

## 고온기 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포가 파프리카 칼슘함량, 배꼽썩음과 발생과 경감에 미치는 영향

오정심<sup>1†</sup> · 이용범<sup>2,3†</sup> · 배종항<sup>3</sup> · 나종국<sup>4</sup> · 최기영<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>(사)국제원예연구원 연구원, <sup>2</sup>(사)국제원예연구원 원장, <sup>3</sup>원광대학교 원예산업학과 교수, <sup>4</sup>강원대학교 미래농업융합학부 교수

### Effects of Foliar Application of CaCl<sub>2</sub> on Ca Content and Occurrence and Alleviation of Blossom-end Rot of Paprika During High Temperature Season

Jeong Sim Oh<sup>1†</sup>, Yong-Beom Lee<sup>2,3†</sup>, Jong Hyang Bae<sup>3</sup>, Jong Kuk Na<sup>4</sup>, and Ki Young Choi<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, International Horticulture Institute, Seoul 02024, Korea

<sup>2</sup>Director, International Horticulture Institute, Seoul 02024, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Horticulture Industry, Wonkang University, Iksan 54538, Korea

<sup>4</sup>Professor, Division of Future Agriculture Convergence, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

**Abstract.** This experiment was carried out to determine the effect of CaCl<sub>2</sub> foliar spraying on the inhibition of blossom-end rot (BER) in hot summer paprika (*Capsicum annuum* L. 'Special') cultivation. The effect of CaCl<sub>2</sub> application was examined by the foliar application based on different fruit size, frequency, and spraying time. Also, it was investigated the occurrence and alleviation effect of BER symptom. Foliar application of CaCl<sub>2</sub> (Ca 0.4%) was conducted by treating a fruit and leaf at 4 to 9 nodes above the crown flowers of each plant with 350 mL per week from June 3 to July 1. When the CaCl<sub>2</sub> was sprayed at 7-day intervals for 4 weeks, the Ca content was the lowest in the fruit harvested with BER symptom in 11 to 20 mm of fruit width (FW). Four different regions in both BER symptom and normal fruits showed significant differences of Ca content, the highest was in pedicel, followed by stem-end, middle, and blossom-end. The Ca content increased sharply in normal paprika with 31 – 40 mm FW, in which Ca content was 78% higher than that of BER. Ca content in the middle and blossom-end of paprika over 21 mm in FW ranged 19.8% to 28.8% in normal fruits and 15.7% to 18.5% in BER, respectively. The incidence of BER increased rapidly by more than 60% in fruits with 31 – 40 mm FW. While there was no difference in fruit weight among the FW treatment, marketable yield rate was highest in the 21 – 30 mm FW, and the sugar content was high in the 11 – 30mm FW. When CaCl<sub>2</sub> was applied three times for 7 days to a paprika having a 21 – 30 mm FW, the cell wall-bound (CWB) Ca content was the highest and the rate of BER was lowest with 6.3%. After 10 days of CaCl<sub>2</sub> foliar spray treatment, the CWB Ca content of paprika increased by 2.9 to 3.5 times compared to the control in all treatments. At 7 days after the CaCl<sub>2</sub> foliar spraying once a day at varying spraying time, the leaf burn observed from 9:30 a.m. to 17:00 p.m. and the proline content increased as the spraying time was delayed. Therefore, the CaCl<sub>2</sub> foliar spraying method for reducing of BER occurrence during paprika summer cultivation seems to be appropriate to spray 2 – 3 times at intervals of 3 days and before 8 a.m. at the time when the FW is 21 – 30 mm.

**Additional key words :** blossom-end, cell wall-bound Ca, fruit width, leaf-burn, proline

## 서론

파프리카(*Capsicum annuum* L.)는 가지과(Solanacea)의 고추속(*Capsicum*) 고추종(annutam)에 속하는 다년생 식물

로 국내에서는 매운 맛이 없는 bell type의 유색 과피종을 말한다. 상업적 재배가 시작한 1990년대부터 파프리카는 고소득 작물이자, 채소류 대표적인 수출 품목으로 자리 잡으면서 지역별 정식시기를 달리하여 연중 생산이 이루어지고 있다.

파프리카 재배를 위한 24시간 평균 온도는 19 – 22.5°C 내외이며, 300W·m<sup>2</sup> 이상에서는 환기가 시작되거나, 27°C 이상, 700W·m<sup>2</sup> 이상인 환경에서는 시설 내 차광 스크린을 사용

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

\*Corresponding author: choiky@kangwon.ac.kr

Received August 9, 2021; Revised September 14, 2021;

Accepted September 14, 2021

하여 작물이 스트레스를 받지 않도록 관리하고 있다(Lee 등, 2011). 그러나 일조부족, 강광, 저온, 고온, 다습과 같은 파프리카 재배 조건에 부합한 환경에 노출되는 재배 기간에는 낙화, 낙과 등으로 착과 불량률이 증가하며, 선침과, 배꼽썩음과, 꼭지무름과, 일소과 등의 생리장해가 증가하여 생산성이 저하되고 있다(Lee 등, 2011; Rylski와 Spigelman, 1982).

Ca 결핍 생리장해로 알려진 파프리카의 배꼽썩음과는 고온기 강광, 고온 다습한 지상부 환경, 근권 내 고온, 높은 EC, 양이온간의 불균형, 양수분 흡수가 원활하지 못할 때 등 다양한 환경에서 발생한다(Lee 등, 2011). 또한 과실 비대기의 어린 과실에서는 Ca 수요가 필요하나 뿌리를 통한 Ca 이온의 흡수가 과실의 말단 부위로 분배가 원활하지 않을 때 배꼽썩음과 발생은 증가하며(Ho와 White, 2005), 품종, 생육단계, 착과량 등 작물적 요인에 의해서도 배꼽썩음과 발생 양상과 정도는 다르다(Adams와 Ho, 1995; Lee, 2010).

한편, 엽면시비는 일반적으로 뿌리에 의한 특정 양분의 흡수가 제한되어 생리장해가 유발될 때 부족한 양분을 보충하는 응급조치의 한 방법이다. 칼슘화합물의 엽면시비는 0.5% 이하에서 농도에서 주로 이루어지며(Kim 등, 2007),  $^{45}\text{Ca}$  표지 ( $2.8 \text{ MBq} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 칼슘화합물( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$ ) 종류에 따른 토마토 잎의 엽면 흡수율은 질산칼슘 처리에서 가장 높았고, 초산칼슘 처리에서 가장 낮았다고 Song 등(2006)은 보고하였다. Oh(2013)는 칼슘화합물 엽면살포에 의한 파프리카 배꼽썩음과 발생율이 무처리에 비하여 10-11% 감소하였으나,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 는 소과(<100g 이하) 발생이 많았으며,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 는 잎과 과실에 시비 흔적이 관찰되어 엽면살포 제제로  $\text{CaCl}_2$ 가 적합하다고 보고하였다. 또한 Yin 등(2005)은 5%  $\text{CaCl}_2$  용액을 사과에 침지 처리하였을 때 Ca는 세포벽 중층의 펙틴과 결합하여 단단한 세포벽을 형성하는데 작용하여 세포벽 칼슘함량을 증가시키며 과실의 품질과 저장성 향상(Moon 등, 1999a; Park, 1999)에 효과가 있다고 보고한 바와 같이 칼슘화합물은 작물, 시기, 방법 등에 따라 작용과 효과가 차이가 있을 수 있다.

따라서 본 연구는 여름재배 기간 중  $\text{CaCl}_2$  엽면 살포 처리에 의한 파프리카의 배꼽썩음과 발생 경감 효과를 알아보기로  $\text{CaCl}_2$  수용액을 과실 크기, 살포 횟수 및 살포 시간을 달리하여 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시 재료 및 재배환경

본 실험은 3월부터 7월까지 서울시립대학교 양지봉형 온실에서 수행되었다. 공시 품종은 파프리카 빨강색 'Special'(Enza

Zaden)이며, 2011년 2월 20일 파종하여 본엽 3매가 전개 되었을 때 암면블럭( $10 \times 10 \times 7.5 \text{ cm}$ , UR media, Korea)에 줄기를 U-type 절곡 이식 후 PBG 배양액  $\text{EC } 2.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  을 저면 관수하여 육묘하였다. 배양액을 포수시킨 코코넛 코이어 (dust:chip = 5:5,  $100 \times 20 \times 12 \text{ cm}$ , Shinsung Mineral Co., Srilanka) 배지에 파프리카 암면 블록을 5월 4일  $10 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  간격으로 정식하여 V자형으로 2줄기 유인하면서 수경재배 하였다. 재배 기간 중 배양액은 PBG 파프리카 표준액(Sonneveld와 Straver, 1992)을 사용하여  $\text{EC } 2.5 \pm 0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\text{pH } 5.7 \pm 0.1$  로 공급하였다. 식물체 1주당 1회 급액량은 100mL로 하고 작물 생육을 도모하기 위해 생육단계와 기후 조건에 따라 급액시간과 급액간격을 조절하되 배지 수분함량은 FDR 센서(WT100, Miraesensor Co., Seoul, Korea)를 사용하여 60-65% 범위로 관리하였다. 한편 착과기에는 배꼽썩음과 발생 환경 조장을 위하여 공급 EC를 점진적으로  $3.5 \pm 0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  까지 올려 배액  $\text{EC } 6.0 \pm 0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  되도록 하였고, 급액시간을 줄이기 위해 급액량 130mL/회/plant로, 공급 횟수를 늘려 배지 함유율을 60-65% 범위로 관리하였다. 온실 내 온도와 습도는 온습도센서(SHT-110, Miraesensor CO., Korea)로 10분마다 측정하였다. 6월의 평균기온은  $26.0^\circ\text{C}$  ( $21.3^\circ\text{C} - 37.0^\circ\text{C}$ ), 상대습도는 평균 57.6% (38% - 84.5%)였으며, 6월의 맑은 날 수는 총 14일 이었다. 7월의 평균기온은  $29.2^\circ\text{C}$  ( $23^\circ\text{C} - 38.7^\circ\text{C}$ ), 상대습도는 64.3% (46% - 88.7%)였으며, 맑은 날 수는 10일로 흐린 날이 많았다.

### 2. 파프리카 $\text{CaCl}_2$ 엽면 살포 처리

엽면 살포용 칼슘 화합물은  $\text{CaCl}_2$  수용액으로  $\text{CaCl}_2$  ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{EC } 19.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\text{pH } 6.13$ )을 증류수에 완전히 용해한 후 과실과 착과 마디 앞에 처리하였다. 엽면 살포 처리는 6월 3일부터 7월 1일까지 방아다리 위 4-9 마디의 착과 과실을 대상으로 식물체 1주당 350mL씩 처리하였다.

$\text{CaCl}_2$  엽면 살포 시기를 알아보기 위해 과실 크기별 과폭 기준 11-20mm, 21-30mm, 31-40mm, 41-50mm, 51-

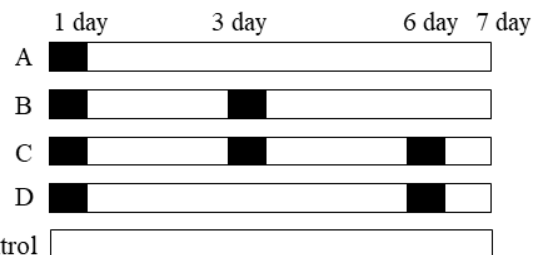


Fig. 1. Treatment times schedules of foliar spray of the  $\text{CaCl}_2$  (■ treatment day).

60mm로 설정하여 6월 3일 부터 7월 1일 까지 7일 간격으로 오전 7시-8시 사이에 살포하였고, 총 4회 처리하였다. 처리 후 수확한 파프리카의 특성 조사, 정상 녹숙과와 처리시기에 발생한 배꼽썩음과를 구분하여 부위별(Fig. 2) Ca 함량을 분석하였다.

CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 횟수를 구명하기 위해 7일 기준으로 1회(A), 2회(B, D), 3회(C) 살포하는 4 처리구를 Fig. 1과 같이 설정하여 과폭 21-30mm의 과실과 착과마디 위에 6월 10일부터 17일까지 처리하였다. 처리 후 10일과 17일째 파프리카를 채취하여 세포벽 Ca 함량을 분석하였고, 상품과율, 비상품과율 및 배꼽썩음과 발생을 조사하였다.

고온기 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 시간을 알아보기 위해 6월 15일 오전 07:30, 09:30, 12:00 및 오후 17:30에 각각 과폭 21-30mm의 과실과 착과마디의 위에 1회 분무 처리하였다. 처리 후 7일째 잎의 엽소 현상 및 proline 함량을 분석하였다.

### 3. 파프리카 특성 조사

파프리카 과실 특성 조사는 7월 13일 부터 7월 25일 까지 75%-80%의 착색과를 수확하여 과수, 과중, 상품과율, 배꼽썩음과 발생율, 비상품과율 및 당도를 조사 분석하였다. 상품과율, 배꼽썩음과 발생율, 비상품과율은 식물체 1주당 수확 과수 대비 각각의 과수 비율로 산출하였고, 비상품과는 100g 이하의 소형과, 기형과 등으로 분류하였다. 당도는 당도계(Refractometer PAL-1, Atago, Japan)로 측정하였다.

### 4. 파프리카 Ca 함량 분석

분석용 시료는 파프리카 과실 표면에 엽면 살포했던 칼슘화합물을 완전히 제거하기 위해 증류수로 깨끗이 세척한 후 75°C에서 10일간 건조하여 일반습식분석법(50% HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)에 따라 분해한 후(RDA, 2000), 원자흡광광도계(Analyst 400, Perkin-Elmer Co., USA)를 이용하여 Ca 함량을 측정하였다.

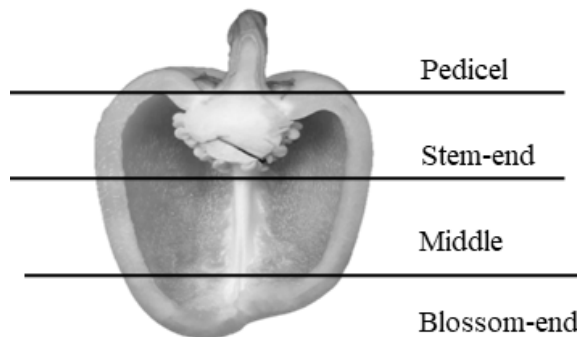


Fig. 2. Four different regions of paprika fruit for the analysis of Ca content.

파프리카 세포벽 Ca함량은 세포벽 내에 존재하는 Ca이온의 결합 형태에 따라 Moon 등(1999a)과 Park과 Lee(1991)의 방법을 수정하여 분석하였다. 세포벽 결합형(Cell wall-bound, CWB) Ca 함량은 과실 50g을 증류수에 넣고 10분간 가열하여 균질화 및 여과, pH 5.0과 pH 3.5의 0.1M NaCl에서 각각 교반하여 여과한 후 불순물 제거 후 증류수와 에탄올로 각각 정제하여 아세톤으로 탈수시켜 세포벽 물질을 추출하였다. 추출한 세포벽 물질을 40°C에서 건조하여 0.5g을 취한 후 습식 분해하여 원자흡광광도계로 측정된 Ca 함량을 CWB Ca 함량으로 사용하였다.

### 5. 파프리카 잎 Proline 함량 분석

하루 중 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 시간을 달리하여 분무한 후 처리 7일째 엽소 현상 여부를 관찰하고, 엽소현상이 발생하지 않은 성장점으로부터 4-5마디 아래 잎을 proline 함량 분석용 시료로 사용하였다. Proline 함량 분석은 Bates 등(1973)의 방법을 응용하여 생체 1g을 액체 질소를 이용하여 동결시킨 후 분쇄하여 얻어진 시료 0.5g에 3% sulfosalicylic acid 10mL를 가한 후 10분간 혼합하여 14,000 × g로 20분간 원심분리하였다. 원심분리 후 얻어진 상등액에 acid-ninhydrin과 glacial acetic acid를 각각 2mL씩 넣어 반응시켜 toluene을 첨가해 정치시킨 후 UV-Visible 흡광광도계(UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 520nm에서 흡광도를 측정하여 유리 proline 함량을 산정하였다.

$$\text{Proline}(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fw}) = [(\mu\text{g proline}/\text{mL} \times \text{mL toluene})/115.5\mu\text{g } \mu\text{mole}]/(\text{g}/0.5)$$

### 6. 실험 통계 방법

시험구는 완전임의배치법으로 3반복하였으며, Ca 함량, 과실 특성, proline 함량 결과는 처리당 3개체를 선발하여 3반복으로 간주하여 측정하였다. 자료 분석은 SAS 9.3 소프트웨어 패키지(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 사용하여 Duncan's multiple range test로 5% 유의 수준에서 각 처리 간 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

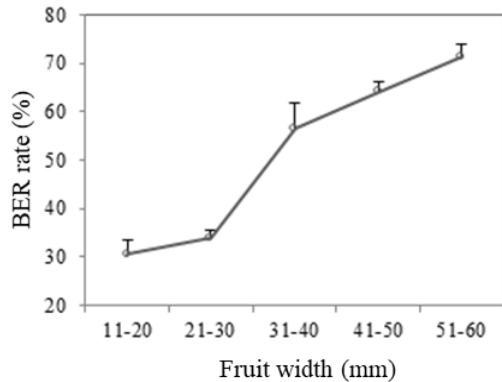
파프리카의 과실 크기가 다른 시기에 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포를 7일 간격으로 4회 처리한 후 수확한 과실의 정상과와 배꼽썩음과를 분류하여 각 부위별 Ca 함량을 분석하였다. 과실 Ca 함량은 배꼽썩음과가 정상과에 비하여 낮았으며, pedicel > stem-end > middle, blossom-end 순으로 낮아졌다(Table 1).

**Table 1.** The mean calcium content in four different regions of paprika fruit after CaCl<sub>2</sub> spray during summer cultivation. Foliar application of CaCl<sub>2</sub> was carried at different fruit development stages in 11 to 60 mm of fruit width.

Fruit width (mm)	Ca content (mg·kg <sup>-1</sup> ) of in paprika fruit									
	Pedicel	Stem-end	Middle	Blossom-end	Total	Pedicel	Stem-end	Middle	Blossom-end	Total
	BER fruit					Normal fruit				
11-20	1,306.5 d <sup>z</sup> (48.5%)	605.0 a (22.4%)	382.5 a (14.2%)	400.8 a (14.9%)	2,695 (100%)	2,113.3 c (47.7%)	1063.6 c (24.0%)	737.6 cd (16.6%)	520.3 cd (11.7%)	4,435 (100%)
21-30	2,811.0 b (72.3%)	468.1 b (12.0%)	264.7 b (6.8%)	345.9 c (8.9%)	3,890 (100%)	2,415.2 bc (54.8%)	843.5 d (19.2%)	659.9 d (15.0%)	485.6 d (11.0%)	4,404 (100%)
31-40	2,583.0 c (65.5%)	632.5 a (16.0%)	365.0 a (9.3%)	363.0 bc (9.2%)	3,944 (100%)	4,520.9 a (64.5%)	1105.3 c (15.8%)	766.2 c (10.9%)	621.1 bc (8.9%)	7,014 (100%)
41-50	3,219.5 a (69.7%)	619.5 a (13.4%)	376.3 a (8.1%)	403.5 a (8.7%)	4,619 (100%)	2,987.8 b (46.6%)	1583.0 b (24.7%)	935.5 a (14.6%)	911.9 a (14.2%)	6,418 (100%)
51-60	3,109.5 a (69.7%)	583.0 a (13.1%)	395.0 a (8.9%)	375.0 b (8.4%)	4,463 (100%)	3,898.2 a (54.5%)	1703.0 a (23.8%)	874.3 b (12.2%)	673.8 b (9.4%)	7,149 (100%)

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05.

( ) means the ratio to the total Ca content



**Fig. 3.** Incidence rate of BER in the fruit treated by CaCl<sub>2</sub> spray during summer cultivation. Fruits were sprayed when it reached at the 11 - 20, 21 - 30, 31 - 40, 41 - 50, and 51 - 60 mm of fruit width.

배꼽썩음과와 정상과 모두 과폭 크기가 커질수록 과실 Ca 함량이 증가하였다. 과폭 크기에 따른 Ca 함량은 배꼽썩음과의 경우 과폭 11 - 20mm 처리에서 가장 낮았고, 과폭 21mm 이상의 처리에서 middle과 blossom-end 부위는 15.7% - 18.5% 범위였다. 또한 배꼽썩음과 과폭 21 - 30mm 처리의 pedicel Ca 함량은 정상과의 pedicel보다 높았다. 배꼽썩음과에 비해 정상과 파프리카 Ca 함량은 과폭 31 - 40mm에서 뚜렷하게 증가하였고, middle과 blossom-end 부위 Ca 함량은 19.8% - 28.8%로 배꼽썩음과에 비해 높은 비중을 나타냈다. 정상과 과폭 31 - 40mm 처리의 Ca 함량(7,014mg·kg<sup>-1</sup>)은 배꼽썩음과(3,944mg·kg<sup>-1</sup>)에 비하여 78% 높았다.

과폭 부위별 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 처리된 파프리카의 배꼽썩음과는 모든 처리에서 31.3% - 72.4% 발생되었다(Fig. 3). 배꼽썩음과가 과폭 11 - 30mm에서는 30% 내외, 31 - 40mm 처리에서는 58%, 51 - 60mm 처리에서는 70% 이상 발생하여 과폭 31mm 이상에서 배꼽썩음과 발생이 약 2배 증가하였다.

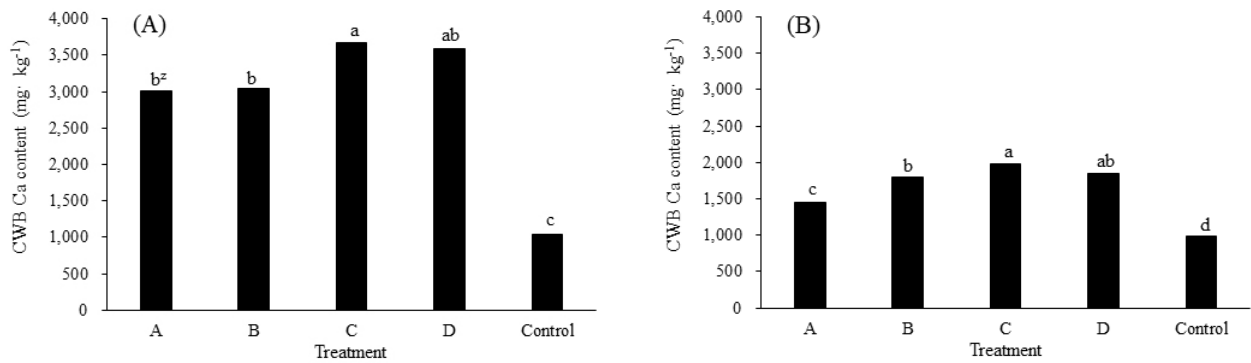
Ca 이온은 과실 내 이동이 어려워 흡수, 축적 및 분배가 잘되지 않는 것으로 알려져 있으며, 토마토 Ca 함량은 blossom-end 부위가 stem-end 부위보다 낮아 과실의 연화는 blossom-end 부위에서 시작된다고 하였다(Park과 Lee, 1991). 본 실험에서 Ca 함량이 급격하게 증가하였던 과폭 31 - 40mm 처리는 배꼽썩음과 발생율이 급격히 증가하는 과폭 처리와 일치하였고(Fig. 3), 과폭 21mm 이상 처리에서 middle과 blossom-end 부위 Ca 함량이 정상과(19.8% - 28.8%)에 비해서 배꼽썩음과에서는 15.7%-18.5%로 낮았다(Marcelis와 Hofman-Eijer(1995)은 온실 평균 온도 20°C의 환경에서 파프리카 과실 생장은 개화 20일 후 과장 20 - 50mm에 도달하며, 이 시기 과장과 과폭의 급격한 증가는 생체중의 양적 증가 시기로 과실로의 양분 sink 요구에 부합하지 못하면서 온도와 광이 증가하면 배꼽썩음과 발생이 빈번해진다고 하였다. 본 실험은 여름재배기 평균온도 25°C 이상의 고온으로 Marcelis와 Hofman-Eijer(1995)가 보고한 과실 비대기간보다 짧은 20 - 40mm가 과실 비대 최성기였다(자료 미제시). 따라서 과 비대에 따른 Ca 함량 요구도가 높아져 정상과와 배꼽썩음과 간의 Ca 함량 차이가 커졌던 과폭 크기 30mm에 도달되기 이전에 Ca 이온을 살포하여야 배꼽썩음과 발생 억제에 효과가 있

**Table 2.** Characteristics of paprika after CaCl<sub>2</sub> spray during summer cultivation. Foliar CaCl<sub>2</sub> application was carried at different fruit development stages in 11 to 60 mm of fruit width.

Fruit with (mm)	No. of fruits (ea/plant)	Fruit weight (g·plant <sup>-1</sup> )	Marketable rate (%)	Non-Marketable rate <sup>y</sup> (%)	Sugar content (°Brix)
11–20	4.2 e <sup>z</sup>	113.4 b	61.4 a	7.3 a	9.4 a
21–30	7.7 b	121.8 a	62.5 a	5.5 ab	9.4 a
31–40	6.4 c	124.8 a	37.2 b	4.8 b	8.2 b
41–50	7.1 bc	124.3 a	34.4 b	2.3 c	8.1 b
51–60	5.2 d	126.2 a	24.6 c	3.0 c	8.1 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05.

<sup>y</sup>Non marketable rate excluded blossom-end rot rate.



**Fig. 4.** Cell wall-bound (CWB) calcium content of paprika at 10 days (A) and 17 days (B) after CaCl<sub>2</sub> treatment<sup>y</sup> at different sprayed time for 7 days.

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05.

<sup>y</sup>See the Fig. 1.

을 것이라 판단되었다.

과실 크기별 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포를 7일 간격으로 4회 처리한 후 파프리카 특성을 조사한 결과 파프리카 수확 과실수는 11–20mm 크기 처리에서 가장 적었고, 상품과율은 21–30mm 크기에서 가장 높았다(Table 2). 파프리카 과폭 11–20mm에서 엽면 살포는 낙과 발생을 유발하여 수확 과수가 적었으며, 기형과, 소과 등 비상품과율이 다른 처리구 보다 높아 엽면 살포 시기로 부적합하였다. 또한 과폭 31mm 이상의 처리구에서는 파프리카 과실 비대가 진행되면서 배꼽썩음과 발생율이 60%를 넘어 과실 비대 최성기 Ca 엽면 살포 처리는 배꼽썩음과 발생 경감에 효과가 없었다. Ho와 White(2005)는 토마토의 Ca 엽면 살포가 토마토 과실의 빠른 성장기에 Ca 결핍을 최소화시킬 수 있으나, 이는 과실 성장에 따른 정확한 살포 시기를 알아야 Ca 살포 효과를 볼 수 있으며, 이와 함께 배꼽썩음과 발생 효과를 증대시킬 수 있다고 하였다.

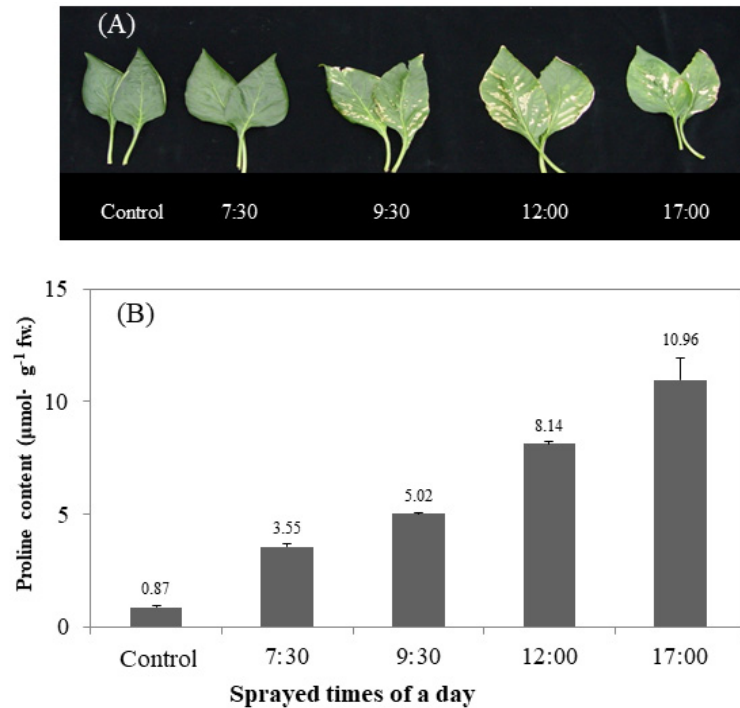
CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포에 따른 과폭 20–60mm 처리에서 파프리카 과중은 차이가 없었으며, 당도는 과폭 11–30mm 처리에서 높았다. Kim과 Kim(1999)은 하우스 온주밀감을 착색시

부터 15일 간격으로 1–3회 Ca 엽면 살포하였을 때 무처리구에 비해 살포회수가 2회 이상 처리에서 굴절당도계에 의한 당도가 증가하였음을 보고하였다. 한편 Yin 등(2005)은 보조제를 첨가한 CaCl<sub>2</sub> 5% 용액에 15분 침지 처리하여 저장한 ‘후지’ 과실의 당도가 30일 째는 무처리에 비해 증가하였으나 과중에는 차이가 없었고, 60일과 90일에는 당도에 차이가 없다고 하였으며, Moon 등(1999b)은 신고’ 과실을 봉지씌우기 전 CaCl<sub>2</sub>(1,400mg·L<sup>-1</sup>) 4회 수관 살포하였을 때 과실 경도는 증가하였으나, 가용성 당도와 무게는 차이가 없다고 보고하여 작물에 따른 품질의 영향이 상이하였다.

일반적으로 원예작물의 세포벽 내 펙틴사슬에 이온 결합되어 있는 CWB(cell wall-bound) Ca 함량은 숙성과 관련된 대사작용에 관여하여 CWB Ca의 비율에 따라 저장성이 결정되는 것으로 보고(Park, 1999; Yin 등, 2005)되어, 본 실험에서는 CaCl<sub>2</sub>수용액을 엽면 살포한 후 파프리카 과실의 CWB Ca 함량을 분석하였다(Fig. 4). 파프리카 과폭이 21–30mm일 때 7일 동안 엽면 살포 횟수를 달리하여 처리하였을 때, C처리(3회 엽면 살포)에서 CWB Ca 함량은 가장 높았다. 처리 후 10

**Table 3.** Characteristics of paprika after CaCl<sub>2</sub> spray at different sprayed time for 7 days during summer cultivation.

Treatment <sup>z</sup>	Marketable yield rate (%)	Non marketable yield rate <sup>x</sup> (%)	BER rate (%)
A	72.3 d <sup>y</sup>	13.6 b	15.1 b
B	80.0 c	13.3 b	6.7 d
C	87.4 a	6.3 e	6.3 e
D	89.6 b	8.7 d	11.7 c
Control	61.1 e	22.2 a	19.7 a

<sup>z</sup>See the Fig. 1.<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .<sup>x</sup>Non marketable yield rate excluded blossom-end rot rate.**Fig. 5.** Leaf-burn symptom (A) and proline content (B) of paprika leaves at 7 days after CaCl<sub>2</sub> treatment at different spraying time during a day. Values are mean of 3 replicates ± SD(standard deviation).

일과 17일째 파프리카는 각각 과경 31-40mm, 과경 45-50mm에 도달하였으며, CWB Ca 함량은 엽면 살포한 모든 처리에서 무처리구에 비하여 증가하였다. 처리 후 10일째 CWB Ca 함량은 2.9배(A처리)-3.5배(C처리) 증가하였고, 처리 후 17일째 CWB Ca 함량은 1.5배(A처리)-2배(C처리) 증가하였다.

엽면 살포 횟수에 따른 배꼽썩음과 발생률은 7일 동안 총 3회 분무한 C처리와 2회 분무한 B처리에서 각각 6.7%, 6.3%로 가장 낮았다(Table 3). 한편 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 1회 처리 후 6일째 다시 처리한 D처리(2회)의 배꼽썩음과 발생률은 A, B처리보다 증가하였다. 이는 과폭 21-30mm 크기의 과실 비

대기 세포벽 과실이 연화되는 과정에서는 3일 간격으로 2회 살포하는 것이 6일 간격으로 2회 살포하는 것 보다 파프리카 CWB Ca 함량을 증가시킴으로써 배꼽썩음과 발생 경감에 효과가 있음을 보여준 결과라 판단한다.

고온기 엽면 살포 가능한 시간을 확인하고자 엽소 현상 발생 여부와 proline 함량을 분석한 결과(Fig. 5). 오전 9시 30분부터 오후 5시 까지 처리된 잎에서는 엽소현상이 관찰되었으며, 엽소현상이 발생하지 않은 성장점으로부터 4-5마디 아래 잎의 proline 함량은 처리 시간이 늦어질수록 증가되었다. 9:30 처리구는 proline 함량이 5.02 μmol·g<sup>-1</sup>·FW로 7:30 처리구보다 증가하였고, 엽소현상이 관찰 되었다. 식물의 생육 과정에

서 엽 스트레스를 받으면 세포내 동화 산물인 glutamin acid가 유리 proline으로 전환하며 proline은 삼투작용과 관련이 있어 proline의 축적은 엽 스트레스와 수분부족에 대한 일반적인 지표로 여겨진다(Hsu 등, 2003). 엽면 살포가 처리된 시기는 여름이고, 처리 기간 중 최고 온도가 37°C까지 높아져 광량 증가에 따라 엽에 남겨진 용액으로 엽소현상이 오전 시간에도 발생된 것으로 보인다.

엽면 살포로 흡수된 양분의 세포 내 이동은 해면조직(spongy mesophyll)이 있는 기공을 통해 흡수하여 직접 원형질막으로 침투하여 세포질로 이동한다고 하였으며(Burkhaedt와 Eicher, 2001), 세포 내 이온 이동은 습도가 높은 시기에 흡수가 잘되며 광이 존재하는 시간이 광이 없을 때 보다 CaCl<sub>2</sub> 흡수량이 1.5배-3.0배 증가한다고 하였다(Schlegel와 Schonherr, 2002; Hossain와 Jun, 2007). 한편 cuticle층은 음전기를 띠고 있어 양이온의 흡수를 촉진시키는 것으로 알려져 있으며(Kim, 2003), Ca 0.4%를 함유한 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포는 파프리카 과실 조직 내 Ca 함량 보다 높아 침투가 쉬울 수 있으며(Table 1), 수용액 형태의 분무로 과실 흡수에 용이하게 작용한 결과로 본다. 따라서 본 실험에서는 고온기 파프리카 과폭 30-40mm 이상일 때 배꼽썩음과 발생은 급격히 증가하였고, 이를 경감시키기 위해서는 30mm 이하일 때 CaCl<sub>2</sub>를 엽면살포 2-3회 3일 간격으로 분무하는 것이 CWB Ca 함량을 증가시켜 주는데 효과적이었다. 또한 고온기는 오전 중이라도 증산이 활발해지는 시간은 식물체 수분스트레스를 유발시킬 수 있으므로 오전 8시 전에 엽면 살포하는 것이 엽소현상과 엽 스트레스를 줄일 수 있으리라 본다.

## 적 요

본 실험은 고온기 파프리카 재배에서 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포에 의한 배꼽썩음과 발생과 경감 효과를 알아보고자 과실 크기에 따른 살포 시기, 횡수 및 시간에 미치는 영향을 구명하였다. CaCl<sub>2</sub>(Ca 0.4%) 엽면 살포는 6월 3일부터 7월 1일 까지 방아다리 위 4-9 마디의 착과 과실과 잎에 식물체 1주당 350mL/회를 처리하였다. CaCl<sub>2</sub>를 7일 간격으로 4주간 엽면 살포 후 수확한 파프리카의 Ca 함량은 배꼽썩음과 과실의 과폭 11-20mm 처리에서 가장 낮았고, pedicel > stem-end > middle, blossom-end 순으로 낮아졌다. 정상과 과실의 Ca 함량은 과폭 31-40mm 처리에서 뚜렷하게 증가하였고 배꼽썩음과와 비교할 때 78% 높았다. 과폭 21mm 이상의 과실 middle과 blossom-end 부위 Ca 함량은 정상과에서는 19.8%-28.8%였으며, 배꼽썩음과에서는 15.7%-18.5%였다. 과폭 31-40mm 처리에서 배꼽썩음과 발생율은 60% 이상으로 급격히

증가하였다. 과폭 크기별 엽면 살포 처리에 따른 파프리카 과중은 차이가 없었으며, 상품과율은 21-30mm 크기에서 가장 높았고, 당도는 과폭 11-30mm 처리에서 높았다. 과폭 21-30mm 파프리카에 7일 동안 CaCl<sub>2</sub>를 3회 엽면 살포하였을 때 세포벽 결합(cell wall-bound, CWB) Ca 함량은 가장 높았고, 배꼽썩음과 발생율은 6.3%로 가장 낮았다. CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 처리 10일 후 파프리카의 CWB Ca 함량은 대조구에 비해 모든 처리에서 2.9배-3.5배 증가하였다. 하루 중 1회 시간을 달리하여 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포하였을 때, 7일째 엽소현상이 오전 9시 30분 처리에서 부터 오후 17시 처리 까지 관찰되었고, proline 함량은 처리 시간이 늦어질수록 증가되었다. 따라서 파프리카 여름재배시 배꼽썩음과 발생 경감을 위한 CaCl<sub>2</sub> 엽면 살포 방법은 과폭 21-30mm인 시기에 3일 간격으로 2회-3회, 오전 8시 이전에 살포 하는 것이 적합하리라 본다.

**추가 주제어** : 과폭, blossom-end, 세포벽 결합 Ca, 엽소현상, proline

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품수출비즈니스전략모델 구축사업(320101032HD030)의 지원을 받아 연구되었음.

## Literature Cited

- Adams P., and L.C. Ho 1995, Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta Hort* 401:357-363. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.401.43
- Bate L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare 1973, Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39:205-207.
- Burkhaedt J., and T. Eicher 2001, Stomatal uptake as an important factor in foliar nutrition. *In* WJ Horst et al., ed, *Plant Nutrition*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London.
- Ho L.C., and P.J. White 2005, A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Ann Bot* 95:571-581. doi:10.1093/aob/mci065
- Hossain M.B., and J.H. Jun 2007, Foliar absorption mechanism and movement of fermented and non-fermented mono-calcium phosphate on fruit trees and vegetable. PhD Thesis, Daegu University, Korea.
- Hsu S.Y., Y.T. Hsu, and C.H. Kao 2003, The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves. *Biol*

- Plant 46:73-78. doi:10.1023/A:1022362117395
- Kim SY., K.D. Go, and B.C. Jang 2007, Vegetable cultivation status and nutritional disorder diagnosis. In Rural Development Administration, ed, Standard farming textbook: Nutritional disorders of vegetables, Sami Press, pp 115-117.
- 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.R. 2003, Inorganic nutrients diagnosis of hydroponics culture tomato using a sap analysis. PhD Thesis, Cheju National University, Korea.
- Lee H.J. 2010, Plant growth, calcium distribution and proteome expression to different cation ratios of nutrient solution of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in hydroponics, PhD Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee J.P., J.H. Lee, D.J. Mung, G. Ryu, J.S. Yun, and Y.B. Lee. 2011, Environment control in greenhouse and paprika cultivation technology. Sion Press. pp 35-47, 121-128. (in Korean)
- Marcelis L.F.M., and L.R.B. Hofman-Eijer 1995, Growth analysis of sweet pepper fruit (*Capsicum annuum* L.), Acta Hort 412:470-478. doi:10.17660/ActaHortic.1995.412.56
- Moon B.W., J.S. Choi, and K.H. Kim 1999a, Effects of pre- or post-harvest application of calcium compound extracted from oyster shell on the changes in cell wall calcium content, enzyme activity, and cell structure during storage of apple fruits. J Kor Soc Hort Sci 40:345-348. (in Korean)
- Moon B.W., S.T. Lim, and J.S. Choi 1999b, Effects of foliar sprays of liquid calcium fertilizer manufactured from oyster shell on calcium concentrations and quality of 'Nittaka' oriental pear fruits. J Kor Soc Hort Sci 40:571-573. (in Korean)
- Oh J.S. 2013, Effects of relative humidity, ion ratios of nutrient solution and calcium foliar application on occurrence and reduction of blossom-end rot(BER) in Sweet Pepper. PhD Thesis, University of Seoul, Seoul, pp 116-126. (in Korean)
- Park S.W. 1999, Effect of calcium on cell wall metabolism and ripening of horticultural products. Kor J Hort Sci Technol 17:377-380. (in Korean)
- Park S.W., and S.K. Lee 1991, Calcium, magnesium and potassium ion uptake in normal and rin tomato plants and their accumulation in fruit cell wall. J Kor Soc Hort Sci 32:163-172.
- Rural Development Administration (RDA) 2000, Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Rylski I. and M. Spigelman 1982, Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. Sci Hortic 17:101-106. doi:10.1016/0304-4238(82)90001-2
- Schlegel T.K., and J. Schonherr 2002, Selective permeability of cuticles over stomata and trichomes to calcium chloride. Acta Hort 594:91-96. doi:10.17660/ActaHortic.2002.594.7
- Song S.J., Y.R. Kim, S.G. Han, and Y.G. Kang 2006, Foliar absorption rates of <sup>45</sup>Ca-labeled calcium compounds applied on tomato and leaves. Korean J Soil Sci Fert 39:80-85. (in Korean)
- Sonneveld C., and N. Straver 1992, Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates, Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer, pp 19-20.
- Yin K.K., B.W. Moon, Y.J. Ahn, and J.S. Choi 2005, Effect of postharvest dipping in CaCl<sub>2</sub> solutions with some adjuvants on the fruit quality and calcium concentration of 'Fuji' apples during storage. Kor J Hort Sci Technol 23:181-187. (in Korean)