

Effect of Cold Acclimation and Deacclimation on the Freezing Tolerance, Total RNA, Soluble Protein and Soluble Sugar in Chinese Cabbage

Jeong Hyun Nam · Won Hee Kang · Il Seop Kim

Division of Applied Plant Sciences, College of Agriculture and Life science, Kangwon National University, Chunchon Kangwondo 200-701, Korea

Abstract

This study was conducted to determine the change in freezing tolerance of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *penkinensis*). Four-week old seedlings grown in a greenhouse at $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5$ were transferred to 5, 10 or 15°C condition for acclimation for one day, and then transferred to a lethal temperature or -3°C condition. Optimal acclimation temperatures were 5°C and 10°C . Freezing tolerance of leaf tissues was investigated during a week-long cold stress. Development of freezing tolerance was shown by survival ratio, and amounts of total RNA, soluble protein and soluble sugar. LT_{50} value increased from -3 to -4°C after 5 days acclimation at 5 or 10°C , and this was considered to be the first indication of enhanced freezing tolerance. Plants, cold acclimated for five days, reached to a survival ratio of 60%. This increase in freezing tolerance was found to be associated with the increased levels of total RNA, soluble sugar and soluble protein. These metabolic changes imply the association of adjustment of growth and cell metabolism with low temperatures at the beginning of cold acclimation in Chinese cabbage.

Key words: Chinese cabbage, freezing tolerance, cold acclimation, deacclimation

*Corresponding author

서 언

저온은 작물의 중요한 수량감소 요인 일뿐만 아니라 야생식물에게 심각한 해를 입히기도 하며 또한 작물의 분포와 성장을 제한 시키기도 한다(Levitt, 1980; Bravo, 1998). 일반적으로 온대지방이나 고산지대가 원산인 식물들은 온도가 갑자기 영하로 떨어지지 않고 저온순화(Cold acclimation)라 불리는 일정기간의 저온기를 거치면 영하의 온도에서도 얼어죽지 않게 된다(Gray et al., 1997; Bravo et al., 1998; Mohapatra et al., 1989; Levitt, 1980).

탈순화란 저온순화된 식물체를 다시 상온에 처리하였을 때 저온순화로 획득된 내동성이 상실되는 것을 말하는데 대부분의 경우 최대로 순화되었다고 해도 1주일 후 모두 순화능력을 상실했다고 한다(Guy et al., 1987). 탈순화 그리고 저온순화로 획득된, 내동성의 상실은 몇몇 식물에서 내동성을 유도하지 않은 온

도에 처리했을 때 저온순화 과정보다 빠르게 일어난다. 시금치나 알팔파, 감자 등 그동안 저온순화 연구에 이용된 많은 식물들 대부분이 최대 내동성을 획득하기 위해 수주일씩 걸렸으나 탈순화시 대부분이 일주일 이내에 모두 탈순화 되었다(Guy et al., 1985; Mohapatra et al., 1989; Seppänen et al., 1998).

식물이 동해를 입게되는 원인은 식물체내 얼음결정이 생기기 때문인데 이것은 세포결빙의 원인이 된다(Guy, 1990). 식물이 저온순화 하는 동안 막 조성의 변화를 포함한 생리적 변화와 삼투압 변화 그리고 유전자 발현의 변화등 유전적, 형태적, 생리적 변화가 유도되고(Thomashow, 1994) 단백질 함량이 증가하며 전체 RNA 함량과, 수용성당, 수용성 단백질 함량이 증가하게 되어 그 결과 저온순화(Cold acclimation)하게 되고 내동성을 획득한다(Guy and Haskell, 1987; Gilmour et al., 1988; Gray et al., 1997; Antikainen and Pihakaski, 1994). 저온순화된 식물

저온순화 및 탈순화가 배추의 내동성 및 total RNA, soluble protein, soluble sugar 함량에 미치는 영향

체에서 새롭게 합성된 단백질은 저온에서 대사작용을 조절 또는 얼음분자가 자라는 것을 방지하는 역할을 한다. 단백질은 체내 얼음결정이 형성될 때 얼음결정과 결합해 얼음결정의 형성을 억제하며 결정의 모양에도 영향을 준다. 또한 저온순화시 단백질의 증가는 많은 식물에서 저온순화 하는 동안 mRNA의 양적 증가와 관계가 있다는 연구 보고가 있었다(Gilmour et al., 1998; Guy, 1990).

이처럼 지금까지 많은 연구자에 의해 식물의 내동성과 세포막의 관계에 대한 논의가 있었다. 내동성이 변화할 때 세포막의 단백질이나 지질조성이 변하고, 그 결과 막의 성질도 변화는 것으로 알려져 있다. 그러나 순화중에 일어나는 이러한 세포막의 단백질 및 지질의 양적, 질적인 변화가 동결 중 막의 안정성에 어떻게 관여하고 있는지는 명확히 밝혀지지 않았다.

우리나라에서는 채소의 내동성에 관한 연구가 아직 미흡한 실정인데 배추와 같은 속인 케놀라(Song와 Copeland, 1995a)에서만 일부 연구가 이루어져 있을 뿐이다. 국외에서는 저온순화나 아브식산, 총 RNAs, 수용성단백질과 내동성과의 관계에 대해서 많은 연구가 이루어져있고, 내동성 관련 유전자에 대한 연구가 많이 보고되어 있다. 본 실험은 저온순화 처리가 배추의 내동성에 미치는 영향에 관한 기초 자료를 마련하고 제주도와 남부지방의 노지에서 월동하는 배추에 동해를 방지하기 위한 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

공시재료는 '하루방 월동배추'(농우종묘)를 4주간 육묘하여 사용했다. 치사온도를 구명하기 위해 -1, -2, -3°C (± 0.5)로 설정된 저온항온기에 온실에서 육묘한 유묘를 24시간 치상하여 치사하는 개체수가 반수를 넘으면 치사온도(LT₅₀)로 가정 하였다.

저온순화 최적온도를 알아내기 위해 5, 10, 15, 25°C (± 0.5)로 설정된 저온 항온기에 하루간 치상한 다음 전체 RNA함량과, 수용성당, 수용성 단백질 함량을 측정했고 치사온도에 24시간 치상하여 개체생존율을 조사하였다.

저온순화 최적 기간을 알아내기 위한 실험은 유묘를 5°C에서 24시간 순화 후 3시간 간격으로 시료를 채취했다. 순화일수에 따른 내동성 증가 정도를 측정하기

위해 7일간 순화하면서 2일 간격으로 시료를 채취하여 이에 따른 총 RNA, 수용성 당, 수용성 단백질 함량을 조사했다. 아울러 치사온도보다 낮은 온도에 24시간 치상한 후 생존 개체수를 조사하였다.

저온순화 후 탈순화 여부를 알아보기 위해 가장 높은 순화효과를 보인 5°C에서 5일간 저온처리 하여 25°C에서 24시간 동안 치상 하면서 3시간 간격으로 시료를 채취해 전체 RNA함량과, 수용성당, 수용성 단백질 함량을 측정하고 24시간동안 치사온도에 치상하여 생존율을 조사하였다.

1. 총 RNA 추출

총 RNA는 Guy(Guy et al., 1985) 등의 방법을 수정하여 사용하였다. 저온순화된 식물체의 잎과 순화되지 않은 식물체의 잎을 0.1 g 채취하여 액체질소에 급냉시킨 후 -80°C 냉동고에 보관하였다. 총 RNA를 분리하기 직전에 시료를 액체질소에 다시 얼려 곁게 갈고 완충액(2×TAB: Tris-Hcl pH 9.0, 0.5 M EDTA pH 8.0, 0.1% β -mercaptoethanol)을 넣은후 65°C로 설정된 수조에서 10분간 방치했다. PCI(Phenol:Chloroform:Isoamylalchol(25:24:1,v:v:v)를 동량넣고 4°C 15,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 상층액을 새 튜브에 옮긴후 CI(Chloroform: Isoamylalchol=24:1,v:v)를 동량 넣고 원심분리한 상층액을 취해 동량 isopropanol을 넣고 -20°C에서 12시간 방치했다. 이것을 원심분리(4°C, 15,000 rpm, 10분) 한후 pellet을 취하고 DEPC 처리된 증류수로 잘 용해하여 1/10 배당 3 M sodium acetate와 2배량 ethanol을 넣고 -70°C냉동고에 10분간 방치하였다. 4°C에서 15,000 rpm으로 10분간 원심분리한 후 pellet을 취해 세정(70% EtOH)하고 진공건조 하여 DEPC로 처리한 물로 용해한 다음 10 μ l씩 취해 100배 희석하여 정량하였다.

2. 수용성 단백질

저온순화된 배추의 잎과 순화되지 않은 배추의 잎을 0.1 g 채취한 후 0.2 M TE 완충액(0.2 M Tris-Hcl. pH 8.0, 0.2 mM EDTA. pH 8.0)를 사용해 추출하였다. 식물체의 폐놀계통의 물질을 제거하기 위해 polyvinyl pyrrolidone(PVP)를 소량 사용하였다. BSA(Bovin Serum Albumin)을 표준으로 사용하여 Brad-Ford Assay 방법으로 정량하였다(Daniel et al., 1996).

3. 수용성 당

순화처리된 배추잎을 1g씩 채취해 냉동고(-70°C)에 보관하였으며 보관한 배추잎을 막자사발에서 사용하여 증류수를 넣고 곱게 마쇄한 것을 3,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 상청액을 취했다. 상집액을 0.45 µm membrane filter로 여과 후 10 µL씩 주입하여 HPLC (High performance liquid chromatography)로 분석하였다. 당 분석은 HPLC(Model: RID-10A, Shimadzu, Japan)의 RI detector, column은 Shim-pack SCR-101N (7.9 mm φ×30 cm)과 같은 조건으로 설탕, 포도당, 과당을 분석하였다.

4. 이온 유출물

이온 유출물은 저온순화된 배추잎과 순화되지 않은 배추잎을 0.5g씩 취해 시험관에 넣은 후 -3°C에 24시간 처상한 후 5°C에 5시간 해동하였다. 해동 후 증류수를 15 ml 넣고 5°C, 124 rpm에서 24시간 진탕하여 EC meter로 이온 유출물(ion leakage)을 측정하고 120°C에서 20분간 멸균하여 총 유출물을 측정하여 백분율로 나타내었다.

결과 및 고찰

배추묘의 처상온도를 알아보기 위해 -1, -2, -3°C (±0.5°C)로 조절된 항온기내에 24시간 동안 처리했을 때 개체수의 50%가 처사하는 온도(LT₅₀)를 측정하였다. 배추묘의 경우 -2°C까지는 90%이상이 생존하였

으나 -3°C에서 90%이상이 처사하여(LT₅₀) -3°C를 처상온도로 판단하였다.

최적순화온도를 구명하기 위하여 5, 10, 15°C(±0.5) 및 25°C(±0.5)의 항온기에 24시간 순화 후 시료를 채취하고 처상온도인 -3°C에 24시간 처상하여 생존율을 조사하였다.

처상온도에 처리된 후 개체 생존율은 온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였는데 5°C와 10°C의 경우 각각 100%와 90%의 생존율을 보여 대조구와 큰 차이를 나타냈다. 15°C처리의 경우 생존율이 40%미만이었고 대조구는 10%를 나타냈다(Fig. 1A). 총 RNA 함량 역시 같은 경향을 보였다. 온도가 낮아질수록 총 RNA 함량도 증가하는 경향을 보였고 생존율과 유사한 경향을 보였다. 배추묘의 저온순화에는 10°C 이하의 온도가 가장 적합한 것으로 생각되며 그중 5°C를 저온순화 최적온도로 판단하였다(Fig. 1A).

5, 10, 15°C(±0.5) 및 25°C(±0.5)로 설정된 항온기에서 24시간 동안 순화한 후 순화온도별 잎의 이온 유출율을 조사했다. 각 온도에서 24시간 순화된 배추잎은 5°C에서 가장 낮은 유출율을 보였고 대조구인 25°C에서 50% 이상의 이온유출율을 보여 순화 온도가 높아짐에 따라 이온 유출율(ion leakage)도 높아지는 것으로 나타났다(Fig. 1B).

최적순화 온도인 5°C에서 24시간동안 저온순화했을 때 각 시간별 생존율과 총 RNA, 수용성 단백질 함량을 측정하였다. 배추묘의 내동성 증가는 저온처리한지 12시간 후부터 증가했다. 배추묘가 저온(5°C)에

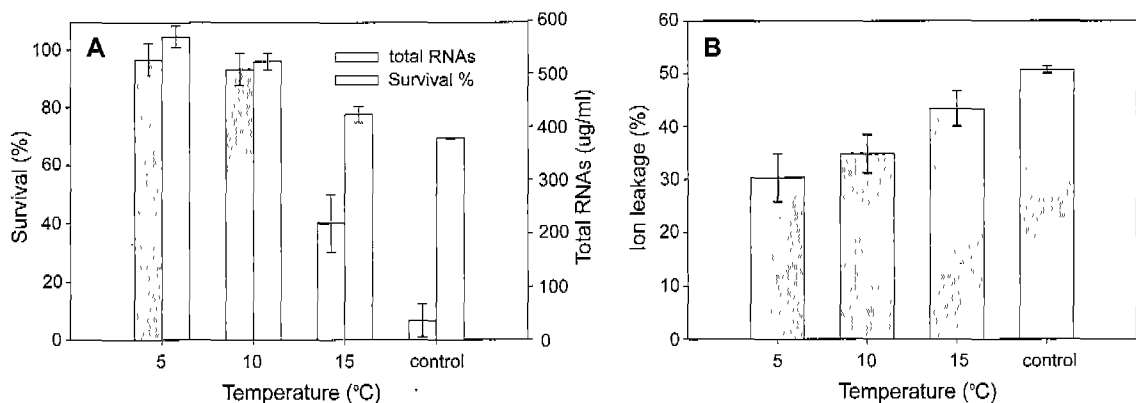


Fig. 1. Freezing survival, total RNAs and ion leakage of Chinese cabbage during different acclimation temperature, 1 day after freezing. Four week-old plants were acclimated at 5, 10, 15, 25°C(control, ±0.5°C) for 1 day and incubated at -3°C(LT₅₀) for 1 day. Vertical bars are means of 3 replication ±SD.

저온순화 및 탈순화가 배추의 내동성 및 total RNA, soluble protein, soluble sugar 함량에 미치는 영향

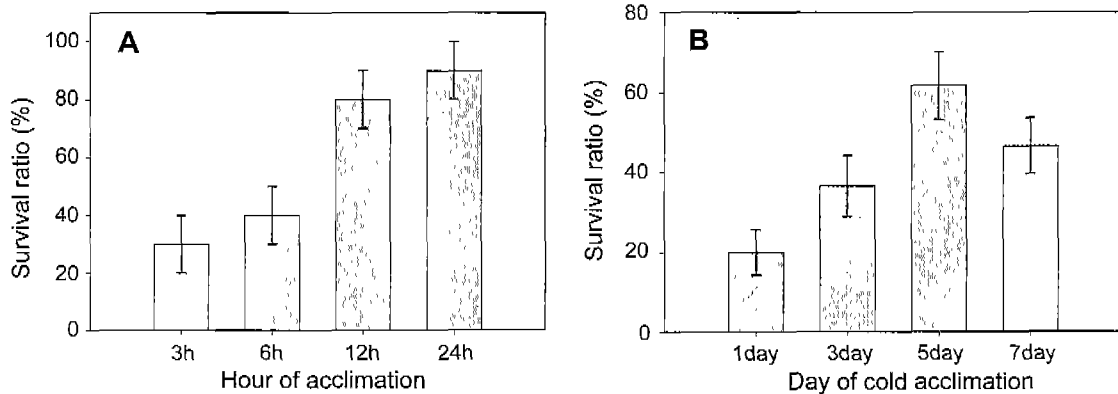


Fig. 2. Freezing survival of Chinese cabbage in different time period of cold acclimation. Four week-old plants were acclimated at 5°C for 3, 6, 12, 24h and incubated at -3°C for 1 day. Four week-old plants were acclimation at 5°C for 1, 3, 5, 7d and followed by frozen at -4°C for 1day. Vertical bars are means of 3 replication \pm SD.

24시간 치상 되었을 때 생존율은 저온처리한지 3시간 후부터 증가하기 시작해서 12시간이 경과했을 때 80%가 생존하였고 24시간 처리에서는 90% 이상의 생존율을 보여 12시간처리와 큰 차이를 보이지 않았고 5일 이후부터는 LT₅₀도 -4°C로 낮아졌다(Fig. 2A).

최대순화 일수를 구명하기 위해 5°C에서 1주일간 처리했을 때 배추묘의 내동성 증가를 관찰했다. 5°C(\pm 0.5)에서 7일간 저온처리 하면서 총 RNA함량과 수용성 단백질, 수용성당 함량을 측정하였다. 총 RNA의 경우 저온에 노출된지 3시간부터 서서히 증가하다가 12시간이후 급격히 증가했고 5일 후 최대에 도달하였으며 7일 후부터 감소하는 경향을 보여 생존율과 거의 유사한 경향을 나타냈다. 대조구는 커다란 변화를 보이지는 않았으나 시간이 경과함에 따라 점차 감소하

는 경향을 보였고 저온처리 한 것과 비교했을 때 12시간 이후부터 큰 차이를 보였다(Fig. 2B).

수용성단백질 함량은 저온처리 했을 때 12시간까지 크게 변화하지 않았으나 24시간 이후부터 큰 폭으로 증가하기 시작했고 대조구와 비교했을 때 5일 후부터 큰 차이를 보였다. 대조구의 단백질 함량은 계속 감소하는 경향을 나타냈으며 3일 후 약간 증가하였지만 그 이후 큰 변화를 보이지 않고 일정한 함량을 유지하였 다(Fig. 3).

5°C(\pm 0.5)에서 7일간 저온처리 하는 동안 자당, 포도당, 과당 함량을 측정하고 이들의 양을 합하여 총 당함량을 나타냈다. 총 당함량은 시간이 경과할수록 증가하는 경향을 보였지만 대조구의 경우 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 당의 몇 가지 주요한 성분들의 함량

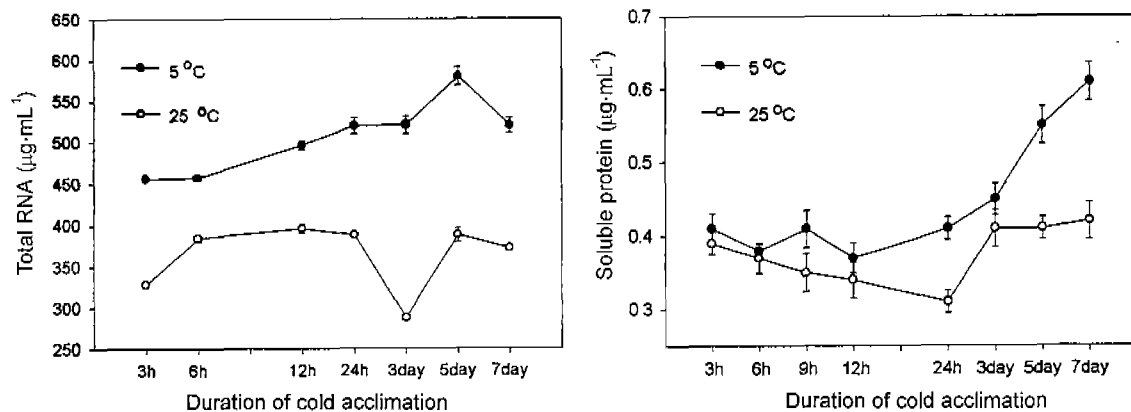


Fig. 3. The quantities of total RNAs and soluble proteins from cold-treated and non-treated Chinese cabbage leaves. Vertical bars are means of 3 replication \pm SD.

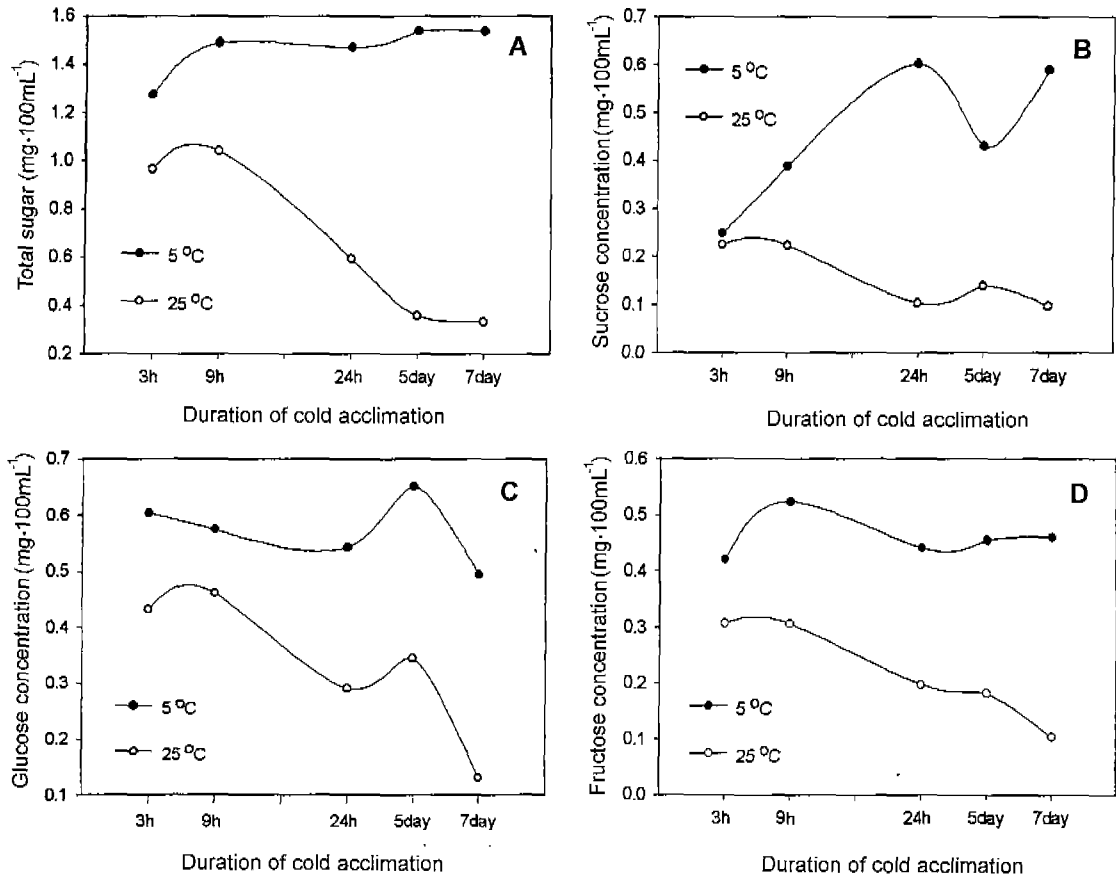


Fig. 4. Accumulation of sugars during cold acclimation of Chinese cabbage a during different times period after transfer to 5°C. Total sugars(A), sucrose(B), glucose(C), fructose(D) were measured in leaves.

변화를 보면 서당이 저온처리시 가장 많이 증가하는 경향을 나타냈다. 과당(Fructose)과 포도당(Glucose)은 비슷한 경향을 보였는데 큰 변화를 보이지는 않았으나 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 25°C 대조구의 경우 자당(Sucrose), 과당(Fructose)와 포도당(Glucose)은 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 4).

LT₅₀이 5일 후 -4°C로 내동성이 증가했는데 대조구의 경우 -4°C에서 모든 개체가 치사하였다. 생존율은 저온순화 1, 3, 5일 후 각각 20, 37, 62%를 나타내 저온처리 기간동안 증가하였고 5일 후 최대 생존율을 보이다가 7일 후 47%의 생존율을 보여 다시 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 5).

탈순화시 개체 생존율은 시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 탈순화 9시간 이후부터는 생존율이 급격히 감소하여 내동성이 50% 감소하였다.

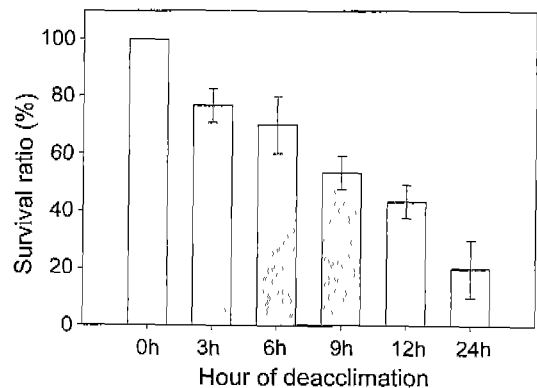


Fig. 5. Freezing survival of Chinese cabbage in different treated hours of deacclimation. Four week-old plants were cold acclimated at 5°C for 5 days and followed by deacclimated at 25°C for 0, 3, 6, 9, 12, 24 h. The Chinese cabbage seedlings were frozen at -3°C for 1 day. Vertical bars are means of 3 replication ±SD.

저온순화 및 탈순화가 배추의 내동성 및 total RNA, soluble protein, soluble sugar 함량에 미치는 영향

24간 이후에는 10% 미만의 생존율을 보였다. 저온순화 했을 때 최대 내동성을 획득하기까지 5일이 경과했으나 탈순화 처리시 24시간 이후 저온순화로 획득된 내동성이 완전히 상실되는 것으로 나타났다(Fig. 5).

탈순화 처리는 총 RNA, 수용성단백질 함량에도 영향을 주었는데 총 RNA의 경우 탈순화 시간이 경과함에 따라 3시간 후부터 감소하기 시작했고 이후 대체로 일정한 함량을 유지하다가 12시간 이후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 수용성 단백질도 총 RNA와 비슷한 경향을 보였는데 9시간 이후 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6A).

탈순화시 총 당함량은 9시간까지 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였으며 자당(Sucrose), 포도당(Glucose), 과당(Fructose) 함량 역시 같은 경향을 보였다. 이들 당 성분중 포도당(Glucose)이 비교적 높은 함량을 보였고 자당(Sucrose)이 가장 낮은 함량을 보였다. 저온처리시 가장 크게 증가한 것은 자당(Sucrose)이었으며 탈순화시에도 가장 큰 변화를 나타낸 것으로 보아 자당(Sucrose)함량이 내동성과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다(Fig. 6B).

0°C보다 높은 저온에서 대사작용의 조절은 식물세포가 순화하고 진정한 내동성을 발달시키는데 필요하다. 배추에서 1주간의 저온처리 기간은 내동성 발달의 첫 번째 단계로 생각된다. 배추 묘의 내동성 증가는 저온순화 하는 동안 수용성당, 수용성 단백질, 총 RNA 함량의 증가와 관련이 있고 새로운 단백질의 합성은 저온에서 세포대사와 성장의 조절과 연관된다고 생각된다. 배추묘에서 저온순화 하는 동안 수용성당의 증가는 저온순화 하는 동안 배추묘가 살아남기 위해 요구되는 에너지공급을 위해 필요하다고 생각된다(Thomashow, 1994). 또한 당 함량의 증가는 탄수화물의 증가와 함께 동결보호제로써 유용한 역할을 하는데 당의 축적은 핵심역할을 하기도 하며(Antikainen and Pihakaski, 1994.) 삼투농도의 증가와 연관된다고도 생각된다. 또 다른 당의 역할은 수분부족에서처럼 단백질 분자들을 보호할 가능성도 있다. 저온처리된 식물체와 처리되지 않은 식물체의 단백질 함량의 차이는 저온처리 한지 24시간 후부터 크게 차이가 나기 시작했다. 전체 RNA 함량의 증가와 새로운 단백질의 합성은 내동성 특이 유전자의 발현을 나타낸다고 생각할 수 있다(Guy와 Haskell, 1992; Gilmour et al., 1998; Gray

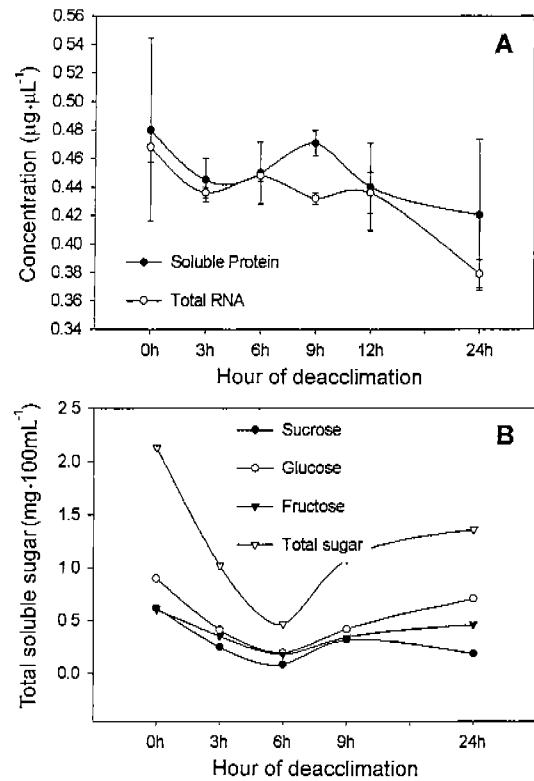


Fig. 6. The change of total RNAs, soluble proteins and soluble sugars in deacclimation Chinese cabbage leaves. The plants were acclimated at 5°C for 5 days and transferred to 25°C. Vertical bars are means of 3 replication \pm SD.

et al., 1997).

위의 결과들을 종합해 볼 때 저온이 환경의 신호로 작용을 하여 내동성 특이 유전자들을 발현시키고, 발현된 유전자 산물인 단백질은 세포내 대사를 변경시키거나 또는 얼음분자가 성장하는 것을 방해하는(Antifreezer) 물질로 작용하는 것으로 생각된다. 제주도나 남부지방에서 급격한 온도 저하로 인한 월동배추의 동해방지는 찬물을 살포해 줌으로써 동해를 방지할 수 있는지는 좀더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Literature cited

1. Antikainen, M. and S. Pihakaski. 1994. Early developments in RNA, Protein, and Sugar levels during cold stress in Winter Rye (*Secale cereale*) leaves. *Annu. Bot. Com.* 74:335-341.
2. Bravo, L.A. and G.E. Zúñiga. M. Alberdi and L.J. Cor-

- cuera. 1998. The role of ABA in freezing tolerance and cold acclimation in barley. *Physiol. Plant.* 103:17-23.
3. Chen, H.H., P.H. Li. and M.L. Brenner. 1983. Involvement of abscisic acid in potato cold acclimation. *Plant Physiol.* 71:362-365.
4. Daniel M.B., M.D. Rozycki., and S.J. Edelstein. 1996. Protein method. A John Wiley & Sons Inc, Pub.
5. Gilmour, S.J., R.K. Hajela, and M.F. Thomashow. 1988. Cold acclimation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.* 87:745-750.
6. Gray, G.R. L.P. Chauvin., F. Sarhan, and P.A. Huner. 1997. Cold acclimation and freezing tolerance. *Plant Physiol.* 114:467-474.
7. Guy, C.L. 1990. Cold acclimation and freezing stress tolerance: Role of protein metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 41:187-223.
8. Guy, C.L. and D. Haskell. 1987. Induction of freezing tolerance in spinach is associated with the synthesis of cold acclimation induced proteins. *Plant Physiol.* 84:872-878.
9. Guy, C.L., K.J. Niemi., and R. Brambl. 1985. Alter gene expression during cold acclimation of spinach. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 82:3673-3677.
10. Guy, C.L. R.L. Hummel, and D. Haskell. 1987. Induction of freezing tolerance in spinach during cold acclimation. *Plant Physiol.* 84:868-871.
11. Levitt, J. 1980. Response of plant to environmental stress. p. 67-344. In: *Chilling, Freezing and High Temperature Stress*, 2nd ed. Academic Press, New York, Inc.
12. Mohapatra, S.S., L. Wolfraim., R.J. Poole. and R.S. Dhindsa. 1989. Molecular cloning and relationships to freezing tolerance of cold-acclimation-specific gene of Alfalfa. *Plant physiol.* 89:375-380.
13. Song, M.T. and L.O. Corpeland. 1995a. Responses of two cold-regulated gene, BN28 and BN115, in field-grown Canola (*Brassica napus L.*). *J. Kor. Crop. Sci.* 40: 69-76 (in Korean).
14. Song, M.T. and L.O. Corpeland. 1995b. Effect of cold-acclimation on freezing tolerance in Canola (*Brassica napus L.*). *J. Kor. Breed.* 27(2):117-123 (in Korean).
16. Thomashow, M.F. 1994. *Arabidopsis*, p. 807-834. In: *Arabidopsis thaliana* as a model for studying mechanisms of plant cold tolerance. Cold Spring Harbor Lab. Press.
16. Thomashow, M.F. 1994. *Arabidopsis*, p. 807-834. In: *Arabidopsis thaliana* as a model for studying mechanisms of plant cold tolerance. Cold Spring Harbor Lab. Press.

저온순화 및 탈순화가 배추의 내동성 및 total RNA, soluble protein, soluble sugar 함량에 미치는 영향

남정현* · 강원희 · 김일섭

강원대학교 농업생명과학대학 원예학과

적 요

저온은 배추 묘에서 1주일동안 RNA함량과 단백질 함량을 증가시켰고, 당 함량에 있어서도 많은 변화를 유발했을 뿐만 아니라 저온순화시 치사온도에서 생존율도 또한 증가하였다. 이런 결과에서 보듯이 이러한 변화는 내동성의 발달과 관련되어 있는 것으로 생각할 수 있다. 5°C에서 처음 24시간처리 했을 때 12시간 이후부터 내동성이 증가했으며 5일째 가장 크게 증가하였다. 치사온도에서의 생존율도 저온처리한지 12시간 후부터 증가해서 5일 후 가장 높은 생존율을 보였다. 수용성당 함량은 저온순화 한지 1일 후부터 크게 증가했다. 몇몇 주요한 당 함량에서 볼 수 있듯이 포도당(Glucose)은 저온처리된 배추묘에서 함량이 가장 많은 당 성분으로 저온처리된 배추묘와 처리되지 않은 배추묘 사이에서 1일 후부터 계속 큰 차이를 나타냈으며 과당(Fructose)도 포도당과 비슷한 경향을 보였다. 저온처리를 시작할 때 자당(Sucrose)이 가장 많이 증가하는 경향을 보였고 처리 9시간 이후부터 큰 차이를 나타내기 시작했다. 당의 정량분석결과 배추묘에서 주요한 당 성분은 포도당이었으나, 저온처리시 크게 증가한 당 성분은 자당이였다. 최대내동성에 도달하기까지 5일이 걸렸으나 탈순화시 9시간후부터 생존율이 서서히 감소해 24시간만에 저온순화로 획득된 내동성이 모두 상실되었다. 전체 RNA와 수용성 단백질 함량 역시 24시간 경과 후 현저히 감소하였다.

주제어 : 배추, 내동성, 저온 순화, 탈순화