 육성의 가장 큰 어려움 중 하나인데, 그 예로서 저항성 품종을 연작하게 되면 그 품종을 감염할 수 있는 새로운 레이스의 병원균이 출현하여 이 품종의 저항성이 무너지게 된다(Crute와 Pink, 1989). 이를 해결하게 위해서는 병 저항성 유전자가 하나만 포함된 품종이 아니라, gene pyramiding을 통하여 여러 저항성 유전자를 지니는 품종을 개발하는 것이 필요하다. 현재 국내에서는 저항성 품종의 육성(Lee 등, 2001)과 국내 병원균의 race 판별 및 분화(Cho 등, 2003; 김 등, 2003)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

뿌리혹병 저항성 품종의 육성, 저항성 유전자 규명 및 병저항성 분자마커 개발 등을 위해서는 효율적이고 재현성이 우수한 뿌리혹병 저항성 검정법이 필수적이다. 지금까지 보고된 뿌리혹병균 접종 방법으로는 포자현탁액 침지법(Johnston, 1968; 심 등, 1998), 토양 혼합법(Yoshikawa, 1981; Kuginuki 등, 1997), 이병포장 이식(Lee와 Kim, 2010; 장 등, 2008)과 slurry 방법(Toxopeus와 Janssen, 1975) 등이 보고되었다. 하지만 그 방법이 복잡하고 많은 노동력을 필요로 하며, 침지법과 토양 혼합법 등은 한 개체에 접종되는 포자의 양이 균일하지 않기 때문에 재현성 부족 등의 문제가 발생하고 있다. 하지만 병원균의 휴면포자 현탁액을 토양에 관주처리 하여 접종하는 관주 접종법은 편리한 접종 방법이나, 이를 이용한 배추 뿌리혹병 저항성 검정에 관해서는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 토양 관주 접종법을 이용하여 여러 발병 조건에 따른 배추 뿌리혹병 발생을 실험하여 효율적인 배추 뿌리혹병 저항성 검정법을 확립하였다. 또한 확립한 검정법을 이용하여 시판 배추품종 28종의 뿌리혹병 저항성 정도를 조사하였다.

재료 및 방법

뿌리혹병균. 2009년에 강원도 강릉시 왕산면 대기리의 배추 재배포장에서 전형적인 병징을 나타내는 배추뿌리 이병조직을 채집하였다. 뿌리혹병균의 순도를 높이기 위하여 채집한 이병조직을 온실에서 재배한 본엽 2엽기 배추에 접종하여 20°C 항온습실에서 1주일 동안 배양한 후 한국화학연구원 발포장에 정식하여 60일 동안 재

배하여 증식한 균주를 *P. brassicae* GN-1 균주로 명명하고 실험에 사용하였다.

식물 재배. ‘노랑김장배추’(홍농씨앗, 몬산토코리아) 종자를 5×8육묘용 연결포트(68 ml/pot, 범농사)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣고 파종하여 10일 동안 온실(25±5°C)에서 재배한 후 실험에 사용하였다. 시판되고 있는 배추 품종에 대한 뿌리혹병 저항성 검정 실험은 농우바이오, 동부하이텍, 몬산토코리아, 사타카코리아, 신젠타코리아, 제일종묘, 코레곤종묘, 현대종묘 등의 종자회사로부터 뿌리혹병 저항성 품종으로 판매하고 있는 25종 품종(‘대통배추’, ‘맛춤배추’, ‘부활배추’, ‘불암플러스배추’, ‘아름찬배추’, ‘울품배추’, ‘챌피온배추’, ‘추월배추’, ‘CR-고냉지노랑’, ‘CR-농심배추’, ‘CR-맛배추’, ‘CR-맛짱’, ‘CR-명가배추’, ‘CR-명품’, ‘CR-안심배추’, ‘CR-알찬’, ‘CR-요시마사’, ‘CR-장군배추’, ‘CR-진심배추’, ‘CR-청록배추’, ‘CR-키요시’, ‘CR-하계배추’, ‘CR-황금배추’, ‘CR-황록’, ‘CR-황태자’)과 저항성으로 공시하고 있지 않는 3종 품종(‘강력여름배추’, ‘노랑김장배추’, ‘삼복엇갈이배추’)을 구입하여 위와 동일한 방법으로 재배하여 실험에 사용하였다.

생육시기에 따른 발병 실험에서는 원예용상토 5호에 배추 종자를 파종하고 각각 4, 7, 10, 14일 동안 온실에서 배양한 배추 유묘를 사용하여 실험하였다. 그리고 토양의 종류에 따른 뿌리혹병 발생 실험에서는 원예용상토 5호와 발토양을 동량으로 섞은 혼합 토양과 원예용상토 5호 등 두 종류 토양에 배추 종자를 파종하여 재배하였으며, *P. brassicae* GN-1 균주의 레이스 검정을 위해서는 원예용상토 5호를 사용하여 양배추 2종 품종(‘Jersey Queen’과 ‘Badger Shipper’)과 Rutabaga 2종 품종(‘Laurentian’과 ‘Wilhelmsburger’)의 종자를 포트 당 1립씩 파종하여 온실에서 14일간 재배한 후에 접종하였다.

접종원 준비. 포장에서 수확한 GN-1 균주의 배추 뿌리 이병조직은 -80°C deep freezer에 보관하면서 실험에 사용하였다. 접종하기 직전에 보관 중인 GN-1 균주를 꺼내어 증류수로 수차례 세척하여 이물질을 깨끗이 제거한 후 멸균수를 첨가하여 Warning blender로 마쇄하였다. 그리고 식물조직을 제거하기 위하여 2겹의 가제로 여과하였으며, 준비한 포자현탁액은 광학현미경 하(300배)에서 hemacytometer를 이용하여 포자수를 측정하였다. 멸균수로 희석하여 포자현탁액의 최종농도를 8×10^7 spores/m로 조정하여 접종원으로 사용하였다. 포자농도에 따른 뿌리혹병 발병 실험에서는 포자현탁액 농도를 2.0×10^7 , 4.0×10^7 , 8.0×10^7 , 1.6×10^8 spores/m로 조정하여 실험하였다.

접종 및 병 조사. 온실에서 재배한 배추 유묘에 포자

현탁액을 포트 당 5 ml씩 관주하여 접종하였으며, 접종한 유묘는 20°C 항온항습실에서 하루에 12시간 광을 처리하며 3일 동안 배양한 후 온실(25 ± 5°C)로 이동하여 수분을 공급하며 재배하였다. 접종 5주 후에 뿌리를 수확하여 뿌리혹 발생정도에 따라 병을 조사하였다. 조사기준은 0 = 뿌리혹병 발생이 없음, 1 = 측근에 뿌리혹이 착생되어 비대정도가 적고 서로 독립하여 존재, 2 = 측근에 뿌리혹이 착생되며 비대정도가 비교적 큼, 3 = 주근에 뿌리혹이 착생되며 서로 접합되고 비대정도가 큼, 4 = 주근에 뿌리혹이 착생되며 서로 접합되고 비대정도가 매우 큼 등의 5단계로 하였다(Kuginuki 등, 1999; Suwabe 등, 2003).

레이스 검정 실험에서는 평균 발병도가 1.0 이하일 때 저항성으로, 그리고 1.0 초과이면 감수성으로 판단하였으며, 4개 기주에서의 반응을 저항성과 감수성으로 결정한 후 Williams 레이스 판별기준표에 따라 레이스를 결정하였다(Williams, 1966). 모든 실험은 10반복으로 2회 실시하였으며, SAS(SAS Institute, Inc., 1989, Cary, NC) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 하였다. 처리 평균간 비교를 위하여 Duncan's multiple range test ($P=0.05$)를 실시하였다.

결과 및 고찰

관주 및 레이스 검정. 뿌리혹병균의 생리형 분화는 같은 지역 및 포장, 단일 식물체의 뿌리 내에서도 이루어지는 것으로 보고되어(Scot와 Loh, 1985), 기주의 병 저항성과 관련된 기주와 병원균 간의 상호작용을 이해하기 위해서는 단포자 균주 획득이 우선적으로 필요하다(Voorrips 등, 1996). 그러나 장 등(2007)은 71개 단포자 뿌리혹병균을 여러 기주식물에 접종하였을 때, 포장에서와 같은 전형적인 혹 증상을 나타내는 균주가 하나도 없었다고 하였으며, 단포자를 획득되었다 하더라도 충분한 증식이 이루어지지 않아 접종 실험에 사용하기에는 어려움이 따른다고 보고하였다. Voorrips 등(1996)도 단일포자로부터 증식한 균주는 포장균주에 비해 병원성이 훨씬 낮다고 하였다. 따라서 뿌리혹병 저항성 검정법 확립을 위한 본 연구의 실험에 단포자를 분리하여 증식한 뿌리혹병균 균주를 사용하지 않고, 강릉 배추포장에서 채집한 뿌리혹병 이병조직을 다시 배추에 접종하여 무병토에 정식하여 증식한 균주인 GN-1 균주를 실험에 사용하였다.

P. brassicae GN-1 균주의 레이스를 규명하기 위하여 Williams 판별기주를 이용하여 실험한 결과, rutabaga (Laurentian, Wilhelmsburger)에서는 병원성을 나타내었지만, 양배추 두 품종('Jersey Queen'와 'Badger Shipper')은

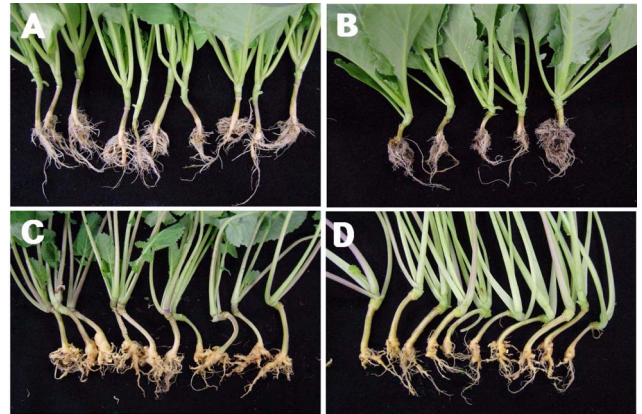


Fig. 1. Resistance responses of differential hosts of Williams against GN-1 isolate of *Plasmodiophora brassicae*. A: 'Jersey Queen', B: 'Badger Shipper', C: 'Laurentian' and D: 'Wilhelmsburger'.

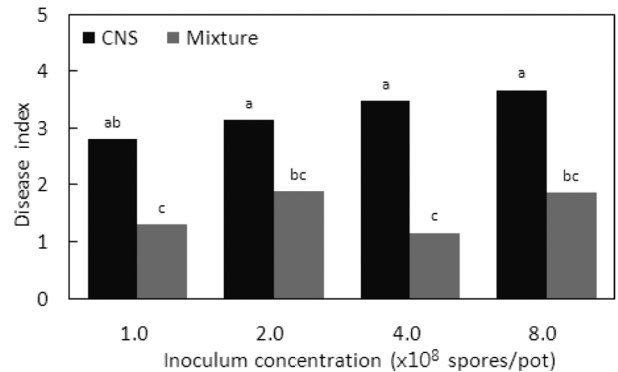


Fig. 2. Clubroot development of Chinese cabbage inoculated with *Plasmodiophora brassicae* GN-1 according to soil type. CNS, Commercial horticulture nursery media soil; Mixture, Mixture of CNS and upland soil (1:1, v/v). Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test ($P = 0.05$).

이 균주에 저항성을 나타내었다. 따라서 Williams 판별품종을 이용한 레이스 검정 결과에 따라 GN-1 균주는 race 9임을 알 수 있었다(Fig. 1; Williams, 1966). Cho 등(2003)도 우리나라의 배추 포장에 race 9가 널리 존재한다고 보고한 바 있다.

토양 종류에 따른 뿌리혹병 발생. 원예용 상토와 원예용 상토와 밭 토양을 혼합한 토양에서 뿌리혹병 발생을 조사한 결과, 원예용 상토의 경우 접종원의 농도가 증가함에 따라 뿌리혹병 발생이 증가하였다(Fig. 2). 원예용 상토에서 실험한 배추는 포트 당 1.0×10^8 개 포자를 접종하였을 때에는 뿌리혹병 발병도는 2.8이었으나, 포트 당 $2.0\sim 8.0 \times 10^8$ 개 포자일 때에는 모두 3.1 이상의 높은 발병도를 나타내었다.

혼합토양에서는 원예용 상토보다 뿌리혹병이 적게 발생하였으며, 또한 접종원의 농도와 무관한 다양한 뿌리혹병 발생을 보였다. Narisawa 등(2005)은 토양의 공극이 20~40%일 때 뿌리혹병 발생이 최대였다고 보고한 바 있다. 따라서 본 실험에서도 혼합토양에서는 토양의 공극이 적어 위에서 관주처리 하여 접종한 유주자가 아래로 이동하는 것이 어려워 뿌리혹병 발생이 적었다고 생각되었다. 그러므로 접종원 농도와 배추 뿌리혹병 발생량이 정적 상관관계를 나타내는 원예용상토가 뿌리혹병 저항성 검정에 적합한 토양이라고 생각되었다. 그리고 접종원의 농도는 포트 당 4.0×10^8 개와 8.0×10^8 개의 포자를 접종한 처리구가 거의 유사한 뿌리혹병 발병도를 보였으므로, 배추 뿌리혹병 저항성 검정법의 접종원 농도는 포트 당 4.0×10^8 개 포자로 정하였다.

생육 시기에 따른 발병. 과중한 후 온실에서 4일, 7일, 10일, 14일 배양한 배추 유묘에 여러 가지 농도의 뿌리혹균을 접종을 하여 뿌리혹병 발생을 조사한 결과, 과중 4일 후 유묘에 접종한 배추의 발병도는 접종한 모든 농도에서 2.4 이하의 낮은 발병도를 나타냈으며, 과중 7일 후 유묘에 접종한 배추는 가장 낮은 농도인 1.0×10^8 spores/pot를 제외한 나머지 실험구에서는 3.4 이상의 높은 발병도를 나타내었다(Table 1). 과중 10일과 14일 후 유묘에 접종한 배추는 모든 접종원 농도에서 3.0 이상의 높은 뿌리혹 발생을 보였다. 즉 배추의 과중 후 생육기간이 증가할수록 배추의 뿌리혹병 발생은 증가함을 알 수 있었다. 김 등(2000a, 2000b)은 포장에서는 배추 뿌리혹균의 감염시기가 빠를수록 뿌리혹병의 피해정도가 심각하다고 보고하였으나, 이는 본 실험과 달리 뿌리혹균에 감염되는 기간이 증가하기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

배양기간에 따른 발병. 접종 후 배양기간에 따른 발병

Table 1. Clubroot development of Chinese cabbage seedlings according to plant growth stage^a

Growth stage (after sowing)	Inoculum concentration ($\times 10^8$ spores/pot)				Mean
	1.0	2.0	4.0	8.0	
4 days	1.8 ^b	2.1	2.2	2.4	2.1
7 days	2.7	3.5	3.4	3.7	3.3
10 days	3.1	3.1	3.7	3.6	3.4
14 days	3.1	3.0	3.3	3.8	3.3

^aSeedlings of Chinese cabbage were inoculated by drenching the spore suspension of *Plasmodiophora brassicae* GN-1 on pots. The plants were incubated in a growth chamber at 20°C for 3 days with 12-hr light a day and then transferred to a greenhouse (25 ± 5°C). Five weeks after inoculation, disease severity of Chinese cabbage seedlings was investigated.

^bEach value represents the mean disease index of two runs with 10 replicates each.

정도를 조사하기 위하여 원예용 상토에서 4, 7, 10, 14일 동안 재배한 배추유묘에 여러 가지 포자농도로 접종하고 4주와 5주 후에 발병도를 조사하였다(Fig. 3). 접종 후 5주 동안 배양한 배추의 뿌리혹병 발병도의 평균값은 3.8로 4주간 배양한 배추의 평균값 3.2보다 증가하였다. 접종 후 4주 동안 배양하였을 때, 과중 4일 후에 접종한 배추는 접종농도가 2.0×10^8 spores/pot 이하로 접종하였을 때 발병도는 2.1이었으며, 접종농도가 4.0×10^8 spores/pot 이상일 때는 2.7 이상의 발병도를 나타내었다. 과중 7일 후에 접종한 배추는 $1.0 \sim 2.0 \times 10^8$ spores/pot 농도로 접종하였을 때는 발병도가 2.7 이하로 나타났으나, 접종농도가 4.0×10^8 spores/pot 이상일 때 발병도가 3.1 이상으로 나타났다. 그러나 과중 10일 및 14일 이후에 접종하였을 때에는 모든 접종 농도에서 발병도 3.4 이상의 높은 뿌리혹병 발생을 보였다. 하지만 접종 5주 후에 병조사를 하였을 때에는 배추의 생육 시기와 접종 농도에 관계없이 모든 실험구에서 3.3 이상의 높은 발병도를 나타내었다. 따라서 뿌리혹병 저항성 검정을 위해서는 접종 5주 후에 병조사하는 것이 바람직하다고 생각되었다.

시판품종의 배추 뿌리혹병 저항성. 관주접종법을 이용

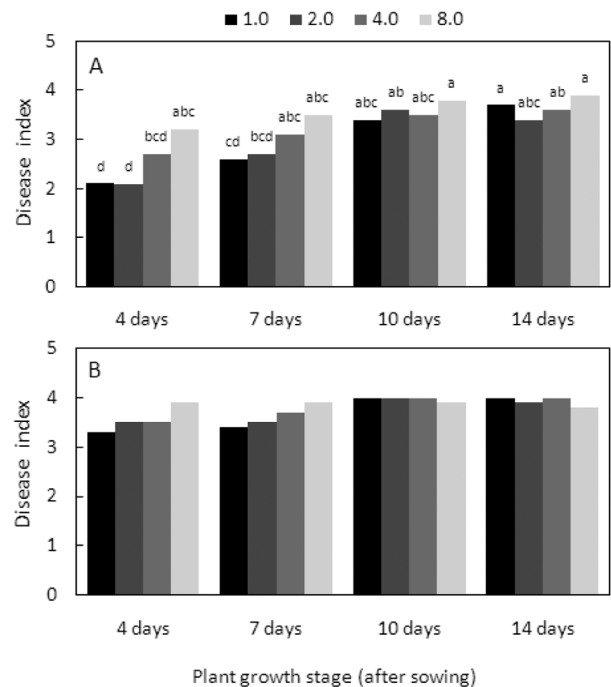


Fig. 3. Clubroot development of Chinese cabbage seedling according to plant growth stage and incubation period. **A:** 4 weeks after inoculation, **B:** 5 weeks after inoculation. 1.0, 1.0×10^8 spores/pot; 2.0, 2.0×10^8 spores/pot; 4.0, 4.0×10^8 spores/pot and 8.0, 8.0×10^8 spores/pot. Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test ($P = 0.05$).

Table 2. The degree of resistance of 28 commercial Chinese cabbage cultivars to GN-1 isolate of *Plasmiodiophora brassicae*^a

Cultivar	Trait ^b	Seed company	Disease index ^c
Ahreumchan	CR	Syngenta Korea	0 b
Buhwal	CR	Monsanto Korea	0 b
Bulam Plus	CR	Monsanto Korea	0 b
Champion	CR	Monsanto Korea	0 b
Chuwol	CR	Nongwoobio	0 b
CR-Alchan	CR	Dongbu Hitek	0 b
CR-Ansim	CR	Syngenta Korea	0 b
CR-Cheongrok	CR	Monsanto Korea	0 b
CR-Gonaengjinorang	CR	Hyundai Seed	0 b
CR-Hagye	CR	Nongwoobio	0 b
CR-Hwanggeum	CR	Syngenta Korea	0.2 b
CR-Hwangrok	CR	Koregon	0 b
CR-Hwangtaeja	CR	Hyundai Seed	0 b
CR-Janggun	CR	Sakata Korea	0 b
CR-Jinsim	CR	Syngenta Korea	0 b
CR-Kiyoshi	CR	Koregon	0 b
CR-Mat	CR	Nongwoobio	0 b
CR-Matjjang	CR	Dongbu Hitek	0 b
CR-Myeongga	CR	Jeil Seed	0 b
CR-Myeongpum	CR	Sakata Korea	0 b
CR-Nongshim	CR	Syngenta Korea	0 b
CR-Yosimasa	CR	Koregon	0 b
Daetong	CR	Nongwoobio	0 b
Matchum	CR	Nongwoobio	0 b
Olpum	CR	Syngenta Korea	0 b
Gangryeokyeoreum	S	Monsanto Korea	3.5 a
Norangjimjang	S	Monsanto Korea	3.8 a
Sambokeotgalyi	S	Monsanto Korea	3.7 a

^aSeedlings of 28 commercial cultivars were inoculated by drenching the spore suspension of *Plasmiodiophora brassicae* GN-1 on pots to give inoculum density of 4.0×10^8 spores/pot. The plants were incubated in a growth chamber at 20°C for 3 days with 12 hr light a day and then transferred to a greenhouse (25 ± 5°C). Five weeks after inoculation, disease severity of Chinese cabbage seedlings was investigated.

^bCR: resistant cultivar to clubroot, S: susceptible cultivar to clubroot.

^cEach value represents the mean disease index of two runs with 10 replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test ($P = 0.05$).

하여 앞에서 선발한 최적화 조건으로 시판품종 28종 배추의 뿌리혹병 저항성 정도를 실험한 결과, 뿌리혹병에 대하여 저항성 배추품종으로 판매되고 있는 25종 품종은 실험한 GN-1 균주에 대하여 모두 저항성 반응을 나타내었다(Table 2). 한편 감수성 품종으로 판매되고 있는 3종

품종은 모두 3.5 이상의 높은 뿌리혹병 발생을 보였다. 김 등(2003)은 저항성 배추계통으로 육성된 CR계 품종은 지역이나 재배시기에 따라 이병성, 중도저항성, 저항성 등으로 각기 다르게 나타나 저항성 정도에 일관성이 없는 것으로 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 실험한 모든 CR계 품종들이 GN-1 균주에 대하여 뚜렷한 저항성 반응을 나타내었으므로 확립한 GN-1 균주를 이용한 배추 뿌리혹병 저항성 검정법은 효율적이고 재현성이 우수한 방법이라는 것을 알 수 있었다.

요 약

*Plasmiodiophora brassicae*에 의한 배추 뿌리혹병은 전 세계적으로 발생하여 큰 피해를 주고 있다. 본 연구에서는 관주 접종을 이용한 효율적인 배추 뿌리혹병 저항성 검정법을 확립하기 위하여, 레이스 9인 GN-1 균주를 사용하여 토양 종류, 접종원 농도, 배추 생육시기, 접종 후 배양 기간 등의 발병 조건에 따른 뿌리혹병 발생을 조사하였다. 혼합토양(원예용 상토:밭 토양=1:1, v/v)과 달리, 원예용 상토에서는 *P. brassicae* 접종농도가 증가함에 따라 배추 뿌리혹병 발생도 증가하였다. 접종원 농도는 포트 당 4.0×10^8 개의 포자로 접종하였을 때 그리고 접종을 위한 배추는 파종 후 10일 유묘가 적합하였다. 안정적인 발병을 위해서, 접종한 배추 유묘는 3일 동안 20°C 생육 상에서 하루에 12시간 광을 처리하며 배양한 후 온실 (25 ± 5°C)에서 5주 동안 재배한 후에 병조사하는 것이 요구되었다. 확립한 배추 뿌리혹병 저항성 검정법을 이용하여, 시판 중인 뿌리혹병 저항성 품종 25종과 감수성 품종 3종의 *P. brassicae* GN-1 균주에 대한 저항성 정도를 실험한 결과, 모든 저항성 품종들은 뿌리혹병에 대하여 뚜렷한 저항성을 나타내었고, 감수성 품종들은 발병도 3.5 이상의 높은 감수성을 보였다. 따라서 이 방법은 배추의 뿌리혹병 저항성을 검정하기 위한 효율적인 검정법임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 채소병리검정지원사업단(과제번호: 609002-5)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

Braselton, J. 1995. Current status of plasmiodiophodids. *Crit. Rev.*

- Microbiol.* 21: 263-275.
- 장석원, 김희동, 김성기, 이은섭, 노용택. 2008. 정식 후 초기 관수횟수에 따른 배추 뿌리혹병 발생 억제효과. *식물병연구* 14: 85-89.
- Cheah, L. H. and Page, B. B. C. 1995. *Trichoderma* spp. for potential biocontrol of clubroot of vegetable Brassicas. *Proc. 50th N. Z. Plant Protection Conf.* 150-153.
- Cheah, L. H., Veerakone, S. and Kent, G. 2000. Biological control of clubroot on cauliflower with *Trichoderma* and *Streptomyces* spp. *N. Z. Plant Protection.* 53: 18-21.
- Cho, W. D., Kim, W. G. and Takahashi, K. 2003. Occurrence of clubroot in cruciferous vegetable crops and races of the pathogen in Korea. *Plant Pathol. J.* 19: 64-68.
- Crute, I. R. and Pink, D. A. C. 1989. The characteristic and inheritance of resistance to clubroot in *Brassica oleracea*. *Aspect. Appl. Biol.* 23: 57-60.
- James, R. V. and Williams, P. H. 1980. Clubroot resistance and linkage in *Brassica campestris*. *Phytopathology* 70: 776-779.
- 장세정, 허승환, 장창순, 간성우, 임용표, 김흥기. 2007. 국내 배추 뿌리혹병균, *Plasmiodiophora brassicae*의 race와 그 우점양상. *식물병연구* 13: 45-49.
- Johnston, T. D. 1968. Club root in *Brassica* a standard inoculation technique and the specification of races. *Pl. Pathol.* 17: 184-187.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000a. 배추 뿌리혹병균의 토양내 분포. *식물병연구* 6: 27-33.
- 김충희, 조원대, 김홍모. 2000b. 봄배추 뿌리혹병균의 포장감염 시기와 피해. *식물병연구* 6: 23-26.
- 김충희, 조원대, 이상범. 2003. 우리나라 배추 뿌리혹병 연구 현황과 향후 과제. *식물병연구* 9: 57-63.
- 김충희, 조원대, 양종문. 1999. 배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과 농업* 5: 77-83.
- Kuginuki, Y., Yoshikawa, H. and Hirai, M. 1997. RAPD markers linked to a clubroot-resistance locus in *Brassica rapa* L. *Euphytica* 98: 149-154.
- Kuginuki, Y., Yoshikawa, H. and Hirai, M. 1999. Variation in virulence of *Plasmiodiophora brassicae* in Japan tested with clubroot resistance cultivars of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 327-332.
- Laurens, F. and Thomas, G. 1993. Inheritance of resistance to clubroot (*Plasmiodiophora brassicae* Wor.) in kale (*Brassica oleracea* ssp. *acephala*). *Heredities* 119: 253-262.
- Lee, S. B., Lee, C. S., Kim, S. K., Hong, S. S., Choi, J. K., Lee, J. H. and Kim, C. H. 2001. Screening result varieties of crucifer crops to clubroot disease caused by *Plasmiodiophora brassicae* in Korea. *Plant Pathol. J.* 17: 369-370.
- Lee, J. G. and Kim, J. S. 2010. Variation of glucosinolate content in the root of susceptible and resistant Chinese cabbage cultivars during development of clubroot disease. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20: 200-208.
- Narisawa, K., Shimura, M., Usuki, F., Fukuhara, S. and Hashiba, T. 2005. Effects of pathogen density, soil moisture, and soil pH on biological control of clubroot in Chinese cabbage by *Heteroconium chaetospora*. *Plant Dis.* 89: 285-290.
- Scot, E. S. and Loh, C. S. 1985. Inoculation of secondary embryos of oilseed rape with single resting spores of *Plasmiodiophora brassicae*. *Cruciferae Newsletter* 8: 28-29.
- 심홍식, 박진우, 이정운, 성재모. 1998. 배추 뿌리혹병 피해양상과 약제방제에 관한연구. *농진청 작물보호논문집* 40: 23-28.
- Suwabe, K., Tsukazaki, H., Iketani, H., Hatakeyama, K., Fujimura, M., Nunome, T., Fukuoka, H., Matsumoto, S. and Hirai, M. 2003. Identification of two loci for resistance to clubroot (*Plasmiodiophora brassicae* Woronin) in *Brassica rapa* L. *Theor. Appl. Genet.* 107: 997-1002.
- Toxopeus, H. and Janssen, A. M. P. 1975. Clubroot resistance in turnip II. The 'slurry' screening method and clubroot races in the Netherlands. *Euphytica* 24: 751-755.
- Voorrips, R. E. and Kanne, H. J. 1997. Genetic analysis of resistance to clubroot (*Plasmiodiophora brassicae*) in *Brassica oleracea*. I. Analysis of symptom grades. *Euphytica* 93: 41-48.
- Voorrips, R. E. 1996. Production and characterization of single-spore isolates of *Plasmiodiophora brassicae*. *Eur. J. Plant Pathol.* 102: 377-383.
- Williams, P. H. 1966. A system for the determination of races of *Plasmiodiophora brassicae* that infect cabbage and rutabaga. *Phytopathology* 56: 624-626.
- Yoshikawa, H. 1981. Breeding for clubroot resistance in Chinese cabbage. In : *Chinese Cabbage*, eds. by N. S. Talekar and T. D. Griggs, pp. 405-413. AVRDC, Tainan.
- Yoshigawa, H. 1983. Breeding for clubroot resistance of crucifer crop in Japan. *Jpn. Agr. Res. Quart.* 17: 6-11.
- 장현철, 이선욱, 김점순, 윤여순, 최근숙, 김학기, 김병섭. 2005. Flusulfamide 입제에 의한 배추 무사마귀병의 방제효과. *식물병연구* 11: 43-47.