

## 석회질소에 의한 배추뿌리혹병 방제효과

김점순\* · 이정태 · 이계준

고령지농업연구소

Effect of Calcium Cyanamide on Control of Clubroot of Chinese Cabbage Caused by *Plasmodiophora brassicae*

Jeom-Soon Kim\*, Jeong-Tae Lee and Gye-Jun Lee

National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration, Pyeongchang, Gangwon 232-955, Korea

(Received on October 15, 2006)

The effect of calcium cyanamide ( $\text{CaCN}_2$ ) on suppression of clubroot of Chinese cabbage was evaluated in the fields infested with *Plasmodiophora brassicae* at National Institute of Highland Agriculture, Pyeongchang, Korea, from 2002 to 2003. Calcium cyanamide was found to be more effective in reducing disease severity than flusulfamide dust powder. The optimal dosage of calcium cyanamide for control of clubroot of Chinese cabbage was 61 kg/10a. When calcium cyanamide was incorporated into soil at 5, 10, 15 and 20 days before planting (DBP), maximum disease suppression was obtained in the plot with calcium cyanamide, applied 5DBP. The fertilizer property of calcium cyanamide as a nitrogen fertilizer was also investigated by comparing with urea on cv. CR Gangta, a resistant variety of Chinese cabbage. The nitrogen uptake in calcium cyanamide treatment (17.6 kg/10a), was not significantly different from that of urea (17.8 kg/10a). These results indicated that calcium cyanamide could be used as a soil disinfectant as well as a nitrogen fertilizer.

**Keywords :** Calcium cyanamide, Chinese cabbage, Clubroot, Control

국내 배추 재배면적은 37,203 ha이며 이 중 노지재배는 34,147 ha, 시설 재배는 3,056 ha로 채소 중 고추에 이어 두 번째로 많이 재배되는 중요한 작물이다(농산물품질관리원, 2006). 그러나 최근 국내 대부분의 배추 재배포장에 뿌리혹병이 발생하여 피해가 심각한 실정이다. 뿌리혹병은 무사마귀병으로 불리다가 1998년부터 뿌리혹병으로 명칭이 바뀌었으며 현재까지 두 가지가 함께 사용되고 있다(한국식물병명목록, 1998). 국내 배추뿌리혹병의 발생면적에 대해서는 김 등(1997)이 1991년부터 1994년까지 경기도와 강원도 등 전국 5개 도에서 발병을 확인하였으며 경기 북부의 발생이 가장 심하였다고 하였다. 심 등(1998)도 1993년부터 1994년까지 경기도 고양과 평택의 배추재배포장이 심하게 감염되어 있다고 하였고, 고양의 일부 농가는 뿌리혹 병징을 선충의 피해로 오인하고 있었다고

보고한 바 있다. 이후 김 등(1999)은 1997년 제주도를 제외한 전국에서 275 ha, 1998년에는 295 ha, 1999년에는 5개 도 25개 시·군에서 700여 ha가 발생하여 해마다 발생지역이 확대되고 있다고 보고하였다. 특히 강원도의 고령지 배추 재배지대인 평창, 횡성, 홍천, 정선, 강릉, 태백, 삼척의 발생면적은 1996년 6.5 ha, 2000년 457.9 ha, 2005년 692 ha(강원도청 농정산림국, 개인교신)로 조사되어 급격한 증가를 보여주고 있다.

뿌리혹병의 방제를 위해 국내외에서 경종적 방제(Hidenori 등, 1994; Murakami 등, 2000), 저항성 품종의 선발 및 이용(Lee 등, 2001; 농촌진흥청, 2001), 약제의 이용(Tanaka, 1996; 홍 등, 2003; 장 등, 2005), 생물학적 방제(Narisawa 등, 1998) 등 다양한 방법이 연구되어 왔다. 이 중 현재 농가에서 가장 많이 사용하고 있는 방법은 저항성 품종과 토양처리 약제를 이용하는 것이다. 국내외 종묘회사에서 육성된 CR 계통의 저항성 품종들이 현재 대부분의 뿌리혹병 감염지역에서 재배되고 있다. 그러나 CR 품종들

\*Corresponding author

Phone) +82-33-330-7981, Fax) +82-33-330-7952

E-mail) kimjs@rda.go.kr

중에는 동일 포장에서 재배될 때 짧게는 3년에서 수년 내에 감수성이 되어 더 이상 재배할 수 없는 경우를 볼 수 있는데 이는 뿌리혹병균의 다양한 생리형이 지역에 따라 혼재되어 있기 때문에 이들의 재조합으로 인한 병원성의 차이 때문으로 생각되고 있다(Manzanares-Dauleux 등, 2001; Cho 등, 2003). 또한 약제는 실제 발생면적보다 포장 단위로 처리되어 용량이 많이 소요되고, 발생 지역에 따라 국가 또는 지자체 차원에서 지원되고 있지만 발생면적이 매년 확대되어 상당한 재정부담이 되고 있는 실정이다.

한편, 많은 유럽국가들과 호주, 뉴질랜드 등에서는 석회질소를 처리하여 뿌리혹병을 방제하고 있다. 석회질소의 뿌리혹병 방제 효과는 오래 전부터 알려져 왔으며 (Walker, 1935; Karling, 1968), 유럽연합 등에서는 현재 질소질 비료로 등록, 판매되어 뿌리혹병 방제를 위해 사용되고 있다(Klasse, 1996). 석회질소(calcium cyanamide, CaCN<sub>2</sub>)는 물과 접촉하게 되면 활성 성분인 시안아미드화수소(hydrogen cyanamide, H<sub>2</sub>CN<sub>2</sub>)와 수산화칼슘 (calcium dihydroxide, Ca(OH)<sub>2</sub>)으로 분해된다. 이 시안아미드화수소가 많은 병원성 진균의 성장과 포자 발아를 억제시켜 항진균 특성을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 식물체에 독성이 있어 제초효과를 나타낼 수도 있다. 시안아미드화수소는 7~14일이면 요소로 분해되어 암모니아태와 질산태 질소의 형태로 식물체에 이용된다(Klasse, 1996).

석회질소는 우리나라에도 질소질 비료로 등록되어 있으며 석회성분의 공급, 살충효과 등이 알려져 사용되고 있으나(주)풍농 담당자와의 개인 교신), 아직까지 배추뿌리혹병의 방제를 위하여 사용되고 있지는 않다. 본 시험은 배추뿌리혹병의 방제방법을 개발할 목적으로 석회질소의 적정 처리량과 처리시기를 구명하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

**경종적 개요.** 강원도 평창군 도암면 황계리 해발 800 m에 위치한 고령지농업연구소의 뿌리혹병 감염포장에서 2002~2003년에 수행되었다. 시험포장의 토양특성은 Table 1과 같이 치환성 칼슘과 칼륨 함량이 낮은 사질양토 계통으로 병원균의 밀도가 1.8×10<sup>4</sup> 수준이었다. 시험에 사용한 석회질소는 (주)풍농이 중국으로부터 수입한 10 kg

포대(질소함량 19%, 석회함량 50%)의 제품이었다. 배추는 60×35 cm 간격으로 6월 상순 정식하여 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 재배하였다.

**석회질소의 처리량 결정.** 석회질소의 처리량은 배추 재배할 때의 질소 기비량(11.5 kg/10a)과 같은 61 kg/10a을 기준으로, 107 kg/10a, 152 kg/10a 등 3수준으로 정식 15 일전에 처리하였다. 대조로 농가에서 많이 사용되고 있는 후루셀과마이드 분제를 배추 정식 7일전에 기준량(20 kg/10a)을 토양혼화 처리하였다. 시험구는 구면적 20 m<sup>2</sup>로 하여 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 배추의 품종은 뿌리혹병 감수성 품종인 강력여름배추를 이용하였다. 발병조사는 수확기(정식 후 60일)에 각 처리별로 발병주율, 발병도와 수량을 조사하였다.

**석회질소의 처리시기 결정.** 배추 정식 5, 10, 15, 20일 전에 석회질소를 61 kg/10a 처리하였고, 후루셀과마이드 분제(20 kg/10a, 정식 7일전 처리)와 방제효과를 비교하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 강력여름배추를 재료로 하였다. 정식 전 토양을 채취하여 휴면포자 밀도를 측정하고, 정식 후 40일에 각 처리별로 발병주율, 발병도와 수량을 조사하였다.

**석회질소의 질소질 비료로서 시비효율 검토.** 석회질소의 질소질 비료로서의 시비효율은 요소를 대조로 하여 검토하였다. 석회질소는 정식 5일전에 61 kg/10a를 처리하였고, 대조구는 요소 25 kg/10a과 소석회 200 kg/10a을 처리하였다. 또한 대조구에 후루셀과마이드 분제를 함께 처리하여 뿌리혹병의 방제효과도 조사하였다. 처리별 뿌리혹병의 방제효과는 이병성 품종인 강력여름배추, 비료흡수량은 저항성 품종인 CR 강타배추를 이용하여 검토하였다. 발병 조사는 정식 30일과 40일 후에 육안으로 발병주율을 조사하였고, 수확기(정식 후 60일)에 발병주율, 발병도, 수량과 질소흡수량을 조사하였다.

**토양 휴면포자 밀도조사.** Takahashi와 Yamaguchi(1987)의 방법을 개량한 형광현미경법(김 등, 2000)을 이용하였다. 시험구별 5개 지점에서 표토 0~15 cm의 토양 200 g을 채취하여 실내에서 풍건 후 곱게 빻은 다음 2 mm 체를 통과시켰다. 이 시료 10 g씩을 2개씩 평량하여 1개는 건조기에 건조시켜 수분함량을 측정하고 나머지 시료는 0.5%의 Tween 20을 첨가한 살균증류수를 가하여 20°C

**Table 1.** Soil characteristics of Chinese cabbage cultivation site before and after experiment at Pyeongchang

Investigation time	Soil texture	pH (1: 5)	EC (dS/m)	OM (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. (cmol+/kg)		
						K	Ca	Mg
Before	Sandy loam	6.3	0.85	2.5	362	1.1	2.4	1.0
After	Sandy loam	6.4	0.92	2.1	397	1.3	2.7	0.9

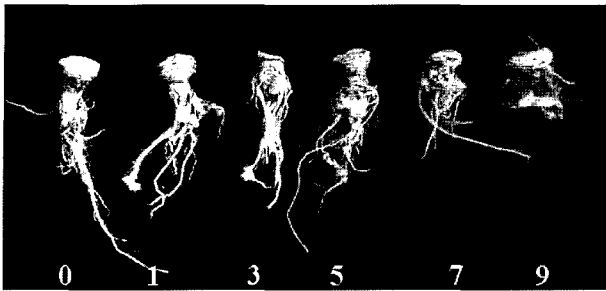


Fig. 1. Diseased rates (0-9) of clubroot of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*.

이하 온도에서 2시간 동안 160 rpm에서 진탕 후 현탁액을 0.1→0.05→0.025 mm체로 순차 여과하여 미세현탁액을 조제하였다. 미세현탁액에 2% 1N NaOH 용액을 2 ml 첨가하여 30분간 진탕한 후 40%(W/V)의 설탕용액 위층에 올리고, 10분간 정치시켜 큰 입자는 제거한 다음 1 ml를 채취하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고 상등액 0.95 ml를 제거하여 포자를 농축시켰다. 농축된 현탁액에 염색액(Calcofluor white M2R(200 mg/ml) in 40% glycerol : Ethidium bromide(200 mg/ml) in 40% glycerol = 1 : 1) 50 µl를 첨가하여 충분히 현탁한 다음 UV 형광 현미경을 사용하여 휴면포자를 계수하고 이를 토양 건물 1 g당 휴면포자수로 환산하였다.

**발병 조사.** 정식 후 30, 40일과 수확 당시에 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 조사하였다. 처리구별 발병주율을 조사하고, Fig. 1과 같이 발병 정도를 0~9까지 6단계(0: 뿌리혹 없음, 1: 세균에 소수의 뿌리혹 형성, 3: 주근에 작은 뿌리혹과 세균에 소수의 뿌리혹 형성, 5: 세균에 소수의 큰 뿌리혹과 주근에 중간 정도의 혹형성, 7: 주근세균에 큰 뿌리혹 형성소수의 건전 세균이 남음, 9: 건전한 세균이 없는 정도의 뿌리혹 형성)로 등급화하여 발병도 {DS(%)=Σ(각 등급×해당 등급의 개체수)×100/(전체개체수×9)}를 구하였다.

### 결과 및 고찰

**석회질소 처리량에 따른 뿌리혹병 발병 정도.** 석회질소 처리량에 따른 뿌리혹병의 발병 정도는 Table 2와 같다. 수확기의 발병주율은 모두 100%였으나 발병도에 있어서는 배추재배 기비량 기준 질소필요량인 61 kg/10a 처리구에서는 33%, 107 kg/10a 처리구에서는 47%, 152 kg/10a 처리구에서는 55%로 대조약제 77%에 비해서 발병 억제 효과가 인정되었다. 또한 이와 같은 효과로 수확기 배추의 평균 주중이 무처리가 836 g인데 비해 석회질소

Table 2. Effect of application amounts of calcium cyanamide on incidence of clubroot disease and yield of Chinese cabbage

Treatment	Diseased plant (%)	Disease severity (%)	Plant weight (g/plant)
CaCN <sub>2</sub> , 61 kg/10a	100 a <sup>a</sup>	33 c	1,560 a
CaCN <sub>2</sub> , 107 kg/10a	100 a	47 bc	1,553 a
CaCN <sub>2</sub> , 152 kg/10a	100 a	55 bc	1,599 a
Flusulfamide DP <sup>b</sup>	100 a	77 ab	1,520 a
Control	100 a	99 a	836 b

<sup>a</sup>Means followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

<sup>b</sup>DP: Dust powder.

처리구들은 각각 1,560, 1,553, 1,599 g으로 크게 증가하여 석회질소의 처리량은 61 kg/10a이 가장 적절한 것으로 나타났다. Naiki와 Dixon(1987)에 의하면 정식 7일전에 석회질소를 0~2,000 mg/kg이 되도록 토양에 처리하였을 때, 석회질소 함량이 2,000 mg/kg일 때는 전혀 발병을 하지 않아 토양 내 함량이 높을수록 뿌리혹병 발병은 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 또 Humpherson-Jones 등(1992)도 석회질소를 200 kg/ha 처리하는 것보다 300 kg/ha 처리하였을 때 발병정도는 감소하고 수량은 2배 이상 증가한다고 보고하였다. 본 시험에서 처리량을 2배 이상 증가시켰을 때 발병정도는 오히려 높아지는 경향이었으나 유의성은 없었으며, 이는 처리시기가 정식 전 15일로 다소 늦어 초기의 휴면포자 활성 억제효과가 낮았기 때문으로 생각된다.

**석회질소 처리시기에 따른 뿌리혹병 발병 정도.** 석회질소의 처리시기에 따른 뿌리혹병 발병 정도는 Table 3과 같다. 정식 후 40일에 조사한 결과, 발병주율은 모두

Table 3. Effect of application times of calcium cyanamide on resting spore density of *Plasmodiophora brassicae*, incidence of clubroot, and yield of Chinese cabbage at 40 days after planting in 2003

Treatment	Density of resting spore (×10 <sup>4</sup> spores /g soil)	Diseased plant (%)	Disease severity (%)	Plant weight (g/plant)
5 DBP <sup>a</sup>	7.74 b <sup>b</sup>	100 a	48 c	472 a
10 DBP	7.88 b	100 a	88 a	255 bc
15 DBP	5.28 b	100 a	88 a	181 cd
20 DBP	6.79 b	100 a	98 a	119 de
Flusulfamide DP <sup>c</sup>	7.48 b	100 a	67 b	331 b
Control	24.85 a	100 a	100 a	12 e

<sup>a</sup>DBP: Days before planting.

<sup>b</sup>Means followed by the same letters within a column are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

<sup>c</sup>DP: Dust powder.

100%였으나 발병도에서는 무처리가 100%인데 비해, 정식 5일전 처리가 48%, 10일전 처리가 88%, 15일전 처리가 88%, 20일전 처리가 98%로 나타났다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 후루설과마이드 분제는 67%로 조사되어 정식 5일전 처리가 더 우수한 방제효과를 보였다. 석회질소 처리시기에 따른 뿌리혹병 휴면포자의 밀도는 정식 후 40일에  $5.28 \times 10^4 \sim 7.88 \times 10^4/g$  토양으로 후루설과마이드 분제의  $7.48 \times 10^4/g$  토양과는 유의성이 없었으나 무처리  $24.85 \times 10^4/g$  토양에 비해서는 상당히 낮았다. 석회질소의 처리시기에 대해서는 Tremblay 등(2005)이 토양 pH의 상승효과에 따른 뿌리혹병 방제를 위하여 녹색 꽃양배추를 대상으로 석회질소(25 ton/ha)와 탄산칼슘( $CaCO_3$ ), 수산화칼슘[[ $Ca(OH)_2$ ]]의 처리효과를 비교하였다. 그 결과 석회질소 처리는 수산화칼슘에 비해 pH의 증가효과는 낮았으나, 작물재배 이전 해 가을에 탄산칼슘을 처리하여 토양 pH를 높인 후 정식 7일전에 석회질소를 처리하였을 경우 발병률을 크게 낮춰 수량을 14배 증가시키는 효과가 있었다고 하였다. 그러나 정식 14일전 처리에서는 수량을 증가시키지 못했으며 정식 후 처리는 전혀 효과가 없었다고 하였다. 이와 같은 결과는 석회질소 처리가 토양 중 휴면포자의 활성을 억제하여 1차 감염을 감소시키는 효과가 큰데, 그 분해 속도가 7~14일로 빨라 처리시기가 배추 정식기에 가까울수록 그 효과가 크기 때문으로 분석되고 있다. 본 시험에서도 석회질소의 pH 증가효과는 크지 않았으며(Table 1), 정식 5일전 처리가 가장 방제효과가 높아 유사한 결과를 보여주었다.

**석회질소의 질소질 비료로서 시비효율 검토.** 감수성 품종인 ‘강력여름’ 배추의 생육시기에 따른 발병 정도를 조사한 결과, 대조구로 요소비료와 소석회를 같이 처리한 경우, 정식 후 30일에 100%의 발병주율을 보였으나 석회질소 처리의 경우에는 발병하지 않았으며, 정식 후 40일에 42%의 발병주율을 보여 발병 지연 효과가 뚜렷한 것

**Table 4.** Effect of calcium cyanamide, flusulfamide DP and urea on the development of clubroot of cv. ‘Gangryeok Yeoreum’, a susceptible Chinese cabbage

Treatment	Diseased plant (%)		
	30 DAP <sup>a</sup>	40 DAP	Harvesting time
CaCN <sub>2</sub> (61 kg/10a)	0	42	100
Urea <sup>b</sup> +flusulfamide DP	0	43	100
Urea	100	100	100
LSD 0.05	0	1.31	0

<sup>a</sup>DAP: Days after planting.

<sup>b</sup>Urea: Urea fertilizer (25 kg/10a)+ calcium hydroxide ( $Ca(OH)_2$ ), 200 kg/10a).

**Table 5.** Effect of calcium cyanamide, flusulfamide DP and urea applied at harvesting time on the development of clubroot of a susceptible (cv. ‘Gangryeok Yeoreum’) and a resistant cultivar(‘CR Gangta’) of Chinese cabbage, yield and nitrogen uptake under field condition

Treatment	Cultivar	Disease severity (%)	Yield (kg/10a)	Amount of nitrogen uptake <sup>a</sup> (kg/10a)
CaCN <sub>2</sub> (61 kg/10a)	Gangryeok Yeoreum	56	3,228	-
Urea <sup>b</sup> +flusul-famide DP		68	3,503	-
Urea		97	1,355	-
		LSD 0.05	19.6	940.5
CaCN <sub>2</sub> (61 kg/10a)	CR Gangta	0	5,884	17.6
Urea+flusul-famide DP		0	6,151	18.5
Urea		0	5,920	17.8
		LSD 0.05	937.1	3.7

<sup>a</sup>Amount of nitrogen uptake: rate of dry matter = 10%, content of T-N = 3%.

<sup>b</sup>Urea: Urea fertilizer (25 kg/10a)+ calcium hydroxide ( $Ca(OH)_2$ ), 200 kg/10a).

으로 판단되었다(Table 4). 또한 배추 수확기의 발병도에 있어서도 요소비료 97%에 비해 56%로 방제효과가 인정되었으며 이는 등록약제인 후루설과마이드 분제 처리의 68%보다도 낮았으나 유의성은 없었다(Table 5). 이 때의 수량에 있어서도 요소의 1,355 kg/10a에 비해 석회질소가 3,228 kg/10a로 발병지연에 따른 수량증가가 뚜렷하였다. 반면 뿌리혹병 저항성 품종인 ‘CR 강타’의 경우에는 석회질소와 요소 처리구 모두에서 수확시까지 뿌리혹병이 발병되지 않았으며, 수량과 질소 흡수량을 조사한 결과, 수량에 있어서 요소의 5,920 kg/10a보다 석회질소가 5,884 kg/10a으로 다소 낮았으나 유의성이 없었으며, 질소 흡수량에 있어서도 요소비료의 17.8 kg/10a에 비해 석회질소 처리구가 17.6 kg/10a으로 거의 차이가 없었다. 이상의 결과를 종합해 보면 고랭지 배추 재배할 때 기비용으로 사용하는 질소질 비료를 석회질소로 대체하여 필요량을 시비할 경우 약제와 비슷한 방제효과를 얻으면서 시비효율도 떨어지지 않아 경영적인 측면에서 매우 유리할 것으로 판단되었다.

본 실험들에서 살펴본 바와 같이 석회질소의 방제효과를 증대시키기 위해서는 작물에 맞는 석회질소의 처리량과 처리시기 등을 고려해야 한다. Klasse(1996)에 의하면 석회질소의 효과적인 이용을 위해서는 석회질소의 용해와 시안아미드화수소의 토양 내로의 확산을 위해 충분한 수분이 필요하고, 충분한 양을 처리해야 하며, 식물에 대한 독성이 나타나지 않는 한 처리 후 빨리 정식하는 것

이 좋다고 하였다. 또 Donald 등(2004)은 석회질소의 입자가 고르고 작을수록 토양 내에 고루 분포되어 효과가 증가된다고 하였고, 특히 석회질소의 비용을 줄이기 위하여 석회질소의 처리는 전면처리(1500 kg/ha)보다 이랑에 15 cm 깊이로 처리(500 kg/ha)하는 것이 좋다고 하였다. 현재 국내에 수입되고 있는 석회질소는 입자가 굵고 고르지 않은데 앞으로 입자가 더 작고 고른 제품이 사용된다면 그 효과는 더 높을 것으로 생각된다. 석회질소는 배추 이외의 다른 십자화과 작물의 뿌리혹병 방제를 위하여도 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 이 때는 작물에 따른 처리량, 처리시기, 토양조건 등에 대한 정밀한 시험을 실시하여야 할 필요가 있다. 석회질소는 현재 다른 비료에 비하여 다소 높은 가격에 판매되고, 그 효과가 잘 알려지지 않아 널리 이용되고 있지 않으나, 앞으로 비료와 뿌리혹병 방제약제에 대한 지원이 없다면 비슷한 가격대에서 질소질 비료 및 약제의 대응으로 그 사용이 매우 증가할 것으로 생각된다.

## 요 약

국내 배추 재배지에서 큰 문제가 되고 있는 뿌리혹병을 석회질소로 방제하는 방법을 구명하기 위하여, 고려지 농업연구소의 뿌리혹병 다발포장에서 2002~2003년에 걸쳐 시험을 실시하였다. 석회질소의 처리량은 배추에 대한 질소질 비료 기비량과 같은 61 kg/10a 처리할 때, 33%의 발병도를 보여 대조약제인 후루설파마이드의 77%에 비해 우수한 방제 효과를 보였다. 석회질소를 배추 정식 전 5, 10, 15, 20일에 처리한 결과, 정식 5일전 처리가 48%의 발병도를 보여 후루설파마이드 분제의 67%에 비해 발병 억제 효과가 인정되었다. 석회질소와 요소비료를 이용하여 재배한 배추의 수확기 질소 흡수량은 요소가 17.8 kg/10a, 석회질소가 17.6 kg/10a으로 유의성이 없었다. 이와 같은 결과로 볼 때 석회질소는 질소질 비료로서 뿐만 아니라 배추뿌리혹병을 방제하기 위한 화학약제의 대응으로서 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

Cho, W. D., Kim, W. G. and Takahashii, K. 2003. Occurrence of clubroot in cruciferous vegetable crops and races of the pathogen in Korea. *Plant Pathol. J.* 19: 64-68.  
 Donald, E. C., Lawrence, J. M. and Porter, I. J. 2004. Influence of particle size and application method on the efficacy of calcium cyanamide for control of clubroot of vegetable brassicas. *Crop Protection* 23: 297-303.

국립농산물품질관리원. <http://www.naqs.go.kr/statisticsInfo/statisticsInfo03-1-2.jsp> (2006.05.22).  
 한국식물병리학회. 1998. 한국식물병명명목록 제3판. 123 pp.  
 Hidenori, I., Seiko, O., Tuneo, U. and Toru, K. 1994. Analysis of soil water matric potential requirement for infection of turnip with *Plasmodiophora brassicae* using negative pressure water circulation technique. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40: 293-299.  
 홍순성, 김진영, 박경열. 2003. 배추뿌리혹병(*Plasmodiophora brassicae*) 방제를 위한 육묘용 상토와 농약처리 효과. *식물병연구* 9: 64-67.  
 Humperson-Jones, F. M., Dixon G. R., Graig, M. A. and Ann, D. M. 1992. Control of clubroot using calcium cyanamide- a review. Brighton Crop protection Conference, Proceedings 1147-1154.  
 Karling, J. S. 1968. *The Plasmodiophorales*. Hafner, New York.  
 김충희, 조원대, 김홍모. 2000. 배추뿌리혹병균의 토양 내 분포. *식물병 연구* 6: 27-33.  
 김충희, 조원대, 양종문. 1999. 배추뿌리혹병 발생실태와 뿌리혹의 생성생태. *식물병과농업* 5: 77-83.  
 김두욱, 오정행. 1997. 배추 무사마귀병의 발생상황과 병원균(*Plasmodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추품종의 병저항성. *한국식물병리학회지* 13: 95-99.  
 Klasse, H. J. 1996. Calcium cyanamide-an effective tool to control clubroot-a review. *Acta Hort.* 407: 403-409.  
 Lee, S. B., Lee, C.S., Kim, S. K., Hong, S. S., Choi, J. K., Lee, J. H. and Kim, C. H. 2001. Screening resistant varieties of crucifer crops to clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae* in Korea. *Plant Pathol. J.* 17: 369-370 (abstract).  
 Manzanera-Dauleux, M. J., Divaret, I., Baron, F. and Thomas, G. 2001. Evaluation of French Brassica oleracea landraces for resistance to *Plasmodiophora brassicae*. *Euphytica* 113: 211-218.  
 Murakami, H., Tsushima, S. and Shishido, Y. 2000. Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1637-1642.  
 Naiki, T. and Dixon, G. R. 1987. The effects of chemicals on developmental stages of *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). *Plant Pathol.* 36: 316-327.  
 Narisawa, K., Tokumasu, S. and Hashiba, S. 1998. Suppression of clubroot formation in Chinese cabbage by the root endophytic fungus, *Heteroconium chaetospora*. *Plant Pathology* 47: 206-210.  
 농촌진흥청. 2001. 십자화과 채소의 뿌리혹병 발생생태 및 방제 대책 연구. 대형공동과제 완결보고서. 111 pp.  
 심홍식, 박진우, 이정운, 성재모. 1998. 배추 무사마귀병 피해양상과 약제방제에 관한 연구. *작물보호논문집* 40: 23-28.  
 Takahashi, K. and Yamaguchi, T. 1987. An improved method for estimating the number of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in soil. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 53: 507-515.  
 Tanaka, S. 1996. Recent progress in studies on clubroot disease of crucifers. *Shokubutsu Boeki (Plant Protection)* 50: 281-284.

- Tremblay, N., Belec, C., Coulombe, J. and Godin, C. 2005. Evaluation of calcium cyanamide and liming for control of clubroot disease in cauliflower. *Crop Protection* 24: 798-803.
- Walker, J. C. 1935. Calcium cyanamide in relation to control of clubroot of cabbage. *J. Agric. Res.* 51: 183-189.
- 장현철, 이선욱, 김점순, 윤여순, 최근숙, 김학기, 김병섭. 2005. Flusulfamide 입제에 의한 배추무사마귀병의 방제효과. *식물병연구* 11: 43-47.