

칼슘제 처리가 ‘부유’ 단감의 무기성분, 품질 및 갈변율에 미치는 영향*

나양기** · 김월수*** · 최현석**** · 최경주***** · 이 연***** · 이유석*****

Effect of Calcium Application on Fruit Mineral Nutrients, Quality, and Browning in ‘Fuyu’ Sweet Persimmon

Na, Yang-Gi · Kim, Wol-Soo · Choi, Hyun-Sug · Choi, Kyeong-Ju ·
Lee, Youn · Lee, You-Seok

This study was established to investigate the effects of Ca application on fruit mineral nutrients, quality, and browning of ‘Fuyu’ sweet persimmon (*Diospyros kaki*). Ca foliar application at 40ml/20L/tree had a greater fruit Ca concentration than did control, Ca fertigation (40ml/20L/tree), and Ca foliar application (40ml/20L/tree) coupled with IBA fertigation (40 ml/20L/tree). Fruit mineral nutrient concentrations for Mg, B, and Mn were similar or lower in the foliar treatment compared to other treatments. Fruit color was not affected. Ca treatment, whether foliar applied or fertigated, was effective in maintaining fruit firmness and in decreasing the browning symptom in fruit after MA storage at 0°C for 60 and 100 days. Although Ca foliar application + IBA fertigation treatment improved fruit firmness, the positive effect on the browning and decay occurrences in fruit was not shown.

Key words : *cell, decay, foliar application, IBA fertigation, storage*

* 본 연구는 전남 농업기술원 원예연구소의 지원으로 수행되었습니다. 또한 국립농업과학원 유기농업과 지원에도 감사드립니다.

** 전남농업기술원 원예연구소

*** 전남대학교 원예학과

**** 교신저자, 국립농업과학원 유기농업과(dhkdwk7524@daum.net)

***** 전남농업기술원 연구개발국

***** 국립농업과학원 유기농업과

***** 전남농업기술원 운영지원과

I. 서 언

국내외적으로 호평을 받고 있는 ‘부유’ 품종은 저장 단감의 대부분을 차지하고 있는데, 저장 중 발생하는 과정부 갈변 현상과 과피흑변 현상은 과일의 상품성 저하의 주원인이 되고 있다. 일명 “초크과”로 알려진 과정부 갈변과는 단감의 과정부에 과피와 과육까지 원형으로 갈변되어 부분적으로 함몰을 유기할 뿐 아니라 과실 전체에까지 피해가 발생하여 식용을 불가능하게 한다(Choi et al., 1998; Yang et al., 1999). 과피흑변과는 과실 표면의 폴리페놀 물질이 산화, 중합하여 멜라닌 색소를 형성하여, 이것이 과실 표면에 집적되어 과실 표면이 검게 변하는 것으로 식용에 큰 지장이 없으며 이는 저온저장 중 포장지 내 산소 농도가 1% 이하로 낮아지거나 이산화탄소가 급격히 증가할 때 무기호흡에 의한 과육 내 아세트 알데하이드, 알코올 등의 유해 성분이 축적되어 발생하는 생리장애로 과정부 갈변과 구분된다(Choi et al., 1998; Yang et al., 1999).

식물조직의 갈변은 세포막의 투과성이 약해져 액포로부터 세포질로 페놀 전구물질의 누출이 증가함에 따라 polyphenoloxidase 등에 의한 페놀 물질의 산화에 기인하는 것으로 알려져 있다(Choi et al., 1998; Faust et al., 1968). 즉 페놀 산화효소에 의해 퀴논 산화물이 되고 퀴논 산화물질의 연속적인 중합반응을 거쳐 멜라닌 계의 갈색 색소가 생성되어 조직이 갈변된다. 과실 내 Ca(칼슘)은 이러한 세포막의 구조에 영향을 미쳐 각종 이온의 선택적 투과성, 저장 중 과실의 호흡, 에틸렌 발생 및 세포막의 붕괴에 관여하는 효소활성을 조절하여 과육갈변에 영향을 미친다.

Auxin은 줄기와 뿌리의 근모에서 생성되어 식물의 축을 따라 이동한다(Marschner, 1995). 절단된 줄기조직과 자엽초 조직에서 세포 신장을 촉진시키는 능력에 의해 일차적으로 그 특성이 구명되었으며, 그 밖에도 뿌리 발생, 관다발 형성, 굴성 반응 및 결눈, 꽃, 열매의 발달 등을 포함한 여러 가지 다양한 발달 반응에 영향을 끼친다. 뿌리 신장은 특히 auxin에 민감한데, IAA는 매우 낮은 농도(10^{-8} M 혹은 그 이하)에서 뿌리 절편과 온전한 식물 뿌리 모두의 성장을 촉진한다(Marschner, 1995). 따라서 Ca의 흡수통로로 알려진 근모의 신장은 굉장히 중요하며(Faust, 1989) 합성 auxin 살포에 의해 근모의 생장이 향상될 경우 Ca의 흡수가 증가될 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 농가에서 가장 많이 재배하는 ‘부유’ 단감의 수확 전 수용성 Ca 처리가 과실의 무기성분에 미치는 영향을 구명하였고, 또한 Ca 처리가 modified atmosphere(MA) 저온저장 후에 과실품질과 갈변율에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험 재료 및 처리

본 시험은 전라남도 영암군 금정면 안로리에 위치한 단감 농장에서 5m×3.3m로 재식되어있는 13년생의 '부유' 품종에서 수행되었다. 처리제는 액상 '다칼슘'(수용성 Ca 17%, 대유(주), 서울)과 애그텍 '발근력'(IBA 10% 함유, FM 애그텍사, 서울)이었다. 처리당 Ca 농도를 2%로 조정하여 주당 처리량을 20L로 하여 Ca 엽면시비(Ca-FA), Ca 관주처리(Ca-FG), Ca 엽면처리와 IBA의 혼합관주처리(Ca-FA + IBA-FG)를 포함하였다. 처리는 2003년 8월 5일, 9월 10일, 10월 3일 등 3회에 걸쳐 토양관주 및 엽면시비를 하였고, 1주 1반복으로 처리당 5반복으로 수행하였다. 대조구는 물을 관주해 주었다. 과실은 10월 24일에 수확하였다.

2. 과실 무기성분 분석

과실의 무기성분을 분석하기 위해 수확한 과실을 1cm 크기로 절단한 다음 75°C 건조기에서 2일 동안 건조시킨 후 마쇄하였다. 과실분해는 습식분해법으로 하였는데 시료 0.5g을 분해용 플라스크에 넣고 분해액(HNO₃) 15mL를 첨가한 후 180°C에서 30분간 가열 후 H₂O₂ 2~3방울 씩 첨가하여 분해를 촉진시켰다. 시료가 완전히 분해된 후 증류수 30mL를 넣고 냉각시킨 후 Whatman No.6 여과지를 이용하여 여과하고 증류수를 이용하여 50mL로 정용하였다. 무기성분 분석은 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Pye-unicam PU 9000, England)로 측정하였다.

3. 과실품질 분석 및 갈변율 조사

수확된 과실은 색차계(Minolta CR-300, Japan)를 이용하여 Hunter value L, a, b값을 측정하였다. L은 과실의 밝기를 a와 b값은 각각 과실의 적색과 황색의 정도를 표시하였다. 수확한 과실을 0.06mm PE 필름에 밀봉해서 곧 바로 저온저장고(0°C, RH 90%)에서 0, 60, 100일 동안 저장한 후 과실의 경도와 갈변율을 실온에서 바로 조사하였다. 과실 경도는 과실 중간부위 면에서 과피를 제거한 후 과실경도계(TA-XT2, Texture technologies Corp., USA)로 측정하였다. 과육부위에 갈색 반점이나 갈변부위의 직경이 1cm 이상인 과실을 갈변과로 간주하였다.

또 다른 저장 실험에서, 저온저장 후 상온에서 저장성을 검토하기 위해 실온에서 0일과 10일 동안 경과시켰다. 저장 후 경도와 가용성 고형물함량, 그리고 부패율을 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 과실에서 착즙한 과즙으로 굴절 당도계(Refractrometer, Atago, Japan)

를 이용하여 과실의 가용성 고형물 함량을 측정하였다.

4. 세포구조 비교

세포의 조직검사는 Park 등(2003)이 보고한 방법을 따랐다. 광학현미경 검경을 위해 ‘부유’ 과실의 과정부 부위에서 1×1cm 크기의 과실 절편을 채취해서 곧바로 2.5% glutar-micaldehyde로 90분간 1차 고정을 실시하였는데 고정 전 시료 조직 내 기포는 감압을 해서 제거하였다. 1차 고정된 시료는 0.1M 인산완충용액(pH 7.2)으로 15분간 5회 세척한 다음 1% tetroxide 용액으로 90분간 2차 고정시킨 뒤, 다시 0.1M 인산완충용액(pH 7.2)으로 20분간 5회 세척하였다. 탈수를 위해 시료는 40, 80, 90, 95% 에탄올에서 각각 5분, 그리고 100% 에탄올에서 5, 15, 30분간 3회 탈수하였다. 탈수를 거친 시료는 propylene oxide로 치환한 후 epon으로 silicon mold에 포매되어 60°C 오븐에서 4일간 처리하여 고형화 하였다. 시료는 10µm 크기로 절단해서 염색한 다음 검경하였다.

5. 통계처리

각각의 조사분석은 5반복으로 하였으며, 통계처리는 SPSS Statistics 17.0 프로그램에서 Duncan 검정을 실시하여 처리간의 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. Ca 처리에 따른 과실 내 무기성분 변화

과육 갈변과와 가장 관련이 깊은 과피의 Ca 함량은 Ca 엽면처리에서 0.23mg/L로 무처리, Ca 관주처리, 그리고 Ca 엽면처리+IBA 관주처리구에 비하여 높았다(Table 1). Kim 등(2003)은 배의 착색기부터 수용성 Ca을 10일 간격으로 4회 살포한 처리구의 Ca 함량이 무처리에 비해 높게 나타났다고 보고하였다. 사과 ‘후지’의 경우 5월과 8월의 엽화칼슘 살포에 의해서 과당 Ca 함량이 현저히 증가되었는데, 이러한 효과는 살포시기가 생육후반기(8~9월)일 경우 더 우수하였다(Choi et al., 1990). Kim 등(2009)은 ‘부유’ 단감에서 엽면 처리된 과실 내 Ca 함량이 관주처리에 비해서 높게 관찰되어 공급방법에 따른 과실 내 Ca 함량에는 차이가 있었다고 보고하였는데 본 연구 결과와 일치하였다. 그러나 Moon 등(2003)은 포도에 액상칼슘을 수관살포 하였으나 엽신과 엽병의 Ca 함량은 증가하였으나 과피의 Ca 함량에는 차이가 없었다고 보고하였다. 하지만 Moon 등(1995)은 생육 기간 중 고추에 3회 이상

Ca 엽면처리로 과실 내 Ca 함량을 증가시켜 배꼽썩음병의 발생이 현저히 감소되었다고 보고하였다. 본 실험에서는 Ca 엽면처리로 과피의 Ca 함량을 증가시켰고 과육의 경우는 약간 높은 경향을 보였지만 통계적으로 유의성은 나타나지 않았다(Table 1).

Table 1. Calcium concentration in 'Fuyu' sweet persimmon fruit as affected by Ca applications

Treatment ^Z	Ca concentration (mg/L)	
	Fruit skin	Fruit flesh
Control	0.17 ab ^y	0.10 a
Ca-FA	0.23 a	0.12 a
Ca-FG	0.17 ab	0.11 a
Ca-FA + IBA-FG	0.16 b	0.11 a

^Z FA = foliar application; FG = fertigation.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 2. Mg, B, and Mn concentrations in 'Fuyu' sweet persimmon fruit as affected by Ca applications

Treatment ^Z	Mg (%)		B (mg/L)		Mn (mg/L)	
	Skin	Flesh	Skin	Flesh	Skin	Flesh
Control	0.08 a ^y	0.07 a	1.6 b	1.28 b	9.1 b	13.3 a
Ca-FA	0.08 a	0.07 a	2.7 b	2.46 a	3.3 c	0.4 c
Ca-FG	0.08 a	0.07 a	13.7 a	1.64 ab	15.8 a	7.1 b
Ca-FA + IBA-FG	0.08 a	0.07 a	12.4 a	2.20 a	12.2 ab	4.1 b

^Z FA = foliar application; FG = fertigation.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Choi 등(1990)은 사과에서 Ca 공급 방법에 따른 과실 내 Mg의 함량차이는 인정되지 않았다는 본 실험과 같은 결과를 보고하기도 하였다(Table 2). 과피 B 농도는 Ca 관주나 Ca 엽면처리+IBA 관주처리가 대조구와 Ca 엽면처리 보다 유의적으로 높았는데, 이는 Ca 또는 IBA의 관주 처리가 뿌리로부터 B의 흡수를 촉진하고 과실로의 이동을 증진시켜주었기 때문으로 판단된다. 과육 내 B 농도는 Ca 엽면 처리된 과실에서 높게 나타났다. Mn은 Ca 엽면처리구가 3.3mg/L로 매우 낮았는데, 이는 Ca와 Mn의 길항작용으로 Ca가 보충되면서 Mn

의 흡수 및 이동이 장애를 받았기 때문(Faust, 1989)으로 여겨진다. 따라서 Ca 처리는 Mn의 과다흡수에 의해 발생하는 단감의 적진병 발생예방에 효과가 있을 것으로 여겨진다. Ahn (1977)의 연구에서도 석회 사용은 유기물질의 분해촉진, 토양 중 N, P 및 Si의 유효도를 높이고 Mn의 과잉흡수에 의한 피해를 경감시켜 준다고 하였다.

2. Ca 처리에 따른 과실품질 변화

과피의 밝기와 적색 그리고 황색을 나타내는 Hunter L, a, b값은 처리간에 유의적인 차이가 관찰되지 않았다(Table 3). 하지만 Ca 엽면 처리구는 밝고 적황색의 과실을 생산하는 경향을 보여주었는데, 이러한 처리로 인해서 앞당겨진 추석시기에 과실의 착색을 증진시켜서 상품성을 증진시키는데 어느 정도 유용할 것으로 판단된다.

Table 3. Fruit skin color in 'Fuyu' sweet persimmons as affected by Ca applications

Treatment ^Z	L	a	b
Control	47.9 a ^y	11.6 a	38.4 a
Ca-FA	57.7 a	15.5 a	55.1 a
Ca-FG	59.4 a	11.5 a	52.8 a
Ca-FA + IBA-FG	49.9 a	16.3 a	40.6 a

^Z FA = foliar application; FG = fertigation.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

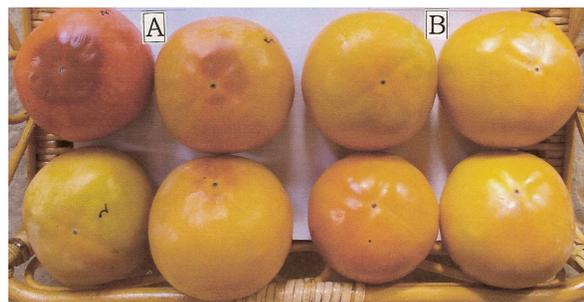
Ca 처리는 수확 당시의 과육경도에 별다른 영향을 미치지 않았으나 MA-저장 60일이 된 과일에서는 Ca 처리가 대조구에 비해서 과육경도가 현저히 덜 감소되는 것을 관찰할 수 있었다(17% 감소 vs 4% 감소)(Table 4). 이는 Kim 등(2009)이 '부유' 단감에 Ca를 엽면 살포한 결과 과육경도 증가와 과정부 연화가 감소되었다는 보고와도 일치하였다. 저장 100일이 지난 후에는 60일째와 마찬가지로 Ca제 처리구가 대조구보다 유의적으로 높은 과실경도를 유지했는데, 대조구는 25.5N으로 급격히 낮아져 상품성에 문제가 되었다(Table 4; Fig. 1). 과육갈변과의 발생 역시 저장 100일 후 대조구와 Ca 엽면처리+IBA 관주처리구에서 유의적으로 높게 나타났다(Table 4; Fig. 1). Ca 엽면처리+IBA 관주처리구가 단감 과육갈변과의 발생에 영향을 미치지 못했던 것은 아마 과피조직의 낮은 Ca 농도와 관련이 있는 듯하다(Table 1). 하지만 Ca 엽면처리+IBA 관주처리에 따른 과실갈변에 관한 보다 더 정확한 원인을 규명하는 연구가 앞으로 필요할 것 같다.

Table 4. Effect of Ca application on fruit firmness and flesh browning of 'Fuyu' sweet persimmon, determined after MA storage at 0°C for 0, 60, 100 days

Treatment ^Z	Firmness (N)			Fruit browning (%)		
	Storage period (days)					
	0	60	100	0	60	100
Control	36.1 a ^y	30.4 b	25.5 b	0 a	8.4 b	15.0 a
Ca-FA	36.5 a	34.9 a	31.6 a	0 a	3.1 c	3.1 b
Ca-FG	36.3 a	34.7 a	31.5 a	0 a	3.7 c	4.4 b
Ca-FA + IBA-FG	36.3 a	34.3 a	30.7 a	0 a	14.3 a	16.3 a

^Z FA = foliar application; FG = fertigation.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.



Storage of 60 days



Storage of 100 days

Fig. 1. Effect of Ca application on flesh browning of 'Fuyu' sweet persimmon fruits determined at the room temperature right after MA storage at 0°C for 60 and 100 days. A=control; B=Ca foliar application (Ca-FA); C=Ca fertigation (Ca-FG); and D= Ca foliar application + IBA fertigation (Ca-FA + IBA-FG).

MA 저장 100일 후 과실의 품질을 조사한 결과 경도는 출고 당시에는 Ca 처리구가 대조구보다 높았지만 출고하여 상온에서 10일이 지난 후에는 Ca 엽면시비와 관주처리구에서만 유의성 있는 차이를 보여주었다(Table 5). 가용성 고형물은 대조구가 Ca 처리구보다 낮은 함량을 보였고, 대부분 처리구에서 출고 당시보다 오히려 증가하는 경향이 나타났다. 과실의 부패율은 상온에서 0일 후에는 처리간 별다른 차이가 없었으나, 10일 후에는 과실 갈변율이 높았던 대조구와 Ca 엽면시비+IBA 관주처리에서 높게 나타났다.

Table 5. Effect of Ca application on fruit quality of 'Fuyu' sweet persimmon, determined 0 and 10 days at the room temperature after MA storage at 0°C for 100 days

Treatment ^Z	Firmness (N)	SSC (°BX)	Fruit decay (%)
0 days at room temperature			
Control	25.5 b ^y	12.0 b	0 a
Ca-FA	31.4 a	12.6 a	0 a
Ca-FG	31.4 a	12.8 a	0 a
Ca-FA + IBA-FG	30.4 a	12.7 a	0 a
10 days at room temperature			
Control	24.5 ab	12.2 b	13.3 a
Ca-FA	27.4 a	13.1 a	5.0 b
Ca-FG	21.6 b	13.1 a	3.3 b
Ca-FA + IBA-FG	24.5 ab	12.5 ab	16.7 a

^Z FA = foliar application; FG = fertigation.

^y Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

3. Ca 처리에 따른 과실 세포구조 변화

Ca 처리과실과 무처리구 과실의 체와부 정상조직을 수확직후 또는 저온저장 100일 후에 현미경적으로 관찰했을 때, 저장 100일 후의 과실에서 정상부위 임에도 불구하고 외표피 세포와 아표피 세포의 탄닌 함량과 형태에 차이를 보이는 것으로 조사되었다(Fig. 2). Ca 처리 과실은 외표피와 아표피의 탄닌 함량과 형태가 수확기와 큰 차이를 보이지 않았으나 Ca 무처리 과실의 경우 외표피와 아표피 세포의 탄닌이 거의 사라졌으며 탄닌을 포함한 세포에도 탄닌이 액포막 내부에 띠를 형성하는 형태로 관찰되었다. Choi 등(1998)은 단감의 과육 갈변현상은 과실의 세포막이 파괴되어 세포내의 물질들이 산화되기 쉬운 상태로 놓이게 됨으로써 유기되는 것으로 추정하였다. 또 갈변현상이 쉽게 일어나는 과실은 조직이 불

규칙적이며 세포간극이 넓었고, 갈변조직의 표피층은 전체적으로 붕괴된 상태이었다고 보고하였다. Park 등(2003)은 과육갈변과 해부학적 단면 관찰에서 정부, 기부 모두 석세포를 중심으로 세포의 수축, 응집현상을 보였으며 특히 기부는 액포의 수축현상이 나타났다고 보고하였다.

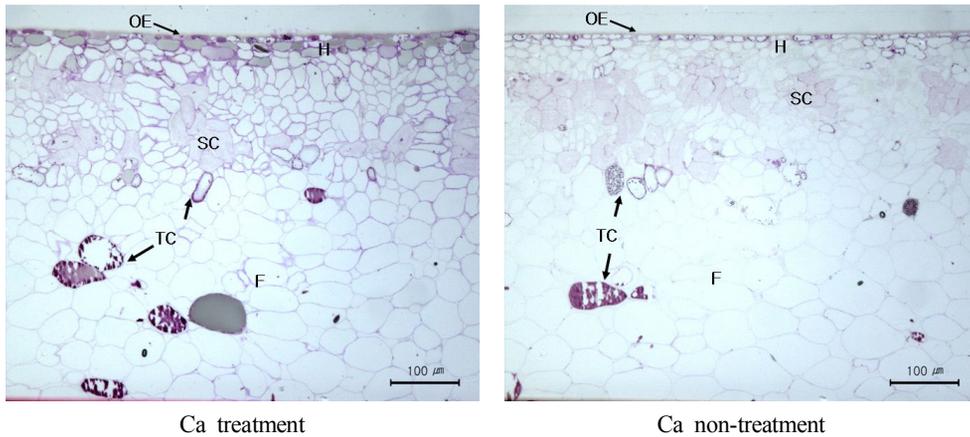


Fig. 2. Fruit skin cells in 'Fuyu' sweet persimmons after MA storage for 100 days as affected by Ca applications. F=flesh; H=hypodermis; OE=outer epidermis; SC = stone cell; and TC=tannin cell.

IV. 요약

본 연구는 '신고' 배나무에 Ca처리 방법을 달리 했을 때 과실 내 무기성분과 품질 그리고 갈변율에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. Ca 엽면시비는 대조구, Ca 관주처리, 그리고 Ca 엽면시비+IBA 관주 처리에 비해 유의적으로 높은 과실 내 Ca 함량이 나타났다. 과실 내 Mg와 B 그리고 Mn 농도는 Ca 엽면시비에 의해 다른 처리구에 비해 오히려 낮거나 비슷한 수준이 나타났다. 과실의 착색은 처리구간에 별다른 차이가 없었다. Ca 엽면시비와 관주처리는 저온저장 후 0, 60, 100일 후에 대조구에 비해 과실의 경도를 유지시켰고 갈변율을 감소시켰다. 저온저장 100일 후에 10일간 상온에 두었을 때도 비슷한 현상이 나타났다. Ca 엽면시비+IBA 관주 처리의 경우 대조구에 비해 과실경도를 유지시켰지만, 과실의 갈변과 부패율은 대조구와 비슷한 수치를 보여서 이에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. Ahn, S. Y. 1977. The effect of phosphorous, potassium and calcium application on root activity and grain yield of paddy rice on different soil conditions. J. Kor. Soc. Crop Sci. 22: 110-134.
2. Choi, J. S., J. C. Lee, and K. C. Shin. 1990. Effect of nitrogen level and CaCl₂ spray and irrigation on the calcium contents in apple fruits. Abstract. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 8: 118-119.
3. Choi, S. J., Y. J. Yang, and C. H. Lee. 1998. The physiological properties of 'Fuyu' persimmon fruits suffering from blossom-end browning disorder. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39: 741-744.
4. Faust, M. and C. B. Shear. 1968. Corking disorders of apples: a physiological and biochemical review. Bot. Rev. 34: 441-469.
5. Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley & Sons, Beltsville, U.S.A., pp. 1-51.
6. Kim, I. Y., T. H. Chang, J. H. Rye, M. Y. Kim, T. H. Lim, and M. Kim. 2003. Effects of foliar sprays of CaCl₂ with some adjuvants on fruit quality of pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44: 692-696.
7. Kim, Y., W. S. Kim, H. S. Choi, and M. Gu. 2009. Effects of calcium and indole-3-butyric acid treatments on calcium concentration and stem-end browning in 'Fuyu' sweet persimmons. Kor. J. Food Preserv. 16: 459-462.
8. Marschner, M. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press, San Diego, U.S.A., pp. 508-536.
9. Moon, B. W., J. U. Lim, K. C. Shin, and Y. S. Kim. 1995. Effect of calcium compounds and CaCO₃ on mineral nutrients, plant growth and blossom-end rot of red pepper. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 36: 304-308.
10. Moon, B. W., J. S. Choi, and M. S. Kang. 2003. Effects of vine-spray of liquid calcium fertilizer on calcium content and quality in stored grape fruits. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44: 345-348.
11. Park, S. J., H. S. Park, and C. C. Kim. 2003. Influence of ethylene on fruit tissue in 'Cheongdobansi' persimmon (*Diospyros kaki*). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44: 62-65.
12. Yang, Y. J., S. J. Choi, and C. H. Lee. 1999. Effect of exposure to elevated CO₂ atmospheres on fruit discoloration during cold storage of 'Fuyu' persimmon. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40: 352-354.