

⁴⁵Ca 표지 칼슘 화합물별 토마토와 감귤의 엽면 흡수율

송성준* · 김양록¹ · 한승갑² · 강영길³

제주대학교 방사선응용과학연구소, ¹삼환농산, ²농촌진흥청 난지농업연구소,
³제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부

Foliar Absorption Rates of ⁴⁵Ca-labeled Calcium Compounds Applied on Tomato and Citrus Leaves

Sung-Jun Song*, Yang-Rok Kim¹, Seung-Gab Han² and Young-Gil Kang³

Applied Radiological Science Research Institute, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

¹Samwhan Greenhouse, Jeju 690-110, Korea

²National Institute of Subtropical Agriculture, Jeju 690-756, Korea

³Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Sciences, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

The foliar injuries and absorption rates of calcium compounds in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. momotaro) and citrus [Shiranuhi(*C. Marc.* × *C. sinensis* Osbeck) × *C. reticulata* Blanco)] were investigated. 0.3, 0.5 and 1.0% of CaCl₂, Ca(NO₃)₂, Ca(H₂PO₄)₂, Ca-EDTA, Ca formate or Ca acetate solution were applied to the leaves of tomato and citrus. The leaf burns were observed only in the foliar applications of Ca-EDTA and Ca(H₂PO₄)₂. Ca-EDTA exhibited more serious foliar injury than CaH₂PO₄. As applied with ⁴⁵CaCl₂, ⁴⁵Ca(NO₃)₂, ⁴⁵Ca formate or ⁴⁵Ca acetate, the rates of Ca absorptions by tomato and citrus leaves for 7 days were 17 to 32% and 6.6 to 46%, respectively. It meant that the absorption was differently influenced on calcium compounds. In tomato, the order of Ca foliar absorption was Ca(NO₃)₂ > Ca formate = CaCl₂ > Ca acetate. Although there was no difference in Ca absorption between the adaxial and abaxial parts of tomato leaves, total absorption was greater in expanded leaves than in expanding ones. On the other hand, in citrus Ca foliar absorption from Ca(NO₃)₂ or Ca formate was more active than that from CaCl₂ or Ca acetate. In conclusion, Ca(NO₃)₂ and Ca formate are recommended for the foliar application of Ca in tomato and citrus in order to increase absorption of Ca into their leaves.

Key words : Calcium, Calcium compounds, Foliar absorption, Tomato, Citrus

서 언

Ca은 세포벽의 구성성분이며 세포막의 구조와 기능 그리고 세포의 생리 대사과정에 있어 필수원소이다. 식물세포에 있는 대부분의 Ca은 아포플라스트와 액포 내에 존재하며(Mengel and Kirby, 2001), 세포질내 유리 Ca 농도는 0.1-0.2 mM 정도로 매우 낮다(Felle, 1988; Evans et al., 1991). 따라서 세포질내 유리 Ca 농도의 증가는 생리·생화학적으로 매우 중요한 의미를 가지며 Ca-Calmodulin 복합체의 형성을 매개로 각종 효소를 활성화시켜 여러 생리대사 과정에 관여한다(Marschner, 1995; Mengel and Kirby, 2001)

뿌리에 의한 Ca의 흡수는 근권의 조건 즉, 수분 stress, 염류농도와 온도 등에 의해서 많은 제약을 받

을 수 있다(Pill and Lambeth, 1980; Adams and Ho, 1993; Choi et al., 1997; Ho et al., 1993). 또한, Ca은 식물체내 조직 간의 이동이 어려워 결핍되면 어린잎 또는 생장점에서 그 현상이 먼저 발생된다. 그러므로, 원예작물에서도 Ca은 성장과 과실생육에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 데, 결핍되었을 때 발생하는 생리장해로는 양배추(Palzkil et al., 1976), 상추(Collier, 1982) 또는 딸기의 tipburn(Shear, 1975), 토마토의 배꼽썩음과(Dekock et al., 1979; Adams and Ho, 1994), 감귤의 신초고사 등을 들 수 있다.

일반적으로 엽면시비는 뿌리에 의한 특정 양분의 흡수가 제한되어 생리적인 장애가 유발될 가능성이 있을 때 빠른 시일내에 작물의 생육을 정상적으로 회복시키는 데 능률적이며 효과적인 방법으로 알려져 있다. Ca의 엽면시비는 각종 원예작물의 Ca에 의한 생리장해의 회복과 과일의 품질 및 저장성 등에 도움을

접수 : 2006. 2. 2 수리 : 2006. 4. 7

*연락처 : Phone: +82647542313,

E-mail: songjs@cheju.ac.kr

주는 것으로 알려져 있다(Wada et al., 1996; Jeong et al., 1998; Moon et al., 1998; Kim and Kim, 1999; Moon et al., 2002; Kim et al., 2004; Kwak et al., 2004). 주로 사용되는 칼슘화합물로는 CaCO_3 , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, Ca-formate, Ca-acetate 등이 있으나(Bramlage et al., 1985; Wada et al., 1996; Jeong et al., 1998; Moon et al., 1998; Cheon and Jeong, 2003), 그 흡수율이 조사되지 않아 과연 어떠한 칼슘 형태가 더 효율적으로 흡수하는 지 잘 알려져 있지 않다. 특히, Ca은 주로 엽 형태의 것을 많이 사용하기 때문에 흡수량을 높이기 위해서는 고농도를 사용하거나 농도가 낮은 경우에는 여러번 반복해서 살포하여야 하므로 축적된 엽으로 인해 잎이 염해를 받을 우려가 있다. 또한, Ca의 생리 장애가 심각해지기 전에 효율적으로 흡수하는 Ca 화합물의 사용이 중요하다. 그러므로, 본 연구에서는 ^{45}Ca 방사성동위원소로 표지된 Ca 화합물별 토마토와 감귤의 엽면 흡수율을 비교하고 칼슘화합물을 엽면시비하였을 때 그 농도별 엽 피해 여부를 조사하였다.

재료 및 방법

식물재료 제주도 소재 삼환농산에서 수경재배하는 토마토(*Lycopersicon esculentum*) 桃太郎(모모타로) 품종에서 2주 정도 성장한 측지를 채취하여 사각 락울($10 \times 10 \times 7.5$ cm)에 삼목하고 45일간 1/4배 Hoagland 영양액을 공급하여 뿌리를 유도시키고 새로운 엽을 정상적으로 생육시켜 성엽이 되었을 때 식물 재료로 사용하였다. 또한, 감귤은 화분에서 재배되는 2년생 부지화[Shiranuhi(*C. Marc. \times C. sinensis* Osbeck) \times *C. reticulata* Blanco]이었으며, 춘지에서 발생한 엽이 완전히 전개되었을 때 공시재료로 사용하였다.

칼슘화합물의 엽면시비 염해조사 CaCl_2 , Ca-EDTA, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, Ca-formate 또는 Ca-acetate 용액의 농도(0.3%, 0.5%, 1%)를 달리 조정하여 식물 엽에 처리하여 토마토는 1주 후 그리고 감귤은 15일 후에 엽면에 나타난 엽해 피해 여부를 조사하였다.

^{45}Ca 화합물 용액조제 $^{45}\text{CaCO}_3$ 는 CaCO_3 (GR 99%, Hayashi Pure Chemical Industries Ltd., Japan)을 한국원자력연구소의 하나로(중성자속: 3×10^{13} n/cm²·sec)에 의뢰하여 제조하였으며, ^{45}Ca 의 비방사능은 7×10^{-2} MBq/mg Ca였다. ^{45}Ca 표지 Ca 화합물인 $^{45}\text{CaCl}_2$, $^{45}\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, ^{45}Ca -formate 또는 ^{45}Ca -acetate 용액은 100 mg $^{45}\text{CaCO}_3$ 를 묽은 염산, 질산, 개미산 또는

초산용액으로 각각 녹여 조제하였으며 최종 용액의 ^{45}Ca 방사능은 2.8 MBq/ml(1.4×10^{-1} MBq/mM)으로 하였고 pH는 6.0으로 조정했다.

^{45}Ca 화합물 용액 엽면처리 $^{45}\text{CaCl}_2$, $^{45}\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, ^{45}Ca -formate 또는 ^{45}Ca -acetate 용액 10 ml에 전착제 10 ml를 가하고 부드러운 붓에 용액을 묻혀 엽면에 도포하였다. 토마토는 신엽과 성엽, 엽의 앞면과 뒷면, 엽 전체에 대해서 그리고, 감귤은 엽 전체에 대해서 ^{45}Ca 화합물 용액을 처리하였다. 그 처리량은 처리 전후의 용액무게를 측정하여 계산하였다.

^{45}Ca 방사능 측정 ^{45}Ca 처리된 토마토와 감귤의 엽은 처리 후 7일이 경과했을 때 채취하였다. 신엽과 성엽 그리고 엽의 앞면과 뒷면 비교실험의 경우에는 처리후 2일 경과했을 때 채취하였다. 엽은 0.01% 중성 세제를 함유하는 0.2% 초산용액으로 3회에 걸쳐 부드러운 붓으로 잘 문질러 표면에 흡수되지 않은 유리 ^{45}Ca 화합물을 씻어낸 후 흐르는 수돗물에 5분간 세척하였다. 흡습지로 표면 물기를 제거한 엽은 70°C에서 24시간 건조하고 550°C에 5시간 회화를 시켰다(IAEA, 1976). 회시료는 질산용액(1:2)을 소량 가하여 열판에서 건조시키고 증류수를 가하여 ^{45}Ca 를 다시 용해하였다. 그 후 ^{45}Ca 용액을 취하여 계측병에 넣고 cocktail(Ultima gold, PerkinElmer)를 첨가하여 liquid scintillation counter(Packard 2700TR, USA)로 방사능을 측정하였다(Song and U, 2000).

엽면 흡수율 계산 Ca 엽면 흡수율은 엽에 흡수한 총 ^{45}Ca 방사능을 엽에 살포한 액중의 총 ^{45}Ca 방사능으로 나누고 이에 100을 곱하여 퍼센트로 나타냈다.

통계처리 SAS 통계프로그램(Ver. 9.1 for Windows)으로 분산분석을 실시하였고 실험처리 평균치간의 유의성은 Duncan's multiple ranges(P<0.05)으로 검정하였다.

결과 및 고찰

칼슘화합물의 엽면시비 염해조사 토마토 엽에 대한 칼슘화합물 및 농도별 염해조사 결과는 Table 1과 같다. 살포된 농도범위에서의 칼슘화합물의 염해는 인산과 EDTA엽에서만 나타났다. 염해에 의한 엽의 괴사현상(necrosis)은 EDTA 엽의 경우가 제일 컸고 그 처리농도가 0.3% 일 때에도 나타났다. 특히, 감귤에서는 염해가 반점형태로 보였으나 토마토에서는 엽 대부분의 면적에서 나타났고 엽조직이 연약한 경우에 더 심하게 나타났다. 이처럼, 상대적으로 오스몰농도

가 낮은 제일인산칼슘과 Ca-EDTA를 살포했을 때 염해가 나타난 것은 삼투압 효과에 의한 염해로 설명하기는 곤란하였다. 또한, 살포 용액의 pH가 낮을 때 염해를 적게 받는다고 알려져 있는 데(Neumann et al., 1983), 이들 용액의 pH를 측정하면(data not shown) 제일인산칼슘(3.71)과 질산칼슘(4.56)을 제외한 다른 칼슘화합물은 거의 pH 7내외의 범위를 보였음을 감안할 때 pH에 의한 영향도 아님을 알 수 있었다. 따라서, 엽면에 시비된 제일인산칼슘과 Ca-EDTA 용액이 건조되어 엽형태로 남아 엽표면에 온도를 상승시켜 엽 조직에 다른 칼슘화합물 보다 더 많은 해를 주어 엽이 괴사된 것으로 사료된다.

일반적으로 칼슘화합물의 엽면시비는 0.5% 이하의 농도에서 많이 이루어 지며(Bramlage et al., 1985; Wada et al., 1996; Jeong et al., 1998; Moon et al., 1998; Kim and Kim, 1999; Moon et al., 2002; Cheon and Jeong, 2003; Kim et al., 2004; Kwak et al., 2004), 이러한 살포농도는 살포횟수와 기상 등과 관련이 있을 수 있다. 그러나, 본 실험에서와 같이 염해가 나타나지 않았던 질산칼슘, 염화칼슘 및 유기산 칼슘 염은 2-3 정도의 엽면 시비할 경우에는 그 농도가 1% 까지도 무난할 것으로 사료된다.

Table 1. Effects of foliar-applied concentrations of calcium compounds on tomato and citrus leaf burns.

Compounds	Concentrations (%)	Leaf burns	
		Tomato [†]	Citrus [‡]
CaCl ₂	0.3	None	None
	0.5	None	None
	1.0	None	None
Ca(NO ₃) ₂	0.3	None	None
	0.5	None	None
	1.0	None	None
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.3	None	None
	0.5	Slight	Slight
	1.0	Moderate	Moderate
(CH ₃ COO) ₂ Ca	0.3	None	None
	0.5	None	None
	1.0	None	None
(HCOO) ₂ Ca	0.3	None	None
	0.5	None	None
	1.0	None	None
EDTA-Ca	0.3	Severe	Severe
	0.5	Severe	Severe
	1.0	Severe	Severe

[†] 0.3, 0.5 and 1.0% of calcium solutions from its different formulae were sprayed on tomato leaves. Leaf burn was evaluated at 7 days after spray.

[‡] 0.3, 0.5 and 1.0% of calcium solutions from its different formulae were also sprayed on citrus leaves three times at 7 day's interval. Leaf burn was evaluated at 21 days after the first spray.

엽부위별 엽면흡수율 Table 2는 칼슘화합물별 토마토 엽의 앞면과 뒷면의 칼슘흡수율을 나타낸 것이다. 토마토 엽의 칼슘 흡수율은 그 화합물에 따라 달랐으나 앞면과 뒷면 간에는 차이를 보이지 않았다. 가스 형태의 양분(NH₃, SO₂)은 기공을 통해 잘 흡수될 수 있지만 물에 녹아 있는 이온형태의 양분은 제한이 된다(Ziegler, 1987). 따라서, 이온형태의 양분의 엽면 흡수는 외부 표피세포벽에 있는 친수성 마이크로채널인 액토테스마타(Franke, 1967)를 통해 이루어 진다고 알려져 있다(Franke, 1967). 그러므로, 식물 엽에 살포된 양분은 얇은 액체 필름상태(Mengel and Kirby, 2001)로 있을 때 확산에 의해 표피세포의 큐티클 층을 통과하고 그 후에는 뿌리에 의한 양분흡수기작과 마찬가지로 원형질막을 통해 세포에 흡수된다. 따라서, 엽에 의한 양분의 흡수는 엽표면의 왁스층 그리고 큐티클 층의 특성에 의해 좌우될 수 있다(Marchner, 1995; Mengel and Kirkby, 2001). 토마토의 경우에 앞면과 뒷면 간에 칼슘흡수량에 차이를 보이지 않았다는 점은 살포용액의 표면장력을 제거하여 얇은 액체 필름상태를 유지시킨다면 비록 앞면이 뒷면보다 왁스층이 더 발달되어 있더라도 양분의 흡수율이 비슷하다는 것을 시사하는 결과이다. 온주밀감에서도 전착제를 첨가한 요소용액의 엽의 앞면과 뒷면의 흡수율은 거의 비슷하다고 알려져 있다(Song and U, 2000).

Table 2. Ca absorptions depending on its compounds and applied parts in tomato leaves.

Ca compounds [†]	Leaf parts	Absorption rates [‡]
CaCl ₂	adaxial	5.16
	abaxial	4.76
Ca(NO ₃) ₂	adaxial	4.89
	abaxial	5.54
(HCOO) ₂ Ca	adaxial	4.94
	abaxial	5.74
(CH ₃ COO) ₂ Ca	adaxial	3.83
	abaxial	3.80
Significance		*
Ca compound(A)		
Part(B)		NS
Interaction(A*B)		NS

[†] ⁴⁵Ca-labeled calcium compound solutions were applied to adaxial and abaxial parts of leaves.

[‡] Leaves were detached 2 days after application and ⁴⁵Ca activities were measured.

엽령별 엽면흡수율 토마토의 신엽과 성엽간에 칼슘 흡수율을 비교하여 보면 Table 3과 같다. 성엽의 칼슘흡수율은 신엽보다 적었다. 이는 온주밀감의 엽에서 요소의 흡수(Song and U, 2000) 그리고 오렌지

의 엽에서 NO_3^- 흡수의 경우와는 (Lea-Cox and Syvrtsen, 1995) 반대의 경향을 보였는 데, 식물 또는 원소에 따라 엽면흡수 특성이 다를 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3. Ca absorptions depending on its compounds and leaf age of tomato.

Ca compounds [†]	Leaf parts	Absorption rates [‡]
CaCl ₂	Expanding	3.33
	Expanded	4.15
Ca(NO ₃) ₂	Expanding	5.73
	Expanded	7.42
(HCOO) ₂ Ca	Expanding	4.44
	Expanded	5.33
(CH ₃ COO) ₂ Ca	Expanding	2.69
	Expanded	5.17
Significance		†
Ca compound(A)		†
Part(B)		†
Interaction(A*B)		NS

[†] ⁴⁵Ca-labeled calcium compound solutions were applied to the expanding and expanded leaves.

[‡] Leaves were detached 2 days after application and ⁴⁵Ca activities were measured.

토마토 엽면흡수율 Table 4는 토마토와 감귤의 엽에 칼슘화합물을 엽면시비하였을 때 그 흡수율을 나타낸 것이다. 질산칼슘의 흡수율이 제일 컸고 개미산칼슘과 염화칼슘은 비슷하였으나 초산칼슘은 제일 낮은 값을 보였다. 양배추(Palzkil et al., 1976), 상추(Collier, 1982) 또는 딸기의 tipburn 현상(Shear, 1975), 토마토의 배꼽썩음과(Dekock et al., 1979; Adams and Ho, 1994)는 주로 칼슘 결핍에 의해서 생긴다고 알려져 있다. 칼슘은 식물체내 이동이 잘 안되는 양분이어서 뿌리로부터 칼슘 공급이 제한이 되면 결핍조직의 생리장해 회복을 위해서는 엽면시비가 불가피하다. 현재 많이 사용되는 수용성 칼슘제재로는 염화칼슘, 질산칼슘, 개미산칼슘, 초산칼슘, 인산칼슘 등이 있으며(Chung, 2001; Bramlage et al., 1985; Wada et al., 1996; Jeong et al., 1998; Moon et al., 1998; Cheon and Jeong, 2003) 이중 제일 많이 사용하여 온 것은 염화칼슘이다. 그러나, 본 연구의 엽면조사에서는 염화칼슘이 어떠한 부작용도 없었으나, Cl 축적에 의한 엽면의 우려를 지적하고 있다(Fochessati et al., 1977; Johnson et al., 1974). 따라서, 본 실험에서 질산칼슘의 흡수율이 높은 것은 반복 시용에 따른 엽면의 발생 가능성을 더욱 적게 하여 줄 뿐 만 아니라 부가적으로 질소를 함께 공급할 수 있는 장점이 될 수 있다고 사료된다. 또한, 질산칼슘 흡수율보다는

낮지만 개미산 칼슘의 경우에도 흡수율이 좋은 데, Ca 단독의 효과를 기대할 때에 사용하면 좋을 것으로 사료된다.

Table 4. Ca absorptions depending on its compounds in tomato and citrus leaves.

Ca compounds [†]	Absorption rates [‡]	
	Tomato [†]	Citrus [†]
CaCl ₂	21.9 ^{ab}	7.0 ^b
Ca(NO ₃) ₂	31.8 ^a	45.8 ^a
(HCOO) ₂ Ca	22.0 ^{ab}	31.2 ^{ab}
(CH ₃ COO) ₂ Ca	17.1 ^b	6.6 ^b

[†] ⁴⁵Ca-labeled calcium compound solutions were applied to leaves. Leaves were detached 7 days after application and ⁴⁵Ca activities were measured.

[‡] Absorption rates were determined by dividing ⁴⁵Ca radioactivities in the applied amount by those absorbed in the leaves.

감귤 엽면흡수율 칼슘화합물별 감귤엽의 칼슘 흡수율도 Table 4에 나타났다. 토마토의 경우와 마찬가지로 질산칼슘의 흡수율이 가장 높았고, 그 다음이 개미산 칼슘이었으나, 염화칼슘은 초산칼슘의 흡수율과 비슷하여 가장 낮은 편이었다. 이는 식물의 엽 특성에 따라 그 화합물의 흡수율이 다를 수 있음을 시사하였다. 과수의 경우에도 생리장해와 과일의 품질, 저장성 등을 향상시키기 위해서 다양한 칼슘제재가 사용되고 있다. 칼슘화합물 중 수용성 제재로는 염화칼슘, 질산칼슘, 초산칼슘, 개미산칼슘이 사용되고 있으며(Bramlage et al., 1985; Wada et al., 1996; Jeong et al., 1998; Moon et al., 1998; Cheon and Jeong, 2003) 난용성 제재로 탄산칼슘이 사용되고 있다(Moon et al., 1998; Kim and Kim, 1999; Kim et al., 2004). 난용성 제재는 칼슘 그 자체가 흡수되어 나타나는 효과는 미미하고, 과실표면을 코팅하여 과일의 착색을 좋게 하는 효과가 있을 것으로 사료되기 때문에(Kim and Kim, 1999; Kim et al., 2004) 수용성 칼슘과 같이 흡수효율을 비교할 필요는 없을 것으로 생각된다. 사과에서 염화칼슘을 엽면 시비했을 때 엽 또는 과일의 칼슘함량이 높았고 과일의 품질에도 좋은 영향을 주었다고 하며(Bramlage et al., 1985) 감귤에서는 개미산 칼슘을 엽면시비했을 때 다른 칼슘제재에 비해 엽 중 칼슘함량은 증가하지 않았으나 과일의 착색과 당도를 증가시키는 효과가 컸다는 보고가 있다(Kim et al., 2004). 또한, 염화칼슘은 엽에 약해를 줄 수 있고 질산칼슘은 과일에 약해를 줄 가능성이 있다고 알려져 있으며(Fochessati et al., 1977; Johnson et al., 1974). 부가적으로 공급된 질소성분은 과일의 숙기에 영향을 줄 가능성도 배제할 수 없다. 본 실험에서 질

산칼슘과 개미산 칼슘이 흡수율이 좋았는데, 질산칼슘은 감귤(부지화)이 칼슘에 의한 영양생장의 장애를 받아 신초발생이 억제될 때 사용하면 좋을 것 같으며, 개미산 칼슘은 특별한 고려 없이 영양이나 과일생장 모두에 사용이 가능할 것으로 생각한다.

결 론

토마토와 감귤의 엽의 칼슘화합물별 약해와 흡수율을 비교하였다. 0.3, 0.5, 1.0% 농도의 엽화칼슘, 질산칼슘, 제일인산칼슘, 킬레이트칼슘(EDTA-Ca), 개미산칼슘과 초산칼슘을 엽면시비했을 때 토마토와 감귤 엽의 약해는 제일인산칼슘과 킬레이트칼슘에서 나타났다. 킬레이트 칼슘이 제일인산칼슘보다 그 정도가 심했다. 토마토 엽의 앞면과 뒷면간의 칼슘 흡수율은 차이가 없었으나 성엽이 신엽보다 그 흡수율이 높은 경향이였다. 칼슘화합물별 토마토의 엽면흡수율은 질산칼슘이 가장 컸고 개미산칼슘과 엽화칼슘이 비슷한 값을 보였으며 초산칼슘은 제일 낮았다. 또한, 감귤의 엽면 흡수율은 질산칼슘과 개미산칼슘이 높았으며, 엽화칼슘과 초산칼슘은 낮은 경향이였다. 이처럼 초산칼슘과 개미산칼슘의 엽면흡수율이 토마토와 감귤에서 모두 높은 것으로 보아 엽면시비용 칼슘화합물 제제로 질산칼슘과 개미산 칼슘을 사용하면 좋을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2003년도 제주대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

Adams, P., and L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil* 154:127-132.

Adams, P., and L.C. Ho. 1994. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta Hort.* 401:357-363.

Bramlarge, W.J., M. Drake, and S.A. Weis. 1985. Comparisons of calcium chloride, calcium phosphate, and a calcium chelate as foliar sprays for 'McIntosh' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:786-789.

Choi, J.H., G.C. Chung, S.R. Suh, J.A. Yu, J.H. Sung, and K.J. Choi. 1997. Suppression of calcium transport to shoots by root restriction in tomato plants. *Plant Cell and Physiol.* 38:495-498.

Cheon, S.Y., and B.R. Jeong. 2003. Culture of plug seedlings and pot plants with nutrient solution amended with calcium nitrate compound extracted from pearl shell with HNO₃. *J. Kor. Hort. Sci.* 44:353-357.

Chung, H.D. 2001. Leaf absorption and translocation of CaCl₂ in tomato(*Lycopersicon esculentum*) plants. *J. Kor. Hort. Sci.* 42:651-655.

Collier, G.F. 1982. Tipburn of lettuce. *Hort. Reviews* 4:49-65.

Dekock, P.C., A. Hall, R.H.E. Inkson, and R.A. Robertson. 1979. Blossom-end rot in tomatoes. *J. Sci. Food. Agric.* 30:508-514.

Franke, W. 1967. Mechanism of foliar penetration of solutions. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18:281-300.

Felle, H. 1988. Cytoplasmic free calcium in *Riccia fluitans* L. and *Zea mays* L.: Interaction of Ca²⁺ and pH. *Planta* 176:248-255.

Evans, D.E., S.A. Briars, and L.E. Williams. 1991. Active calcium transport by plant cell membranes. *J. Exp. Bot.* 42:285-303.

Fochessati, A., M.A. Perring, and D.S. Johnson. 1977. Calcium sprays for bitter pit control. *The Decid. Fruit Grower* 27:308-315.

Ho, L.C., R. Belda, M. Brown, J. Andrews, and P. Adams. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *J. Exp. Bot.* 44:509-518.

IAEA. 1976. Tracer manual on crops and soils. p.134-135. Technical Reports Series. No. 171. International Atomic Energy Agency, Vienna

Jeong, C.S., Y.K. Chang, and Y.R. Yeoung. 1998. Effects of foliar application of CaCl₂ on quality of netted muskmelons during postharvest storage. *J. Kor. Hort. Sci.* 39:170-174.

Johnson, D.S., J.I. Kemp, and I.W. Longridge. 1974. Phytotoxicity of calcium sprays. *Ann. Rpt. E. Malling Res. Sta. for 1973*:102.

Kim, Y.H., and C.M. Kim. 1999. Effects of calcium formulae foliar spray on the fruit quality of satsuma mandarin(*Citrus unshiu* Marc.) in the plastic film house. *J. Kor. Hort. Sci.* 40:88-92.

Kim, Y.H., Y.E. Moon, and S.G. Han. 2004. Effects of calcium formulae foliar application on the water spot outbreak and fruit quality of satuma mandarin in the plastic house. *J. Kor. Hort. Sci.* 22:50-54.

Kwak, K.W., S.M. Park, J.N. Park, and C.S. Jeong. 2004. Effect of CaCl₂ foliar application on the storability of muskmelon cultured in NaCl-enforced hydroponic. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:156-161.

Lea-Cox, J.D. and J.P. Syvrtsen. 1995. Nitrogen uptake by citrus leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:505-509.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. New York. p. 294-296.

Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. p.367-368, 525-530.

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. Hort. Sci.* 39:454-459.

Moon, B.W., I.K. Kang, Y.C. Lee, and J.S. Choi. 2002. Effects of tree-spray of liquid calcium compounds on the mineral nutrients, blossom-end browning and quality of non-astringent persimmon fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:54-57.

Neumann, P.M., Y. Ehrenreich, and Z. Golab. 1983. Foliar fertilizer damage to corn leaves: relation to cultivar penetration. *Agron. J.* 73:979-982.

Palzkill, D.A., T.W. Tibbitts, and P.H. Williams. 1976. Enhancement of calcium transport to inner leaves of cabbage for

- prevention of tipburn. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101:645-648.
- Pill, W.G., and V.N. Lambeth. 1980. Effects of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield, water relations, and elemental composition of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:730-734.
- Shear, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. Hort. Sci. 10:361-365.
- Song, J.S. and Z.K.U. 2000. Measurement of foliar absorption in *Citrus unshiu* Marc. using ^{14}C -labeled urea. Abstracts of Xth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. April 8-13, 2000. Cairo, Egypt, p.235.
- Wada, T., H. Ikeda, M. Ikeda, and H. Furukawa. 1996. Effects of foliar application of calcium solutions on the incidence of blossom-end rot of tomato fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:553-558.
- Ziegler, H. 1987. The evolution of stomata. p.29-57. In E. Zeiger et al. Stomatal function. Stanford University Press, Stanford. Calif. USA.