

배추무사마귀병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양 pH, 광의 영향

김충희* · 조원대 · 양종문
농업과학기술원 식물병리과

Effects of Temperature, Soil Moisture, Soil pH and Light on Root Gall Development of Chinese Cabbage 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

Development of root galls of clubroot disease on Chinese cabbage seedlings was first observed 17days after inoculation of *Plasmodiophora brassicae*, at 25°C 4-11days earlier than at 5, 20, 30°C and 35°C. Subsequent enlargement of root galls was also fastest at 25°C and 20°C, but delayed at 15°C and 30 °C or above. Chinese cabbage seedlings with root gall formation showed reduction in number of leaves, above ground fresh weight and amount of root hairs, but increase in root weight. Root galls development was highest at soil moisture level of 80% of maximum soil moisture capacity than at 60% and 100%. Optimum soil pH for root gall development was pH 6, although root galls were formed at a range of pH 5 to 8. Period of light illumination also affected root gall development with the greatest gall development at 12hr/12hr in light/dark period and the least at 8hr/16hr. Site of root gall formation and gall shape did not differ greatly among treatments of temperature, soil moisture, pH and light experiments.

Keywords : Chinese cabbage, Clubroot, light, *Plasmodiophora brassicae*, root gall, soil moisture, soil pH, temperature.

배추 무사마귀병은 다른 병해와 마찬가지로 발생에 여러가지 환경요인이 관여하고 있는 것으로 생각되나(김충희 등, 1999) 그 중 특히 토양 pH에 의하여 크게 영향을 받아 pH 7이하의 토양, 특히 pH 5 부근의 산성토양에서 주로 발병하며(Nieuwhof and Wiering, 1961) 과도한 토양수분도 병발생을 많이 하는 요인으로 지적되고 있다(Karling, 1968; Ozawa, 1983). 배추가 저온성 작물이므로 무사마귀병의 발생도 배추 생육기내의 온도범위에서 가장 잘 발병할 것으로 예상되나(김두옥, 1995) 이에 대한 상세한 사항은 아직 알려져 있지 않다. 일조시간도 무사마귀병의 발생에 직접적인 영향을 주는 요인으로 알려져 있으며 봄배추보다 가을배추에서 발생이 적은 것은 일조시간의 영향때문으로 생각되고 있다(Naiki, 1987).

지금까지 무사마귀병의 발생에 미치는 환경요인의 영향에 대해서는 우리나라에서는 연구된 바가 매우 적어(김두옥 1995) 우리나라의 재배환경에서 배추 생육기간내의 기상환경, 토양 환경 등이 무사마귀병의 발생에 어떠한 영향을 끼치는지는 그 상세한 사항이 밝혀지지 않고 있다. 특히 여러가지 환경조건에서 식물의 뿌리에 생긴 혹이 언제 생성되며 어떻게 커가는지, 뿌리혹이 식물에 어떠한 영향을 끼치는지에 대해 상세히 알려져 있지 않아서 피해해석에 많은 어려움이 있다. 본 시험은 배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양 pH, 광의 영향을 조사하기 위하여 온실 및 생육상에서 수행하였다.

재료 및 방법

* Corresponding author

Phone) +82-331-290-0402 Fax) +82-331-290-0453
E-mail) chkim@niast.go.kr

배추육묘 장미배추(농우종묘)를 시험에 사용하였다. 살균한 TK1(Flora gard) 토양을 담은 플라스틱 4각 포트(12×10×

10cm)에 배추종자를 포트당 3립씩 파종하고 온도 24-32°C의 온실에 두었다. 배추종자의 발아후 1주만 남기고 모두 제거하여 시험에 공시하였다.

접종원 준비 및 접종. -65°C에 보관한 배추 뿌리혹을 꺼내어 잘게 자르고 살균수를 첨가한 후 믹서로 갈아 그 현탁액을 이중 가제로 걸러 휴면포자의 농도를 10^7 포자/ml로 조정하여 무사마귀병균의 접종원으로 하였다. 접종은 휴면포자 현탁액을 포트에 자라고 있는 배추묘에 주당 10ml씩 땅가줄기에 관주하는 방법으로 수행하였다.

결과조사. 접종후 일정간격으로 배추 표본을 취하여 지하부를 물에 씻고 배추묘의 엽기, 혹 형성유무, 혹의 크기 및 무게, 혹의 형성부위 및 모양을 조사하였다. 혹의 크기를 측정하기 위하여 가로와 세로의 길이를 dial caliper로 측정하였다.

온도시험. 12일 묘를 공시하여 병원균을 접종한 후 두 개의 FL15 원형 형광등이 50cm 위에서 비치는 생육상에 온도를 15°C에서 35°C까지 5°C 간격으로 정온하여 접종한 포트를 넣어 두었다. 각 온도 처리당 배추묘는 15주를 사용하였으며 접종후 15, 19, 21, 25, 32일에 각 처리에서 3주씩 꺼내어 생육상황 및 혹 형성유무를 조사하였다.

토양수분시험. 살균토양을 포트에 담아 각각 최대용수량의 60, 80, 100%가 되도록 조절한 후 18일 된 배추묘를 이식하여 무사마귀병균을 접종하고 25°C의 생육상에 두고 발병을 관찰하였다. 토양수분은 각 처리별로 수분함량이 변하지 않도록 일정한 간격으로 수분을 보충하였다. 각 토양수분 처리당 21주를 공시하였으며 접종후 18, 21, 28일째에 7주씩 표본을 채취하여 발병정도 및 생육상황을 조사하였다.

토양 pH 시험. 파종후 29일 된 배추를 공시하였다. 배추는

토양 pH가 4에서 8까지 pH 1 단위로 조정된 살균토양이 담긴 포트에 이식하였으며 무사마귀병균을 접종하여 온도 25°C의 생육상에 두었다. pH 처리당 8주씩 두었으며 접종후 20일과 25일에 걸쳐 각각 4주의 표본을 채취하여 발병 및 배추 생육상황을 조사하였다. 토양 pH의 조절은 황 분말과 CaCO₃를 이용하였다.

광조사 시험. 포트에 살균토양을 담아 18일 묘를 이식하고 병원균을 접종하였다. 포트는 2개의 FL15 원형 형광등이 50cm 위에서 비치는 생육상에 두었다. 암처리는 포트와 뚜껑을 Aluminium foil로 싸서 광이 차단되도록 하였다. 광암 처리시간은 뚜껑을 덮는 시간을 조절하여 광처리시간을 8-14 시간까지 2시간 간격으로 하였다. 광처리당 9주씩을 두었으며 접종후 18, 21, 32일에 배추의 생육상황 및 발병상황을 조사하였다.

결과 및 고찰

뿌리혹 형성에 미치는 온도의 효과. 처리온도 중 25°C에서 혹의 형성이 가장 빠르고 크기도 큰 것으로 나타났다(Table 1). 30°C에서는 20°C보다 최초 혹의 형성은 빨랐으나 발육속도는 늦은 것으로 조사되었다. 15°C의 저온과 35°C의 고온에서 뿌리혹은 형성되었으나 그 형성시간이 늦고 혹의 발육도 좋지 않았다. 형성된 혹의 모양은 공~부정형으로 주로 땅가 지체부의 근두부에 형성되었다.

혹의 발육은 20°C와 25°C에서 가장 빨라서 뿌리혹의 크기가 급속히 증가하였으며 30°C에서는 20, 25°C에 비해 상당 폭 둔화되었고 15°C에서는 혹의 발육이 매우 늦고 35°C에서는 발육이 거의 정지되었다(Fig 1). 각 온도에서의 배추 생육상황을 보면 20, 25°C에서의 생육이 가장 양호하여 엽기, 지상부, 지하부 생체중이 가장 높은 반면에 15°C와 30°C에서는 생육이 위축되고 35°C에서는 거의 자라지 못하였다(Fig. 1). 건전주와

Table 1. Effect of temperature on development of root galls on Chinese cabbage seedlings after pathogen inoculation in a greenhouse

Temperature (°C)	Time needed to initial root gall development(day)	No. plants with galls(3)					Gall size (width×length, mm)	Gall weight (g)	Shape of galls ^b
		18DAI ^a	22DAI	24DAI	29DAI	35DAI			
35	28	0	0	0	1	1	3.6×2.8	0.12	Sp. to Ir.
30	21	0	1	2	2	2	13.1×22.6	0.83	Sp. to Ir.
25	17	2	2	2	2	2	18.9×29.0	1.40	Sp. to Ir.
20	23	0	0	1	2	2	20.9×24.1	1.37	Sp. to Ir.
15	28	0	0	0	1	3	7.0×8.2	0.26	Sp. to Ir.

^aDAI : Days after inoculation.

^bSpherical to irregular.

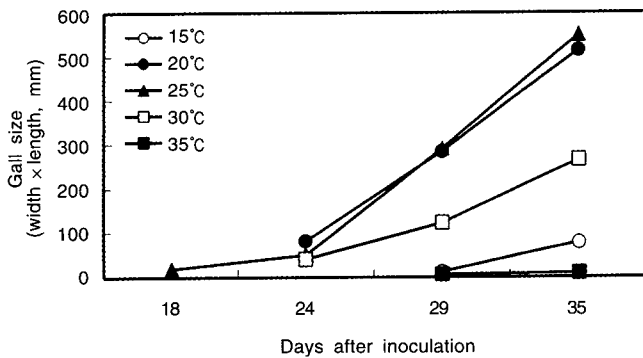


Fig. 1. Effects of temperature on the increase of root gall size formed on Chinese cabbage after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* in growth chambers.

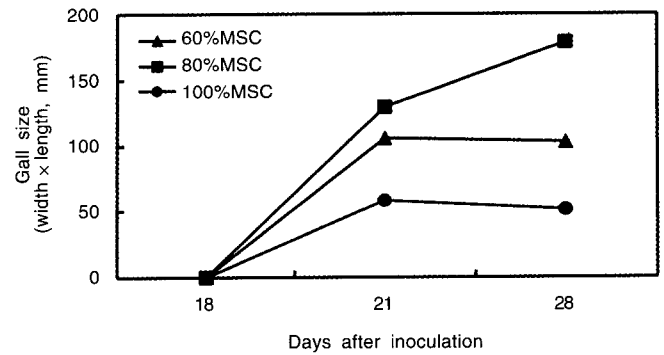


Fig. 2. Temporal development of root galls on Chinese cabbage plants after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* at different soil moisture levels in growth chambers (MSC : maximum soil moisture capacity).

Table 2. Comparison in growth of Chinese cabbage plants as influenced by root gall development of clubroot disease at various temperatures in growth chambers

Temperature (°C)	Plant	No. leaves /plant	Above ground plant wgt(g)	Root wgt(g)	Degree of root hairs ^a	Plant growth status	Main injury
35	Healthy	12	2.28	0.03	±	Extremely bad	Ltr ^b
	Diseased	11	1.32	0.15	±	Extremely bad	Ltr
30	Healthy	12	8.70	0.14	+	Good	Ltr
	Diseased	10.5	4.96	0.90	+~+	Bad	Ltr
25	Healthy	12	12.82	2.86	+++	Good	None
	Diseased	7	4.00	3.47	±	Bad	Wilt
20	Healthy	11	11.83	2.37	+++	Good	None
	Diseased	10	9.10	2.72	+~++	Intermediate	None

^a±~+++ : rare to abundant.

^bLtr : leaf tip rolled.

Table 3. Effect of soil moisture on root gall development of Chinese cabbage after inoculation with *Plasmodiophora brassicae* at 25°C in growth chambers

Soil moisture level(%MSC ^a)	No. plants with galls(/7)			Gall size (width×length, mm)	Gall wgt(g)	Site of gall formation ^c	Gall shape ^d
	18DAI ^b	21DAI	28DAI				
100	2	4	4	6.5×7.6	0.96	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
80	1	4	4	11.4×15.6	3.23	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
60	2	5	5	7.3×13.9	2.30	CR,MR,LR	Sp. to Ir.

^aMSC : Maximum soil moisture capacity.

^bDAI : Days after inoculation.

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

^dSp. to. Ir : Spherical to irregular.

이병주의 생육을 비교하여 보면 엽기, 지상부 잔뿌리 발육정도가 이병주에서 큰폭 감소하였으며 감소폭은 무사마귀병의 발생이 양호한 25°C에서 가장 컸다(Table 2). 뿌리무게는 반대로 이병주에서 증가하였다. 이와 같은 결과를 보면 배추 생육이 가장 좋은 20-25°C에서 무사마귀병의 발생도 양호하며 혹은 발육도 급속히 신장하는 것으로 나타나 무사마귀병의 발

생은 특히 25°C 부근이 최적온도로 생각된다. 따라서 향후 저항성 품종이 선발시험 등에서 무사마귀병의 인위적인 발병이 유도될 경우 20-25°C의 온도범위가 가장 적합할 것으로 생각된다.

뿌리혹 형성에 미치는 토양수분 효과. 뿌리혹의 생성은 모

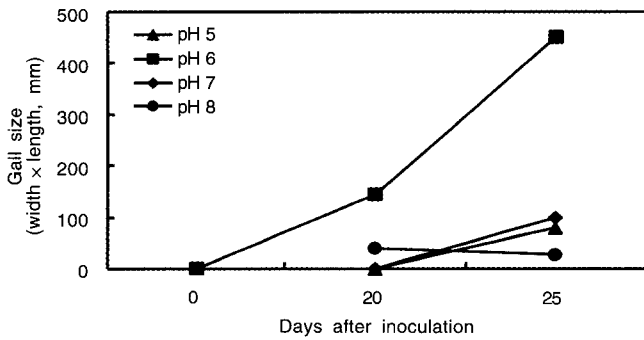


Fig. 3. Temporal development of root galls of Chinese cabbage plants as influenced by soil moisture levels after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* in growth chambers.

든 토양수분 처리에서 접종 후 18일에 관찰되었으나 혹의 발육은 토양수분 80% > 60% > 100%의 순으로 양호하였다(Table 3). 뿌리혹의 비대속도도 토양수분 80%에서 가장 빨랐다(Fig. 2). 발병주수에 있어서는 처리간에 큰 차이가 없었으나 혹의 크기는 토양수분 100% 처리에서 급격히 감소하는 양상을 보였다. 혹의 생성위치나 모양은 처리간에 큰 차이가 없었다. 배추의 생육은 토양수분 60% > 80% > 100%의 순으로 좋았으나 토양수분 100% 경우 생육이 많이 위축되어 엽기나 지상부 생체중에서 60%, 80%에 비해 저조하였다(Table 4). 건전주와 이병주의 생육을 비교하여 보면 이병주에서 지상부 생체중이 감소하고 잔뿌리 발육이 불량하여 온도시험의 경우와 비슷한 양상을 보였으며 포기전체가 시드는 증상도 다수 관찰되었다(Table 4). 따라서 무사마귀병의 발생이나 배추생육으로 볼 때 병발생에 가장 적합한 토양수분 함량은 최대용수량의 80% 수준으로 생각된다. 토양수분이 포화습도에 달하면 배추 생육뿐만 아니라 뿌리혹의 발육도 저조하므로 인공적인 발병유도시 토양수분이 과다하지 않도록 주의가 요망된다.

뿌리혹 형성에 미치는 토양 pH 효과. 배추의 생육자체가 곤란하였던 pH 4의 토양을 제외하고 그 이상의 pH 처리토양

에서 모두 발병하였다. 혹의 발육은 pH 6에서 가장 좋았고 pH 7, pH 5의 순위였으며 pH 8에서는 혹의 크기도 훨씬 작고 발육도 부진하였다(Table 5). 혹이 형성된 위치를 보면 pH 5, 6, 7처리에서는 주근, 측근, 근두부 부위에 골고루 형성된 것에 비하여 pH 8에서는 근두부에 국한하였다. 혹의 모양은 염주알 모양에서 공모양까지 다양하였다. 혹의 경시적인 발육상황을 보면 pH 6에서 혹의 비대속도가 가장 빨랐고 pH 5와 7은 거의 비슷하여 완만한 비대속도를 보였으며 pH 8에서는 거의 비대하지 않았다(Fig. 3). 이상의 결과를 보면 무사마귀병의 뿌리혹 발생은 pH 5-7에 걸쳐 폭넓게 발생하고 있으며 그 중에서도 pH 6부근이 뿌리혹의 형성 및 비대에 가장 적합한 토양산도라고 생각되었다.

뿌리혹 형성에 미치는 광조사의 효과. 뿌리혹의 형성은 10시간 광처리에서 가장 빨랐지만 모든 광처리 시간에서 뿌리혹이 형성되었다(Table 6). 혹의 크기는 8시간 광처리에 비해 10시간 이상 처리에서 증가하였으며 10, 12, 14시간간에는 혹의 발육에 큰 차이가 없었다. 혹의 생성위치는 근두부, 주근, 측근으로 처리간에 큰 차이가 없었고 혹모양은 공모양에서 부정형으로 다양하였다. 경시적인 혹의 발육상황을 보면 10시간, 12시간 처리에서 혹의 비대속도가 가장 빨랐으며 8시간과 14시간 처리는 이보다 다소 둔화하였지만 큰 차이는 없었다(Fig. 4) 이와 같은 결과를 종합판단하여 보면 무사마귀병 뿌리혹의 발육에 가장 적합한 광 조사시간은 12시간으로 생각되었다.

이상의 시험결과에서 보는 바와 같이 무사마귀병의 발생과 지하부 뿌리혹의 생성 및 비대에 온도, 수분, pH, 광 등의 환경요인이 많은 영향을 끼치는 것으로 나타나고 있으며 뿌리혹의 발육에 가장 적합한 환경은 온도 20-25°C, 토양수분함량이 최대 용수량의 80%, 토양 pH 6, 12시간의 광 조사시간으로 생각되었다. 따라서 저항성 품종의 선발, 약제효과 검증시 인공적으로 병발생을 유도할 경우 위와 같은 환경이 적합하리라 생각된다.

Table 4. Growth of Chinese cabbage plants as influenced by root gall formations at different soil moisture levels after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* in growth chambers

Soil moisture level (%MSC)	Root gall formation	No. leaves /plant	Above ground plant wgt(g)	Degree of root hairs ^a	Plant growth status	Main injury
100	No	8.0	11.4	++~+++	Good	None
	Yes	8.0	9.7	++	Bad	Wilt
80	No	10.0	19.1	+++	Good	None
	Yes	10.2	15.0	-~+++	Bad	Wilt
60	No	10.0	22.2	+++	Good	None
	Yes	8.6	15.0	-~+++	Bad	Wilt

^a - ~ +++ : none to abundant.

Table 5. Effects of soil pH on development of root galls on Chinese cabbage plants after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* at 25°C in growth chambers

Soil pH		No. plants with galls(/4)		No. leaves of plant	Gall size (width×length, mm)	Gall wgt (g)	Site of gall formation ^b	Gall shape ^c
Before experiment	After experiment	20DAI ^a	25DAI					
4.0	-	0	0	8	-	-		Sp. to Ir.
5.0	4.6	0	3	8.3	5.3×14.9	0.30	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
6.0	5.6	1	4	8.7	17.5×25.7	1.69	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
7.0	7.4	0	3	8.3	6.2×16.2	0.53	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
8.0	7.9	1	4	8.7	2.2×12.3	0.05	CR	Sp. to Ir.

^aDAI : Days after inoculation.

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

^cSp. to Ir. : Spherical to irregular.

Table 6. Effect of photoperiod on development of root galls on Chinese cabbage plants growing at 25°C after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* in growth chambers

Photo-pe riod(hr) (light/dark)	No. plants with root galls(/3)			Gall size (width×length,mm)	Gall wgt (g)	No. leaves of plant	Site of gall formation ^b	Gall shape ^c
	18DAI ^a	21DAI	32DAI					
8/16	0	3	3	9.3×18.1	0.34	6	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
10/14	1	2	2	11.2×25.1	0.64	8	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
12/12	0	1	2	19.5×24.2	0.56	9.5	CR,MR,LR	Sp. to Ir.
14/10	0	3	3	14.0×22.1	0.71	8	CR,MR,LR	Sp. to Ir.

^aDAI : days after inoculation.

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

^cSp. to Ir. : Spherical to irregular.

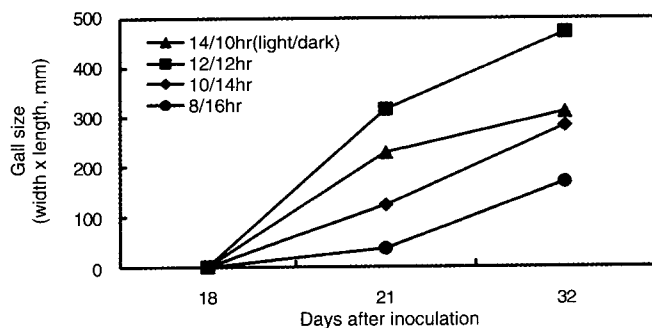


Fig. 4. Temporal development of root gall development of Chinese cabbage plants as influenced by photoperiod after inoculation of *Plasmodiophora brassicae* at 25°C in growth chambers.

요 약

배추무사마귀병 뿌리혹의 생성은 25°C에서 가장 빨라서 접종 17일후에 관찰가능하였으며 그후 혹의 발육도 25, 20°C에서 가장 양호하여 그 크기 및 무게가 급격히 증가하였다. 30

°C의 고온, 15°C의 저온에서는 혹의 생성 및 발육이 급격히 지연되었다. 무사마귀병 이병주는 엽수, 지상부생체중이 현저히 감소하였으나 지하부 뿌리무게는 건전주에 비해 현저히 높았고 잔뿌리 생성량은 적었다. 토양수분은 포화상태보다 최대 포장용수량의 80% 수준에서 뿌리혹의 생성 및 발육이 가장 양호하였다. 뿌리혹은 토양 pH 5-8에서 비슷하게 형성되었으나 pH 6에서 혹의 생성 및 발육이 가장 빨랐고 pH 5, pH 8에서는 혹의 크기도 작고 혹의 무게도 감소하였다. 무사마귀병의 뿌리혹은 8시간 이상의 광처리에서 처리시간과 상관없이 모두 형성되었으나 광암 12/12시간 처리에서 혹의 발육이 가장 빠른 경향이었고 광암 10/14시간, 14/10시간에는 혹의 발육이 서로 비슷하였다. 그러나 광암 8/16시간 처리에서는 혹의 발육이 현저히 감소하는 경향이였다. 뿌리혹의 생성위치 및 혹의 모양은 온도, 수분, pH, 광시험에서 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다.

참고문헌

김충희, 조원대, 양종문. 1999. 배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의

- 생성생태. 식물병과농업 5:77-83.
- 김두옥. 1995. 배추무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae* WORON.)의 발생상황, 약제방제 및 품종저항성 검정. 단국대학교 대학원, 석사학위논문 33pp.
- Karling, J. S. 1968. The Plasmodiophorales. Hafner Publishing Company, N.Y. USA. 256pp.
- Nieuwhof, M., and D. Wiering. 1961. Testing crucifers plants for clubroot resistance (*Plasmodiophora brassicae* WORON.). *Euphytica* 10:191-200.
- Ozawa, T. 1983. A suppressive phenomenon of the outbreak of Chinese cabbage clubroot disease in the field. *Plant Protect.* 37:9-11.
- Naiki, T. 1987. Life cycle and control of *Plasmodiophora brassicae*, causing clubroot disease of crucifers plants. *Soil and Microorganisms* 29:25-39.