

## 이상기상 조건이 배추의 생육 및 세포조직에 미치는 영향

이상규<sup>1\*</sup> · 최장선<sup>1</sup> · 최준명<sup>1</sup> · 이희주<sup>1</sup> · 박수형<sup>1</sup> · 도경란<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 채소과, <sup>2</sup>국립원예특작과학원 과수과

### Effects of Growth and Cellular Tissue under Abnormal Climate Condition in Chinese Cabbage

Sang Gyu Lee<sup>1\*</sup>, Chang Sun Choi<sup>1</sup>, Jun Myung Choi<sup>1</sup>, Hee Ju Lee<sup>1</sup>, Suhyoung Park<sup>1</sup>, and Kyung Ran Do<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, RDA, Suwon 440-706, Korea

<sup>2</sup>Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, RDA, Suwon 440-706, Korea

**Abstract.** The average annual and winter ambient air temperatures in Korea have risen by 0.7°C and 1.4°C, respectively, during the last 30 years. Due to climate change, the occurrence of abnormal weather conditions has become more frequent, causing damage to vegetable crops grown in Korea. Hot pepper, chinese cabbage and radish, the three most popular vegetables in Korea, are produced more in the field than in the greenhouse. It has been a trend that the time for field transplanting of seedlings is getting earlier and earlier as the spring temperatures keep rising. Seedlings transplanted too early in the spring take a longer time to resume the normal growth, because they are exposed to sub-optimal temperature conditions. This experiment was carried out to figure out the change of cellular tissue of chinese cabbage under the condition of low temperature to provide the information regarding the coming climatic change, on the performance of 'Chunkwang' chinese cabbage during the spring growing season. In our study, plant height, number of leaf, chlorophyll and leaf area was lower at the open field cultivation than heating house treatment after transplanting 50 days. Especially in fresh weight, compared with heating treatment, open field and not heated treatment were notably low with the 1/3 level. Of damage symptoms due to low temperature cabbage leaves about 10 sheets when -3.0°C conditions in chinese cabbage was a little bit of water soaking symptoms on the leaves. -7.4°C under increasingly severe water soaking symptoms of leaf turns yellow was dry. Microscopy results showed symptoms of -3.0°C when the mesophyll cell of palisade tissue and spongy tissue collapse, -7.4°C palisade tissue and spongy tissue was completely collapsed. The result of this study suggests that the growers should be cautioned not to transplant their chinese cabbage seedlings too early into the field, and should be re-transplanting or transplanting other plants if chinese cabbage are exposed to suboptimal temperature conditions (-3.0°C or -7.4°C).

**Additional key words :** chlorophyll, fresh weight, frost damage

## 서 론

지구 온난화의 영향으로 지난 100년 동안 연평균 기온이 0.75°C 상승하였고(IPCC, 2007), 1980년 이후에는 온도의 상승속도가 매우 빠르게 진행되고 있다. 이러한 지구 온난화는 온도 상승뿐만 아니라 폭풍, 태풍, 가뭄, 집중호우 등 이상기상 현상을 유발하여 인간을 위협하고 있다. 세계 각국에서는 지구온난화를 막기위해 1993년 체결된 기후변화 협약의 이행을 위해 노력하고 있고, 우리나라도 이 협약의 핵심이며 지구 온난화의 주범인 이

산화탄소 등 온실가스 배출량을 줄이고자 노력하고 있다(Jo, 2002). 아울러 2005년 2월부터 발효된 교토의정서에 의해 온실가스 배출량 감축이 2008년부터 의무화 되어, 이미 많은 나라에서 온실가스 배출량을 줄이기 위한 연구(Lim, 2005)를 수행하고 있다. 국내 농업 분야에서는 온실가스 배출량을 줄이기 위해 대체순환식 가스연소 시스템에 의한 CO<sub>2</sub> 원천분리기술 개발, 청정화력발전 기술과 연계하여 온실가스 처리 시스템 구축에 관한 연구(Kim, 2008) 등 많은 연구가 수행되고 있으나 농업분야에서는 아직 미약한 상태이다. 초봄의 갑작스러운 저온이나 여름철의 지속적인 강우로 인하여 노지채소와 과수의 생육이 부진하여 안정적인 생산을 위협하고 있다. 특히 우리나라 국민이 많이 소비하고 있고, 대부분 노지에서 재배되고 있는 고추와 배추의 경우 이상기상으로

\*Corresponding author: sanggyul@korea.kr

Received March 19, 2013; Revised April 18, 2013;

Accepted April 25, 2013

인한 병, 저온, 동해의 발생으로 공급에 어려움을 겪고 있으며 가격폭등을 초래하여 국민경제에 큰 영향을 미치고 있다. 실제 2009년에는 지속적인 강우로 인하여 김장용 배추의 정식 시기가 늦어짐으로써 생산량이 감소하여 배추 가격이 전년대비 354%까지 폭등하였고, 2011년에는 여름철 여러 차례의 집중호우로 고추에 역병과 탄저병 등의 병해 발생이 심각하여 고추 생산량이 크게 감소함으로써 가격이 큰 폭으로 상승하였다. 봄배추는 노지에 4월 하순경 정식하여 6월경에 수확하여 판매하는 것이 일반적이지만 최근에 온난화에 따른 온도 상승으로 조기에 정식하는 농업인이 증가하고 있다. 이러한 경우 이상저온 현상이 발생하면 대처방안이 없기 때문에 피해가 커지고 안정생산이 어려워진다.

따라서 본 실험은 배추 재배시 저온에 따른 생육 특성과 잎 세포조직의 피해 양상을 구명하고자 실시하였다.

### 재료 및 방법

배추품종으로 많이 재배되고 있는 '춘광'(cv. chungwang, Sakada)을 2012년 1월 16일 128공 플러그 트레이에 파종한 후, 2월 7일에 높이가 60cm, 지름이 50cm인 화분에 혼합상토(unshine Mix No. 4, SunGro Horticulture, Canada), 마사토, 펄라이트를 1:1:1(V/V)로 섞은 혼합배지를 채운 후 정식하였다. 정식후 물관리는 화분의 토양을 보면서 건조하지 않도록 1~2일 간격으로 하였고, 비료는 관주용 비료(Coseal Co., Korea)를 1주일 간격으로 시비하였다. 처리는 정식후 배추 뿌리가 완전히 활착된 시점인 2월 21일에 노지와 무가온 하우스, 가온 하우스에 화분을 옮긴 후 실시하였으며, 실험구배치는 완전임의배치 3반복으로 하여 처리별로 4주씩, 12주를 처리하였다. 기온과 지온은 데이터로거(Watchdog, Spectrum

Technologies, Inc., Illinois, USA)를 사용하여 측정하였다. 생육조사는 정식후 50일에 처리 및 반복별로 2주씩 뽑아서 초장, 엽수, 엽록소(SPAD 502, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan), 엽면적(LI-3100, Area meter, LI-COR Inc., USA), 생체중 및 건물중을 조사하였다. 저온에 의한 배추 잎의 피해 및 세포조직 분석은 전날 야간온도가 영하로 내려간 날을 선택하여 조사하였는데, 노지 처리구는 -7.4°C, 무가온 하우스 처리구는 -3.0°C, 그리고 가온 하우스는 12.8°C일 때 각 처리구의 배추 잎을 채취하여 관찰하였다. 세포조직의 현미경 촬영은 채취한 잎을 1차 고정액 2.5% glutaraldehyde에 넣은 즉시 모든 과정은 4°C에서 진행되었으며 1차 고정 90분간 처리, 0.1M phosphate buffer(pH 7.2)로 15분 간격 4~5회 세척, 2차 고정 1% osmium tetroxide 90분간 처리, 위와 동일한 세척 과정 후 하룻밤을 침지시켰다. 탈수는 상온에서 40%, 60%, 80%, 90%, 95% ethanol로 각각 5분씩, 100% ethanol로 5분, 15분, 15분, 30분간 처리로 이루어졌으며 propylene oxide로 치환 후 최종적으로 epon에 포매(embedding)하여 60°C의 오븐에서 4일간 중합시켰다. 중합된 epon block을 초미세절편기(Ultracut R, Leica Co.)를 이용하여 1,500nm의 두께로 시료를 절단하여 P.A.S. 염색법으로 염색한 후 광학현미경(Axioskop 2, Carl Zeiss Co.) 100배로 검경하였다.

### 결과 및 고찰

처리기간 동안의 처리구별 평균기온과 지온은 Table 1과 같다. 노지 처리구의 3월 평균온도는 9.1°C로 무가온 처리에 비해서 4.0°C가 낮았고, 가온 처리구에 비해서는 약 12.0°C가 낮았고 4월 평균온도는 3월에 비해서 격차가 줄어 들었다. 지온의 경우는 기온보다 더 낮아서 3월

Table 1. Characteristic of air and ground temperature.

| Month | Open field |      |      | Non heating house |      |      |           |      |      | Heating house |      |     |           |      |      |              |      |      |
|-------|------------|------|------|-------------------|------|------|-----------|------|------|---------------|------|-----|-----------|------|------|--------------|------|------|
|       | Air Temp.  |      |      | Ground temp.      |      |      | Air Temp. |      |      | Ground temp.  |      |     | Air Temp. |      |      | Ground temp. |      |      |
|       | Ave.       | High | Low  | Ave.              | High | Low  | Ave.      | High | Low  | Ave.          | High | Low | Ave.      | High | Low  | Ave.         | High | Low  |
| March | 9.1        | 26.2 | -7.4 | 5.4               | 20.7 | -0.9 | 13.1      | 35.3 | -3.0 | 11.8          | 27.2 | 2.9 | 21.3      | 38.2 | 12.4 | 18.9         | 23.5 | 13.3 |
| April | 16.4       | 30.2 | -3.0 | 11.2              | 16.0 | 4.8  | 17.9      | 43.0 | -1.8 | 16.2          | 35.1 | 1.3 | 20.9      | 48.5 | 12.4 | 19.3         | 46.9 | 13.3 |

Table 2. Growth of chinese cabbage after transplanting 50 days.

| Cultivation condition | Plant height (cm)  | No. of leaves | Chlorophyll (SPAD) | Leaf area (/plant) | Fresh wt.(g/plant) |       | Dry wt.(g/plant) |      |
|-----------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------|------|
|                       |                    |               |                    |                    | Top                | Root  | Top              | Root |
| Open field            | 22.9b <sup>z</sup> | 32.7b         | 36.7b              | 3,320b             | 414.0b             | 18.3a | 34.0b            | 3.2a |
| Non heating house     | 23.8b              | 65.7ab        | 40.6ab             | 4,988b             | 461.3b             | 15.3a | 31.4b            | 2.3a |
| Heating house         | 36.7a              | 81.0a         | 48.3a              | 12,051a            | 1,202.5a           | 23.0a | 57.8a            | 2.2a |

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

에는 노지처리구가 5.4°C, 무가온 하우스는 11.8°C, 가온 처리구는 18.9°C였으며 4월에는 각각 11.2°C, 16.2°C, 19.3°C이었다. 최저온도는 노지 처리구는 -7.4°C, 무가온 하우스는 -3.0°C까지 떨어졌으며, 가온 처리구는 12.4°C 이었다.

정식후 50일에 생육특성을 조사한 결과(Table 2), 노지 처리구의 초장, 엽수, 엽록소 및 엽면적이 가온 처리구에 비해서 현저하게 떨어졌고, 특히 생체중의 경우에는 가온 처리구에 비해서 노지와 무가온 하우스 처리구가 1/3 수준으로 현저하게 낮았으며 지상부 건물중도 노지 처리구와 무가온 하우스 처리구가 낮았다. 그러나 뿌리의 생체중과 건물중은 처리간 유의성이 없었다.

배추의 잎이 10매 정도 생육이 되었을 때 저온에 따른 배추 잎의 피해증상을 분석한 결과(Fig. 1), 최저 영하 3.0°C 조건에서 12시간 동안 노출된 배추 겉잎은 약간의 수침증상을 보였고, 온도가 영상으로 올라가면서 회복되었다. 그러나 최저 영하 7.4°C 조건에서 12시간 경과한 배추 잎은 초기부터 수침증상이 심했고, 시간이 지날수록 잎이 회복되지 못하고, 황색으로 변하면서 결국 잎이 고사하였다. 배추엽의 수침 증상은 최저온도와 노출시간에 따라 증상이 다르게 나타났다.

피해받은 잎의 엽육세포를 광학현미경으로 촬영한 결과(Fig. 2), 최저 영하 3.0°C 조건시에는 수침증상을 보였던 잎은 울타리조직과 해면조직이 붕괴증상을 보였지만 어느정도 형태를 갖추고 있었는데, 최저 영하 7.4°C

조건에서는 세포가 저온에 의해 동결된 후 해동되는 과정에서 세포의 막구조가 파괴되어 울타리조직과 해면조직이 완전히 붕괴되었기 때문에 세포 형태를 갖추고 있지 않았다. 이와 같은 결과는 Reeser와 Hummel(1996)이 배추 잎을 채취하여 인큐베이터를 사용하여 영하 8, 12, 16°C 처리시 영하 8°C에서 겉잎과 속잎의 엽병이 피해를 입었고, 세포조직은 영하 16°C에서 피해를 입었다고 보고하여 세포조직의 피해 온도가 본 실험보다 훨씬 낮았는데 이것은 온도조건만 작용하는 인큐베이터내 실험과 바람, 서리, 지온 등 다른 요인이 복잡하게 작용하는 노지 실험의 차이라 볼 수 있겠다. 배추에 있어서 유묘기에 20mM CaCl<sub>2</sub>나 20% sucrose 살포가 내동성을 향상시켜 배추 생존율을 높여 준다고 보고 하였다(Nam 등, 2001). 이밖에도 저온처리 전에 식물체를 건조시켜 체내의 수분함량을 줄여주면 ABA 함량이 증가되어 기공을 닫히게 함으로써 피해를 줄일수 있다고 하였고(Rikin 등, 1976; Wilson, 1979), 세포내 당함량이 증가되면 세포막 지질의 안정성을 높여주고 세포액의 삼투압을 저하시켜 내냉성이 높아진다고 하였다(Salisbury와 Ross, 1980). 또한 인위적으로 ABA 처리를 한 오이묘(Nam 등, 2006), 토마토묘(King 등, 1982), 목화(Rikin 등, 1979)가 저온에서 생존율이 높아진다고 하였으며, 많은 연구자들이 ABA 처리를 함으로써 기공이 닫혀 저온장해시 수분손실을 줄일 수 있다고 보고한 바 있다(Jones and Mansfield, 1970; Christiansen and Ashworth, 1978; Ackerson, 1980;

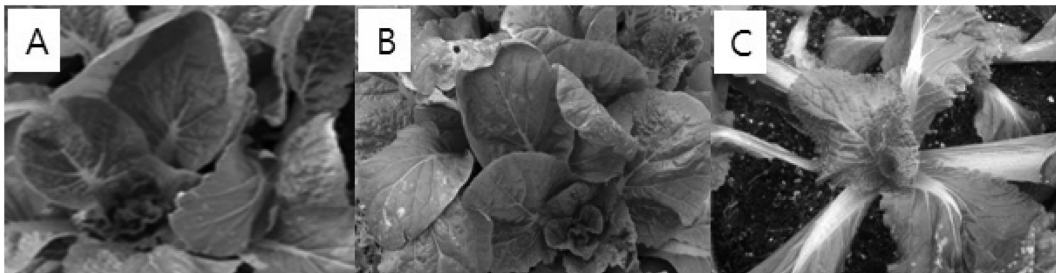


Fig. 1. Appearance of chilling injury symptoms of chinese cabbage. A. normal chinese cabbage; B. skin sowing the spot yellow symptom (-3.0°C); C. frost damage (-7.4°C).

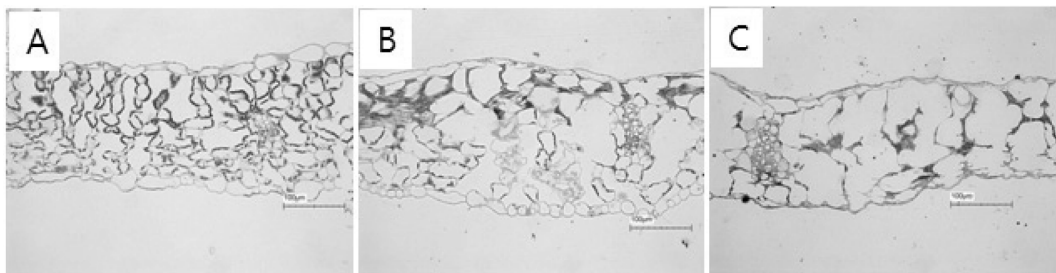


Fig. 2. Effect of temperature on the cellular tissue of chinese cabbage. A. normal chinese cabbage; B. skin sowing the spot yellow symptom (-3.0°C); C. frost damage (-7.4°C).

Zhang and Davies. 1990).

따라서 배추 정식후 초기 생육 단계에서 영하 3°C 정도의 저온에 처하게 되더라도 피해가 발생하므로 온도가 영하로 떨어질 것이 예상되면 부직포나 비닐로 보온을 해주거나 토양수분 함유량을 줄여 식물체내 ABA 함량을 증가시켜 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 사료되며 영하 7°C 정도에 처하게 되면 세포조직이 동결된 후 해동되면서 파괴되어 회복하기 어렵기 때문에 다시 심거나 또는 다른 작물로 대체하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

## 적 요

지구 온난화의 영향으로 우리나라는 지난 30년동안 평균기온이 0.7°C, 겨울철에는 1.4°C가 상승하였다. 이러한 온난화로 인하여 우리나라에서는 이상기상 현상이 자주 발생하여 채소작물에 피해가 발생한다. 특히 노지에서 많이 재배되고 있는 고추, 배추 및 무는 온난화로 인하여 정식시기를 점점 앞당겨 정식후 갑작스런 저온이 오면 이들 작물의 피해가 크다. 따라서 본 실험은 저온에 따른 배추의 생육특성과 엽 세포조직에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. '춘광' 배추품종을 화분에 정식한 후 노지 처리구, 무가온 하우스 및 가온하우스 처리구 등 3처리구를 하였다. 그 결과, 정식후 50일의 생육은 노지처리구의 초장, 엽수, 엽록소 및 엽면적이 가온 처리구에 비해서 현저하게 떨어졌고, 특히 생체중의 경우에는 가온 처리구에 비해서 노지와 무가온 하우스 처리구가 1/3 수준으로 현저하게 낮았다. 배추의 잎이 10매 정도 생육이 되었을 때 저온에 따른 배추 잎의 피해증상은 영하 3.0°C 조건에서는 배추 겉잎에 약간의 수침증상을 보였으나 회복되었다. 그러나 영하 7.4°C 조건의 배추 잎은 수침증상이 심하였으며 회복되지 못하고 황색으로 변하면서 결국 잎이 고사하였다. 피해받은 잎의 엽육세포는 영하 3.0°C 조건에서는 울타리조직과 해면조직이 약한 붕괴증상을 보였지만 어느정도 형태를 갖추고 있었는데, 영하 7.4°C 조건에서는 세포가 동결된 후 해동되는 과정에서 세포의 막구조가 파괴되어 울타리조직과 해면조직이 완전히 붕괴되었기 때문에 세포 형태를 갖추고 있지 않았다. 따라서 배추 정식후 초기 생육 단계에서 영하 3°C까지는 비닐이나 부직포로 보온, 토양수분 조절, ABA 처리를 하여 동해를 예방할 수 있으나 영하 7°C의 저온이 발생하면 세포가 파괴되어 회복하기 어렵기 때문에 다시 심거나 또는 다른 작물로 대체하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

**추가 주제어** : 동해, 생체중, 엽록소

## Literature Cited

- Ackerson, R.C. 1980. Stomatal response of cotton to water stress and abscisic acid as affected by water stress. *Plant Physiol.* 65:455-459.
- Christiansen, M.N. and E.N. Ashworth. 1978. Prevention of chilling injury to seedling cotton with antitranspirants. *Crop Sci.* 18:907-910.
- International Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Fourth Assessment Report.
- Jo, H.K. 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *J. Environ. Management* 64:115-126.
- Jones, R.J. and T.A. Mansfield. 1970. Suppression of stomatal opening in leaves treated with abscisic acid. *J. Exp. Bot.* 21:714-719.
- Kim, S.C. 2008. Development of greenhouse gas reduction system related with clean thermal power generation technology. Joint workshop of ministries and offices on climate change R&D projects. 619-627.
- King, A.I., M.S. Reid, and B.D. Patterson. 1982. Diurnal change in the chilling sensitivity of seedlings. *Plant Physiol.* 70:211-214.
- Lim, D.S. 2005. Tendency and confrontation on climatic change convention in OECD. *KIET Industry & Economy (Dec., 2005):*63-76.
- Nam, J.H., W.H. Kang, and I.S. Kim. 2001. Effect of CaCl<sub>2</sub> and sucrose treatments on freezing tolerance of chine cabbage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42(6):695-698.
- Nam, Y.I., Y.H. Woo, and K.H. Lee. 2006. Effects of soil moisture and chemical application on low temperature stress of cucumber seedling. *J. Bio-Env. Con.* 15(4):377-384.
- Reeser, C. M. and R.L. Hummel. 1996. Index of injury compared to tissue ionic conductance for calculating freeze damage of chinese cabbage tissues. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(6):1141-1146.
- Rikin, A., A. Blumenfeld, and A.E. Richmond. 1976. Chilling resistance as affected by stressing environments and abscisic acid. *Bot. Gaz.* 137:307-312.
- Rikin, A., D.A. Tsmon, and C. Gitler. 1979. Chilling injury in cotton: Prevention by abscisic acid. *Plant Cell Physiol.* 20:1537-1541
- Salisbury and Ross. 1980. *Plant Physiology.* Wadsworth Publishing. Co. p. 421.
- Wilson, J.M. 1979. The mechanism of chill- and drought-hardening of *Phaseolus vulgaris* leaves. *Mew Phytol.* 76:257-260.
- Zhang, J. and W.J. Davies. 1990. Changes in the concentration of ABA in xylem sap as a function of changing soil water status can account for changes in leaf conductance and growth. *Plant Cell Environ.* 13:277-285.