

배추무사마귀병균 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 몇가지 환경요인

김충희* · 조원대 · 김홍모

농업과학기술원 식물병리과

요약 : 불활성 휴면포자율의 변화를 경시적으로 조사하여 휴면포자 발아에 미치는 온도의 영향을 간접적으로 측정할 결과 28℃에서 24시간 후에는 55.6%, 132시간 후에는 82.5% 발아하여 가장 양호하였으며, 24℃, 16℃의 순이었다. 발아 최적산도는 pH 6이었으며 pH 7, 8의 순으로 좋았고, pH 4, 9에서는 발아가 현저히 억제되었다. 휴면포자의 발아는 무, 배추 등의 기주작물과 강남콩의 뿌리 마쇄액에서 가장 높았으며, 상추에서는 현저히 낮았다. 휴면포자의 불활성화에 미치는 고온 처리효과를 조사한 결과 온도가 높을수록 그리고 처리 시간이 경과할수록 불활성 휴면포자의 수는 증가하였으나 40~65℃ 온도범위내에서 1시간 후 불활성화 정도는 40~60%로 대체로 비슷하였다. 그러나 70℃ 처리에서 불활성화율은 급격히 증가하여 60분간 처리시 불활성화율이 91.5%에 달하였다. 뿌리혹을 담수처리하면 불활성화된 휴면포자의 비율이 급격히 증가하여 9일 후에는 60.3%에 달하여 담수에 의하여 휴면포자가 급격히 불활성화되었다. 이병토양을 담수하여도 5개월 후에 30%이상 휴면포자 밀도가 감소하였다. 무사마귀병 방제약제중 후루아지남이 후루설파마이드에 비해 휴면포자 불활성화 효과가 좋았으나 두 약제 모두 아인산염에 비하여 그 효과가 낮은 것으로 나타났다.(2000년 9월 5일 접수, 2000년 12월 12일 수리)

Key words : germination, resting spores, viability, *Plasmodiophora brassicae*, Chinese cabbage, flooding, clubroot.

서론

배추 무사마귀병균(*Plasmodiophora brassicae* WORONIN) 휴면포자의 발아에 미치는 환경요인 중 온도와 pH의 영향이 가장 큰 것으로 보고되어 있으며(福代, 1983; MacFarlane, 1970; 高橋, 1991a), 이외에 기주작물인 십자화과 작물의 뿌리에서 분비되는 물질도 휴면포자의 발아를 촉진하는 것으로 알려져 있다(田村, 1977). 한편 어떤 토양 중에서는 휴면포자의 발아가 억제되는 정균작용의 존재도 보고된 바 있다(高橋, 1991b). 휴면포자는 토양내에서 수년동안 생존하며 알맞은 환경하에서 발아하여 변형체를 만들고 여기에서 비롯된 유주자가 작물의 뿌리털을 침해하여 발병시키는데(Ingram and Tommerup 1972) 이때에 Ca^{++} 이온이 휴면포자의 발아를 억제하여 발병을 감소시킨다는 보고가 있다(鈴木, 1988; Myers 등, 1985).

휴면포자는 내구성이 강하여 불량한 환경에서도 장기간 생존할 수 있지만 온도, 토양수분 등의 환경조건에 따라 많은 영향을 받는다. 우리나라 배추 주산지중 평야지대에서는 무사마귀병균을 방제할 목적으로 일정기간 담수하거나 담전윤환하는 포장에 많은데 이런 경종관리가 토양내 휴면포자의 생존에 미치는 영향에 관한 연구는 보고된 바가 적다(岩波 등, 1992). 또한 일부 시설재배 농가에서는 이병의 방제를 위하여 태양열을 이용한 토양소독이 시도되고 있는데(Horiuchi 등, 1982; 赤坂, 1986) 무사마귀병균의 휴면포자의 활성이 고온에 의하여 어느 정도 영향을 받고 있는지에 대한 정보도 아직 적다(池上 등, 1989; MacFarlane, 1952). 이외에 현재 농가에서 사용하고 있는 후루아지남과 후루설파마이드 두 종의 약제가 휴면포자의 생존에 어떤

영향을 미치는지에 대해서도 상세한 연구가 적다(米山, 1986). 본 시험은 배추 무사마귀병균의 생태 연구를 위해 3년간 수행한 시험의 일환으로 온도, pH 등의 환경요인과 담수 등의 경종관리가 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다. 다른 연구결과는 이미 전문 학술지에 발표된 바 있다.(김 등, 1999a~e).

재료 및 방법

휴면포자 현탁액

신선한 배추에서 뿌리혹을 채취하여 실내(35/15℃)에서 완전히 부패할 때까지 35일 동안 방치한 후, 성숙한 활성 휴면포자 비율이 99% 이상인 휴면포자 현탁액을 만들어 시험에 공시하였다.

휴면포자의 발아 및 생존을 측정

김 등(1999e)의 개량 형광염색법을 이용하여 각 처리의 휴면포자를 형광염색하고 형광현미경하에서 활성포자와 불활성포자를 구분한 다음 전체 휴면포자에 대한 불활성포자의 비율을 산출하여 발아율이나 생존율을 간접적으로 산출하였다. 휴면포자중 완전한 구형이 아닌 모양이 일그러졌거나 파손된 포자, 휴면포자 내용물이 충만하지 않은 포자, 옅은 핑크색으로 염색된 포자를 불활성포자로 간주하였으며, 붉은 색의 섞임없이 명확히 투명한 푸른 형광색을 미치는 구형의 윤곽이 뚜렷한 포자를 활성포자로 간주하였다. 휴면포자는 혈구계산판을 이용하여 계수하였으며 한 표본당 30번 반복하여 평균치를 산출하였다.

온도 시험

휴면포자의 발아에 미치는 온도의 영향을 조사하기 위해

*연락처자

여 휴면포자 현탁액 5 ml을 8 mm 시험관에 넣고 8°C에서 38°C까지 4°C 간격으로 조정된 항온기에 보관하면서 24, 48, 84, 132시간 후에 각각 5 μ l씩 꺼내어 동량의 형광염색액을 가한 후 혼합염색하여 UV형광현미경하에서 즉시 검경하였다. 휴면포자의 사멸에 미치는 고온처리효과는 항온수조를 이용하여 40°C에서 70°C까지 5°C 간격으로 설정하여 시험을 수행하였으며 시험방법은 휴면포자의 발아 시험과 동일하였다.

pH 시험

pH 4.0에서 9.0까지 pH 1.0 간격으로 미리 조정된 휴면포자 현탁액을 만들어 5 ml씩 시험관에 분주하여 25°C에 보관하였다. 처리 1, 2, 3, 4, 7일 후에 각 처리에서 5 μ l씩 꺼내어 동량의 형광염색액과 혼합한 후 UV형광현미경하에서 즉시 검경하여 불활성포자율을 조사하였다.

뿌리 마쇄액의 영향 시험

각종 작물의 뿌리에서 추출한 물질이 휴면포자 발아에 미치는 영향을 온실에서 조사하였다. Floragard 토양이 담긴 포트(10.5×10 cm)에 고추, 토마토 등 24개 작물을 3월 중순에 파종하여 18~28°C의 온실에서 육묘하였다. 작물이 생육중기에 달한 5월 중순 각 작물의 뿌리를 채취하여 흐르는 물에 잘 씻고 풍건한 후 뿌리조직 1 g을 취하여 10 ml의 증류수와 함께 유발에 넣어 마쇄하였다. 마쇄액을 10°C에서 3,500 rpm으로 20분간 원심분리한 후 상등액을 회수하였다. 상등액 5 ml에 10⁹/ml 농도의 휴면포자 현탁액 1 ml을 가한 후 22°C의 항온기에 두고 36, 72, 120시간 후에 5 μ l씩을 취하여 동량의 형광염색액과 혼합하여 UV형광현미경하에서 불활성포자율을 조사하였다.

뿌리혹의 담수와 휴면포자 생존 시험

뿌리혹이 형성된 배추뿌리혹을 500 ml의 비이커에 담자 주/야 35/15°C 실내에서 뿌리혹내 휴면포자의 성숙도가 99% 이상이 되도록 완전히 부패될 때까지 15일간 방치하였다. 그후 뿌리혹이 물에 완전히 잠기도록 담수한 비이커와 담수하지 않고 그대로 둔 비이커로 3개씩 구분한 다음 처리 당일, 3일, 6일, 9일 후 뿌리혹의 조직을 1 g씩 각각의 비이커에서 떼어내어 형광염색후 불활성포자의 밀도를 조사하였다.

이병토양의 담수효과 시험

경기도 연천의 배추 무사마귀병이 심하게 발생한 포장에서 토양을 채취하여 토양내 무사마귀병균의 밀도를 형광염색법으로 조사하고 비이커에 400 g씩 나눠 담자 토양이 완전히 물에 잠기도록 담수처리한 비이커와 담수하지 않은 처리로 나누어 주/야 35/15°C의 실내에 두었다. 5개월이 지난 후 10 g의 토양표본을 채취하여 토양내 활성/불활성 휴면포자의 밀도를 조사하였다.

약제농도별 휴면포자 생존시험

현재 무사마귀병의 방제약제로 농가에서 사용하고 있는 후루설파마이드(flusulfamide), 후루아지남(fluzinam)과 아

인산(KH₂PO₃)을 공시하여 각각의 농도를 1, 10, 100, 500, 1,000 ppm으로 조정된 현탁액을 만들었다. 공시약제 현탁액의 5 ml씩을 시험관에 분주하고 휴면포자 농도가 10⁹/ml인 포자현탁액을 1 ml씩 가한 후 25°C의 항온기에 두었다. 처리당일 및 1, 3, 5, 7일 후 각각 5 μ l씩 취하여 동량의 형광염색액과 혼합한 후 UV형광현미경으로 각 처리농도별 비활성포자율을 조사하였다.

결과 및 고찰

온도별 휴면포자 발아율

8°C에서 32°C까지 4°C 간격으로 처리한 온도별 휴면포자의 발아율을 측정된 결과 28°C까지는 온도가 높을수록 발아율이 높아지는 경향을 보였으며, 32°C에서는 감소하여 발아최적온도는 28°C 내외로 생각되었다(표 1). 각 온도에서 발아율은 시간이 경과할수록 증가하여 28°C의 경우 24시간 후에는 55.6%가 발아하였으나 132시간 후에는 82.5%로 높아졌다. 8~12°C의 저온에서는 16°C 이상의 온도에 비하여 발아율이 매우 낮았으며 16~28°C 사이의 온도에서는 발아율의 차이가 크지 않았다. 배추의 생육적온을 24°C 내외로 볼 때 휴면포자의 발아도 이 온도범위나 이보다 약간 높은 온도에서 양호한 것으로 나타났다.

Table 1. Effect of temperature on germination of resting spores of *Plasmiodiophora brassicae* as examined by increase in the number of inviable resting spores in laboratory condition

Temperature (°C)	Percentage of inviable resting spores after	
	24 hr	132 hr
8	16.9±2.1 ^{a)}	52.0±6.5
12	21.9±2.3	58.3±1.7
16	35.8±1.9	72.0±3.5
24	43.2±5.5	74.5±4.6
28	55.6±6.3	82.5±2.5
32	55.4±4.8	68.0±5.7

^{a)}Standard deviation of 30 observations.

pH별 휴면포자 발아율

휴면포자의 발아율은 pH 6에서 가장 높았으며 pH 7에서의 발아율도 높았다. 휴면포자는 시험한 pH 4~9 범위의 모든 pH에서 발아하였으나, pH 4와 pH 9 처리구에서는 발아율이 현저히 낮았다(표 2).

pH 5에서의 발아율도 pH 6~7에 비하여 상당폭 감소하여 휴면포자 발아의 최적산도는 pH 6 부근이라고 생각된다. 지금까지 무사마귀병이 산성토양에서 발병이 많은 원인으로 휴면포자의 발아가 산성토양에서 많이 이루어지기 때문으로 보고되고 있는데(福代, 1983; MacFarlane, 1970; 高橋, 1991a), 본 시험의 결과를 보면 pH 6의 약산성에서

발아율이 가장 좋았지만 pH 7의 중성, pH 8의 약알칼리성에서도 휴면포자의 발아가 양호하기 때문에 산성토양내에서 무사마귀병의 발생이 많아지는 원인으로 휴면포자의 발아의 양호성외에 어떤 다른 요인이 관여할 가능성이 있다고 생각된다.

Table 2. Effect of pH on germination of resting spores of *Plasmiodiophora brassicae* as examined by increase in the number of inviable resting spores at 25°C in laboratory condition

pH	Percentage of inviable resting spores after		
	1 day	3 days	5 days
4.0	5.1±2.9 ^{a)}	10.0±5.6	19.8±2.8
5.0	10.0±1.2	12.6±1.4	17.2±3.2
6.0	16.2±1.1	19.4±4.0	35.8±2.9
7.0	13.1±2.2	19.8±1.8	25.7±1.2
8.0	12.0±2.9	17.1±3.4	20.2±1.8
9.0	8.7±1.4	13.0±2.8	19.3±4.1

^{a)}Standard deviation of 30 observations.

Table 3. Degree of germination of resting spore of *Plasmiodiophora brassicae* in root exudates of various crops as expressed by changes in the number of inviable resting spores in laboratory condition^{a)}

Range of % inviable resting spores				
15~20	21~30	31~40	41~50	51~60
lettuce	spinach, Chinese melon, eggplant, barley soybean, green bean	tomato, carrot, red-pepper, cucumber, watermelon, welsh onion, crown daisy, chard, wheat, rye, sorghum, corn, red bean, job's-tears	radish, kidney bean	Chinese cabbage

^{a)}Percentage of inviable resting spores was examined 5 days after incubation at 22°C.

Table 4. Effects of temperature on the viability of resting spores of *Plasmiodiophora brassicae* in laboratory condition

Temperature (°C)	Percentage of inviable resting spores after			
	1 min	10 min	30 min	60 min
40	16.0±2.7 ^{a)}	28.0±6.5	56.7±5.2	55.7
45	14.0±4.5	32.0±4.2	58.0±6.5	60.7
50	10.0±4.6	15.0±3.2	31.7±3.8	51.7
55	15.2±3.3	21.0±5.0	45.9±3.0	53.5
60	10.8±4.2	27.5±4.8	50.0±7.9	66.5
65	13.8±2.3	45.0±5.1	55.9±2.8	64.3
70	13.2±3.4	55.0±5.2	70.3±3.8	91.5

^{a)}Standard deviation of 30 observations.

뿌리 마쇄액에서의 휴면포자 발아

각종 작물 뿌리 마쇄액에서의 휴면포자 발아율을 보면 배추에서의 발아율이 51.8%로 가장 높고 무, 강남콩이 각각 44.4% 및 47.6%로 다음이었다. 토마토, 당근 등 14개 작물이 31~40%, 시금치의 6개 작물은 21~30%였고 상추는 19.4%에 그쳐 작물에 따라 휴면포자 발아가 상당히 영향을 받는 것으로 나타났다(표 3).

무사마귀병균의 발아가 기주작물의 뿌리에서 분비되는 어떤 물질에 의해 촉진된다는 田村(1977)의 보고와 유사하게 본 연구에서도 무, 배추 등의 작물뿌리 마쇄액에서 휴면포자의 발아가 타작물에 비해 높게 나타났다. 그러나 비기주작물인 강남콩에서도 기주작물인 무와 비슷한 수준으로 발아율이 양호하게 나타나 강남콩의 뿌리마쇄액과 기주작물의 뿌리마쇄액의 유사성이 향후 검토될 필요가 있다고 생각된다. 상추에서는 휴면포자의 발아가 타작물에 비해 억제되었는데 실제로 상추를 배추의 윤작작물로 재배했을 때 무사마귀병의 발생에 어떠한 효과가 있는지도 조사할 가치가 있는 것으로 생각된다.

고온에서 휴면포자 생존율의 변화

40°C 이상의 고온에서 경시적으로 비활성포자율의 증가 정도를 조사한 결과 온도가 높아지고 그 온도에서 경과시간이 길어질수록 불활성포자율도 급격히 증가하였다(표 4).

65°C 이하의 온도에서는 처리 60분 후 불활성포자율이 40~65% 였으나, 70°C의 고온에서는 10분 후에 유사한 수준의 불활성포자율에 도달하고 40분 후에는 70%, 그리고 60분 후에는 91% 이상으로 급격히 상승하였다.

이와같은 결과를 근거로 고온처리에 의해 휴면포자의 불활성화를 단기간에 유도하기 위해서는 70°C 이상의 고온에서 1시간 이상의 시간이 필요하다고 생각된다. 그러나 태양열을 이용한 토양소독방법에서는 70°C 이상의 고온을 얻기가 사실상 불가능하므로(Horiuchi 등, 1982; 赤坂, 1986) 단기간의 고온처리보다는 40~50°C 정도의 온도에서 장기간 방치하므로써 얻어지는 효과가 검토되어야 할 것으로 생각된다. 태양열 이용 토양소독에서 토양표면의 온도가 대개 50~55°C인 점을 감안하면 이 온도에 휴면포자를 장기간 노출시켰을 때 휴면포자의 활성에 어떠한 변화가 있는지에 대해서는 충분한 검토가 필요하다.

담수하에서 휴면포자의 생존율

무사마귀병에 걸린 뿌리혹을 토양에 매몰한 후 담수하여 혐기상태로 만들어 두고 뿌리혹내 휴면포자의 활성도를 경시적으로 조사하여 보면 표 5에서 보는 바와 같이 담수 후 시간이 경과할수록 비활성 휴면포자의 비율이 급격히 증가하여 담수처리 당시의 9.1%에서 9일 후에는 60.3%로 되어 담수하에서 뿌리혹내 활성 휴면포자의 밀도가 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 배추의 수확 후 토양내 잔존하고 있는 뿌리혹 전염원의 활성도를 낮추기 위한 효과적인 수단으로 포장에 물을 대는 방법을 사용할 수 있음을 시사하는 것으로 포장을 장기간 담수상태로 두었을 때 휴면포자의 밀도에 어떠한 변화가 있는지에 대한 조사가 필요하다.

Table 5. Effect of submerging the root galls of Chinese cabbage plants infected by *Plasmodiophora brassicae* on viability of resting spores at 25°C in laboratory condition

Days after treatment	Percentage of inviable resting spores	
	Submerged	Untreated check
0	9.1±1.86 ^{a)}	< 0.01
3	41.3±4.27	< 0.01
6	44.5±5.79	< 0.01
9	60.3±2.01	< 0.01

^{a)}Standard deviation of 30 observations.

뿌리혹 대신에 이병토양을 직접 담수하여 실내에 방치하고 5개월 뒤에 토양내 휴면포자의 밀도변화를 조사한 결과 담수처리에서는 비담수처리에 비해 활성 휴면포자의 밀도가 현저히 감소하여 담수가 휴면포자의 생존을 명확히 저해하는 것으로 나타났다(표 6).

그러나 5개월의 담수시간을 고려할 때 휴면포자의 밀도가 1 g당 6.86×10^4 개에서 4.75×10^4 개로 30.8% 감소되어 토양내 활성 휴면포자의 감소가 점진적으로 이루어지는 것으로 생각된다. 우리나라의 평야지 배추 재배지를 보면 많은 포장에 답전윤환 형태로 배추를 재배하고 있는데 이런 포장에서 토양내 무사마귀병균의 밀도가 어떻게 변화하는지 이에 따라 무사마귀병의 발생에 어떠한 차이가 있는지를 조사할 가치가 있다고 생각된다.

Table 6. Effect of flooding the soil heavily-infested with *Plasmodiophora brassicae* on the viability of resting spores in the soil in laboratory condition

Treatment	Number of resting spores($\times 10^4$ /g soil) after		pH
	0 day	152 days	
Non-flooding	6.86±1.27 ^{a)}	7.06±1.80	6.4
Flooding	6.86±1.27	4.75±0.92	7.6

^{a)}Standard deviation of 30 observations.

Table 7. Effect of two fungicides on the viability of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in laboratory experiment condition^{a)}

Fungicide	Percentage of inviable resting spores at conc. of				
	0	10 ppm	100 ppm	500 ppm	1,000 ppm
Fluazinam	-	41.7±5.6 ^{b)}	55.5±0.8	84.3±3.4	81.7±1.5
Flusulfamide	-	48.9±2.1	56.0±2.5	63.7±5.3	64.0±3.3
Check compound (KH ₂ PO ₃)	-	74.5±1.9	83.0±4.2	95.7±0.8	99.0±0.5
None	0	-	-	-	-

^{a)}Data were collected 7 days after treatment at 25°C.

^{b)}Standard deviation of 30 observations.

농약의 농도별 휴면포자 활성

현재 농가에서 사용하고 있는 시판약제 두 종을 공시하여 농도별로 휴면포자의 활성에 미치는 영향을 조사하여 보면 100 ppm 이하의 저농도에서는 후루아지남과 후루설파마이드 두종 모두 비슷한 수준으로 휴면포자가 불활성화되었으나 500 ppm 이상의 고농도에서는 후루아지남이 후루설파마이드에 비해 휴면포자의 불활성도가 18~21% 더 높아 효과가 보다 우수한 것으로 나타났다(표 7). 역병, 노균병 등 유주자를 만드는 조균류에 대해 효과가 있는 것으로 알려진 아인산염의 경우 10 ppm에서 후루설파마이드의 1,000 ppm의 농도와 유사하게 휴면포자의 활성을 효과적으로 낮추었으며, 100 ppm에서는 후루아지남과 비슷한 억제효과를 보였고, 500 ppm에서 96%, 1,000 ppm에서는 99%의 휴면포자가 활성을 잃어버려 그 효과가 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 아인산염은 상기 두 약제에 비해 가격이 저렴하고 환경에 안정적인 장점이 있기 때문에 향후 배추 무사마귀병의 방제약제로 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

인용문헌

- 赤坂安盛 (1986) フィルムマルチを利用した太陽熱消毒によるハクサイ根こぶ病の防除. 北日本病虫研報 37:90~92.
- 福代和子 (1983) アブラナ科野菜根こぶ病の発生と土壌反応との関係. 近畿中国農研 65:48~52.
- 福代和子 (1988) アブラナ科野菜根こぶ病菌休眠胞子の生存期間について. 近畿中国農研 75:45~49.
- Horiuchi, S., M. Hori, S. Takahashi and K. Shimizu (1982) Factors responsible for the development of clubroot-suppressing effect of soil solarization. Bull. Chugoku Nat'l. Agric. Exp. Stn. E 20:25~48.
- 池上八郎, 後藤撰子, 百町満郎, 景山幸二 (1991) 種々な温度で保存した根こぶ病病根における休眠胞子の生存力. 日植病報 57:100(講要)
- 池上八郎, 野中茂子, 百町満郎 (1989) 種々な温度で処理した根こぶ病菌休眠胞子の生存と感染力. 日植病報 55:497(講要)
- Ingram, D. S. and Tommerup, I. C. (1972) The life history of *Plasmodiophora brassicae* Woron. Proc. R. Soc. Land. B., 180:103~112.
- 岩波壽, 井上昭司, 野口正樹 (1992) 輪作作物が根こぶ病菌密度の変動とハクサイ収量に及ぼす影響. 近畿中国農研 83:65~69.
- 김충희, 조원대, 양종문 (1999a) 배추무사마귀병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. 식물병과 농업 5(2) : 77~83.
- 김충희, 조원대, 양종문 (1999b) 배추무사마귀병 뿌리혹의 형성에 미치는 온도, 토양수분, 토양pH, 광의 효과. 식물병과 농업 5(2) : 84~89.
- 김충희, 조원대, 양종문 (1999c) 배추무사마귀병의 뿌리혹 형성에 미치는 묘령, 집종원 농도 및 집종방법의 효과. 식물병과 농업 5(2) : 90~94.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (1999d) 배추무사마귀병의 포장 감염시기와 피해. 식물병 연구 6(1) : 23~26.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (1999e) 배추무사마귀병의 토양내 분포. 식물병 연구 6(1):27~33.
- 米山伸吾 (1986) ハクサイ根こぶ病の薬剤による防除. (1)数種薬剤による防除効果および根こぶ形成程度と収量との関係. 関東病虫研報 33:109~110.
- MacFarlane, I. (1952) Factors affecting the survival of *Plasmodiophora brassicae* WOR. in the soil and its assessment by a host test. Ann. Appl. Biol. 39:239~256.
- MacFarlane, I. (1970) Germination of resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. Trans. Br. Mycol. Soc. 55:97~112.
- Myers, D. F. and R. N. Campbell (1985) Lime and control of clubroot of crucifers : effects of pH, calcium, magnesium, and their interactions. Phytopathology 75(6) :670~673.
- 鈴木建, 上野吉一, 宋宮江里, 水谷純也 (1988) アブラナ科植物根こぶ病菌(*Plasmodiophora brassicae*)休眠胞子の発芽機構に関する研究. 1. 無機イオソの影響, とくに2価陽イオソの発芽阻害効果について. 日植病報 54:114~115(講要)
- 高橋賢司 (1991a) アブラナ科野菜根こぶ病休眠胞子の発芽と生存に及ぼす土壌pH影響. 日植病報 57(1):100.
- 高橋賢司 (1991b) アブラナ科野菜根こぶ病菌に対する土壌静菌作用の存在. 日植病報 57(3):404.
- 田村実 (1977) ハクサイ根こぶ病の発生生態. 植物防疫 31(9):362~366.

Some Environmental Factors Affecting Germination and Survival of Resting Spores of *Plasmodiophora brassicae*

Choong-Hoe Kim*, Won-Dae Cho, Hong-Mo Kim(Plant Pathology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

Abstract : Effect of temperature on resting spore germination of *Plasmodiophora brassicae* was indirectly estimated based on examining temporal change of number of inactive resting spores. Resting spore germination was the highest at 28°C reaching 55.6% and 82.5%, 24hr and 132hr after treatment, respectively. Optimum pH for resting spore germination was pH6, following pH7 and pH8, and the germination was inhibited at pH 4, and pH9. Germination of resting spores was stimulated by root extracts of radish, Chinese cabbage and kidney bean, but inhibited by that of lettuce. Number of inactive resting spores was increased as temperature increases and time prolongs after temperature treatment. However, degree of inactivation of resting spores after 1hr at 40~65°C was similar with 40~60%, but rapidly increased to 91.5% at 70°C. When root galls were submerged in water, density of inactive resting spores was increased rapidly and reached 60.3% 9 days after treatment. Flooding of infested soil resulted in 30% reduction of survived resting spores 5 months later. Among the two registered fungicides, fluazinam was better for inactivation of resting spores than flusulfamide, but both fungicides were inferior to phosphoric acid.

*Corresponding author (FAX : +82-31-290-0453, E-mail : choonghoekim@rda.go.kr)