

배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 묘령, 접종원 농도 및 접종방법의 영향

김충회* · 조원대 · 양종문
농업과학기술원 식물병리과

Effects of Plant Age, Inoculum Concentration, and Inoculation Method on Root Gall Development of Clubroot Disease of Chinese Cabbage Caused by *Plasmodiophora brassicae*

Choong-Hoe Kim*, Won-Dae Cho and Jong-Mun Yang
Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science & Technology,
Suwon 441-707, Korea*

Effects of inoculum concentration, inoculation method and plant age on development of clubroot disease of Chinese cabbage seedlings were examined in growth chambers. Root galls were developed at the concentration of 10^5 resting spore or above per ml of inoculum, and as the inoculum concentration became higher, rate of development of root galls was faster. In the plants with root gall development, fresh weight of above ground parts was reduced to 30-44% of that of healthy plants, but root weight increased by 4-10 times. Growth of diseased plants was greatly reduced as compared to healthy plants. Planting in the diseased soil, as a inoculation method, was most effective for disease development showing uniform infections, but time of initial root gall development was delayed by root soaking inoculation. Some plants inoculated by soil drenching method did not develop root galls. However, root gall enlargement after its initial formation did not differ greatly among inoculation methods. Nine-day-old seedlings showed poor development of root gall, but 16-day-old seedlings was found to be most adequate for inoculation for gall development.

Keywords : Chinese cabbage, concentration, Clubroot, gall development, inoculation method, inoculum, plant age, *Plasmodiophora brassicae*.

무사마귀병균은 절대활물기생균으로 인공배양이 불가능하므로 약제방제시험이나 품종저항성 검정시 다른 병해에 비해 인공적인 병발생 유도에 어려움이 있다. 물론 자연발병토양에서의 시험이 가장 효과적이고 실용적이긴 하지만 포장관리에 많은 시간과 노력이 소요된다는 면에서 문제가 있었다(Wit and Vandeweg, 1964).

실험실 조건에서 어린 식물을 대상으로 약제 효과나 품종저항성을 검정하는 방법은 온도나 습도 등 환경요인을 제어

할 수 있고 또한 단시간내 적은 노력으로 대량으로 검정할 수 있다는 이점이 있어서 연구할 가치가 있다고 생각된다. 지금까지 품종저항성의 대량검정을 위한 접종원의 조건 및 접종방법에 관한 연구는 그리 많지 않으며 특히 어린 묘를 대상으로 실내 및 온실에서의 품종저항성 검정방법에 관해서는 연구가 극히 적은 실정이다(Crete, 1967; Johnston, 1968; Yoshikawa et al, 1981; 김두욱 1995). 무사마귀병의 혹 형성 및 비대에 미치는 환경요인에 관해서는 이미 저자들에 의하여 보고된바 있으며(김충회 등, 1999b) 혹 형성의 초기단계에서의 생태도 일부 밝혀졌다(김충회 등, 1999a).

본 연구는 배추 유묘를 대상으로 약제선발 및 품종저항성을 대량으로 검정할 때 필요로 하는 최적 묘령, 접종원 농도,

* Corresponding author

Phone) +82-331-290-0402 Fax) +82-331-290-0453

E-mail) chkim@niast.go.kr

접종방법을 찾아내기 위하여 실시하였다. 본 연구는 1998년부터 3년 동안 실시하고 있는 무사마귀병 발생생태 구명시험의 일환으로 수행되었다.

재료 및 방법

배추육묘. 장미배추(농우종묘)를 전시험에 공시하였다. 배추 종자는 TK1(Flora gard) 토양이 담긴 프라스틱 사각포트(12×10×10cm)에 포트당 3립씩 파종하여 온도가 24-35°C 범위의 유리온실에서 육묘하였다. 종자 발아후 배추묘는 포트당 한 개씩만 남기고 모두 제거하였다. 묘령시험의 경우는 적정묘령이 되도록 배추묘를 연계파종하여 9일 묘, 16일 묘, 23일 묘, 29일 묘를 시험에 공시하였다. 접종묘령시험의 경우는 12일 묘, 접종방법 시험은 14일 묘를 공시하였다. 모든 시험은 처리당 12개의 묘를 사용하였다.

접종원 준비. -65°C에 보관한 배추 뿌리혹을 잘게 썰어 살균수를 가한 후 믹서로 갈아서 휴면포자 현탁액을 만들고 이것을 2중 가제로 걸러서 접종원으로 사용하였다. 접종방법과 묘령시험에서는 접종원 농도를 1ml당 휴면포자수가 10⁷개가 되도록 하였으며 접종원 농도시험에서는 ml당 휴면포자의 수가 10¹, 10³, 10⁵, 10⁷, 10⁹개가 되도록 조정하여 사용하였다.

접종방법. 묘령시험과 접종원 농도시험의 경우는 준비된 접종원을 포트당 20ml씩 배추 묘 주원에 관주하는 방법으로 접종하였으며 접종방법시험은 앞서의 관주접종 이외에 병토접종과 침지접종을 병행하였다. 침지접종은 접종원에 배추 묘를 뽑아서 10분간 침지한 후 다시 포트에 재식하는 방법으로 수

행하였고, 병토접종은 배추 묘를 무사마귀병에 심하게 이병된 포장에서 채취한 흙이 담긴 포트에 이식하는 방법으로 수행하였다.

결과조사. 시험의 성격에 따라 접종후 24-50일에 주기적으로 배추 육묘의 발병유무, 뿌리혹의 크기 및 무게, 혹의 형성 위치 및 모양을 조사하였다. 혹의 크기는 가로와 세로의 길이를 dial caliper로 측정하였다. 각 시험에서 처리별로 건전주와 이병주의 생육상황도 함께 조사하였다. 생육상황은 지상부 엽수, 생체중, 뿌리무게, 잔뿌리정도, 전반적인 생육상태, 주장해증상 등을 조사하였다.

결과 및 고찰

접종원 농도와 발병. 접종원 농도에 따라 발병시기와 정도에 차이가 있었으며 접종원 농도가 높을수록 혹의 형성시기가 빠르고 발병묘의 수도 증가하였다(Table 1). 10⁵/ml에서는 접종묘의 25%만이 발병되었고 혹의 크기나 발육도 미약하였으나 10⁷/ml의 농도에서는 접종묘의 75%가 발병하여 혹의 발육도 양호하였다. 10⁹/ml의 고농도에서는 접종묘 모두가 이병되었으며 접종후 24일의 빠른 시기에도 발병이 관찰되었다. 10³/ml 이하의 농도에서는 발병이 전혀 없었다. 혹의 형성은 고농도의 경우 지제부, 주근, 측근에서 모두 관찰되었으나 10⁵/ml의 경우는 지제부에서만 약하게 형성되었다. 혹의 모양은 공모양, 옆주알모양, 부정형으로 접종농도에 따라 큰 차이는 없었다. 이상의 결과로 보아 인공적으로 발병을 유도할 때 최적 접종원 농도는 10⁷/ml이상이어야 하고 뿌리혹의 조사시기는 뿌리혹이 충분히 발달된 접종 34일 이후가 적당할 것으로 생각된다.

10⁵/ml 이상의 처리에서 건전주와 이병주의 생육상황을 비

Table 1. Effect of inoculum concentration of *Plasmodiophora brassicae* on development of root galls on Chinese cabbage seedlings in growth chambers

Inoculum concentration (/ml) ^a	No. plants with galls(/4)			Gall size (width×length, mm)	Gall weight (g)	Site of root gall formation ^c	Shape of galls ^d
	24DAI ^b	34DAI	50DAI				
10 ⁹	2	3	4	10.8×26.8	0.37	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
10 ⁷	0	1	3	7.5×29.5	0.42	CR,MR,LR	Bs. to Ir
10 ⁵	0	1	1	2.0×2.0	0.01	CR	Sp.
10 ³	0	0	0	-	-	-	-
10 ¹	0	0	0	-	-	-	-
Uninoculated	0	0	0	-	-	-	-

^aNumber of resting spore/ml.

^bDAI : days after inoculation.

^cCR : collar root, MR : main root, LR : lateral root.

^dSp : Spherical, Ir : Irregular, Bs : Bead shape.

Table 2. Comparison of seedling growth of Chinese cabbage between healthy and diseased plants after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* with different level of inoculum

Inoculum concentration (No. resting spore/ml)	Plant	No. leaves	Above ground fresh weight (g)	Root weight (g)	Degree of root hair development ^a	Status of plant growth
10 ⁹	Healthy	7	3.22	0.06	+	Good
	Diseased	4	1.43	0.62	+	Bad
10 ⁷	Healthy	8	6.89	0.14	++	Good
	Diseased	4	2.69	0.65	+	Intermediate
10 ⁵	Healthy	8	9.44	0.03	+++	Good
	Diseased	6	2.84	0.30	+	Bad

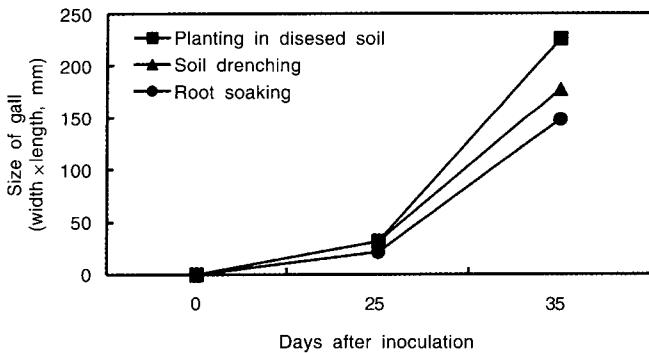
^a +~+++ : moderate to abundant.

Table 3. Effect of inoculation method on the development of root gall on Chinese cabbage seedlings in growth chambers

Inoculation method	No. plants with galls(/4)		Size of gall (width×length, mm)	Root weight (g)	Site of gall formation ^b	Gall shape
	25DAI ^a	35DAI				
Planting in diseased soil	4	4	8.9×25.4	0.32	CR,MR,LR	Irregular
Soil drenching	3	3	8.2×18.2	0.30	CR,MR,LR	"
Root soaking	1	4	6.8×26.2	0.28	CR,MR,LR	"
Uninoculated	0	0	-	-	-	-

^aDAI : Days after inoculation.

^bCR : collar root, MR : main root, LR : lateral root.

**Fig. 1.** Temporal development of root galls of clubroot disease on Chinese cabbage seedlings as influenced by inoculation method with *Plasmodiophora brassicae* in growth chambers.

교하여 보면 이병주는 건전주에 비해 엽수가 2-4개 적고 지상부 생체중은 건전주의 30-44%에 불과하였다(Table 2). 이병주의 뿌리무게는 반대로 건전주의 5-10배에 달하였으며 잔뿌리가 극히 적고 전반적인 배추의 생육상황은 건전주에 비해 매우 불량하였다. 따라서 자연상태에서 이와 같이 어린 배추묘가 무사마귀병균에 일찍 감염될 경우 생육이 극도로 위축되어 그 피해가 대단히 클 것으로 예상된다.

접종방법과 발병. 병토접종, 관주접종, 침지접종중 병토접

종에서 발병이 가장 빠르고 뿌리혹의 발육도 좋아서 접종 25일 후에 전 접종주가 발병되었다(Table 3). 관주접종은 이 시기에 접종주의 75%, 침지접종은 25%가 발병되었다. 접종 35일째 조사에서는 침지접종이 접종주 모두가 발병된 반면에 관주접종의 경우는 발병이 안된 주도 있었다. 혹의 발육은 병토접종에서 가장 좋았고 관주접종이나 침지접종에서는 병토접종에 비해 낮았으나 그 발육정도는 서로 비슷하였다. 관주접종의 경우는 침지접종에 비해 접종이 간편하다는 이점은 있으나 침지접종의 경우에 비해 발병이 고르지 않다는 문제가 있었다. 뿌리혹은 접종방법과 상관없이 뿌리의 전부분에 걸쳐 생성되었다. 혹의 모양은 접종방법에 따라 다소 차이가 있어서 병토접종의 경우는 주근비대 및 부정형이 많았고 관주접종은 나무뿌리모양으로 주, 측근이 모두 융기한 것이 많았으며 침지접종은 뿌리의 이곳저곳에서 모양이 일정치 않은 혹이 형성되었다.

혹의 비대속도도 이병토양 접종에서 가장 빨랐고 관주접종이나 침지접종 사이에는 큰 차이가 없었다(Fig. 1). 이상의 결과를 보면 이병토양에 육묘하는 방법으로 접종하는 것이 가장 확실한 발병유도 방법이라고 생각되나 관주접종이나 침지접종도 발병이 병토접종에 비해 약간 지연될 뿐 접종후 일정 시기가 경과하면 잘 발병되므로 실내접종방법으로 그 사용에

Table 4. Comparison of growth of Chinese cabbage seedlings infected by *Plasmodiophora brassicae* with different inoculation methods in growth chambers

Inoculation method	No. leaves	Above ground fresh weight(g)	Root weight(g)	Degree of root hair ^a	Status of plant growth
Planting in diseased soil	6	2.11	0.32	±	Severely wilted
Soil drenching	5	1.70	0.33	±~+	Severely wilted
Root soaking	7.5	3.11	0.33	±~++	Wilted
Uninoculated	8.5	3.92	0.19	+++	Good

^a ±~+++ : rare to abundant.

Table 5. Effects of plant age of Chinese cabbage seedlings on development of root galls of clubroot disease after inoculation in growth chambers

Plant age (day)	No. plants ^a (/6)	Gall size (width×length, mm)	Gall weight (g)	Site of gall formation ^b	Gall shape
9	5	5.8×17.0	0.16	CR, MR, LR	Irregular
16	6	8.4×13.8	0.31	CR, MR, LR	"
23	5	7.2×11.5	0.23	CR, MR, LR	"
29	6	7.3×16.1	0.46	CR, MR, LR	"

^aData were collected 33days after inoculation.

^bCR : collar root, MR : main root, LR : lateral root.

는 큰 문제가 없으리라고 생각된다. 뿌리의 침지접종의 경우는 발병은 관주접종에 비해 고르게 일어나나 식물체를 뽑아 현탁액에 침지한 후 이식해야 한다는 번거로움이 있기 때문에 품종저항성 검정시와 같은 대량적용시는 다소 문제가 있을 것으로 생각된다.

접종방법 별로 이병주의 생육상황을 건전주와 비교하여 보면 이병토 접종식물이 가장 생육이 불량하고 다음으로 관주접종, 침지접종 순이었다(Table 4). 이병주는 건전주에 비해 엽수가 1-2개 적었으며 지상부 생체중도 43%-79%에 불과하였다. 그 밖의 건전주와 이병주에 있어서 생육특성은 접종농도의 시험의 결과와 유사하였다.

묘령과 발병. 9일 묘를 제외하고는 16일 묘, 23일 묘, 29일 묘 처리간에 발병에 있어서 큰 차이는 없었다(Table 5). 9일 묘는 식물이 어린만큼 혹의 발육도 다른 묘에 비해 저조하였으며 23일 묘의 경우처럼 접종한 묘중에 발병하지 않은 주도 있었고 혹의 크기나 무게도 16일 묘나 29일 묘에 비해 낮았다. 뿌리혹은 접종묘령과 상관없이 뿌리 전부분에 걸쳐 골고루 생성되었으며 혹의 모양도 처리간에 큰 차이가 없었다.

대량 검정시 배추의 묘령이 높아지면 육묘기간이 길어지므로 그만큼 노력이 많이 들게 되고 식물이 너무 커서 취급에 어려움이 있다. 한편 너무 어린 묘도 취급 및 발병조사에 어려움이 따르기 때문에 16일 묘가 무사마귀병 유묘검정에 가장 적당할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 보면 약제 스크리닝 시험이나 품종저항성의 대량검정시 묘령은 16일된 묘를 대상으로 접종원 농도를 10⁷/ml 이상으로 하고 토양관주에 의해 접종하면 발병 유도에 큰 문제가 없으리라고 생각된다.

요 약

배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 접종원 농도, 접종방법, 배추묘령의 효과를 생육상 실험으로 조사하였다. 접종원 농도는 ml당 휴면포자 갯수로 10⁵ 이상에서 뿌리혹이 생성되었으며 접종농도가 높아질수록 뿌리혹의 생성일수도 빨라지고 혹의 비대도 양호하게 나타났다. 건전주에 비해 이병주에서는 엽수가 2-4개 적었으며 지상부 생체중은 건전주의 30-44%로 감소하였고 반대로 근중은 4-10배 증가하여 이병주의 생육이 극도로 부진하였다. 접종방법으로는 이병토양에 재식하는 병토접종 방법이 균일한 발병을 보이고 혹의 발육도 가장 양호하였다. 침지접종의 경우 혹생성의 시기가 다소 늦고 관주접종은 일부 접종주가 발병이 안 되는 등의 발병의 균일성에서 약간 문제가 있으나 혹생성후 비대에는 큰 차이가 없어 실용상에는 큰 어려움이 없으리라고 생각된다. 배추 묘령별 발병상황을 보면 묘령 9일의 어린 묘에서는 혹의 발육이 나이든 묘에 비해 매우 저조하여 부적합한 것으로 나타났으나 16일 이상의 묘에서는 혹의 생성과 발육에 큰 차이가 없어 발병에 적합한 묘령은 16일 묘로 생각되었다.

병에 적합한 묘령은 16일 묘로 생각되었다.

참고문헌

- Crete, R. 1967. Screening tests of crucifers for resistance to clubroot in organic soils of Quebec. *Plant Dis. Rept.* 51:991-992.
- Johnston, T. O. 1968. Clubroot in brassica. A standard inoculation technique and the specialization of races. *Plant Path.* 17:184-187.
- 김충희, 조원대, 양종문. 1999a. 배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과 농업* 5:77-83.
- 김충희, 조원대, 양종문. 1999b. 배추무사마귀병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양 pH, 광의 효과. *식물병과 농업* 5:84-89.
- 김두욱. 1995. 배추무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae* WORON.)의 발생상황, 약제방제 및 품종저항성 검정. 단국대학교 대학원, 석사학위논문 33pp.
- Wit, F., and H. Van de Weg. 1964. Clubroot resistance of turnips(*Brassica campestris*) of parasite and their identification in mixture. *Euphytica* 13:9-18.
- Yoshikawa, H., Ashizawa, M. and K. Hida. 1981. Studies on the breeding of clubroot-resistance in cole crops III. The insertion screening method for clubroot-resistance. *Anual Rept. Vegetable Exp. Station A.* 8:1-21.