

사과나무 과실과 잎에 살포된 칼슘의 과실로의 축적

최 중 승

배재대학교 생명환경디자인학부

Effect of Calcium Solution Spray on Fruit or Leaf on Calcium Accumulation into Apple Fruit

Jong Seung Choi

Division of Life Science and Environmental Design, Pai Chai University

요 약

칼슘용액을 사과나무에 살포하였을 때 과실로 칼슘이 축적되는 양상을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 과실 발육 전반기보다 후반기에 칼슘용액을 처리하는 것이 과실의 칼슘함량 증가 효과가 높았다. 과실 주위의 잎 표면에 처리된 칼슘은 과실로 거의 전류되지 않았으나 과정에는 일부 축적되었으며 과실 표면에 처리하였을 때 과실의 칼슘함량이 증가되었다.

Abstract

This research was conducted to investigate the effects of calcium solution spray on the accumulation of calcium into apple fruit. $^{45}\text{CaCl}_2$ applied to fruit with different growth stages showed that more ^{45}Ca was penetrated into fruits when applied in the late stage than early stage. Slight radioactivity was detected only in pedicel except leaf when ^{45}Ca was treated on the leaves proximate to the fruit. When the Ca was treated on fruit surface only, calcium

contents of fruit was increased.

Key words: apple, calcium accumulation, calcium foliar spray, fruit bagging, radio isotope

I. 서 언

과실의 칼슘이 부족하게 되면 여러 가지 생리장해가 발생되고 장애가 발생되지 않아도 저장력이 저하된다. 과실에 축적되는 칼슘은 주로 뿌리에서 흡수되어 목부 도관을 통해 전류되고 타부위에서의 재전류에 의한 축적은 매우 적다. 석회와 같은 칼슘비료가 충분히 사용된 과수원에서도 토양에서의 칼슘 흡수는 토양의 조건이나 뿌리의 활력에 따라 제한되기도 한다. 과실의 품질을 향상하기 위하여 칼슘함량을 높이는 것은 매우 중요하기 때문에 석회의 토양시용과 더불어 보조적인 수단으로 칼슘용액을 사과나무에 살포한다. 그러나 일부 재배가들은 어린 과실에 봉지를 씌워 재배한다. 과실에 봉지를 씌웠을 때는 살포된 칼슘용액이 과실에 직접 묻지 않게 되는데 잎이나 가지 표면에 묻은 칼슘이 과실로 전류되는 양은 많지 않을 것으로 생각된다. 따라서 칼슘용액을 나무 수관에 살포할 때 봉지의 껍데 유무에 따라 과실로 흡수되어 축적되는 칼슘을 조사하고 방사성동위원소를 이용하여 잎과 과실 등 처리 부위를 달리하였을 때 과실 속 칼슘의 축적량을 조사하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

칼슘용액을 사과나무에 살포하였을 때 과실에 축적되는 칼슘이 어느 부위에서 흡수되어 전류된 것인지를 확인하기 위하여 플라스틱 필름 봉지로 과실을 껍데하거나 껍데하지 않은 채로 칼슘용액을 살포하였다. M26 대목에 접목하여 사양토에 재식한 7년생의 '후지' 사과나무에 CaCl_2 0.4%액을 9월 5일부터 10월 20일까지 5일 간격으로 10회 나무 전체에 충분히 살포하였다. 용액을 살포할 때마다 각 시험수에 착과된 과실의 일부(약 1/2)는 플라스틱 필름 봉지를 씌워 살포액이 과실에 묻지 않도록 하였고 나머지 과실(약 1/2)은 봉지를 씌우지 않고 칼슘용액을 살포한 다음 용액이 완전히 마른 후에 봉지를 제거하였다. 나무의 세력을 3개 등급으로 나누어 난괴법 3반복(구당 2주)으로 시험구를 배치하였다. 적숙기라 생각되는 10월 27일에 과실을 수확하여 과실 부위별 칼슘함량을 측정하였다. 과

실을 세척하여 과피를 분리한 다음 과육을 표면으로부터 0-5mm, 5-15mm, 15mm 이상 등 3부위 그리고 과심을 분리하였다. 분리한 과실 부위를 건조(60°C로 5일간 열풍 건조)하여 무게를 평량한 다음 분쇄하여 칼슘분석용 시료로 준비하였다. 시료 0.5g과 ternary solution (HNO₃:H₂SO₄:HClO=10:1:4)을 삼각플라스크에 넣어 가열 분해한 다음 원자흡광분광광도계 (Shimadzu AA-680)로 칼슘을 분석하였다. 과실 당 칼슘 총량은 건조한 무게에 칼슘 농도를 곱하여 산출하였다.

방사성동위원소를 이용하여 칼슘이 과실로 침투 전류되는 양상을 구명하기 위하여 ⁴⁵CaCl₂를 처리하였다. 사양토에 재식한 10년생의 ‘후지’ 사과나무를 시험수로 정하여 방사능이 10 μ Ci/mL인 ⁴⁵CaCl₂ 용액을 붓으로 잎과 과실에 도포하였다. 용액의 도포시기를 과실 발육 전반기(6월 20일~7월 10일)와 후반기(9월 23일~10월 7일)로 나누어 각 시기별로 용액을 과실만 도포한 구, 과실 주위의 과총엽만 도포한 구 그리고 과실과 과총엽을 모두 도포한 구 등 3개 처리구를 두었다. 과실 발육 전반기에는 10일 간격으로 3회, 후반기에는 7일 간격 3회 도포하였고 과총엽에 도포할 때에는 과실에 ⁴⁵CaCl₂ 용액이 묻지 않도록 이중 봉지를 씌우고 약액이 완전히 마른 다음 봉지를 제거하였다. 처리된 과실은 마지막 도포일로부터 21일 후(전반기 처리는 8월 1일, 후반기 처리는 10월 28일)에 과실을 채취하여 과경, 과피, 과육(과육은 3개 부위 즉 과피 직하로부터 5mm, 5-15mm, 15mm 이상) 및 과심으로 분리한 다음 ⁴⁵Ca의 방사능 측정용 시료로 하였다. 분리한 과실을 잘게 썰어 60°C의 열풍건조기로 3일간 건조하여 무게를 평량한 다음 건식 회화하여 liquid scintillation counter(Beckman LS5801 analyzer)로 방사능을 측정하였다. 방사성동위원소가 계속 붕괴되어 방사능이 감소되기 때문에 채취한 시료의 방사능 측정기간을 최소화하였다.

III. 결과 및 고찰

‘후지’ 사과나무에 CaCl₂ 용액을 수관살포하기 전에 과실을 플라스틱 필름 봉지로 씌워 살포액이 과실에 묻지 않도록 하고 10회 살포한 과실과 봉지를 씌우지 않고 살포한 과실의 칼슘농도 및 과실의 칼슘 축적량을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 살포액이 과실에 직접 묻은 과실은 봉지를 씌워 묻지 않은 과실보다 과피와 과육의 칼슘 농도가 높았다. 과심은 통계적 유의성은 인정되지 않았지만 높은 경향을 보였다. 과실에 축적된 총 칼슘량도 과실에 살포액이 묻은 과실이 묻지 않은 과실보다 38% 정도 증가되었는데 과피에서는 통계적 유의성이 인정되었고 과육과 과심에서는 유의성은 없었으나 많은 경향을 보였다.

Table 1. Effect of fruit bagging on calcium contents of fruit parts in 'Fuji' apple sprayed with CaCl₂ solution.^z

Treatment	Peel	Flesh	Core	Total
<i>Ca concentration (mg·kg⁻¹ dw)</i>				
Bagged	503	190	694	-
Non-bagged	905	255	767	-
Significance	**	*	NS	-
<i>Ca accumulation (mg/fruit)</i>				
Bagged	2.61	6.45	2.04	11.10
Non-bagged	4.64	8.83	2.32	15.29
Significance	*	NS	NS	*

^z 0.4% CaCl₂ was sprayed 10 times at 5-day intervals from Sept. 5 to Oct. 20.

NS, *, **Nonsignificant or significant at P≤0.05 or 0.01, respectively.

잎을 통하여 흡수된 무기성분은 체부를 통하여 타 부위로 전류되는데(Biddulph, 1956; Biddulph *et al.*, 1956) 칼슘은 식물체 내에서 재이동이 매우 곤란하여(Glenn and Poovaiah, 1985; Milikan and Hanger, 1966; Norton and Wittwer, 1963; Seito and Nagai, 1970) 잎이나 수피에서 흡수된 칼슘은 과실로의 이동량은 매우 적을 것으로 생각되었다. 따라서 본 연구의 결과와 같이 칼슘 용액을 나무에 살포할 때 꽤대한 과실에는 살포 효과가 매우 적어 과실에 묻도록 충분히 살포하는 것이 효과적이라 생각되었다. 과실의 과피나 외부 과육에 칼슘 농도가 높은 것은 살포한 용액 속의 칼슘이 과실의 표면에서 흡수되기 때문이라 판단되었다(Choi, 1993).

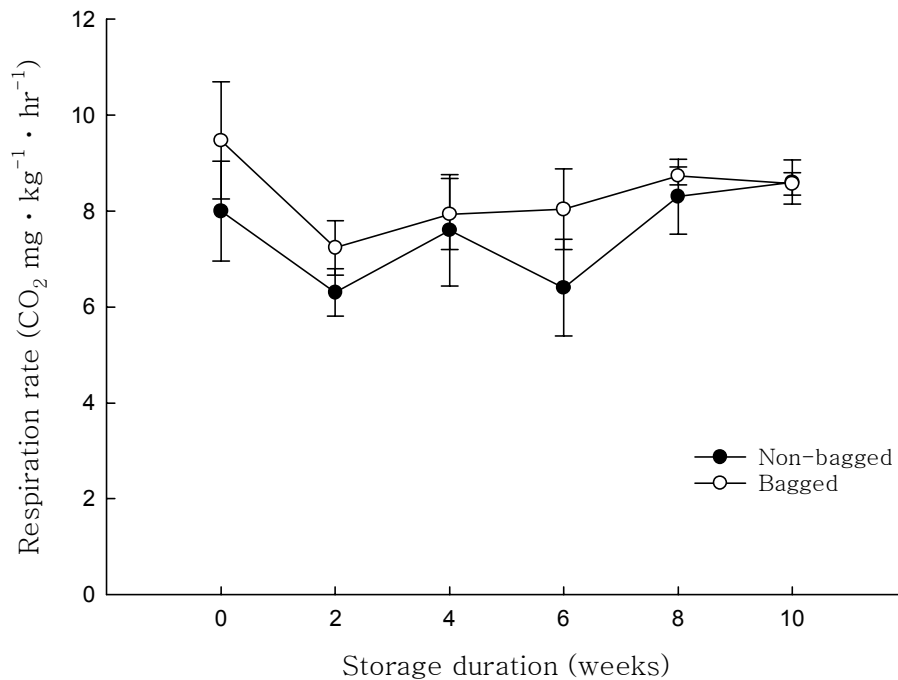


Fig. 1. Changes in respiration rate of fruits stored at temperature as affected by fruit bagging of 'Fuji' apple trees sprayed with CaCl₂. Vertical bars represent SE.

두 처리 과실을 일반 저장고에 저장하면서 과실의 호흡량을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 패대하지 않은 채로 칼슘 용액을 살포한 과실 즉 칼슘함량이 많은 과실은 그렇지 않은 과실에 비하여 저장 중에 과실의 호흡량이 감소하였다. 칼슘은 성숙 중인 과실의 호흡을 조절하여 칼슘 농도가 높은 과실일수록 mitochondria의 호흡이 억제되어 호흡량이 감소되고 climacteric rise가 지연된다는 보고(Blamlage *et al.*, 1973; Faust and Shear, 1972b; Gerasopoulos and Richardson, 1999)와 본 연구 결과가 같았다. 과실 호흡의 감소는 수확 후의 과실 품질 저하가 둔화되기 때문에 과실 칼슘함량이 많은 과실일수록 저장성이 높을 것이라 생각되었다.

봉지의 패대 유무에 따라 칼슘 용액을 살포하였을 때 과실의 표면에 부착된 칼슘이 과실 속으로 침투된 결과를 방사성동위원소를 이용하여 확인한 결과와 과실발육 단계별 살포 효과를 조사한 결과는 Table 2, 3과 같다. 과실 주위 과충엽만 방사능이 있는 칼슘 용액을 도포한 처리보다 과실 또는 과실과 과충엽에 처리하였을 때 과피, 과육 및 과심 부

위 모두 방사능이 많이 검출되었고 그 총량도 많았다. 그러나 과실만 처리한 구와 과실과 과총엽에 처리한 구는 과실 부위에 따라 방사능이 차이가 있었지만 일정한 경향이 없었다. 잎에만 처리하였을 때에 과실의 방사능은 자연 방사능 정도의 아주 미약한 수준이었기 때문에 잎에서 흡수한 칼슘(^{45}Ca)이 과실로 전류되지 않았음을 보여주었다. 그러나 과경에는 많은 양이 검출되어 일부 잎에서 전류된 칼슘이 과경부위에서 그대로 축적되었으며, 과실 또는 과실과 과총엽 도포 처리구에서도 과경의 방사능이 과실보다 높은 것은 칼슘이 과실로의 전류되는 것을 방해하고 있다는 가정을 할 수 있었다. 과실 또는 과실과 과총엽에 처리한 과실의 방사능을 부위별로 보면 과피가 가장 높았고 과육 부위가 낮았다.

Table 2. Effect of $^{45}\text{CaCl}_2$ applied to leaves or fruits at different stages of fruit growth on uptake and translocation of ^{45}Ca in 'Fuji' apple fruits.^z

Application part	Radioactivity (1000 cpm/g dw)					Core
	Pedicel	Peel	Flesh			
			Depth from peel (mm)			
			0-5	5-15	>15	
<i>Early season</i>						
Leaf	23.74	0.06	0.04	0.06	0.04	0.09
Fruit	65.41	48.48	9.38	0.48	0.44	30.19
Leaf +fruit	73.57	59.40	8.11	0.56	0.38	31.21
<i>Late season</i>						
Leaf	3.28	0.12	0.07	0.03	0.04	0.05
Fruit	349.86	225.91	14.82	0.89	5.34	11.89
Leaf +fruit	578.20	223.13	29.52	2.60	4.32	15.08

^z $^{45}\text{CaCl}_2$ (10 $\mu\text{Ci/mL}$) solution was applied 3 times June 20 to July 10 in early season, and from Sept. 23 to Oct. 6 in late season.

과실로 침투되었거나 전류된 ^{45}Ca 의 방사능을 6개 처리 전체의 총량으로 계산해 보면 과피에 가장 많이 축적되어 65.9%이었고 외부 과육(과피로부터 5mm까지의 과육)이 20.1%로서 이 두 부위에 86%가 집적되었다. 따라서 과피와 과피에 가까운 과육에 주로 집적된 것으로 보아 과피로부터 직접 흡수되었다는 것을 간접적으로 증명할 수 있었다.

이와 같은 결과는 Seito와 Nagai(1970)의 시험 결과와 비슷하였고 잎에서 흡수된 칼슘의 재이동이 극히 적다는 보고(Milikan and Hanger, 1966; Norton and Wittwer, 1963)를 재확인할 수 있었다.

과실 발육 전반기에 처리한 것보다 후반기에 처리한 것이 방사능이 높게 검출되었다. 특히 과경과 과피에서 그 차이가 뚜렷하였고 외부 과육에서도 후반기의 처리가 높았다. 과실이 발육함에 따라 과실 표면에 왁스층이 발달하게 되어(Faust and Shear, 1972 a; Glenn and Poovaiah 1985) 과실 표면에서의 양분 침투가 억제된다. 또한 과실이 발육에 수반하여 과피의 구조도 변하게 되는데 6월에는 큐티클층에 기공이 밀집된 것이 관찰되었고 7월에는 이들이 파괴되고 열개되며 8월에는 과점이 나타나고 점차 크고 깊게 열개된다(Glenn and Poovaiah 1985). 따라서 이들 열개된 부위로 가스의 교환은 물론 양분의 침투가 가능하게 되어 과실 발육 후반기에는 표피에 있는 왁스층은 칼슘의 침투를 억제하나 오히려 열개된 부분으로 칼슘의 침투가 용이할 것이다(Glenn and Poovaiah, 1985). 그러므로 과피를 통한 칼슘의 침투는 과실 발육 단계에 따라 차이가 있어 과실 발육 전반기보다 후반기의 살포 효과가 크다는 보고(Mason, 1979; Richardson and Lombard, 1979)와 본 연구 결과가 같았다.

Table 3. Effect of $^{45}\text{CaCl}_2$ applied to leaves or fruits at different stages of fruit growth on accumulation of ^{45}Ca in 'Fuji' apple fruits.^z

Application part	Radioactivity (1,000 cpm/fruit)						Total
	Pedicel	Peel	Flesh			Core	
			Depth from peel (mm)				
			0-5	5-15	>15		
<i>Early season</i>							
Leaf	2.1	0.2	0.4	0.8	0.2	0.2	3.9
Fruit	5.9	173.1	92.0	6.0	1.7	77.6	356.3
Leaf +fruit	6.6	212.0	79.6	6.9	1.4	80.2	386.7
<i>Late season</i>							
Leaf	0.2	0.6	0.6	0.4	0.2	0.1	2.1
Fruit	31.5	806.5	145.4	10.7	20.0	30.5	1,044.6
Leaf +fruit	52.0	796.6	289.6	32.0	16.2	38.8	1,225.2

^z $^{45}\text{CaCl}_2$ (10 $\mu\text{Ci/mL}$) solution was applied 3 times June 20 to July 10 in early season, and from Sept. 23 to Oct. 6 in late season.

IV. 참고문헌

- Biddulph, S.F. 1956. Visual indications of S³⁵ and P³² translocation in the phloem. Amer. J. Bot. 43:143-148.
- Biddulph, O., R. Cory, and S. Biddulph. 1956. The absorption and translocation of sulfur in Red Kidney bean. Plant Physiol. 31:28-33.
- Blamlage, W.J., M. Drake, and J.H. Baker. 1973. Influence of calcium content on the post harvest behavior of 'Baldwin' apples. HortScience 8:255.
- Choi, J.S. 1993. Effects of various calcium salt spray on calcium accumulation into apple fruits (*Malus domestica* Borkh.). J. of Natural Sci., Pai Chai Univ. 6(1):49-54.
- Faust, M. and C.B. Shear. 1972a. Fine structure of the fruit surface of three apple cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:351-355.
- Faust, M. and C.B. Shear. 1972b. The effect of calcium on respiration of apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:437-439.
- Gerasopoulos, D. and D.G. Richardson. 1999. Storage temperature and fruit calcium alter the sequence of ripening events of 'd'Angjou' pears. HortScience 34:316-318.
- Glenn, G.M. and B.W. Poovaiah. 1985. Cuticular permeability to calcium compounds in 'Golden Delicious' apple fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:192-195.
- Mason, J.L. 1979. Increasing calcium content of calcium-sensitive tissues. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10:349-371.
- Milikan, C.R. and B.C. Hanger. 1966. Movement of previously deposited ⁴⁵Ca in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by folia injection of certain cations. Aust. J. Biol. Sci. 19:1-14.
- Norton, R.A. and S.H. Wittwer. 1963. Folia and root absorption and distribution of phosphorus and calcium in the strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 82:277-286.
- Richardson, D.G. and P.B. Lombard, 1979. Cork spot of Anjou pear: Control by calcium sprays. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10:383-389.

Seito, M. and K. Nagai. 1970. Distribution of ^{45}Ca applied as chloride and hydroxide on the surface of leaves fruits and twigs of apple tree. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 39:291-297.