

굴껍질 시비수준이 사과 고두병 발생에 미치는 영향

허재영 · 이성태 · 김민근 · 홍광표 · 송원두 · 노치웅 · 조주식¹ · 이영한*

경상남도농업기술원, ¹순천대학교 생명환경과학부

Relationship between the Incidence of Bitter pit and the Application Level of Crushed Oyster Shell in Apple Orchard

Jae-Young Heo, Seong-Tae Lee, Min-Geun Kim, Kang-Pyo Hong, Won-Doo Song,
Chi-Woong Rho, Ju-Sik Cho¹, and Young-Han Lee*

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

¹Division of Applied Life and Environmental Sciences, Sunchon National University, Suncheon 540-742, Korea

For enhancement of apple productivity, the calcium fertilizers to increase the calcium content of fruit, and reduce the incidence of bitter pit in apples are applied. Crushed oyster shell contains a plenty of calcium carbonate, and a very small amount of boron, ferrous, and manganese. A field study was conducted to determine the optimum level of crushed oyster shell for soil nutrient management, and its effect on the induction of bitter pit in cultivar ‘Gamhong’ apple. The application of crushed oyster shell increased organic matter, available phosphate, and exchangeable cation concentration in soil. We found a significant positive correlation between soil pH, and application level of crushed oyster shell in both top, and subsoils. The incidence of bitter pit in apple fruit at the harvest stage was significantly higher in non treatment and calcium-magnesium carbonate treatment than on over applications 4 Mg ha⁻¹ for crushed oyster shell. However, the optimum level of crushed oyster shell was 2 Mg ha⁻¹, especially considering the soil Ca content, soil pH, fruits weight, and yield. Our results show that the crushed oyster shell can be effective in restoring the soil nutrient balance, and inducing the bitter pit in apple fruit.

Key words: Crushed Oyster shell, Bitter pit, Apple, Calcium carbonate, Application

서 언

우리나라 과수원은 대부분 경사지에 분포하기 때문에 여름 강우 시 염기 용탈이 심하여 토양이 산성화 되기 쉬우므로 토양개량을 위해 석회 시용을 권장하고 있다 (Jung et al., 1993; Jung et al., 2007; Lee et al., 2000; Lee et al., 2006 NIAST, 2006). 굴껍질은 약 93-96%가 CaCO₃ 형태로 구성되어 있으며 일부가 CaO 형태로 존재 한다고 알려져 있다 (Yoon et al., 2003). 따라서 굴껍질을 소성하고 분쇄하여 산성토양의 개량제로 활용하기 위한 다각적인 연구가 많이 있으며 다양한 작물의 수량증대에도 효과가 있다 (Ha et al., 1998a, 1998b; Kim et al., 1995; Lee et al., 1997; Lee et al., 2004; Lee et al., 2005b Shin et al., 2000). 또한, 굴껍질은 토양

pH를 교정함으로써 토양 중금속의 안정화에도 효과적이다 (Kim et al., 2001; Lee et al., 2005a Moon et al., 2002; Moon et al., 2009). 하지만 이러한 다양한 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 매년 발생하는 굴껍질 30만톤 정도에서 약 50%는 채묘용으로 10%는 농업용 비료와 공업용 원료로 재활용되고, 나머지 40%는 해안지역에 쓰레기로 야적 방치되어 있는 실정이다 (Shin et al., 2000). 현재 약 10%의 굴껍질이 폐화석비료 원료로 사용되고 있으나 생산 단가가 석회비료에 비해 2배 이상 높고 대량 처리에는 어려움이 있어 재활용 방안이 절실히 요구되고 있다.

농촌진흥청 원예연구소에서 육성한 ‘감홍’은 스페어 리블레이즈에 스퍼플든 테리셔스를 교배하여 1992년에 최종 선발한 사과 품종이다 (Chung et al., 2005). 우리나라 기후 풍토에 적합한 ‘감홍’은 당도가 높고 육질이 연하며 식미가 우수하지만 고두병에 감수성이 높은 품종으로 안정적인 재배가 매우 어렵다 (Chung et al., 2005). 사과의 고두병 발생률은 착과량이 적을수록 높은

접수 : 2010. 9. 29 수리 : 2010. 10. 14

*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

경향이 있고 발생 정도도 심하며 (Seo et al., 2007) 수체 내 칼슘함량과 밀접한 관계가 있다 (Mason et al., 1975). 고두병 장애과는 건전과에 비해 질소 칼륨 함량이 높고, 칼슘 함량이 낮아 N/Ca, K/Ca비가 높은 특징이 과육에서 뚜렷하게 나타났으나 품종 고유의 유전적인 특성이 더 큰 요인으로 알려졌다 (Kim and Ko, 2004). Moon et al. (1998 and 1999)은 굴껍질에서 추출한 액상 칼슘을 사과에 수관살포한 결과 사과 과실의 칼슘 축적을 증가시키고 고두병 발병이 감소된다고 하였다. 이와 같이 고두병은 여러 가지 환경적인 요소가 기인하지만 칼슘이 관여한다는 건 대부분의 연구결과에서 보고가 되어 왔다 (Burmeister and Dilley, 1991; Cooper and Bangerth, 1976; Failla et al., 1990; Ferguson and Watkins, 1983; Kim and Lee, 2000; L tze et al., 2008; Witney et al., 1991).

따라서 본 연구는 고두병에 영향을 미치는 칼슘을 공급하기 위하여 석회물질인 굴껍질을 이용하였다. 굴껍질은 소성과정을 생략하고 대량으로 사과 ‘감홍’ 과수원에 사용하여 사과의 고두병 발생에 미치는 효과를 검토하고 석회고토 및 패하석비료를 대체할 수 있는 석회자재로서 활용가치를 높이고자 수행하였다.

재료 및 방법

사과 재배지 선정 및 시비방법 시험토양은 경상남도 거창군 가조면에 있는 과수원으로 경사도가 8%되는 미사질양토이며 현지 농가포장에서 재배되는 15년생 사과 ‘감홍’을 시험수로 이용하였다. 시험 전 토양 화학성은 Table 1과 같이 표토와 심토의 pH는 4.6, 4.4로 강산성 토양이었으며 치환성 Ca 함량이 표토는 4.4 cmol_c kg⁻¹, 심토는 3.0 cmol_c kg⁻¹으로 매우 부족하였다. 과수원에 처리한 굴껍질 시료는 경상남도 통영시 광도면 일원에 6개월 정도 방치 된 굴껍질을 수거하여 입도 10 mm 이하로 분쇄하여 사용하였으며 성분함량은 Table 2와 같이

알칼리분 41.8%를 함유하였다. 모든 처리구의 토양 양분관리를 위해 2008년도에 토양검정 시비량인 N-P₂O₅-K₂O = 104-34-70 kg ha⁻¹와 돈분 퇴비 16 Mg ha⁻¹을 사용하였다. 굴껍질은 2008년도에 석회고토 소요량 2 Mg ha⁻¹를 기준으로 석회 무시용구, 석회고토 2 Mg ha⁻¹ 처리구, 굴껍질 2 Mg ha⁻¹, 4 Mg ha⁻¹, 8 Mg ha⁻¹, 16 Mg ha⁻¹을 시험수 주위 토양 10 cm 깊이에 사용 후 복토하였다. 2009년에는 각 처리구의 토양검정 시비량인 N-P₂O₅-K₂O = 100-30-55 kg ha⁻¹, 돈분 퇴비 15 Mg ha⁻¹만 각각 처리하여 굴껍질의 완효적인 사용효과를 검토하였다.

토양 시료조제 및 분석방법 분석에 사용된 토양 시료는 표토 (0-20 cm)와 심토 (20-40 cm)로 구분하여 500 g 정도를 3반복으로 채취하였으며 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 화학분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법 (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로, 염류농도 (EC)는 EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin 법으로 측정하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 치환성 K, Ca, Mg 및 Na 등의 양이온은 1 M NH₄OAc로 추출하고 No. 2 여지로 여과하여 ICP (Optima 5300DV, PerkinElmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

사과 고두병 및 품질 조사 고두병 발생률은 수확일에 전체 과실에 대해 발생된 과실의 백분율로 나타내었으며 고두병 발생 정도는 과실에 발생한 반점으로 확인하였다. 과육의 경도는 probe의 직경이 5 mm인 물성측정기 (TA-XT2, Stable microsystem, England)를 사용하여 측정하였고 당도는 과실을 1/4등분으로 자른 후 분쇄하여 즙을 내어 굴절당도계 (Atago, Japan)로 측정하였다.

Table 1. The chemical properties of soil before treatment of crushed oyster shell.

Soil depth	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. cations			
					K	Ca	Mg	Na
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
Top soil	4.6	0.19	48	952	1.0	4.4	2.2	0.10
Subsoil	4.4	0.17	12	258	0.8	3.0	2.0	0.09

Table 2. The chemical properties and moisture content of crushed oyster shell.

pH	EC	OM	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	NaCl	Moisture content	Akalinity
1:5	dS m ⁻¹	-----				%	-----		
8.5	16.5	1.0	0.15	0.14	0.32	0.16	0.50	13.9	41.8

Table 3. The chemical properties of top soil after harvesting in 2009.

Treatments	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)	-----	-----
Control	5.6b [§]	0.38ab	28a	939a	0.98a	4.6b	1.1b	0.05b
CMC [†] 2 Mg ha ⁻¹	6.5a	0.45a	31a	848ab	0.75ab	8.3a	1.4ab	0.07ab
COS [‡] 2 Mg ha ⁻¹	6.5a	0.39ab	28a	904a	0.93a	7.4ab	1.5ab	0.05b
COS 4 Mg ha ⁻¹	6.6a	0.25b	27a	829ab	0.76ab	8.0ab	1.4ab	0.07ab
COS 8 Mg ha ⁻¹	6.5a	0.35ab	28a	837ab	0.58b	8.5a	1.3ab	0.11a
COS 16 Mg ha ⁻¹	6.7a	0.37ab	29a	708ab	0.74ab	10.6a	1.6a	0.10a

[†]CMC: Calcium-magnesium carbonate; [‡]COS: Crushed oyster shell; [§]Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 4. The chemical properties of subsoil after harvesting in 2009.

Treatments	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)	-----	-----
Control	5.3c [§]	0.28a	14a	237c	0.57a	3.0b	0.9a	0.07a
CMC [†] 2 Mg ha ⁻¹	5.7c	0.22a	11a	445ab	0.45a	3.7ab	0.8a	0.10a
COS [‡] 2 Mg ha ⁻¹	6.2a	0.18a	11a	521ab	0.45a	4.5ab	1.3a	0.07a
COS 4 Mg ha ⁻¹	6.1ab	0.16a	10a	538a	0.59a	4.5ab	0.9a	0.08a
COS 8 Mg ha ⁻¹	6.1ab	0.16a	13a	331bc	0.34a	5.2a	1.0a	0.09a
COS 16 Mg ha ⁻¹	6.2a	0.14a	10a	429abc	0.41a	5.0a	1.2a	0.09a

[†]CMC: Calcium-magnesium carbonate; [‡]COS: Crushed oyster shell; [§]Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

토양 및 사과품질 통계분석 토양 화학성과 사과 품질은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다. 또한 굴껍질 시용수준과 토양 화학성 및 고두병 발생 비율의 상관관계를 검토하였다.

결과 및 고찰

표토 및 심토 화학성 분석결과 굴껍질의 잔효를 비교하기 위해 수확기 표토의 화학성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 토양 pH는 토양개량제를 시용한 모든 처리구가 무처리구에 비해 0.9-1.1 유의적인 pH 교정 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 석회소요량을 시용하였을 때 논에서 산도교정 효과 (Lee et al., 1997)와 밭에서 잔효 (Ha et al., 1998b) 및 사과 과수원에서 pH의 상승효과 (Lee et al., 2004)와 유사하였다. 굴껍질을 석회고토와 동일하게 2 Mg ha⁻¹ 처리한 결과 표토 pH는 6.5, EC 0.39 dS m⁻¹, 유기물 28 g kg⁻¹, 유효인산 904 mg kg⁻¹, 치환성 칼슘 7.4 cmol_c kg⁻¹이었으며 석회고토 처리구와 차이가 없었다. 또한, 석회소요량의 8배인 굴껍질 16 Mg ha⁻¹ 처리구에서도 표

토의 pH는 6.7, EC 0.37 dS m⁻¹, 유기물 29 g kg⁻¹, 유효인산 708 mg kg⁻¹, 치환성 칼슘 10.6 cmol_c kg⁻¹로 시용량이 많을수록 토양의 치환성 칼슘이 증가되는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었다. 이러한 경향은 굴껍질 자체가 소성과정이 없고 입도가 크기 때문에 패화석비로 보다 분해속도가 느려 석회성분이 서서히 용출되는 완효적인 효과와 뿌리에서 발생한 CO₂에 의해 생성된 HCO₃⁻의 영향으로 생각된다 (Shin et al., 2000). 굴껍질 2 Mg ha⁻¹ 처리구의 표토 치환성 나트륨 함량은 무처리구와 동일한 수준이었으나 시용량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 그러나 표토 치환성 나트륨 함량은 2006년 전국 사과 과수원 291개소의 토양 평균치 0.17 cmol_c kg⁻¹ 보다 낮은 수준이었다 (NIAST, 2007).

수확기 심토의 화학성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 모든 처리구에서 표토의 화학성분에 비해 심토의 화학성분들이 낮아졌다. 특히, 유기물, 유효인산, 치환성 칼슘 함량이 심토에서 급격히 낮아졌는데 이것은 토양에서 이동이 느린 특성에 기인된 것으로 판단되며 Papiernik et al. (2009)의 결과와 일치하였다. 심토의 유효인산 함량은 무처리구 237 mg kg⁻¹에 비해 석회고토 및 굴

Table 5. Growth and yield of 'Gamhong' apple in 2009.

Treatments	Growth and yield of fruits				Fruits quality	
	No. of fruits per tree	Fruits weight	Rate of bitter pit	Yield	Soluble solids	Hardness
		g	%	Mg ha ⁻¹	°Brix	kg 5φmm ⁻¹
Control	143a [§]	269ab	10.4a	19.18a	12.9a	1.99a
CMC [†] 2 Mg ha ⁻¹	135a	284ab	8.9ab	19.23a	12.9a	1.98a
COS [‡] 2 Mg ha ⁻¹	166a	306a	7.6b	21.38a	12.6a	1.95a
COS 4 Mg ha ⁻¹	108a	255ab	3.7a	19.90a	12.1a	2.04a
COS 8 Mg ha ⁻¹	113a	279ab	2.6a	20.80a	12.7a	2.18a
COS 16 Mg ha ⁻¹	112a	249b	2.6a	20.38a	12.4a	2.12a

[†]CMC: Calcium-magnesium carbonate; [‡]COS: Crushed oyster shell; [§]Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

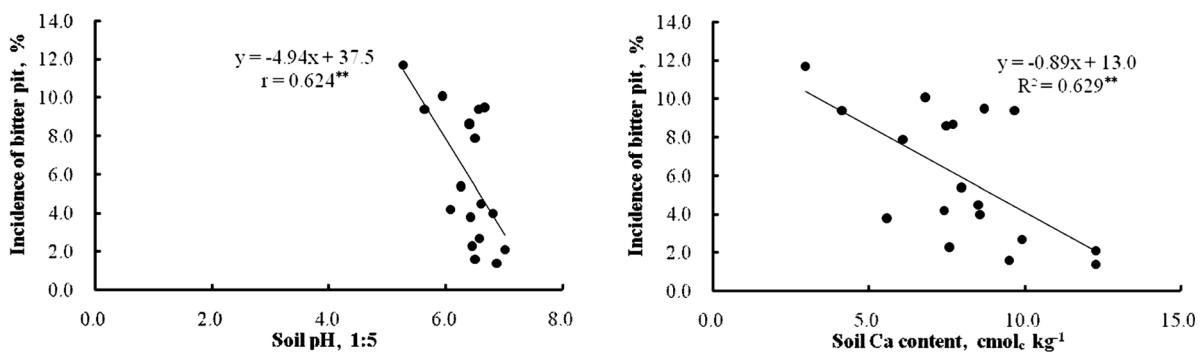


Fig. 1. A correlation coefficient between incidence of bitter pit, and chemical properties along with top soil ($n=18$). A significant values reported as $**p<0.01$.

껍질 2 Mg ha⁻¹ 및 4 Mg ha⁻¹ 처리구에서 유의적인 증가를 보였다. 이러한 결과는 토양 pH 교정에 의한 인산의 가용율이 높아진 것으로 판단되었으며 굴껍질 8 Mg ha⁻¹ 이상 처리할 경우 심토의 인산 가용율은 낮아지는 것으로 나타났다. 또한, 심토의 치환성 칼슘 함량은 무처리구에서 3.0 cmolc kg⁻¹으로 가장 낮았고 굴껍질 사용량이 증가할수록 유의적인 증가를 보였다.

수량 구성요소 및 품질 석회고토와 굴껍질을 각각 사용하여 수확 후 과실의 수량 구성요소와 사과 특성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 착과수는 굴껍질 2 Mg ha⁻¹ 처리구에서 그루당 166개로 가장 많았고 굴껍질 4 Mg ha⁻¹ 이상 처리구는 그루당 108-113개로 적었으나 유의적인 차이는 없었다. 또한, 과실의 무게도 굴껍질 2 Mg ha⁻¹ 처리구에서 306 g으로 가장 무거웠고 굴껍질 16 Mg ha⁻¹ 처리구에서 유의적으로 가벼웠다. 이러한 결과는 굴껍질 사용량을 4 Mg ha⁻¹ 이상 처리할 경우 사과의 경도가 높아지는 것으로 볼 때 칼슘의 과잉 흡수로 인한 착과수와 과일중량이 감소된 것으로 판단되었다. 고두병 발생비율은 무처리구가 10.4%로 가장 높았으며 굴껍질 4 Mg ha⁻¹ 이상 처리할 경우 3.7% 이하로 유의적인 감소를 보였다. 굴껍질 2 Mg ha⁻¹ 처

리구에서는 무처리구 보다 고두병 발생비율이 낮았으나 7.6%의 높은 비율을 보여 여름철 집중강우에 양분용탈이 심한 경사지 사과 과수원에서는 석회소요량의 2배 이상을 굴껍질로 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 석회고토 처리구의 고두병 발병비율은 8.9%로 무처리구와 비슷한 수준으로 매우 높았다. 이러한 경향은 Table 3에서와 같이 수확기 토양의 마그네슘 함량이 낮은 것으로 보아 석회고토에 함유된 마그네슘이 칼슘흡수를 억제하기 때문인 것으로 판단되었다 (Burmister and Dilly, 1991; Cooper and Bangerth, 1976). 따라서 사과 과수원의 고두병 발생을 경감할 수 있는 토양개량제로서 Moon et al. (1999)이 보고한 바와 같이 굴껍질이 석회고토 보다 유용할 것으로 생각된다. 단위 면적당 생산량은 굴껍질 2 Mg ha⁻¹ 처리구가 21.38 Mg ha⁻¹로 높았으나 처리구간에 유의적인 차이는 볼 수 없었다. 과실의 특성인 당도는 모든 처리구에서 12 °Brix 정도를 보였으며 경도는 2 kg 5 φmm⁻¹ 정도로 처리구간에 유의적인 차이를 볼 수 없었다 (Kim and Lee, 1980; Moon et al., 1999).

토양 화학성과 고두병 발생 관계 수확기 표토의 pH와 치환성 칼슘 함량이 고두병 발생에 미치는 영향은 Fig. 1과 같다. 표토의 pH와 고두병 발생은 고도로 유의

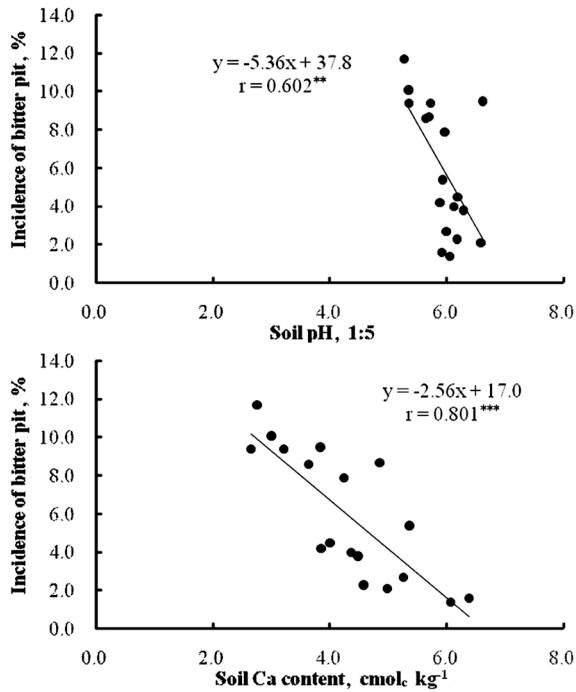


Fig. 2. A correlation coefficient between incidence of bitter pit, and chemical properties along with subsoil($n=18$). A significant values reported as ** $p<0.01$, and *** $p<0.001$.

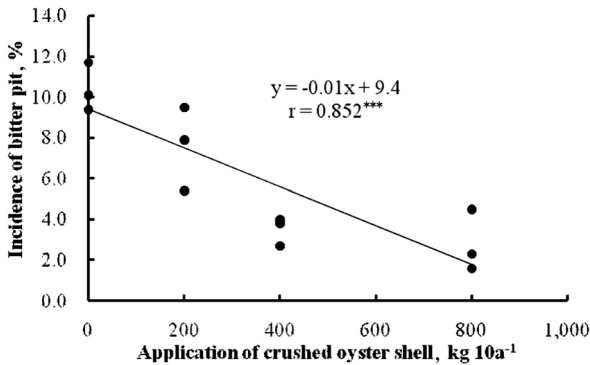


Fig. 3. A correlation coefficient between incidence of bitter pit, and application of crushed oyster shell($n=18$). A significant values reported as *** $p<0.001$.

적인 부의상관 ($y = -4.94x + 37.5$, $p<0.01$)을 나타냈으며 토양 치환성 칼슘 함량도 고두병 발생과 고도로 유의적인 부의상관 ($y = -0.89x + 13.0$, $p<0.01$)을 보였다. 이러한 결과는 Fig. 2의 심토에서도 유사하였다. 심토의 pH와 고두병 발병비율은 $y = -5.36x + 37.8$ ($p<0.01$)과 같이 고도로 유의적인 부의상관을 보였고 치환성 칼슘 함량도 $y = -2.56x + 17.0$ ($p<0.001$)의 고도로 유의적인 부의상관을 나타냈다. 특히, 상관관계를 통한 고두병 발병비율은 표토 보다 심토의 pH와 치환성 칼슘 함량에 영향을 받는 것으로 나타났다. 굴껍질 사용량에 따른 고두병 발생비율은 Fig. 3과 같이 $y = -0.01x + 9.4$ ($p<0.001$)의 고도로 유의적인 부의상관을 나타냈다. 위의

결과, 고두병 발병비율을 경감시킬 수 있는 굴껍질 사용량은 4 Mg ha^{-1} 이지만 시험 후 토양의 치환성 칼슘 함량, pH 및 과실중량, 수량 등을 감안할 때 최적의 굴껍질 사용량은 2 Mg ha^{-1} 로서 석회소요량과 같은 것으로 판단되었다. 그리고 향후 굴껍질의 칼슘 가용율을 증대시킬 수 있는 방법으로 자연 발효과정 (Islam et al., 2009)을 거치거나 분해력이 우수한 미생물 (Islam et al., 2010)을 활용하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

요 약

석회고토 및 폐화석비료를 대체할 수 있는 토양개량제로 활용가치가 높은 굴껍질을 사과 ‘감홍’ 재배 과수원에 사용하여 고두병 발생에 미치는 효과를 검토하였다. 석회고토와 굴껍질을 처리한구는 무처리구에 비해 표토와 심토의 토양 pH와 치환성 칼슘 함량이 증가된 반면, 치환성 나트륨 함량은 차이가 없었다. 사과의 고두병 발병비율은 무처리구가 10.4%로 가장 높았고 굴껍질 4 Mg ha^{-1} 이상 처리할 경우 3.7% 이하로 유의적인 감소를 보였으며 석회고토 처리구는 8.9%로 무처리구와 비슷한 수준이었다. 굴껍질 사용량과 수확기 표토 및 심토의 pH와 치환성 칼슘 함량은 고두병 발병비율과 고도로 유의적인 부의상관을 보였다. 고두병 발병비율을 경감시킬 수 있는 굴껍질 사용량은 4 Mg ha^{-1} 이지만 시험 후 토양의 치환성 칼슘 함량, pH 및 과실중량, 수량 등을 감안할 때 최적의 굴껍질 사용량은 2 Mg ha^{-1} 로서 석회소요량과 같았다.

인용문헌

- Islam, S.M.A., S.M., K.M. Cho, S.J. Hong, R.K. Math, J.M. Kim, M.G. Yun, J.J. Cho, J.Y. Heo, Y.H. Lee, H. Kim, and H.D. Yun. 2010. Chitinase of *Bacillus licheniformis* from oyster shell as a probe to detect chitin in marine shells. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86:119-129.
- Islam, S.M.A., S.J. Hong, K.M. Cho, R.K. Math, J.Y. Heo, Y.H. Lee, K.S. Lee, and H.D. Yun. 2009. Bacterial diversity and structural changes of oyster shell during 1-year storage. *Microb. Ecol.* 57:221-228.
- Burmeister, D.M. and D.R. Dilley. 1991. Induction of bitter pit-like symptoms on apples by infiltration with Mg^{+2} is attenuated by Ca^{+2} . *Postharvest Biol. Tec.* 1:11-17.
- Chung, D.S., Y.P. Hong, J.W. Choi, J.S. Lee, and Y.S. Lee. 2005. Effects of packaging film application and CA storage on changes of quality characteristics in ‘Hongro’ and ‘Gamhong’ apples. *Korean J. Food Preserv.* 12:424-431.

- Cooper, T. and F. Bangerth. 1976. The effect of Ca and Mg treatments on the physiology, chemical composition and bitter-pit development of 'Cox's Orange' apples. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 5:49-57.
- Failla, O., C.P. Treccani, and I. Mignani. 1990. Water status, growth and calcium nutrition of apple trees in relation to bitter pit. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 42:55-64.
- Ferguson, I.B. and C.B. Watkins. 1983. Cation distribution and balance in apple fruit in relation to calcium treatments for bitter pit. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 19:301-310.
- Ha, H.S., U.G. Kang, H. Lee, and Y.B. Lee. 1998a. Effects of fly ash, gypsum, and shell on the chemical properties of soil and growth of Chinese cabbage in acidic soils. *Korean J. Environ. Agric.* 17:164-169.
- Ha, H.S., U.G. Kang, H. Lee, and Y.B. Lee. 1998b. Residual effects of fly ash, gypsum, and shell on growth and qualities of Chinese cabbage in acidic soils. *Korean J. Environ. Agric.* 17:189-194.
- Jung, K.H., S.O. Hur, S.G. Ha, C.W. Park, and H.H. Lee. 2007. Runoff pattern in upland soils with various soil texture and slope at torrential rainfall events. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:208-213.
- Jung, Y.T., E.S. Yun, J.K. Kim, I.S. Son, J.D. So, and Y.K. Jo. 1993. Establishment of soil suitability classification system for sweet persimmon in Yeongnam area. *RDA J. Agric. Sci. Soil Fert.* 35:245-251.
- Kim, B.G., J.I. Moon, S.A. Ha, J.Y. Rhie, and N.C. Sung. 2001. Study of potential risks of soil amendment using water treatment sludge and oyster shell. *J. Korean Solid Wastes Engineering Soc.* 18:532-539.
- Kim, J.G., H.S. Lee, J.G. Cho, and Y.H. Lee. 1995. Composition of crushed oyster shell and its application effect on vegetables. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 28:350-355.
- Kim, K.R. and Y.C. Lee. 1980. Effects of dolomite and Epsom salts application on apple trees. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 21:164-169.
- Kim, M.S. and K.C. Ko. 2004. Relation of bitter pit development with mineral nutrients, cultivars, and rootstocks in apples (*Malus domestica* Borkh). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:43-49.
- Kim, W.S. and H.J. Lee. 2000. Prediction of bitter pit in 'Tugaru' apple fruits induced by Mg^{2+} toxicity before harvest and its reduction by Ca^{2+} supply after harvest. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:7-11.
- Lee, H.H., S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, W.T. Kim, and K.H. Kim. 2006. Characteristics of runoff and percolation on sloping land with different soil textures. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:268-273.
- Lee, J.Y., C.O. Hong, C.H. Lee, D.K. Lee, and P.J. Kim. 2005a. Dynamics of heavy metals in soil amended with oyster shell meal. *Korean J. Environ. Agric.* 24:358-363.
- Lee, J.Y., J.H. Jung, S.C. Kim, S.W. Hwang, and C.S. Lee. 2000. Chemical properties of Korean orchard soils in main apple, pear and peach producing area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:79-84.
- Lee, S.T., Y.H. Lee, Y.J. Lee, and C.H. Lee. 2004. Effect of oyster shell powder on soil pH and growth and yield of apple. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:383-387.
- Lee, Y.C., B.W. Moon, G.C. Song, and J.M. Park. 2005b. Effects of soil application of natural oyster shell on mineral nutrient of leaves and fruit quality in 'Campbell Early' grapevine. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:198-203.
- Lee, Y.H., J.G. Kim, H.S. Lee, J.S. Cho, and H.S. Ha. 1997. Effect of oyster shell, fly ash and gypsum application on rice yield and quality. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30:242-247.
- Lötze, E., J. Joubert, and K.I. Theron. 2008. Evaluating pre-harvest foliar calcium applications to increase fruit calcium and reduce bitter pit in 'Golden Delicious' apples. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 116:299-304.
- Mason, J.L., B.G. Drought, and J.M. McDougald. 1975. Calcium concentration of 'Spartan' apple in relation of amount of senescent breakdown in individual fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100:343-346.
- Moon, B.W., J.S. Choi, and K.H. Kim. 1999. Effect of calcium compounds extracted from oyster shell on the occurrence of physiological disorder, pathogenic decay and quality in apple fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:41-44.
- Moon, B.W., J.S. Choi, and M.Y. Park. 1998. Effects of calcium compounds extracted from oyster shell on the calcium content in apple fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:454-459.
- Moon, D.H., K.H. Cheong, T.S. Kim, J.H. Khim, S.B. Choi, O.R. Moon, and Y.S. Ok. 2009. Stabilization of As in soil contaminated with chromatecopper arsenate (CCA) using calcinated oyster shells. *Korean J. Environ. Agric.* 28:378-385.
- Moon, J.I., Y.J. Jung, and N.C. Sung. 2002. Study on potential risks of soil amendment experiment using sewage treatment sludge and oyster shell. *J. of KSEE* 24:715-724.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and

- Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2007. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2006. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Papiernik, S.K., T.E. Schumacher, D.A. Lobb, M.J. Lindstrom, M.L. Lieser, A. Eynard, and J.A. Schumacher. 2009. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform. *Soil Till. Res.* 102:67-77.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Seo, J.H., J.H. Heo, J.S. Choi, and Y.J. Ahn. 2007. Crop load affects incidence of bitter pit and calcium contents in ‘Gamhong’ apple fruit. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:110-113.
- Shin, N.C., J.I. Moon, and N.C. Sung. 2000. Application effect of oyster shell as acidic soil amendment. *J. Korean Solid Wastes Engineering Soc.* 17:774-780.
- Witney, G.W., M.M. Kushad, and J.A. Barden. 1991. Induction of bitter pit in apple. *Sci. Hortic.-Amsterdam.* 47:173-176.
- Yoon, G.L., B.T. Kim, B.O. Kim, and S.H. Han. 2003. Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell. *Waste Management.* 23:825-834.