

# 植物營養條件對結球白菜根瘤病發生之影響

廖乾華 葉俊巖

## 摘要

本試驗主要探討根瘤病菌感染結球白菜之植物營養條件，及有效控制結球白菜根瘤病之田間措施，以減輕根瘤病對結球白菜的影響。結球白菜(濱綠)幼苗在日夜間溫度25與20℃，相對溼度80%，光度10,000lux之生長箱中，培育8天後，於營養液中接種根瘤病菌( $1 \times 10^7$ /ml, 5ml.)，當營養液所含之鈣、鉀離子濃度分別為10mM, 5mM(比例2:1)，pH值為7或7.5時，根瘤病菌對結球白菜幼苗側根之侵入幾乎完全受抑制。以離子比率而言，鈣、鉀離子比例2:1時，根瘤菌對結球白菜側根之感染率，平均約為鈣、鉀離子比例1:1時之1/4，而為鈣、鉀離子比例3:1時之1/3；若不考慮離子比率時，pH 6和7時根瘤菌對側根之感染率相若，僅為pH 5時之1/3以及pH 6.5時之1/2。顯示營養液之pH值及鈣、鉀離子比例之交互作用，影響根瘤菌對結球白菜幼苗側根之侵染能力。若使用罹病土培育結球白菜幼苗時添加苦土石灰0.5%-2% (重量比)，可有效抑制根瘤病發生。

關鍵詞：植物營養，根瘤病。

## 前言

十字花科植物的根瘤病，是受土壤中一種真菌感染的病害，發現至今雖已有200年的歷史，至1878年，Woronin才具體描述 *Plasmodiophora brassicae* 在根瘤病 (clubroot) 發生的主導角色，Ingram和Tommerup (1972)<sup>(18)</sup> 闡明 *P. brassicae* 的生活史，並有鉅細靡遺的觀察，其生活史是由單倍體休眠孢子 (haploid resting spore) 產生游走孢子 (zoospore)，侵入寄主的根毛細胞，形成多細胞核初生原生質體，繼而裂解成游走孢子囊，再從游走孢子囊釋放次生游走孢子，經融合，二度侵入根中，產生多核次生原生質體，寄生於根部皮層細胞，造成根部細胞不正常之快速分裂，形成根瘤。在次生原生質體中發生核融合，並行減數分裂，裂解成多數的單倍體休眠孢子，於植物死亡，根部分解時，釋放出來進入土壤中，如此循環不息；Macfarlane<sup>(21,22,23)</sup>、Ikegami與Dobson<sup>(12)</sup>以及Naiki<sup>(28)</sup>等對根瘤菌之成長過程亦有詳細的解析。由於根瘤的形成，會消耗植物之養分，致使鬚根的生成減少，且阻斷根部所吸收之營養和水分向地上部輸送之路徑，導致地上部因缺水和無機養分，而生長遲滯，葉面積小，植株矮小，最後萎凋，對十字花科蔬菜的產量影響甚鉅。目前臺灣平地及山地均有病例發現<sup>(1,5,8)</sup>，尤以山地甚為嚴重，罹病率達70%以上，且有蔓延趨勢。

十字花科根瘤病的發生，一般而言，在酸性土壤較鹼性土壤嚴重，目前臺灣已發現有根瘤病菌存在的蔬菜栽培田分布於桃園、新竹、后里、烏日、斗南、嘉義、佳里、鳳山、宜蘭、花蓮及台東等地區，其中

桃園、新竹、台中武陵、福壽山、南投清境、埔里、彰化二林及宜蘭南山等發病甚為嚴重。謝氏和黃氏(1988)<sup>(9)</sup>指出桃園蘆竹、新竹香山、台中大里、彰化大肚及二林等平地其根瘤病之真菌屬於 ECD 16/0/0 菌系，而思源、武陵、福壽山及清境高山地區者屬於ECD16/0/31菌系，其中ECD16/0/31菌系可嚴重為害大部分台灣栽培之十字花科蔬菜；據王氏(1986)<sup>(1)</sup>調查結果，彰化、雲林、高雄、屏東、台東及花蓮等地分布著根瘤病的抑病土，而其抑病土的抑病能力隨土壤酸鹼值及交換性鈣含量的增加而增強，其中pH值與根瘤病發指數呈曲線相關，土壤pH值於7.4以上時，則未見根瘤病發生；而交換性鈣含量與發病指數則呈直線負相關，當鈣含量在1,210mg/kg以上時，根瘤病完全被抑制<sup>(5,6)</sup>。然而清境農場之土壤 pH 雖已高達7.6，土壤交換性鈣含量亦達6,000mg/kg以上，其甘藍根瘤病仍發生，且十分嚴重；根據Horiuchi和Hori (1980)<sup>(16)</sup>之報告，根瘤病之發病，雖然與土壤pH值有關，然而土壤中孢子的濃度亦扮演著相當重要角色，若孢子濃度甚高時，即使土壤pH值高達7.6，其根瘤病之感染程度亦相當嚴重<sup>(27)</sup>，此外土壤的水分含量亦關係著根瘤病的罹病程度，當土壤水分超過田間容水量46%時，根瘤病就會發生<sup>(15)</sup>，其嚴重性則隨土壤水分含量的上升而增加，浸水情況則最為嚴重。Kato 等人(1983)<sup>(19)</sup>發現結球白菜根瘤病較嚴重，產量較低之地區其地下水水位較高，pH值較低，土壤中鉀，鎂含量及電導度則均高於產量較高之區域<sup>(26)</sup>，而產量較高之地區，其土壤中交換性鈣含量高且pH值趨於中性<sup>(24,25,26)</sup>。在日照時間方面，根據Tamura(1977,1974)<sup>(32,33)</sup>研究結果為當日照時間少於11.5小時，無結球白菜根瘤病病株的發現，而當葉面受到白色螢光 6,000~12,000lux 的光照，且光合作用時間超過13~16小時則根瘤病嚴重發生。溫度方面，16°C 以上，始見植物根毛內形成游走孢子囊，24°C時根毛的感染率最高，28°C時則迅速下降；此病的傳播不僅藉由土壤、育苗方式，亦可經由灌溉水大面積傳送，根據Datnoff (1984)<sup>(11)</sup>等人調查結果，在美國西南部，已發現因灌用流經根瘤病菌感染田之灌溉水，以致罹患根瘤病的例子；台灣屬島形地形，灌溉用水均取自山區之水庫，今武陵、清境及福壽山等山地集水地區，根瘤病均已十分嚴重，因此藉由灌溉水之媒介，大面積傳播此病亦是遲早之事，故吾人必須早日慎研防治之道，以免措手不及，並危及台灣夏季十字花科蔬菜的供需問題。本試驗擬探討土壤環境因素對十字花科根瘤病發生的影響，以尋求利用土壤肥力因子來降低根瘤病的發病程度。

## 材料與方法

### 一、不同pH? 及鉀、? 比例之營養液對根瘤病菌侵入結球白菜根系之影響

□試驗材料：培養皿，塑膠柱(直徑8公分，高8公分，一端以尼龍紗網封住)，結球白菜種子(濱綠品種)，營養液S1，S2，S3，根瘤病菌孢子的懸浮液(取結球白菜瘤根攪碎離心過濾而得)

S1：Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·0.005M；KNO<sub>3</sub>·0.005M；MgSO<sub>4</sub>·0.002M；KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·0.002M。

S2：S1+CaSO<sub>4</sub>·0.005M;

S3：S1 + CaSO<sub>4</sub>·0.005M ;CaCl<sub>2</sub>·0.005M,

S1, S2, S3溶液中均內含92uM HBO<sub>3</sub>, 18uM MnCl<sub>2</sub>, 0.64uM CuSO<sub>4</sub>, 0.14uM (NH)MoO<sub>7</sub>·4H<sub>2</sub>O, 1.5uM, ZnSO<sub>4</sub> 1.3uM EDTA-Fe等微量元素。此營養液係參考Macfarlane (1958)<sup>(22)</sup>和Myers和Campbell(1985)<sup>(26)</sup>

根瘤病試驗所用之改良式Hoagland和Snyder營養液。

□試驗方法：每個塑膠柱尼龍紗網端以Whatman No.42號濾紙封住，內置結球白菜種子100粒，置於培養皿中，分別處以如下不同溶液，每種溶液六皿，放置於日間 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ；夜間 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $80 \pm 5\%$ 相對濕度，光度 $10,000 \pm 1000$  lux之生長箱中培育，播種後八天其中四皿接種5ml含 $1 \times 10^7$  spore/ml之根瘤病菌孢子懸浮液，二皿不接種，做為對照觀察，接種後144小時每處理取3株根系，以FAA (18:1:1=酒精:冰醋酸:福馬林)固定，用0.05% acridine orange 染色，用螢光顯微鏡以100倍觀測其根瘤病菌之感染情形<sup>(30,31)</sup>。

□試驗處理：將三種營養液用0.1N NaOH 分別調整pH值至5, 6, 7, 7.5 四種不同pH值，其組合1-4為S1，pH值5, 6, 7, 7.5；5-8為S2，pH值5, 6, 7, 7.5；9-12為S3，pH值5, 6, 7, 7.5；蒸餾水為對照等13種不同處理，每處理各三重覆。

□調查分析項目：

- 1.於培育14天後，每處理各取20株調查株高及根系垂直長度。
- 2.培育八天後，接種 $1 \times 10^7$  spore/ml根瘤孢子懸浮液5 ml後，接種後144小時，取三棵根系以FAA固定，0.05% acridine orange 染色，以螢光顯微鏡放大100倍觀察，計算視野中央0.244mm範圍之根系中，受根瘤病菌感染之細胞數。
- 3.分析葉片及根系中磷(鉬黃法)、鉀(三酸混合液分解,火焰光度計分析)、鈣、鎂(原子吸光儀測定)。

## 二、根瘤病土壤施用不同量苦土石灰對根瘤病菌侵入結球白菜苗期根系之影響

□試驗材料：中壠根瘤病田土壤，結球白菜種子(濱綠)，苦土石灰。

□試驗方法：將根瘤病土壤，施用0.5%，1%，1.5%，2%，2.5%等五種不同量的苦土石灰，並以不施苦土石灰為對照，共六處理，三重覆，以72格穴盤育苗，每格置放結球白菜種子二顆，於播種後50天，每處理取10株苗，做調查及分析用，播種後65天每處理取70株苗，調查其根瘤病情形。

□調查分析：

- 1.分析土壤pH值 ( 1:1 水土比 )、電導度(飽和土糊)、有機質含量(Walkley-Black)、有效性磷 ( Bray No.1)、鉀、鈣、鎂 (Mehlich No.1)、鐵、錳、銅、鋅(0.1N HCl)<sup>(4)</sup>。
- 2.分析葉片及根系中氮(濃硫酸消化)<sup>(2)</sup>、磷(三酸分解，鉬黃法)、鉀 (火焰光度計)、鈣、鎂(原子吸光儀)、鐵、錳、銅、鋅(1N HCl抽出，原子吸光儀測定)<sup>(3)</sup>。
- 3.根系感染根瘤病菌情形測定：

苗期取五株根系，以 FAA固定，每株各取距離地表1公分處之根系1公分，以蒸餾水洗淨，0.05% (acridine orange)染色後，螢光顯微鏡下，檢查其根瘤病菌侵入根系的情形<sup>(30,31)</sup>。

# 結果與討論

## 一、不同pH? 及鉀與? 比例之營養液對根瘤病菌侵入結球白菜根系之影響

由於 Myers 和 Campbell<sup>(24)</sup> 等及其他學者研究試驗結果<sup>(25,26)</sup>，認為土壤之pH7.2 以上即可抑制結球白菜根瘤病的發生，且土壤中鈣的含量愈高，愈能有效控制根瘤病的發生，然事實上於清境農場其土壤之pH7.6，有效性鈣含量高達到6,000 mg/kg 以上之地區，其根瘤病，仍發生十分嚴重，本試驗即針對此問題，於生長箱中控制日溫在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，夜溫在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，日照在 $10,000 \pm 1,000$  lux

適合 *P. brassicae* 生長環境條件下，利用不同 pH 值及鈣、鉀比例不同之營養液，探討 *P. brassicae* 侵入結球白菜根系的情形。結球白菜(濱綠)種子播種後在生長箱培育八天，接種5ml 含  $1 \times 10^7$  spore/ml 根瘤病菌孢子懸浮液，培育144小時後，各種處理，其根系被根瘤病菌侵入的情形，經由 acridine orange 染色，用螢光顯微鏡觀察，在0.244mm視野下，S1(鈣、鉀比 1:1)在pH5 的條件下，其根系中被根瘤病菌侵入的數目最多，平均達124個，在pH6之條件，則急速下降，平均僅為16個，pH7時更低至平均3個，然在pH7.5時，被根瘤病菌侵入的數目，未降反增，平均達32個之多，僅次於pH5的侵入數目；在pH5的條件下，將鈣含量增加一倍(S2)，則被根瘤病菌侵入的根系數目，明顯降低，平均僅達21個，在S2(鈣鉀比2:1)的營養條件下，將pH提升至7或7.5則被根瘤病菌侵入的根系數目甚少，平均僅為一或三，唯在S3(鈣鉀比3:1)的營養條件下，根瘤病菌侵入的根系數目，隨著pH值的上升而增加，pH7.5時平均高達68個，由此可知並非單一因子影響瘤根病菌侵入根系。若就pH值與鉀、鈣比例兩因子而言，在此營養條件下鈣、鉀比例 2:1 時，將營養液之pH值調整至7 或7.5，最能抑制根瘤病菌的侵入，並非pH值愈高(7.5)及鈣含量愈多(S3)，愈能發揮抑制根瘤病菌侵入根系的效果(表1)，此與Myers等人<sup>(26)</sup>的研究結果鈣濃度達 2.5 mM，pH > 7.2 即可抑制 *P. brassicae* 的侵入不同，並可解釋清境農場過度施用石灰質材料，反而無法抑制根瘤病發生的情形。根瘤病菌之侵入根系，初期對苗期根系的長度及株高，並無顯著的差異的影響(表2、3)。至於苗期植株內養分的含量(表4~7)，S2和S3兩處理植株磷含量(平均約5.6 mg/g)較S1處理者(平均約為7.7 mg/g)低，顯示營養液中鈣含量的增加，會降低磷的有效性，導致植株內磷的含量較低(表4)；營養液中鈣含量的增加亦會降低植株對鉀的吸收，此由鈣鉀比 1:1 (S1) 處理中植株鉀含量59.4mg/g，鈣鉀比 2:1(S2)處理植株鉀含量53.5 mg/g 及鈣鉀比3:1(S3)處理植株鉀含量44.4 mg/g，逐次降低，得到印證(表5)，此亦顯示鉀和鈣離子間在植物根系吸收上的拮抗性；植株內鈣含量則隨著營養液中鈣離子濃度的增加而增高(S1 處理為27.8 mg/g，S2處理為 39.9 mg/g，S3 為47.2 mg/g)，但當培養液的pH7以上時，植株內鈣含量顯著降低，顯示提供pH7以上的培養液，植株對鈣的吸收亦顯著下降(表6)；植株內鎂含量則未因營養液中鈣含量的增加而變化(表7)，顯示鈣、鎂離子間的拮抗性較鈣、鉀離子間之拮抗性為小；至於根瘤病菌侵入的根系數目與植株磷、鉀、鈣及鎂含量，經統計分析結果，並無顯著之相關存在。

表1. 營養液之pH值及不同鉀、鈣比對根瘤病菌侵入結球白菜(濱綠)苗期根系之影響

Table 1. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the Chinese cabbage seedling roots inoculated with *Plasmodiophora brassicae*.

Ca : K ratio	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
	Number of root infected/0.244mm				
1 : 1(S1)	124 <sup>f</sup>	16 <sup>b</sup>	3 <sup>a</sup>	32 <sup>cd</sup>	44
2 : 1(S2)	21 <sup>bc</sup>	18 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	11
3 : 1(S3)	8 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	50 <sup>de</sup>	68 <sup>e</sup>	35
Avg.	51	15	18	34	30

Note : The roots were examined after inoculating with *P. brassicae* for 144 hrs.

表2.營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期根系長度之影響

Table 2. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the root length of Chinese cabbage seedlings(cm).

Ca : K ratio	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
	Root length (cm)				
1 : 1(S1)	2.8 <sup>c</sup>	3.8 <sup>b</sup>	3.0 <sup>c</sup>	3.1 <sup>c</sup>	3.2
2 : 1(S2)	2.6 <sup>c</sup>	4.8 <sup>a</sup>	3.3 <sup>c</sup>	3.4 <sup>bc</sup>	3.3
3 : 1(S3)	3.6 <sup>b</sup>	3.2 <sup>c</sup>	4.3 <sup>ab</sup>	5.1 <sup>a</sup>	4.1
Avg.	3.0	3.9	3.5	3.9	
Distilled H <sub>2</sub> O	4.5				

Note : The data were the vertical lengths of seedling root after sowing for 14 days.

表3.營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期株高之影響

Table 3. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the plant height of Chinese cabbage seedlings.

Ca : K ratio	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
	Plant height (cm)				
1 : 1(S1)	5.3 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>b</sup>	4.5 <sup>b</sup>	2.8 <sup>c</sup>	4.3
2 : 1(S2)	4.2 <sup>b</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.2 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.4
3 : 1(S3)	5.6 <sup>ab</sup>	5.3 <sup>ab</sup>	5.3 <sup>ab</sup>	4.2 <sup>b</sup>	5.1
Avg.	5.0	5.2	5.0	4.3	
Distilled H <sub>2</sub> O	2.2				

Note : The data were the average of plant height of 20 seedlings after sowing for 14 days.

表4.營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期植株磷含量之影響

Table 4. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the phosphate content of Chinese cabbage seedlings

Ca : K ratio	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
	Phosphate content (mg/g)				
1 : 1(S1)	8.6	8.3	7.2	6.6	7.7
2 : 1(S2)	8.1	4.5	5.7	4.0	5.6
3 : 1(S3)	6.6	4.1	5.4	6.1	5.5
Avg.	7.8	5.6	6.1	6.2	
Distilled H <sub>2</sub> O	6.8				

Note : The plants were sampled after sowing for 14 days.

表5. 營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期植株鉀含量之影響

Table 5. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the potassium content of Chinese cabbage seedlings

Ca : K ratio	Potassium content (mg/g)				
	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
1 : 1(S1)	65.6	65.6	56.3	50.0	59.4
2 : 1(S2)	59.4	46.9	54.7	53.1	53.5
3 : 1(S3)	48.4	35.9	42.2	51.2	44.4
Avg.	57.8	49.4	51.1	51.4	52.4
Distilled H <sub>2</sub> O	39.1				

Note : The plants were sampled after sowing for 14 days.

表6. 營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期植株鈣含量之影響

Table 6. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the calcium content of Chinese cabbage seedlings

Ca:K ratio	Calcium content (mg/g)				
	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
1 : 1(S1)	40.4	32.3	26.1	12.2	27.8
2 : 1(S2)	40.4	48.2	36.0	34.9	39.9
3 : 1(S3)	48.5	66.5	39.2	34.6	47.2
Avg.	43.1	49.0	33.7	27.2	
Distilled H <sub>2</sub> O	11.3				

Note : The plants were sampled after sowing for 14 days.

表7. 營養液之pH值及不同鉀、鈣比對結球白菜(濱綠)苗期植株鎂含量之影響

Table 7. Effect of various pH and K-Ca ratios of nutrient solution on the magnesium content of Chinese cabbage seedlings

Ca : K ratio	Magnesium content (mg/g)				
	pH5	pH6	pH7	pH7.5	Avg.
1 : 1(S1)	9.3	8.6	8.1	6.7	8.1
2 : 1(S2)	7.9	8.5	7.1	8.4	8.0
3 : 1(S3)	7.4	7.2	6.8	7.4	7.2
Avg.	8.2	8.1	7.3	7.5	
distilled H <sub>2</sub> O	4.0				

Note : The plants were sampled after sowing for 14 days.

## 二、根瘤病土施用不同苦土石灰含量對根瘤病菌侵入結球白菜苗期根系之影響

對於根瘤病的防治，雖有學者傾向藥劑防治<sup>(29)</sup>，然大部份學者仍主張利用石灰做為主要的防治方法<sup>(10,13,14)</sup>，亦有學者利用土壤改良劑做為防治根瘤病方法<sup>(20)</sup>。根據Myers和Campbell<sup>(25)</sup>的研究發現在含鈉砂耕系統中，將pH調整至大於7.2，鈣或鎂含量大於2.5mM 時，則可抑制*P. brassicae*侵入根

系，Wang<sup>(1)</sup>和 Hsieh<sup>(7)</sup>亦稱在孢子密度 $1 \times 10^6$ 個/克土時，將土壤pH 值調整超過7.3及鈣含量達1,460 mg/kg時，即可抑制根瘤的生成，此外亦有許多研究亦認為土壤pH值達7.0 以上且土壤中鈣含量高時，即可抑制根瘤病生成。因此，適量施用石灰質材料，應可抑制根瘤病的發生。根據Tamura 和 Taketani (1977)<sup>(32)</sup>之田間試驗顯示，在罹病土直接播種結球白菜，30天後即會在根基部生成根瘤，40 ~45天後，根即因形成根瘤而萎凋。若育成健康苗後再種植，則可減輕萎凋情形，故育苗土的前處理，以育成健康苗株，再植於田間，似為目前減輕根瘤病受害程度的唯一途徑。本試驗即探討用含根瘤病菌之罹病土育苗時，所需的最適當苦土石灰用量，方能使結球白菜之苗株受到根瘤病菌的侵入程度，降到最低。所用之含根瘤病菌之罹病土土壤性質為pH4.9、電導度1.35 dS/m 25°C，Bray No.1 有效性磷含量114 mg/kg，Mehlich I 有效性鉀含量117 mg/kg，有效性鈣含量817 mg/kg，有效性鎂含量74 mg/kg，有效性鐵含量262 mg/kg，有效性錳含量27.2mg/kg，有效性鋅含量9.7 mg/ kg (以上鐵、錳、銅、鋅含量均以0.1N HCl抽出液萃取 )；經施用苦土石灰的不同用量後，其土壤性質的變化如表8、9所示，土壤pH值隨著苦土石灰用量的增加而增高，添加0.5%的苦土石灰，即可使土壤pH值由4.9上升至6.3，添加2.5%，即可使土壤pH值上升至7.3。土壤飽和抽出液之電導度，亦隨著苦土石灰的用量增加而上升，由原來的1.35 dS/m，上升至2.5%苦土石灰用量下的1.94 dS/m。有效性磷含量，則隨苦土石灰的用量的增加而有降低的趨勢。有效性鉀、鐵、錳和銅之含量之變化受施用苦土石灰的影響不大。有效性鈣和鎂含量則因苦土石灰本身含有多量的鈣和鎂、故隨苦土石灰的用量增加而增加。唯2%及2.5 %的施用量，其有效性鈣和鎂含量相近，分別為5710 mg/kg 及555 mg/kg左右，此係因苦土石灰溶解度的關係，亦顯示育苗土施用苦土石灰的極限為2%。播種後50天之苗株葉片的養分含量如表10所示，氮、鉀、鐵和銅含量在苦土石灰用量2%及2.5%之處理均有降低的趨勢；鈣、鎂、鋅含量則因施用苦土石灰而增加，唯不同苦土石灰用量處理間差異不明顯；根系中鉀和錳含量因施用苦土石灰而降低，鎂和銅含量則因施用苦土石灰而增加，唯不同施用量苦土石灰之各處理間差異不明顯(表11)，施用苦土石灰可促進結球白菜苗期的生育，其株高、葉重及根重等均較不施處理為高(表12)。播種50天之結球白菜苗株根系尚無根瘤腫大的現象，此可能係因溫度較低(苗期時溫度範圍在15°C~20°C) 而影響根瘤發育生長之故，至65天時則有明顯之根瘤腫大現象，根瘤平均直徑以不施用苦土石灰處理為最大(平均約0.52公分)，0.5%至2.0%之處理的根瘤平均直徑在0.36~0.43公分範圍內，唯2.5%之苦土石灰施用量之處理，其根瘤平均直徑0.46公分，僅次於不施用處理，而其生成根瘤的比率高達85%，遠較不施用處理的68 %為高(表13)，至於根瘤大小的分配比率，直徑大於 0.3 公分以上者，2.5%苦土石灰處理占有96%，較不施用處理的94%為高，其餘0.5%至2.0%苦土石灰處理則為72~86%不等之比率(表14)；顯示苦土石灰施用量過高反有促進根瘤發生之慮，故用本罹病土壤育苗時，其苦土石灰施用量不得超過2%。

表8.施用不同量之苦土石灰對土壤pH值、電導度及有效性磷、鉀和鈣含量之影響

Table 8. Effect of various application rates of dolomite on the soil pH, E.C. and the contents of available P, K and Ca in the soil.

Rates of dolomite application (%)	pH	E.C. (dS/m)	Available macro-elements (mg/kg)		
			P	K	Ca
Check	4.9	1.35	114	117	770
0.5	6.3	1.63	110	116	2270
1.0	6.6	1.68	96	125	3410
1.5	6.8	1.75	107	119	4240
2.0	7.2	1.87	91	112	5710
2.5	7.3	1.94	84	103	5630

Note : The soil was sampled before sowing.

表9.施用不同量之苦土石灰對土壤有效性鎂、鐵、錳、銅和鋅含量之影響

Table 9. Effect of various application rates of dolomite on the contents of available Mg, Fe, Mn, Cu and Zn in the soil.

Rates of dolomite application (%)	Available micro-elements (mg/kg)				
	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
0(Check)	74	262	27.2	2.53	9.7
0.5	290	271	30.8	3.04	10.6
1.0	381	249	30.2	2.65	19.8
1.5	485	237	28.5	2.38	15.8
2.0	555	226	33.3	2.73	22.7
2.5	562	227	33.8	2.36	18.9

Note : The soil was sampled before sowing.

表10.施用不同量之苦土石灰對結球白菜苗期葉片養分含量之影響

Table 10. Effect of various application rates of dolomite on the nutrient contents of Chinese cabbage seedling leaves.

Rates of dolomite application(%)	Macro-elements (mg/g)					Micro-elements (mg/kg)			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Check	37.1	3.6	34.4 <sup>a</sup>	8.6 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	119 <sup>a</sup>	26	3.45	22
0.5	30.7	3.3	31.3 <sup>ab</sup>	13.8 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	124 <sup>a</sup>	17	3.46	30
1.0	38.0	3.0	39.1 <sup>a</sup>	16.6 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	111 <sup>ab</sup>	16	3.30	38
1.5	31.3	4.9	35.9 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>	16	3.66	40
2.0	29.7	2.4	28.1 <sup>b</sup>	13.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	105 <sup>b</sup>	15	3.05	34
2.5	29.0	3.3	23.4 <sup>b</sup>	15.3 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	93 <sup>b</sup>	14	3.21	29

Note: The seedlings was sampled after sowing for 50 days.



表11.施用不同量之苦土石灰對結球白菜苗期根系養分含量之影響

Table 11. Effect of various application rates of dolomite on the nutrient contents of Chinese cabbage seedling root.

Rates of dolomite application (%)	Macro-elements (mg/g)					Micro-elements (mg/kg)			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Check	33.1	4.0	34.4	7.1 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>	229	52	6.50	64
0.5	29.0	2.4	21.9	1.9 <sup>b</sup>	3.1 <sup>b</sup>	231	19	8.70	53
1.0	30.6	2.9	29.7	2.7 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	237	18	7.60	55
1.5	29.4	2.5	31.3	7.3 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	324	21	9.90	60
2.0	26.7	3.8	31.3	6.4 <sup>ab</sup>	3.9 <sup>a</sup>	232	18	8.90	54
2.5	31.0	4.1	26.6	4.2 <sup>c</sup>	4.4 <sup>a</sup>	249	20	9.20	49

Note : As the table 10.

表12.施用不同苦土石灰施用量對結球白菜苗期生育之影響

Table 12. Effect of various application rates of dolomite on the growth of Chinese cabbage seedlings.

Rates of dolomite application (%)	Plant height (cm)	Root ength (cm)	Leaf weight (g/plant)	Root eight (g/plant)
Check	9.2 <sup>b</sup>	13.1	3.08 <sup>c</sup>	0.32 <sup>b</sup>
0.5	10.3 <sup>a</sup>	14.5	5.26 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>
1.0	10.9 <sup>a</sup>	14.2	5.31 <sup>a</sup>	0.40 <sup>ab</sup>
1.5	9.3 <sup>b</sup>	14.7	4.39 <sup>b</sup>	0.41 <sup>ab</sup>
2.0	10.3 <sup>a</sup>	12.9	5.97 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>
2.5	10.2 <sup>a</sup>	13.5	5.27 <sup>a</sup>	0.39 <sup>b</sup>

Note : As the table 10.

表13.病土施用不同苦土石灰施用量對結球白菜發生根瘤之影響

Table 13. Effect of various application rates of dolomite in infested soil on incidence of clubroot in Chinese cabbage.

Rates of dolomite application (%)	Ratio of clubroot (%)	Diameter of clubroot (cm)
Check	68 <sup>b</sup>	0.52 <sup>a</sup>
0.5	61 <sup>b</sup>	1.36 <sup>c</sup>
1.0	36 <sup>c</sup>	0.40 <sup>bc</sup>
1.5	54 <sup>b</sup>	0.43 <sup>b</sup>
2.0	37 <sup>c</sup>	0.38 <sup>bc</sup>
2.5	85 <sup>a</sup>	0.46 <sup>ab</sup>

Note : The clubroot of seedling was occurred 65 days after sowing.

表14.病土施用不同量之苦土石灰對結球白菜根瘤大小比例分布之影響

Table 14. Effect of various application rates of dolomite in infested soil on the rate of clubroot sizes of Chinese cabbage (unit : % ).

Rates of dolomite Application (%)	Size of clubroot (cm)		
	0.3 <	0.3-0.5	>0.5-0.7cm
Check	6	47	47
0.5	28	58	14
1.0	19	62	19
1.5	14	52	34
2.0	21	58	21
2.5	4	57	39

Note : As table 13 note.

## 參考文獻

1. 王肇芬。1986。十字花科蔬菜根瘤病抑病土之調查及抑病機制之研究。國立中興大學植物病理研究所碩士論文。
2. 李蘭帝。1996。大量植物樣本氮磷鉀之迅速測定法。農業研究 15(2):1-5。
3. 張淑賢。1981。本省現行植物分析法,作物需肥診斷技術。農試所特刊 第13號 p.53-59。
4. 張愛華。1981。本省現行土壤測定方法,作物需肥診斷技術。農試所特刊 第13號 p.9-26。
5. 1988。台灣十字花科蔬菜根瘤病菌菌系之調查與土壤酸鹼值及鈣離子對病原菌之影響。國立中興大學植物病理研究所碩士論文。
6. 楊慶鴻。1984。土壤添加物防治十字花科蔬菜根瘤病之研究。國立中興大學植物病理研究所碩士論文。
7. 謝文瑞、王肇芬。1986。十字花科蔬菜根瘤病抑病土之調查。植保會刊 287:353-362。
8. 謝文瑞。1992。十字花科蔬菜根瘤病菌之生態。作物絕對寄生真菌性病害研討會專刊 p.145-156。
9. 謝文瑞、黃一修。1988。十字花科蔬菜根瘤病之病原性生理分化。植保會刊 300:393-398。
10. Colhoun, J. 1953. Observations on the incidence of clubroot disease of *Brassicaceae* in limed soils in relation to temperature. *Ann. Appl. Biol.*, 40:639-644.
11. Datnoff, L. E., G. H. Lacy, and J. A. Fox. 1984. Occurrence and populations of *Plasmodiophora brassicae* in sediments of irrigation water sources. *Plant Disease*: 68:200-203.
12. Dobson, R. L. and R. L. Gabrielson. 1983. Role of primary and secondary zoospores of *Plasmodiophora brassicae* in the development of clubroot in Chinese cabbage. *Phytopathology* 73: 559-561.
13. Fletcher, J. T., M. J. Hims, F. C. Archer, and A. Brown. 1982. Effects of adding calcium and sodium salts to field soils on the incidence of clubroot. *Ann. Appl. Biol.*, 100:245-251.
14. Gries, G. A., J. G. Horsfall, and G. M. Jacobson. 1944. The balance of calcium and potassium in relation to clubroot of cabbage and potato scab. *Phytopathology*. 34:1001.
15. Hamilton, H. A. and R. Crete. 1978. Influence of soil moisture, soil pH and liming sources on the incidence of clubroot, the germination and growth of cabbage produced in mineral and organic soils under controlled conditions. *Can. J. Plant Sci.* 58:45-53.
16. Horiuchi, S. and M. Hori. 1980. A simple greenhouse technique for obtaining high levels of clubroot incidence.

- Chugoku National Agricultural Experiment Station, Bulletin, series E. (environment). 17:33-55.
- 17.Hsieh, W. H. and C. H. Yang. 1985. Investigation on the clubroot and the susceptibility of crucifers in Taiwan. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.).27:3-10.
  - 18.Ingram, D. S. and I. C. Tommerup. 1972. The life history of *Plasmodiophora brassicae* Wor. Proc. Roy. Soc. Lond. B., 180: 130-142.
  - 19.Kato, K., T. Kinoshita, K. Ito, T. Miyagawa, H. Koide, and S. Sugahara. 1983. Studies on control of the clubroot of Chinese cabbage by a combination of the cropping system and upkeep of soil fertility. 1. Difference of ground water table and physicochemical fluctuation of soil. Research Bulletin of the Aichi-Ken Agricultural Research Center. 15:244-249.
  - 20.Kinoshita, T., M. Arisawa, K. Kato, H. Koide, K. Hirota, T. Miyagahara, K. Ito, and S. Sugahara. 1984. Effects of soil amendment with organic materials on the suppression of clubroot disease in Chinese cabbage. Review Plant Pathology. 67:104.
  - 21.Macfarlane, I.. 1958. A solution-culture technique for obtaining root hair or primary infection by *Plasmodiophra brassicae*. J. Gen. Microbiol. 18:720-732.
  - 22.Macfarlane, I.. 1970. Germination of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* Trans. Br. Mycol. Soc., 55:97-112.
  - 23.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.
  - 24.Myers, D. F. and R. N. Campbell. 1981. Clubroot of crucifers in California soils respond differentially to lime for clubroot control.(Abstr.)Phytopathology, 71:1005-1006.
  - 25.Myers, D. F. and R. N. Campbell. 1982. Clubroot of crucifers : interaction of pH and nutrition in disease control (Abstr.) Phytopathology. 2:998.
  - 26.Myers, D. F. and R. N. Campbell. 1985. Lime and the control of clubroot of crucifers : Effects of pH, calcium, magnesium, and their interactions. Phytopathology. 75:670-673.
  - 27.Naiki, T., K. R. Kageyama, and H. Ikegami. 1978. The relation of spore density of *Plasmodiophora brassicae* Wor. to the root hair infection and club formation in Chinese cabbage. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 44: 432-439.
  - 28.Naiki, T., K. Tanahashi, and K. Kageyama. 1984. The relationship between root hair infection with *Plasmodiophora brassicae* Wor. and subsequent club formation among cruciferous species. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 50 (2): 211-215.
  - 29.Ohmori, K., T. Nakagawa, and K. Koike. 1986. Evaluation of N- (1-alkoxy-2, -2,-trichloroethyl)-2-hydroxybenzamides for clubroot control in Chinese cabbage. Plant Dis. 70:51-53.
  - 30.Scher, F. M. and R. Baker. 1980. Mechanism of biological control in a prime-suppressive soil. Phytopathology. 70:412-417.
  - 31.Takahashi, K. and T. Yamaguchi. 1988. A method for assaying the pathogenic activity of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* by fluorescence microscopy. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 54:466-475.
  - 32.Tamura, M. and K. Taketani. 1977. Ecological studies on clubroot of Chinese cabbage and its control. Bulletin of the Ishikawa-Ken Agricultural Experiment Station. 9:1-26.
  - 33.Tamura, M.. 1974. Studies on clubroot disease of Chinese cabbage. I. Relation between daylength and occurrence of the disease. Bulletin of the Ishikawa-Ken Agricultural Experiment Station. 8:31-36. The effects of soil fertility on the Clubroot of Crucifers.

# The effects of plant nutrition on the Clubroot of Crucifers

Chien-Hua Liao and Chun-Yen Yeh

## Summary

Studies on nutrient conditions for inhibiting infections of *Plasmodiophora brassicae* Wor., and practices to decrease clubroot disease of Chinese cabbage were the objectives of this experiment. Chinese cabbage seedlings were grown in nutrient solutions with various Ca/K ratios, and in growth chamber with 25/20 °C (day/night temperature), 80% relative humidity, and 10,000 lux intensity. Resting spores of *Plasmodiophora brassicae* ( $1 \times 10^7$  spores/ml, 5ml) were inoculated to the cultural solutions at the eighth day. After seven days of inoculation, seedling roots were sampled randomly, stained with 0.05% of acridine orange, then examined under fluorescent microscope, the infected rootlet were counted in 0.244mm of the central square region for each vision. Infections of the pathogen to secondary roots of the seedlings were almost completely prevented while the pH of nutrient solution was 7 or 7.5, and containing 10 mM Ca with 5 mM K (Ca/K ratio 2:1). On the basis of ion ratios, at 2:1 of Ca/K ratio, infection rate of secondary roots of the seedlings were about 1/4 and 1/3 compared with that of Ca/K ratio at 1:1 and 3:1 respectively. Despite the Ca/K ratio, the degrees of Chinese cabbage secondary roots infected by *P. brassicae* were insignificant while the nutrient solution with pH 6 and pH 7, that were only about 1/4 and 1/2 while the nutrient solution at pH5 and pH7.5 respectively. It were concluded that the infection of *P. brassicae* to the secondary roots were interactions of Ca/K ratio and pH value of the nutrient solution. We suggest to amend 0.5-2.0% (but less than 2%) of dolomite lime to the infested nursery soil, which might effectively inhibit the infection of *P. brassicae* to the Chinese cabbage seedling roots .

Key words: Plant nutrition, Clubroot.