

# 토양수분, 칼슘부족 및 주야간 습도에 따른 고랭지배추 팁번 발생

김기덕\*  · 서종택 · 김창석 · 지삼녀

국립식량과학원 고령지농업연구소

## Tipburn Occurrence According to Soil Moisture, Calcium Deficiency, and Day/Night Relative Humidity Regime in Highland Kimchi Cabbage

Ki-Deog Kim\* , Jong-Taek Suh, Chang-Seok Kim, and Sam-Nyu Jee

Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongchang 25342, Korea

\*Corresponding author: [kkd1414@korea.kr](mailto:kkd1414@korea.kr)

### Abstract

Tipburn occurs occasionally in Kimchi cabbage, and lowers quality and yield. This study was carried out to understand the causes and reduce the occurrence of tipburn. Daily calcium uptake increased rapidly at the heading time when Kimchi cabbage biomass increased. Tipburn occurred when Kimchi cabbage was hydroponically cultured for over 24 hours in calcium-deficient nutrient solution, and occurred on leaves ranging from the 20th to 50th leaf from the outer leaf. Calcium content was lower in inner leaves than in outer leaves, and was lower at the leaf margins than in the middle part of the leaf. Tipburn was more sensitive to soil drying than to saturated soil. In the 70/100% day/night relative humidity (RH) treatment, tipburn did not occur at all, and in the 50/100% RH treatment, it appeared mildly at the initial stage and recovered. In the 40/80% RH treatment, in which the RH was kept low during the day, tipburn occurred severely, and in the 20/40% RH treatment, in which the RH was kept very low during the day and night, the leaves were shriveled, but tipburn did not occur. It seems that the occurrence of calcium deficiency can be reduced by increasing the humidity at night while managing sufficient soil moisture in highland Kimchi cabbage.

**Additional key words:** chinese cabbage, microclimate, physiological disorder, sapflow, vapor pressure deficit

### 서 언

여름철 단경기에 생산되는 중요한 부식 채소 중의 하나인 고랭지배추는 일반적으로 식미감, 선택, 저장성, 가공적성 등이 품질을 좌우하는 요인이지만, 해충이나 병 등에 의한 물리적 손상은 채소의 품질에

Received: April 19, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: May 24, 2021

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY  
39(6):738-749, 2021  
URL: <http://www.hst-j.org>

pISSN : 1226-8763  
eISSN : 2465-8588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2021 Korean Society for Horticultural Science.

본 연구는 농촌진흥청의 농업과학기술개발 연구사업(과제 번호: PJ01386502)의 연구비지원으로 수행되었음.

치명적인 영향을 미친다. 특히 고랭지배추는 결구된 형태로 수확되어 유통되기 때문에 포기 속에 발생한 팁번(tipburn)은 절개하지 않으면 알 수 없어서 구입 후 식가공 과정에서 발견될 경우 고랭지배추에 대한 좋지 않은 이미지를 줄 수도 있다. 최근 한여름에 재배되는 고랭지배추에 발생되고 있는 팁번은 배추의 품질 저하는 물론 수량 감소로 이어지고 있다. 특히 여름철 고온건조기에 발생이 잘되는 팁번은 그 후 고온 다습을 맞아 2차적으로 무름 증상이 발생하면 일명 ‘꿀통 배추’가 되어 전혀 수확할 수 없게 된다. 팁번은 해에 따라 간헐적으로 나타나기 때문에 고랭지배추 재배자들은 아직 완전한 극복 방법을 찾지 못하고 있다. 팁번은 칼슘 부족에 의한 생리 장애로 100여 년 전에 밝혀졌으나 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 아직도 완벽하게 해결하지 못하고 있다(Saure, 1998). 팁번은 세포 내에 칼슘이 부족한 조건에서 polygalacturonase의 작용으로 pectic polysaccharide가 붕괴되고 세포벽이 와해되어 세포의 과사가 일어나는 생리 장애(Selling et al., 2000)로, 토양이나 식물체의 절대적인 칼슘 부족에 의한 경우보다는 과습, 건조(Balvoll, 1995), 고온 등 여러 가지 복잡한 환경조건의 변화에 의한 칼슘의 흡수 장애 또는 부위 간 이동 분배의 불균형과 이를 더 부채질하는 생장 속도(Saure, 1998)도 관여하는 것으로 알려져 있다.

한편 칼슘의 흡수는 증산류를 따라 수동적으로 흡수 이동되므로(Clarkson, 1984) 주로 증발산이 많은 부위로 이동하게 되어 칼슘을 많이 필요로 하는 신초 부위로 이동이 적다(Cho et al., 1994). 그러나 증산류에만 의존하는 것은 아니고 근압에 의해서도 좌우되므로(Engels, 1999) 근권부 환경도 영향을 미친다. 세포 내로 이동된 칼슘은 세포 내에 잉여될 경우에는 액포에 저장되지만 이것이 질소 등 다른 영양 원소와 같이 잘 이동되지는 않는다(Hirschi, 1999). 이런 특성 때문에 칼슘 흡수량 부족을 보완하기 위해 칼슘 용액의 엽면살포도 실시되고 있다(Lee et al., 1996). 증산과 밀접한 관계가 있는 습도는 칼슘의 잎으로의 이동성에 영향을 미친다(Chung, 1999). 공중 습도에 의해 포차가 낮으면 증산이 일어나기 어려우며, 포차가 너무 높으면 과도한 증산이 일어나(Nam et al., 2014), 수분 손실이 크게 되면 기공이 닫혀서 식물체에 수분공급이 제한되므로(Singh and Singh, 2003) 이로 인해 생리적 장애가 발생하기도 한다(Monclus et al., 2006). 칼슘 결핍증은 다양한 재배 환경 요인과 관계가 있어서 실제로 배추재배지에서 나타나는 팁번 발생 양상은 어느 하나가 원인이라고 단정하기 힘들다. 이에 본 연구에서는 팁번 발생에 미치는 몇가지 기상 요인에 대한 반응을 검토하고 아울러 재배 현장에서의 관리 실태를 분석하여 고랭지배추의 칼슘결핍증을 경감할 수 있는 방법을 모색하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 배추의 생장에 따른 경시적 칼슘 흡수량 변화

배추의 생장에 따른 경시적인 칼슘 흡수량 변화를 알아보기 위하여 배추(‘CR대장부’, KS종묘)를 엽채류전용 원예원표준액(N-P-K-Ca-Mg = 15-3-6-8-4me·L<sup>-1</sup>)이 담긴 약 4L 들이 포트에 정식하였다. 정식 후 결구기인 20일이 경과한 때부터 2-3일 간격으로 식물체중, 양액 흡수량을 조사하였으며, 칼슘 흡수량은 양액을 채취하여 흡수된 양액량과 칼슘 함량으로부터 산출하였다. 칼슘 분석은 ICP-OES(Optima 2100 DV, Perkin Elmer, USA)로 하였다.

### 배추의 칼슘 결제처리 및 칼슘액 엽면살포에 따른 tipburn 발생

엽채류전용 원예원표준액(N-P-K-Ca-Mg = 15-3-6-8-4me·L<sup>-1</sup>)에서 결구 초기(정식 후 20일)까지 4L 용기에서 배추(‘수호’, 농우바이오)를 재배하다가 칼슘결제처리일 오전 10시에 뿌리를 세척하고 칼슘을 제거한 양액에서 2, 4, 8, 16, 24 및 48시간 동안 결제처리하였다. 이후 표준 양액에서 40일간 더 재배한 후 팁번 발생을 조사하였다(Table 1). 칼슘결제 시 양액 조제는 양이온교환수지로 칼슘을 제거시킨 물을 사용하였다. 재배 종료 후 결제처리기간 이외의 재배기간 중 1주일 간격으로 양액을 갱신하였다. 또한 0.3%의 염화 칼슘 용액을 결구기에 5일 간격으로 3회 살포하였다. 팁번이 발생한 잎과 발생하지 않은 잎의 잎 중앙 부위와 끝부분, 그리고 포기 내외부 잎의 칼슘 함량은 전자현미경 장착 EDS system(FE-SEM+EDS, Thermo fisher

Scientific, USA)으로 분석하였다.

### 주야간 습도 조절에 따른 배추 내외부 온습도 및 포차의 변화 특성

배추 포기 내부의 온습도의 변화를 알아보기 위해 배추묘(‘수호’, 농우바이오)를 직경 36cm의 포트에 정식하여 생육 상자( $W \times D \times H, 1 \times 1 \times 1\text{m}$ )에서 재배하면서 제습기(DHJ-067BNB, Winix)와 가습기(SGM-L124, Geek)를 활용하여 주간제습/야간제습 및 주간제습/야간가습 처리하고 배추 포기 내외의 온습도 및 포차를 조사하였다. 배추 포기 내외부의 온습도는 온도 센서(Almemo Thermo Za 9020-Fs, Arborn, Germany)와 습도센서(Almemo FH A646-E1, Arborn, Germany)로 측정하였다.

### 주야간 습도 조건에 따른 배추 칼슘 결핍증 발생

배추(‘수호’, 농우바이오)을 직경 36cm 포트에 정식하여 1개월간 온실에서 재배한 식물체를 생육 상자( $W \times D \times H, 1 \times 1 \times 1\text{m}$ )에 두고 제습기(DHJ-067BNB, Winix)와 가습기(SGM-L124, Geek)를 이용하여 습도를 조절하면서 재배하였다. 습도를 조절한 각각의 생육 상자 내의 상대 습도의 변화는 Fig. 1과 같다. 처리 전 배추는 70 - 100%의 습도조건에서 재배하였다. 습도를 처리한 지 1주 및 2주 후에 틸병 등 생리 장리 발생을 확인하였다. 또한 발생한 틸병의 엽서 위치를 파악하기 위하여 습도 조절 처리 3주 후에는 배추를 수확하여 잎 발생 순서에 따라 틸병 발생 엽서 및 발생 엽수를 조사하였다. 습도는 소형 데이터 로거(Watchdog model450, Spectrum Technologies, USA)로 측정하였다.

### 토양 수분 조건 및 야간 습도 조절에 따른 틸병 발생

배추(‘수호’, 농우바이오)를 바로커 상토(원예전용, 서울바이오)로 채운 직경 36cm의 화분에 심어 생장상( $D \times W \times H, 1 \times 1 \times 1\text{m}$ )에서 재배하면서 토양수분조건을 달리하였으며 및 야간 동안에는 습도를 조절하였다. 토양 수분 조건은 생육 단계를 생육 초기(정식 - 20일), 생육 중기(21 - 42일) 및 생육 후기(42 - 63일) 등 3 단계로 나누어 생육 단계에 따라 -10kPa 이상으로 과습한 조건, -20 ~ -50kPa의 적습한 조건 및 -50kPa 이하의 건조한 조건 등 3처리를 두었다. 야간 동안의 공중 습도는 가습기(SGM-L124, Geek)와 제습기(DHJ-067BNB, Winix)로 100% 및 약 60%로 유지되게 조절하였다.

### 고랭지배추 주산단지의 토양 수분과 습도의 일변화 등 칼슘 결핍증 발생 요인 분석

고랭지배추 주산지인 태백 매봉산(N37°22', E128°96')과 강릉 안반데기(N37°61', E128° 74')에 위치한 농가의 고랭지배추 재배지에서 재배기간 중 토양의 수분포텐셜과 공중 습도의 변화를 조사하였다. 습도와 토양 수분포텐셜은 소형 데이터로거(Watchdog model450, Spectrum Technologies, USA)와 gypsum block 센서(Watermark, Irrometer Inc. USA)로 측정하였다. 아울러 토양의 칼슘 부족, 칼슘 흡수 장애 요소, 칼슘 이동·분배, 작물의 성장속도 등 칼슘 결핍증에 관련된 요소에 대한 재배 현장에서 행해지고 있는 상황을 분석하였다.

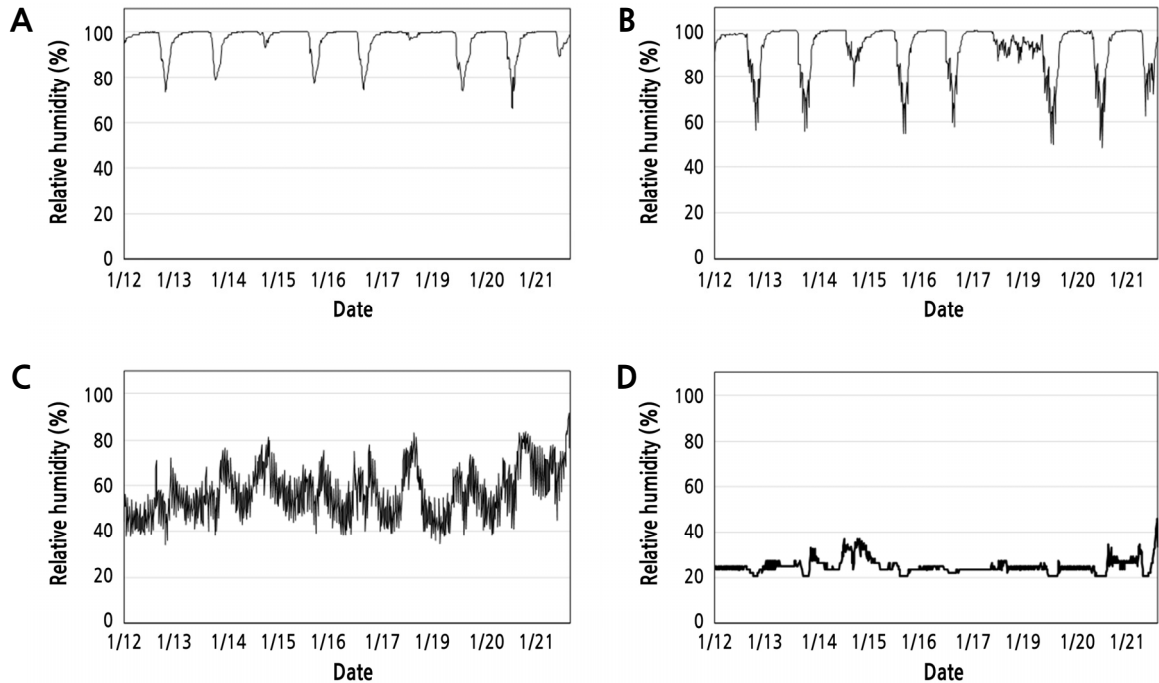
### 통계분석

자료는 SAS 프로그램(Statistical analysis system ver.9.4, USA)을 이용하였으며 처리 평균 간 유의성은 Duncan의 다중검정법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 배추의 칼슘 결제처리 및 칼슘액 엽면살포에 따른 팁번 발생

칼슘 결제에 따른 배추의 칼슘 결핍 발생 양상을 알아보기 위하여 칼슘을 제거한 양액에서 일정기간 처리한 후 배추의 팁번 발생을 조사하였다(Table 1). 팁번은 24시간, 48시간 칼슘 결제처리한 구에서 모두 나타났다. 칼슘 엽면 살포는 칼슘 결핍증 발생을 줄이는 효과는 보이지 않았으나 결핍 정도는 다소 낮추는 효과는 있었다. 결구 시작기의 칼슘 결제처리 시 팁번 나타내는



**Fig. 1.** Daily changes of relative humidity by treatment in a pilot-scale greenhouse controlled by drying machine and humidifier. Relative humidity conditions were: RH-1 (A) 70 to 100%, RH-2 (B) 50 to 100%, RH-3 (C) 40 to 80%, and RH-4 (D) 20 to 40%.

**Table 1.** Tipburn occurrence according to calcium deficiency in the nutrient solution and foliar spray of calcium solution in hydroponically grown Kimchi cabbage

Calcium deficiency treatment (hr)	Control		Foliar spray of calcium solution	
	Occurrence of tipburn <sup>z</sup> (%)	Degree of tipburn occurrence <sup>y</sup>	Occurrence of tipburn (%)	Degree of tipburn occurrence
Control	0 b <sup>x</sup>	0	0 b	0
2	0 b	0	0 b	0
4	0 b	0	0 b	0
8	0 b	0	0 b	0
16	0 b	0	0 b	0
24	100 a	4	100 a	3
48	100 a	4	100 a	3

<sup>z</sup>Tipburn occurred from the 20th to 55th leaf.

<sup>y</sup>Degree of tipburn occurrence: extreme 4, severe 3, common 2, slight 1, none 0.

<sup>x</sup>Means separation in columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

부위는 외엽으로부터 20엽부터 55엽위까지 평균 26개의 잎이 칼슘 결핍증상을 보였다. 이러한 결과는 칼슘 결제처리 시, 구의 안쪽에 있는 대부분의 신엽이 칼슘결제에 의한 영향을 받았던 것으로 판단된다. 결구상추의 경우에도 외부환경에서 자란 상추보다 생장환경이 좋은 환경조절조건에서 자란 상추에서는 외부엽인 5번째 잎보다 내부엽인 14번째 잎에서 틱번이 발생하였고 결구상추에서 성장속도가 빠른 조건에서 틱번 발생이 많아진다는 사실을 밝혀 결구하는 작물에서 생장 특성상 칼슘 결핍증 발생이 특정부위에 나타날 뿐 아니라 일정한 위치에 발생한다고 하였다(Barta and Tibbitts, 1991).

Fig. 3에 나타난 바와 같이 배추에서도 결구기 이후에 성장속도가 빨라지며(Kim et al., 2015) 칼슘 흡수량도 증가하여 칼슘 결핍증 발생이 증가할 가능성이 높아지는 생육기이기 때문에 실제 재배시에도 결구기에 5일 간격으로 칼슘 용액을 엽면살포를 하고 있다(Lee et al., 1996). 틱번이 발생된 잎은 발생하지 않은 잎에 비해 선단과 잎 중앙 부위 공히 칼슘 함량이 낮았고, 중앙부위보다는 선단이 낮았으며, 정상적인 잎에서도 선단보다는 중앙 부위의 칼슘 함량이 높았다(Fig. 2). 또한 포기 내부 잎의 칼슘 함량은 외부의 1/3 수준이었는데 이는 증산이 더 활발하였기 때문으로 보인다(Kim et al., 1994). 이는 결구상추에서 틱번이 발생한 잎은 상대적으로 포기 내부의 Ca 함량이 적은 잎 선단에서 발생하였으며 이때 틱번이 발생한 잎의 칼슘 함량이 낮았다는 보고(Barta and Tibbitts, 2000)와 일치되는 결과이다. Oh and Kim(1985)은 질소질과 칼리질비료에 사용량이 증가하였을 때 배추 포기 내부 잎의 칼슘 함량이 매우 낮은 결과를 보였는데, 이처럼 칼슘 함량이 낮은 것은 결구하는 작물에서 포기의 앞쪽에 위치한 잎이 칼슘 결핍에 매우 취약할 수 있음을 보여주는 결과로 풀이된다.

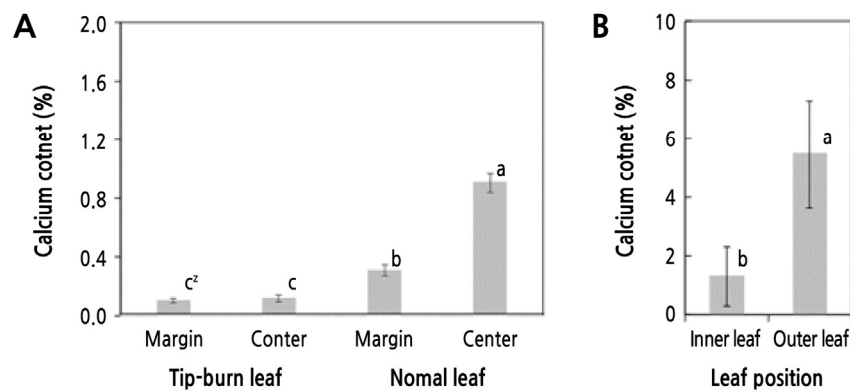


Fig. 2. Calcium content of margin and center of tipburned leaf, and calcium content of inner and outer leaf of Kimchi cabbage head. Vertical bars indicate mean standard errors ( $n = 3$ ). <sup>2</sup>Different letters indicate statistically significant differences at  $p < 0.05$  based on Duncan's multiple range test.

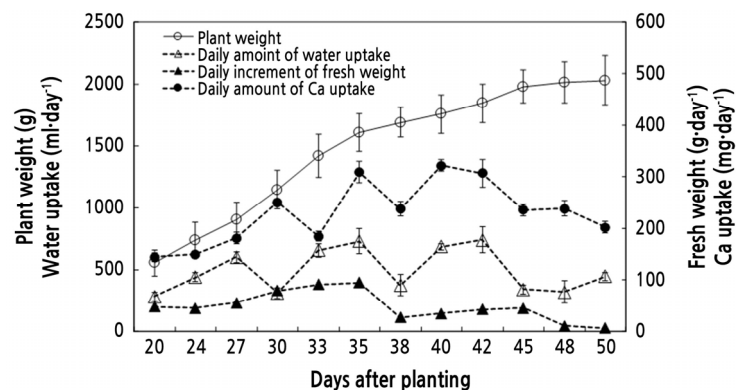


Fig. 3. Daily changes in rate of Ca and water uptake, and plant fresh weight in the hydroponically grown Kimchi cabbage. Data were measured in 2-3 day intervals from 20 days after planting when the Kimchi cabbage was starting the stage of heading.



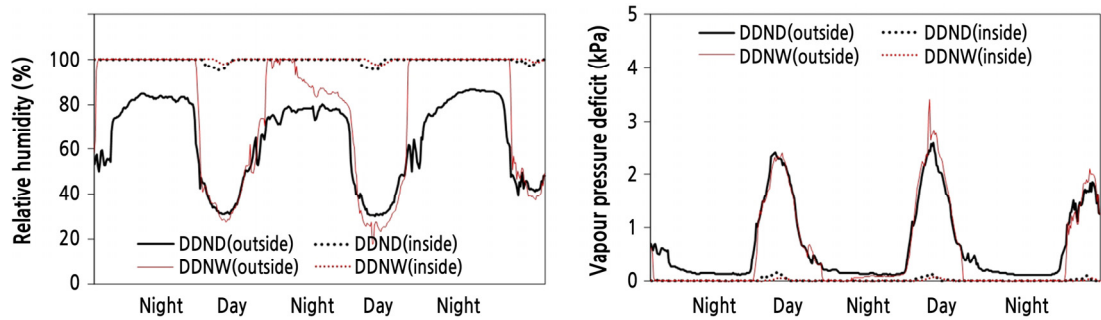


Fig. 4. Daily changes of relative humidity and vapour pressure deficit inside and outside Kimchi cabbage. DDND: dehumidified during day and night, DDNW: dehumidified during day; humidified during night.

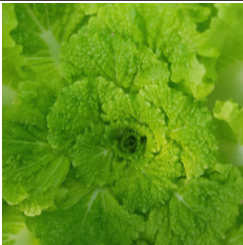

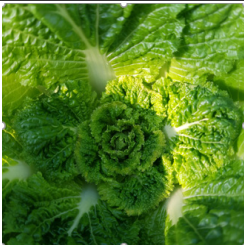





배추를 양액에서 재배하면서 경시적 칼슘 흡수량과 생체중의 변화를 살펴보면, 배추는 정식 20일경에 결구가 시작되면서 생체량의 증가가 커짐에 따라 물 흡수량과 칼슘 흡수량도 증가하였고 그 이후에는 증가가 둔화되다가 점점 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). Kim et al.(2008)의 보고와 같이 대체로 양액 흡수량은 많은 날에 칼슘 흡수량도 많은 결과와 유사하였는데, 생장이 활발한 시기에는 생체중의 증가 뿐 아니라 흡수되는 칼슘량도 증가하였다. 또한 배추의 상대생장률은 정식 후 21일에서 28일 사이에 peak를 보였고 그 이후 점점 낮아졌다(Kim et al., 2015). 따라서 배추의 생육이 왕성한 결구기의 칼슘 흡수량이 많은 시기에 칼슘의 흡수가 제한을 받거나 흡수가 많이 되었더라도 신엽으로 칼슘의 분배가 어려운 조건에 처해지게 되면 칼슘 결핍증이 발생할 가능성이 높아질 것으로 보인다. 작물의 성장 속도는 칼슘의 결핍과 깊은 관계를 가지고 있으며(Saure, 1998). 한편 상추의 칼슘 결핍증의 발생에 관한 연구에서도 상추의 빠른 성장 때문이라고 보고 하였다(Cho et al., 1998). 이런 측면에서 고랭지배추 배추 재배 시 성장 억제(Yong et al., 2003) 살포는 어느 정도 칼슘 결핍을 방지하는 효과를 나타냈을 것으로 판단된다. 한편 배추 구 내부의 상대 습도와 포차의 변화로부터 배추의 칼슘 결핍증을 유발하는 원인을 찾을 수 있을 것이다.

낮 동안에 제습하고 밤에 제습 또는 가습했을 때, 배추 포기 내외부의 습도 변화를 살펴보면(Fig. 4A), 밤에 배추 포기 외부의 습도를 제습에 의해 80% 정도를 유지했을 때 포기 내부는 100%의 상대습도를 유지하였고, 낮에도 제습으로 배추 포기 외부의 상대습도가 30% 내외로 더 낮아졌지만 배추 포기 내부의 상대습도는 야간과 동일하게 거의 100%를 나타냈다. 이 때 배추 포기 내부의 포차는 매우 낮아 내부 앞에서의 증산은 거의 없었을 것으로 보여진다(Fig. 4B). 이는 배추가 결구되고 나면 내부엽의 증산은 거의 없을 것이므로 증산에 의한 물의 이동에 의한 칼슘의 이동보다는 근압에 의한 물의 이동에 따라 칼슘이 이동될 것으로 이해된다(Palzkil and Tibbitts, 1977). 칼슘의 결핍이 절대 흡수량의 부족보다는 칼슘의 분배·이동의 편향성 때문에 특정 부위에 결핍증이 발생한다고 알려져 있다(Cho et al., 1994). 이는 칼슘의 이동이 수류를 따라 이동하므로 상대적으로 증산이 활발한 광엽으로의 이동이 많고, 한참 성장하고 있어 칼슘을 필요로 하지만 구내의 신엽으로의 이동이 적어 칼슘 결핍이 나타나는 것이 아닌가 생각된다.

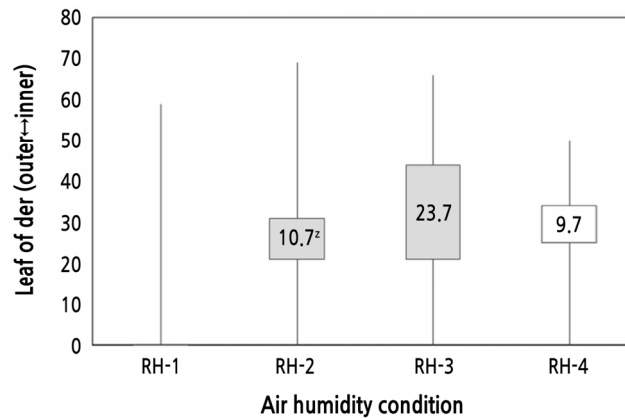
### 주야간 습도 조건에 따른 배추 칼슘 결핍증 발생

Table 2 및 Fig. 5는 배추 재배 시 공중 습도를 조절했을 때 칼슘 결핍증 발생 조사결과이다. 24시간 가습하여 낮에는 70%, 밤에는 100%로 유지되었던 RH-1처리에서는 틱번은 발생되지 않았다. RH-1처리의 결과와는 달리 낮에 50%, 밤에는 100%로 낮에만 습도를 낮게 한 RH-2처리에서는 초기에 틱번이 초기에 가볍게 나타났으나 이후에는 다시 회복되었다. 즉 처음에 낮과 밤의 습도가 70 - 100%의 습도 상태에서 낮과 밤의 습도가 50 - 100% 환경 조건으로 최저 습도가 20%정도 더 낮아진 경우에도 틱번이 거의 나타나지 않고 회복되는 것으로 보아 습도가 밤에만 높으면 낮 동안의 습도 조건은 어느 정도까지는 틱번에 그다지 영향을 미치지 못하는 것으로 이해된다. 그런데 낮과 밤의 습도 범위가 40 - 80%로 조절되었던 RH-3처리에서 틱번이 가장 많이 발생하였다. 이는 공중 습도가 밤에는 높고 낮에는 낮았던 RH-2처리의 결과와 비교해 볼 때, 낮의 습도가 낮은 것보

**Table 2.** Occurrence of physiological disorders of Kimchi cabbage grown in four relative humidity conditions in a pilot-scale greenhouse. Relative humidity conditions were: RH-1, 70 to 100%; RH-2, 50 to 100%; RH-3, 40 to 80%; and RH-4, 20 to 40%

	Air humidity condition			
	RH-1 <sup>z</sup>	RH-2	RH-3	RH-4
1 week after treatment				
2 weeks after treatment				
Occurrence of physiological disorder	No occurrence of tipburn	Recovered after initial tipburn occurrence	Extreme tip burn occurred	Shriveled leaves

<sup>z</sup>See Fig. 1.



**Fig. 5.** Occurrence of physiological disorders such as tipburn or shriveled leaves by leaf order of Kimchi cabbage grown at four relative humidity conditions in a pilot-scale greenhouse. Relative humidity conditions were: RH-1, 70 to 100%; RH-2, 50 to 100%; RH-3, 40 to 80%; and RH-4, 20 to 40%. (□): Range of tipburn occurrence by leaf order, (□): Range of shriveled leaf occurrence by leaf order.

다는 밤에 80% 수준으로 낮아진 때문으로 보인다. 이는 밤 동안에 증산이 더 커져 수류에 따라 이동하는 신엽으로의 칼슘의 이동이 더욱 제한되는 조건이었을 것으로 판단된다(Chung, 1999). Rhee et al.(2010)도 파프리카 재배 시 야간 습도를 85% 내외로 낮았을 때 배꼽썩음과 발생이 많아진다고 보고한 바 있다. 한편 낮과 밤의 습도가 모두 낮았던 20–40%(RH-4처리)의 지나치게 낮은 습도 조건은 배추의 잎이 오그라지는 형태의 생리 장애가 나타나고 tipburn발생이 보이지 않았던 것은 포차가 지나치게 낮아 tipburn으로 발달하지 못해 생육이 억제되었기 때문으로 판단된다(Argus, 2009; Nam et al., 2014). 이와 같이 tipburn은 작물이 배추의 성장 속도와도 깊은 관련이 있는 것으로 보인다. Choi and Lee(2008)이 상추에 대한 주야간 습도조절 연구에서 밝혔

듯이 주/야간 상대습도 80/80% 처리에서 80/40%처리에 비해 성장 속도가 빨라 틱번 발생이 많았던 결과와 본 연구결과를 검토해 보면 본 연구에서는 낮 동안의 습도가 80% 조건으로 다소 높았기 때문에 포차에 따른 증산에 미치는 영향보다는 낮 동안에 광이 부족하였거나 낮은 수분포텐셜에 의해 잎이 연하고 빠르게 성장하는 등 다른 요인에 의해 나타난 결과로 이해된다. 칼슘결핍증은 일반적으로 결핍이 발생한 후 2-3주후에 나타나는데(Magnusson, 2002), 본 실험에서는 1주일만에 칼슘결핍증상이 보였듯이 아마도 성장속도가 다소 빠른 실내 조건이었기 때문으로 보인다.

한편 현실적으로 작물 재배 시 습도가 20-40%로 낮아지는 경우는 발생하지 않는다. 다만 야간의 낮은 습도가 틱번 발생을 야기하는 원인으로 작용하더라도 이처럼 지나치게 낮은 습도조건에서 생장이 억제되어 틱번의 발생이 지연되는 것을 확인할 수 있었다. 아마도 이 상태에서 다시 야간에 보통의 습도 조건이 되면 틱번으로 발생할 것으로 판단된다.

### 토양 수분 조건 및 야간 습도 조절에 따른 틱번 발생

배추 생육 단계별로 토양 수분 조건을 달리하여 재배하였을 때 틱번 발생과 발생 위치를 조사하였다(Table 3). 모든 단계에 적습을 유지한 처리에서는 칼슘 결핍이 발생되지 않은 반면 토양 수분을 건조하게 관리한 처리에서 틱번 발생이 많았다. 즉 칼슘 결핍은 토양의 과습보다는 토양 건조에 민감하게 반응하는 것으로 판단된다. 또한 토양 수분을 건조하게 관리했을 때 생육 단계에 따른 차이나 발생 위치에 대한 반응은 뚜렷한 경향은 보이지 않았으며, 대체로 10-20엽위에서 발생하였다. 또한 야간 가습이나 무처리보다는 야간 제습에서 틱번 발생이 많았다. 따라서 틱번 발생을 방지하기 위해서는 무엇보다도 토양이 건조하지 않도록 관리하는 것이 중요하다고 판단된다.

### 고랭지배추 주산단지의 토양 수분과 습도의 일변화 등 칼슘 결핍증 발생 요인 분석

고랭지배추 주산지인 태백 매봉산과 강릉 안반데기에서 배추 재배기간 동안 야간 습도의 변화를 살펴 보았다(Fig. 6). 두 지역 공히 밤 동안에 상대습도가 80%이하로 낮아지는 날이 나타났다. 야간 동안의 상대습도는 대개 비가 오지 않아 토양 수분포텐셜이 낮아지는 때에 낮아지는 경향을 보였으나 그렇지 않은 경우도 있어 완전히 일치하지는 않았다. 매봉산에서 생육 후기인 8월 30일경에 야간 동안의 습도가 낮고 토양 수분포텐셜이 낮은 조건은 구 내부 신초엽에 틱번이 발생할 수 있는 필요조건을

**Table 3.** Tipburn occurrence by leaf order according to soil moisture conditions by growth stage and air humidity control at night

Soil water condition <sup>z</sup>			Air humidity control		
Days after planting			Control	Humidified	Dehumidified
Early (1 – 20)	Middle (21 – 42)	Late (43 – 63)			
Leaf order (Outer 1↔ Inner 70)					
○	○	○	NO <sup>y</sup>	NO	NO
+	○	○	NO	NO	NO
○	+	○	NO	NO	NO
○	○	+	NO	NO	11 – 25
–	○	○	7 – 14 <sup>x</sup>	11 – 18	13 – 35
○	–	○	7 – 13	9 – 20	13 – 35
○	○	–	14 – 17	13 – 18	9 – 20

<sup>z</sup>Soil water condition; ○: Well watered (-20~-50kPa), +: Wet (about -10 kPa), -: Less moisture (below -50kPa).

<sup>y</sup>Occurrence of tipburn.

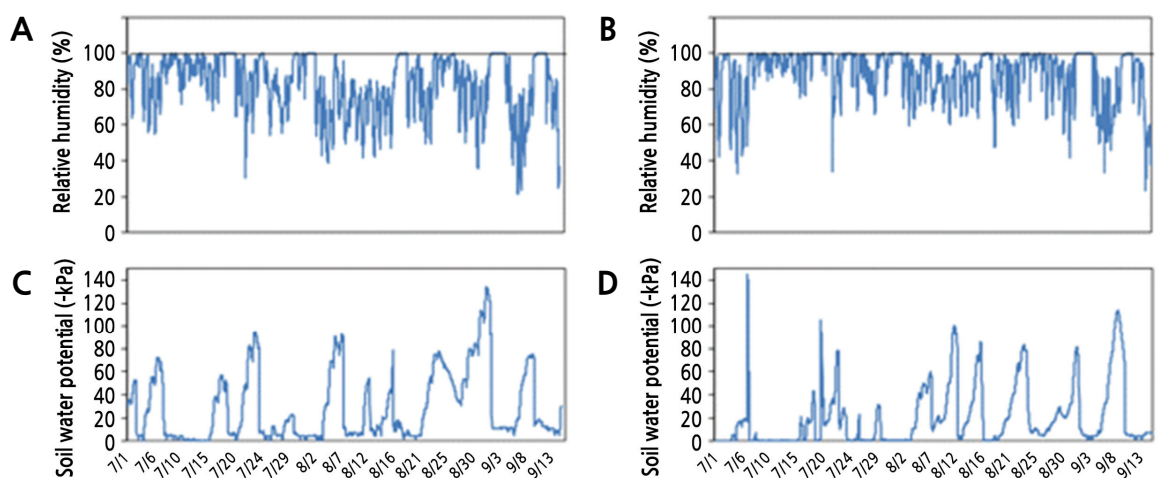
<sup>x</sup>Tipburn occurrence by leaf order from the outer leaf.



갖추고 있다고 판단되었으나 수확기 시에 틱번은 육안으로 관찰되지는 않았다. 아마도 이는 틱번은 칼슘흡수·이동이 억제되는 조건 등 원인 발생 후 2-3주후에 나타나기 때문으로 보인다(Magnusson, 2002). 또한 생육이 왕성하지 않은 생육 후기이기 때문에 발생이 지연되었을 것으로 판단된다. 다만 이와 같은 경우에 공중 습도의 조절이 여의치 않은 노지에서는 틱번의 발생 우려가 크므로 적어도 토양수분이 건조하지 않도록 관리하는 것이 틱번 발생을 줄이는데 도움이 될 수 있을 것이다. 틱번 등 칼슘 결핍증은 배추 뿐만 아니라 결구상추, 토마토, 고추, 피망 등 여러 작물에서 품질과 생산성을 떨어뜨리는 생리 장애의 하나이다. 칼슘 결핍증은 근본적으로는 칼슘의 부족에 의한 것이지만 다양한 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 예기치 않게 발생하기 때문에 재배자들도 어려움을 토로하고 있다. 강릉 안반데기, 삼척 하장, 정선 임계, 태백 매봉산 등 고랭지배추 주산단지를 중심으로 칼슘결핍증과 연관된 재배 현장의 실태와 관련 요인, 그리고 칼슘 결핍증 발생을 줄일 수 있는 가능성 및 경감방법을 살펴보았다(Table 4).

종합적으로 살펴보면, 칼슘결핍증의 발생을 4가지 항목으로 나눌 때, 첫째 토양 중 칼슘 함량의 부족(Saure, 1998), 둘째 고온, 토양 건조, 과습, 염류 집적에 의한 흡수 장애(Park et al., 1984), 셋째 증산에 영향을 미치는 고온, 저습, 풍속에 의한 주야간 포차로 인해 야기되는 이동·분배의 불균형(Cho et al., 1994), 넷째 칼슘요구량에 대한 공급 속도에 비해 빠른 성장 속도이다(Tibbitts and Rao, 1968; Hartz et al., 2007). 재배 현장에서는 이와 같은 4가지 항목의 변화에 의한 누적 효과의 결과로 잎 끝에 칼슘이 부족해지면 나타나기 때문에 칼슘 결핍증 발생의 제어가 쉽지 않은 것 같다.

실제로 재배현장에서는 충분한 시비를 하기 때문에 토양 중 칼슘 절대량의 부족의 문제는 발생하지 않는다. Hartz et al.(2007)의 연구 결과에 의하면 결구상추재배에서 칼슘 용액의 관비 또는 토양의 칼슘함량과는 무관하였고, 오히려 수확기 2주전의 안개에 의해 증산이 낮았던 곳에서 틱번이 심하게 발생하였다고 보고하였는데, 재배지에 안개로 인해 포차가 낮을 경우 증산이 활발하지 못해 상대적으로 칼슘이 구 내부위로의 이동이 증가했을 것으로 짐작된다. 하지만 이 때 일사량이 낮고 자외선량도 적으며, 세포의 수분포텐셜이 높게 되면 식물체가 연하고 빠르게 커서 칼슘결핍증이 나타날 가능성이 커질 수 있을 것으로 추측된다. 마찬가지로 질소의 과잉 공급 또한 배추의 성장을 촉진하여 틱번의 발생을 증가시킬 수 있다(Brumm and Schenk, 1993). 따라서 주야간 습도 조건을 달리한 연구결과로부터 낮 동안의 상대 습도 증가에 의한 증산의 제어는 광합성에도 악영향을 미칠 뿐 아니라 실제적으로 인위적인 조절의 한계가 있으므로 야간 동안의 습도의 조절이나 생장억제제의 적절한 사용(Pressman and Aviram, 1986; Yong et al., 2003)은 성장 속도와 증산을 제어하여 칼슘 결핍증을 줄일 수 있을 것으로



**Fig. 6.** Daily changes of relative humidity and soil water potential in Taebaek Maebongsan (37°22'N, 128°96'E) and Gangneung Anbandegi (37°61'N, 128°74'E), the main producing areas of highland Kimchi cabbage. A, C: Relative humidity and soil water potential at Maebongsan, respectively, B, D: Relative humidity and soil water potential at Gangneung Anbandegi, respectively.

**Table 4.** Diagnosis of current situation and solutions for reducing calcium deficiency in the highland Kimchi cabbage cultivation area

Items related to calcium deficiency	Related factors to calcium deficiency		Current situation	Manage-ability to related factors	How to manage
Fast crop growth	Photosynthesis		++ <sup>z</sup>	-	Growth retardant
	Best supply of nitrogen or other nutrients		+	+	Control of fertilizer
	Water		-	-	Rain shelter
	Growth stage (Heading period)		++	+	Foliar spray
Imbalance of movement and distribution of calcium	Evapotranspiration during daytime	High air temperature	-	-	Shading
		Low humidity	-	-	
		Air velocity	-	-	
	Evapotranspiration during nighttime	High air temperature	-	+	Fogging, proper irrigation
		Low humidity	-	++	
		Air velocity	-	-	
Barrier of calcium absorption	High soil temperature		-	-	White PE film mulching
	Low soil moisture		-	++	Proper irrigation
	Overwet soil		-	-	Drainage improvement
	Acidity of soil		++	+	Soil improvement
	Imbalance in nutrients		+	+	Fertilizer based on soil testing
	Salinity of soil		+	+	
Lack of calcium content in soil	Fertilization		+++	+++	Control of fertilizer
	Natural supply		-	-	

<sup>z</sup>+++ Enough, ++ Well, + Good, - Not good or insufficient.

로 판단된다. 배추는 특히 결구 후 속잎에서 증산이 거의 없는 포차가 낮은 조건이므로(Fig. 4B), 야간 동안이라도 근압을 높이거나 습도 조절에 의해 외엽의 증산을 억제시켜 구내엽으로 칼슘의 이동량을 높여야 칼슘 결핍증 발생을 줄일 수 있다고 생각된다(Choi and Lee, 2008). 수경토마토에서 칼슘 이온은 야간 동안에는 다른 양이온에 비해 더 많이 흡수되었다는 보고(Kim et al., 2008)와 같이 밤 동안의 근압류에 의한 칼슘의 이동을 기대해야 하므로, 야간 동안의 근압을 유지시켜 신엽으로의 칼슘 이동을 증대시킬 수 있도록 야간에 상대습도를 높이는 등의 관리 대책이 필요할 것으로 판단된다. 토양 수분은 칼슘의 흡수에 직간접적으로 영향을 미치는 지온 상승의 억제 뿐 아니라 칼슘의 흡수, 증산, 공중 습도, 식물체의 수분 포텐셜 등 다양한 작용 때문에 가장 중요하고 밀접한 요소로 보인다. 재배 현장의 현실적인 재배관리 측면에서 보더라도 배추의 칼슘결핍증을 유발하는 많은 요소들 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 야간의 건조한 날씨에 토양수분의 부족이라고 판단된다. 따라서 칼슘 결핍증 발생을 줄이기 위해서는 기본적으로 적절한 토양수분의 관리와 아울러 야간 습도를 높이기 위한 fogging은 배추의 칼슘 결핍증을 줄이는데 획기적인 수단이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 초 록

빈번히 발생하는 칼슘 부족에 따른 생리 장애의 발생은 품질과 수량을 현저히 떨어뜨린다. 본 연구는 틱번 발생을 경감시키기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 수행되었다. 배추의 일중 칼슘 흡수량은 배추의 생체량이 급격하게 증가하는 결구 초기에 증가하는 경향을 보였다. 24시간 이상의 양액 내 칼슘을 결체처리할 할 경우, 대부분 틱번이 발생하였으며, 나타나는 부위는 외엽

으로부터 20 – 55엽위에서 발생하였다. 구 내엽의 칼슘의 함량은 외엽에 비해 매우 낮았으며, 잎의 중앙부위보다는 잎 끝 부위에서 낮았다. 칼슘 결핍은 토양과습보다는 토양 건조에 민감하게 반응하였다. 주/야간 70/100% 습도처리에서는 틸번이 전혀 발생하지 않았으며, 50/100% 습도 처리에서는 초기에 가볍게 나타났다가 회복되었다. 주야간 낮게 유지하였던 40/80% 습도 처리에서는 틸번 발생이 심하였으며, 주야간 매우 낮게 유지되었던 20/40% 습도처리에서는 잎이 위축될 뿐 틸번으로 진행되지는 못하였다. 고랭지배추 재배 시 토양수분이 부족하지 않도록 관리하면서 야간 습도를 높이면 칼슘 결핍증 발생을 줄일 수 있을 것으로 보인다.

**추가 주요어 :** 배추, 미기상, 생리 장애, 도관류, 포차

## Literature Cited

- Argus (2009) Understanding and using VPD Argus application note, Argus Control Systems. White Rock. [http://www.arguscontrols.com/resources/VPD\\_Application\\_Note.pdf](http://www.arguscontrols.com/resources/VPD_Application_Note.pdf)
- Balvoll G (1995) Production of Chinese cabbage in Norway: Problems and possibilities. J Veg Crop Production 1:3-18. doi:10.1300/J068v01n01\_02
- Barta DJ, Tibbitts TW (1991) Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of controlled-environment and field-grown plants. J Am Soc Hortic Sci 116:870-875. doi:10.21273/JASHS.116.5.870
- Barta DJ, Tibbitts TW (2000) Calcium localization and tipburn development in lettuce leaves during early enlargement. J Am Soc Hortic Sci 125:294-298. doi:10.21273/JASHS.125.3.294
- Brumm I, Schenk M (1993) Influence of nitrogen supply on the occurrence of calcium deficiency in field grown lettuce. Acta Hortic 339:125-136. doi:10.17660/ActaHortic.1993.339.11
- Cho IH, Woo YH, Nishina H, Hashimoto Y (1994) Studies on zone cooling of greenhouse in the daytime in summer and occurrence of blossom-end rot in tomato plants. J Bio Fac Env 3:36-41
- Cho YR, Hahn DW, Lee YB (1998) Effect of Artificial light sources on the growth of crisphead lettuce in plant factory. J Bio Fac Env 7:35-42
- Choi KY, Lee YB (2008) Effects of relative humidity on the apparent variability in the incidence of tipburn symptom and distribution of mineral nutrients between morphologically different lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. Hortic Environ Biotechnol 49:20-24
- Chung GC (1999) Effect of night humidity on the distribution of calcium and sap flow in vegetable crops. Korean J Hortic Sci Technol 17:370-376
- Clarkson DT (1984) Calcium transport between tissues and its distribution in the plant. Plant Cell Environ 7:449-456. doi:10.1111/j.1365-3040.1984.tb01435.x
- Engels C (1999) Regulation of xylem transport of calcium from roots to shoot of maize by growth-related demand. J Plant Nutr Soil Sci 162:287-294. doi:10.1002/(SICI)1522-2624(199906)162:3<287:AID-JPLN287>3.0.CO;2-N
- Hartz TK, Johnstone PR, Smith RF, Cahn MD (2007) Soil calcium status unrelated to tipburn of romaine lettuce. HortScience 42:1681-1684. doi:10.21273/HORTSCI.42.7.1681
- Hirschi KD (1999) Expression of arabidopsis CAX1 in tobacco: Altered calcium homeostasis and increased stress sensitivity. The Plant Cell 11:2113-2122. doi:10.1105/tpc.11.11.2113
- Kim KD, Lee EH, Lee JW, Cho IH, Moon BH, Lee BY, Son JE, Chun CH (2008) Daily changes in rates of nutrient and water uptake, xylem sap exudate, and sap flow of hydroponically grown tomatoes. Hortic Environ Biotechnol 49:209-25
- Kim KD, Suh JT, Lee JN, Yoo DL, Kwon M, Hong SC (2015) Evaluation of factors related to productivity and yield estimation based on growth characteristics and growing degree days in highland Kimchi cabbage. Korean J Hortic Sci Technol 33:911-922. doi:10.7235/hort.2015.15074
- Kim YH, Cho IH, Hishina H, Hashimoto Y (1994) Relativeness between mineral element of soil and occurrence of tipburn in Chinese cabbage. J Bio Fac Env 3:66-71
- Lee JT, Choi YM, Kim WB (1996) Highland Kimchi cabbage stable production technology system establishment. National Institute of Highland Agriculture Report. Pyeongchang, Korea
- Magnusson M (2002) Mineral fertilizers and green mulch in Chinese cabbage [*Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.]: Effect on nutrient uptake, yield and internal tipburn. Acta Agri Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science 52:25-35. doi:10.1080/090647102320260017
- Monclus R, Dreyer E, Villar M, Delmotte FM, Delay D, Petit JM, Barbaroux C, Thiec DL, Bréchet C, et al (2006) Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. New Phytologist 169:765-777. doi:10.1111/j.1469-8137.2005.01630.x
- Nam SW, Kim YS, Seo DU (2014) Change in the plant temperature of tomato by fogging and airflow in plastic greenhouse. J Bio-Environ

Control 23:11-18. doi:10.12791/KSBEC.2014.23.1.011

- Oh WK, Kim SR** (1985) Effect of ammonium nitrate plus potash in comparison with urea plus potash on the yield and content of some mineral nutrient elements of Chinese cabbage. *Korean J Soil Sci Fert* 18:407-412
- Palzkill DA, Tibbitts TW** (1977) Evidence that root pressure flow is required for calcium transport to head leaves of cabbage. *Plant Physiol* 60:854-856. doi:10.1104/pp.60.6.854
- Park YH, Hideo I, Ma CH** (1984) Effect of application nitrogen type, concentration and application time on tipburn of Chinese cabbage. *Proceeding of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, pp 24-25
- Pressman E, Aviram H** (1986) Inhibition of flowering in Chinese cabbage by applying leaf and growth retardants to transplants. *Plant Growth Regul* 4:87-94. doi:10.1007/BF00025353
- Rhee HC, Seo TC, Choi GL, Roh MY, Cho MW** (2020) Effect of air humidity and water content of medium on the growth and physiological disorder of paprika in summer hydroponics. *J Bio Fac Env* 19:305-310.
- Saure MC** (1998) Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. *Sci Hortic* 76:131-147. doi:10.1016/S0304-4238(98)00153-8
- Selling S, Wissemeier AH, Cambier P, Van Cutsem P** (2000) Calcium deficiency in potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) leaves and its effects on the pectic composition of the apoplastic fluid. *Physiol Plant* 109:44-50. doi:10.1034/j.1399-3054.2000.100107.x
- Singh B, Singh G** (2003) Biomass partitioning and gas exchange in *Dalbergia sissoo* seedlings under water stress. *Photosynthetica* 41:407-414. doi:10.1023/B:PHOT.0000015465.86985.53
- Tibbitts TW, Rao RR** (1968) Light intensity and duration in the development of lettuce tipburn. *Proc Am Soc Hortic Sci* 93:454-461
- Yong YR, Kim CS, Lee CS, Lee JT, Lee GJ, Yoon CS, Jeog EG, Jang HC** (2003) Development of production technology of high quality stable production and control of bacterial soft rot of Chinese cabbage in alpine region, Ministry of Agriculture and Forestry Report. Seoul, Korea