

배추 무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae*)의 발병유인 및 억제방제

오정형* · 조장환 · 김봉구 · 채재천 · 정길웅 · 황철호 · 김두욱¹
단국대학교 농과대학 식물자원학부, ¹중앙종묘주식회사 오산육종연구소

Environmental Factors Favoring the Disease Development and Chemical Control of Clubroot(*Plasmodiophora brassicae*) in Chinese Cabbage

Jeung-Haing Oh*, Jang-Hwan Cho, Bong-Gu Kim, Je-Chun Chae,
Gil-Ung Chung, Chul-Ho Hwang and Doo-Wook Kim¹

Division of Plant Resources, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

¹Osan Breeding Institute, Choongang Seed Co., LTD, Hwasung 445-810, Korea

ABSTRACT: The experiment was conducted to obtain a basic information on the environmental factors favoring the disease development and chemical control of clubroot in chinese cabbage. The inoculation by insertion of infested soil was the most effective for the disease development as compared to the other inoculation methods such as pouring the spore suspension into soil and dipping roots into the spore suspension. On the environmental factors favoring the clubroot development, optimum soil pH and soil temperature were pH 5-6 and 20-30 °C, respectively. The combination of soil treatment and seed coating treatment was more effective than each single treatment in the chemical control of clubroot by 0.5% of fluzinam dust.

Key words: *Plasmodiophora brassicae*, Clubroot, Cabbage, Environmental factors, Control.

우리나라의 배추 재배면적은 39,609 ha로 전체 채소 재배면적의 11.3%를 차지하며(7)점차적으로 하우스 및 여름재배 면적이 증가함에 따라 예전에는 문제되지 않던 병들의 피해가 증가하고 있다. 배추 무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae* Woron.)은 1877년 Woronin에 의해 처음 보고되었으며(12) 이후 일본에서는 양배추, 무, 순무, 배추 등에 크게 발생하는 것으로 알려졌다(13). 우리나라에서는 1920년 9월 수원과 서울에서 배추에 발병하였다는 기록이 있으나(1) 이후 이 병에 관한 연구보고는 거의 찾아볼수 없으며, 현재는 그 발생지역이 배추 주산지 몇개 지역에 국한되어 있으나(4) 시설재배의 증가 및 연작으로 인한 피해의 증가는 충분히 예상되므로 이의 발병환경의 구명 및 방제기술의 확립이 시급하다. 본 연구는 배추 무사마귀병의 발병에 미치는 토양온도, pH의 영향을 조사하고 약제처리 방법을 개발함으로써 효과적인 방제를 위한 기초자료를 얻고자 수행되었다.

재료 및 방법

병원균의 분리 및 동정. 이병식물체의 뿌리에 형성된 곤봉모양의 뿌리혹을 채집하여 흙을 깨끗이 털어내고 0.5 cm의 크기로 잘라 이병조직 50g당 증류수 450 ml을 첨가하여 분쇄기로 분쇄한 후 두겹 가제로 여과하고 다시 8겹 가제로 여과하였다. 추출된 현탁액을 2,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후, 상등액을 제거하고 남은 점질의 담갈색 침전물(휴면포자)에 증류수를 가하여 3회 반복 원심분리 한 후, 최종 침전물의 회백색부를 스포이드로 모아서 증류수로 희석하였다. 이를 현미경으로 균의 크기, 형태 등 특징을 조사하였고 혈구계산기로 포자수를 측정한 다음 -20 °C에 냉동 보관하면서 실험에 사용하였다.

병원성 검정. 1992년 경기도 화성에서 분리한 균주(HS-92), 1993년 의정부에서 수집한 균주(EJ-93), 1994년 경북 안동에서 수집한 균주(AD-94)등 3균주를 감수성 품종인 서울배추와 저항성품종 CR Shinki에 접종하여 완전임의배치 3반복으로 유묘검정을 하였다.

*Corresponding author.

과중상자(35×50×10 cm)에 상토 : perlite : vermiculite를 등량으로 혼합한 배양토를 넣고 배추종자를 5 cm간격으로 파종하여 본엽 1-2매 때에 모를 뽑아 뿌리가 상하지 않도록 흙을 털어내고, 병원균 포자현탁액(5×10⁶ spores/ml)에 1시간 침지한 후 3×3 cm 연결포트에 정식하였다. 접종한 식물체는 저면관수를하여 토양습도가 포화상태가 되도록 유지하였고 4주 후 부터는 약간 건조하게 유지하여 근류의 형성을 촉진시켰으며, 발병 조사는 파종 40일 후 각 균주당 20개체의 이병정도를 다음과 같은 방법으로 조사하였다. 이병정도를 0=근류 형성되지 않음, 1=개체당 1-10%의 뿌리에 근류가 형성되고 근류는 직경 1 mm로 독립적임(가중치 10), 2=11-30% 뿌리에 근류가 형성되고 근류는 부풀고 때로는 융합됨(가중치 30), 3=31-60% 뿌리에 근류가 형성되고 측근과 직근에도 형성됨(가중치 60), 4=60% 이상의 뿌리에 심하게 발병함(가중치 100)으로 구분 하였으며 발병도는 (각 등급치에 해당하는 개체수×가중계수)/공식 개체수로 산출하였다.

병원균의 접종. 유묘점정에 의한 배추 무사마귀병의 접종방법을 확립하기 위하여 근침지접종, 관주접종, 전염원 삽입접종의 3가지 방법을 완전임의배치 3반복으로 비교하였다. 근침지법(dipping)은 유묘의 본엽이 1-2매 전개 되었을 때 뽑아서 가볍게 흙을 털어낸 다음 포자현탁액(5×10⁶ spores/ml)에 묘의 뿌리부분을 1시간 침지하여 멸균상토를 담은 9 cm혹색포트에 이식하였다. 관주법(pouring)은 멸균상토를 직경 9 cm 혹색 비닐포트에 담고 충분히 관수한 다음 포자현탁액을 8 ml/pot 씩 관주한 후, 포트에 종자를 3립씩 파종하고 vermiculite로 복토하였으며 묘가 본엽이 전개될 때 포트당 1주씩 남겼다. 전염원 삽입법(insertion)은 peat : perlite : vermiculite : 멸균상토를 1 : 1 : 2 : 1(v/v)로 혼합한 배양토에 병원균(5×10⁶ spores/g,

건토)을 혼합, 24시간 실온에서 유지하여 전염원을 만들고, 멸균상토를 넣은 9cm 혹색 비닐포트에 직경 3 cm정도의 시험관으로 눌러 4-5 cm 깊이의 구덩이를 만들고 전염원을 삽입하였다. 전염원 토양의 중앙에 2-3개의 종자를 심고 vermiculite로 복토하였으며, 발아하여 본엽이 전개될 때 1주씩만 남겨 처리당 50주를 유지하였다. 접종상의 재배관리는 지온을 20-25 °C로 유지하고, 토양습도는 저면관수로 포화상태를 4주간 유지한 후 다시 약간 건조한 상태로 관리하여 파종(접종) 40일 후에 발병도를 조사하였다.

발병환경 구명 및 약제방제. 배추 무사마귀병의 발생 환경조건을 구명하기 위하여 토양 pH와 온도의 영향을 조사하였다. 접종토양의 pH는 CaCO₃ 및 유황으로 pH 5, 6, 7, 8의 4수준으로 조절하였으며 토양온도는 묘상에 전열선을 설치하고 비닐로 구획을 만들어 20, 25, 30 °C의 3수준으로 하였다. 배추 무사마귀병의 방제약제인 fluazinam 0.5% (3-chloro-N-[3-chloro-5-trifluoromethyl-2-pyridyl]-2,6-dinitro-p-toluidine) 분제의 처리방법에 따른 방제효과를 조사하기 위해 종자량의 0.3%약량을 종자에 분의하는 종자분의 법(seed coating), 토양에 200g/10a의 약량을 살포하는 토양처리법(soil treatment), 종자분외와 토양처리의 병용(combination)등 3처리를 무처리를 대조로하여 처리당 50주씩 난괴법 3반복으로 시험하였다. 발병도는 균주 EJ-93을 감수성 품종 서울배추의 유묘에 토양삽입법으로 접종하고 40일 후에 조사하였다.

결과 및 고찰

병원성. 경기도 화성과 의정부, 경북 안동에서 채집한 배추 무사마귀병 이병식물체로부터 병원균의 휴면포자를 분리하여 현미경하에서 무색, 구형이며 직

Table 1. Pathogenicity of *Plasmodiophora brassicae* isolates collected from different locations in Korea

Isolate ^a	Cultivar	Number of plants in each grade of infection					% of diseased plants	Disease severity ^b
		0	1	2	3	4		
HS-92	Seoul [S] ^c	11	1	3	3	2	45.0	24.0
EJ-93	"	7	3	4	4	2	65.0	29.5
AD-94	"	10	0	2	4	3	47.4	31.6
HS-92	CR Shiyki [R]	18	0	0	0	0	0	0
EJ-93	"	20	0	0	0	0	0	0
AD-94	"	18	0	1	0	0	5.3	1.5

^a Isolates : HS-92, EJ-93 and AD-94 were collected from Hwasung, Eujeongbu, Andong, respectively.

^b Disease severity=(0K₀+10K₁+ 30K₂+60K₃+100K₄)/(X₀+X₁+X₂+X₃+X₄). X₀~X₄ are the number of plants investigated in each grade.

^c [S] : susceptible, [R] : resistance.

경 2.1-3.1 μm 의 배추 무사마귀병균을 동정하고 이들 3균주를 감수성품종인 서울배추와 저항성품종인 CR Shinki에 접종하여 병원성 검정을 실시한 결과(Table 1) 서울배추에서는 3균주 모두 45-65%의 이병주율을 보인 반면, CR Shinki에서는 AD-94 균주에서만 5.3%의 낮은 이병주율을 보였을 뿐 나머지 두 균주는 전혀 발병하지 않았다. 이 결과 우리나라에 발생하는 3균주는 병원성에 차이가 없었다. 그러나 이미 배추 무사마귀병균의 race 분화가 보고되어 있으므로(2, 3, 9-11, 13) 우리나라 균주의 race 판별이 필요한 것으로 사료된다.

발병환경. 배추 무사마귀병 연구를 위한 병원균의 접종방법을 확립하기 위하여 근침지점종법, 관주점종법 및 전염원 삽입법을 유묘점점으로 비교한 결과(Table 2) 이병주율은 전염원 삽입점종구에서 100%로 가장 높았으며 관주점종구는 70%였고, 근침지점종구는 55%로 가장 낮았다. 발병도에서도 이병주율과 같은 경향을 보여 전염원 삽입점종구가 72.5%로 가장 높았고 관주점종구가 36.0, 근침지점종구가 19.0의 순으로 나타났으며, 다른 점종구와 전염원 삽입점종구 간에는 유의차가 있었다. 따라서, 배추 무사마귀병의 연구를 위한 유묘점종 시험에는 모두 전염원 삽입점종법을 사용하였다. 토양 pH가 배추 무사마귀병 발병에 미치는 영향을 조사한 결과(Table 3) 이병주율은 균주에 따라 약간의 차이가 있었으나 토양 pH 5-6에서는 EJ-93, AD-94 두 균주 모두 75% 이상의 높은 이병주율을 보였으며 pH 7.0에서는 EJ-93 균주가 65%, AD-94 균주가 45%의 이병주율을 나타냈다. 그러나 pH 8.0에서는 두 균주 모두 20% 이하의 이병주율을 보였으며 이들의 발병도는 3-5로 발병이 현저하게 억제되었다. 이러한 결과는 Nieuwhof(6)의 pH 7.8에서

Table 2. Efficiency of the inoculation methods to development of clubroot disease in the chinese cabbage cv. Seoul

Inoculation method	% of infected plants	Disease ^a severity
Dipping	55.0	19.0 a ^b
Pouring	70.0	36.0 a
Insertion	100.0	72.5 b

^a Disease severity = $(0X_0 + 10X_1 + 30X_2 + 60X_3 + 100X_4) / (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$. $X_0 - X_4$ are the number of plants investigated in each grade.

^b Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the Duncan's multiple range test.

Table 3. Effects of soil pH on the occurrence of clubroot disease in chinese cabbage cv. Seoul inoculated by insertion of inoculum.

Soil pH	Isolate EJ-93		Isolate AD-94	
	% of infected plants	Disease ^a % of severity	% infected plants	Disease severity
5.0	90.0	34.5 a ^b	75.0	35.0 a
6.0	75.0	29.5 a	80.0	49.0 a
7.0	65.0	17.0 b	45.0	15.5 b
8.0	20.0	3.0 c	17.6	5.0 c

^a Disease severity = $(0X_0 + 10X_1 + 30X_2 + 60X_3 + 100X_4) / (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$. $X_0 - X_4$ are the number of plants investigated in each grade.

^b Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the Duncan's multiple range test.

배추 무사마귀병이 억제된다는 보고와 吉川(14)의 pH 6.5보다는 pH 5.5에서 발병율이 높다는 보고와 일치하는 것이며, 따라서 배추 무사마귀병의 방제를 위한 토양산도는 pH 7.0이상이어야 억제효과가 있을 것으로 생각되었다. 토양온도가 발병에 미치는 영향은 두 균주간에 차이가 없었으며(Table 4) 이들의 이병주율은 20°C에서 60-65%, 25°C에서 50-65% 이었고 30°C에서는 40-42%를 보여 온도가 높아 갈수록 발병율은 감소하는 경향이였다. 이 결과는 Karling (3)이 비교적 서늘한 시기나 지역에서 배추 무사마귀병은 많이 발생하며 고온조건은 발병에 부적당하다고 한 보고와 일치하는 것으로 토양온도가 높을수록 발병이 억제됨을 알 수 있었다.

약제방제. Fluazinam 0.5% 분제를 공시하여 약제

Table 4. Effect of soil temperature on the occurrence of clubroot disease in chinese cabbage cv. Seoul inoculated by insertion of inoculum

Soil temperature (°C)	Isolate EJ-93		Isolate AD-94	
	% of infected plants	Disease ^a severity	% of infected plants	Disease severity
20	65.0	28.0 a ^b	60.0	22.0 a
25	65.0	25.3 a	50.0	18.5 a
30	40.0	12.5 b	42.0	17.4 b

^a Disease severity = $(0X_0 + 10X_1 + 30X_2 + 60X_3 + 100X_4) / (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$. $X_0 - X_4$ are the number of plants investigated in each grade.

^b Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the Duncan's multiple range test.

Table 5. Control effect of clubroot disease in chinese cabbage by different application methods of fluazinam fungicide

Application method	% of infected plant	Disease ^a severity	Control ^b value
Seed coating	13.3	4.3	82.0 b ^c
Soil treatment	33.3	15.0	56.7 a
Combination ^d	0.0	0.0	100.0 c
No treatment	76.7	53.7	

^a Disease severity = $(0X_0 + 10X_1 + 30X_2 + 60X_3 + 100X_4) / (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$. X_0 - X_4 are the number of plants investigated in each grade.

^b Value = $[\text{Untreated infection, \%} - \text{Treated infection, \%}] / \text{Untreated infection, \%} \times 100$.

^c Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the Duncan's multiple range test.

^d Seed coating by dusting 0.3% of seed volume and soil treatment by spraying 2 kg/ha were combined together.

처리 방법에 따른 배추 무사마귀병의 방제효과를 조사한 결과(Table 5) 종자분의 처리시 이병주율은 13.3%, 발병도는 4.3인데 비해 토양처리시에는 이병주율이 33.3%, 발병도는 15.0이었으며 종자분의와 토양처리를 병용한 처리구에서는 전혀 발병하지 않았다. 이들의 방제가는 종자분의 처리시 82%, 토양처리시 52%인데 비해 양자 겸용처리에서는 100%로서 방제효율이 가장 높았다. 長井 등(5)도 PCNB의 처리방법에 있어서 토양분무처리 보다는 재식할 지점에 투입하는 것이 방제에 효과적이라고 보고하였으며 清水(8)는 PCNB의 단용처리 보다는 종자분의와 뿌리 부근의 토양처리를 병용하는 것이 효과적이라고 하였는데, 본 시험에서도 처리약제는 다르지만 fluazinam을 토양처리 또는 종자분의 처리만 하는 것 보다는 이들을 병용하는 것이 보다 효과적인 것으로 나타났다.

요 약

배추 무사마귀병의 발병에 관여하는 환경요인의 영향을 구명하고 약제처리 방법을 연구한 결과는 다음과 같다. 배추 무사마귀병의 발병율은 근침지점종이나 관주점종 보다는 전염원 삽입점종에서 현저히 높았다. 발병유인으로 토양 pH와 온도를 조사한 결과 토양pH는 5-6에서, 토양온도는 20-25°C에서 발병율이 높았고 pH 7.0이상, 토양온도 30°C 이상에서는 발병율이 급격히 감소하였다. 배추 무사마귀병의 방제를 위해서는 fluazinam 0.5% 분제의 토양살포나 종자분의의 단용처리

보다는 들을 병용처리하는 것이 효과적이었다.

감사의 말씀

본 연구는 일부 단국대학교 연구비로 수행되었으며 이에 본인은 대학당국에 깊이 감사 드립니다.

참고문헌

1. 權業模範場研究報告. 1928. 朝鮮作物病害目錄. 朝鮮總督府權業模範場. 15:77-78.
2. Jonston, T. O. 1968. Clubroot in brassica. A standard inoculation technique and the specification of races. *Pl. Pathology* 17:184-187.
3. Karling, J. S. 1968. The plasmodiophorales. Hafner Publishing company. New York. 1-256 p.
4. Kim, D. W. and Oh, J. H. 1997. Pathogenicity, host range and varietal resistance of the clubroot disease in chinese cabbage. *Korean J. of Pl. Path.* 17:21-25.
5. 長井雄治. 村田明夫. 竹内妙子. 青木宏史. 白崎隆夫. 安藤光一. 1984. 千葉縣金兆子地方におけるキャベツ根こぶ病の總合防除. 千葉農試年報. 25:19-28
6. Nieuwhof, M. and Wiering, D. 1961. Testing crucifer plants for resistance (*Plasmodiophora brassicae* WORN.). *Euphytica*. 10:191-200.
7. 농림수산부. 1993. 농림수산통계년보. 354 p.
8. 清水寛二. 1986. 藥劑のうね全面施用と定植時の根鉢の並用によるブロッコリ-根こぶ病防除. 關西病蟲害研究會報. 28:45.
9. Toxopeus, H. and Janssen, A. M. 1975. Clubroot resistance in turnip. II. The slurry screening method clubroot race in the Netherland. *Euphytica*. 24:751-755.
10. Williams, P. H. 1966. A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassica* that infect cabbage and rutabaga. *Phytopathology*. 56:624-626.
11. Wit, F. and Van de Weg, M. 1964. Clubroot resistance of turnips (*Brassica campestris*) of the parasite and their identification in mixture. *Euphytica*. 13:9-18.
12. Yashikawa, H. 1983. Breeding for clubroot resistance of crucifer crops in Japan. *Tropical Agr. Res. Center* 17:6-11.
13. 吉川宏昭. 1976. アブラナ科野菜の根こぶ病菌のレス檢定. 農業および園藝. No. 51-5:628-633.
14. 吉川宏昭. 設澤正和. 飛彈健一. 1981. アブラナ科野菜の根こぶ病抵抗性育種に關する研究. III. 根こぶ病抵抗性の早期檢定法. 野菜試報. A.8:1-12.
15. 吉川宏昭. 1988. アブラナ科野菜の根こぶ病抵抗性育種. 第30回 日本育種學會. シンポジウム報告. 育種學最近の進歩. 30:131-144.

(Received August 5, 1997)