

# 短期 低溫處理가 樹木休眠枝 耐寒性도에 미치는 效果\*1

洪 性 珪\*2 · 趙 台 煥\*2

## Rapid Effect of Low Temperature on the Freezing Resistance of Dehardening Trees

Sung Gak Hong\*2 and Tae Hwan Cho\*2

The present study explored the rapid effect of low temperature on the freezing resistance of dehardening twigs of three apple cultivars and sweet cherry.

The effect of low temperature was depending upon the thawing treatment following to the low temperature treatment. When the freezing temperature to  $-9^{\circ}\text{C}$  for three hours followed by thawing treatment ( $5^{\circ}\text{C}$ ) was given repeatedly twice, the low temperature increased apparently the cold hardness of apple and cherry by 3 to  $9^{\circ}\text{C}$ . On the other hand, when the freezing temperature ( $-9^{\circ}\text{C}$ ) for ten hours was pretreated without thawing, the low temperature appeared not affecting the cold resistance of the twigs.

The role of freezing-thawing temperature cycle in nature was discussed as a signal of environmental stimulus to which dehardening plant may be responding to increase their cold hardness so as to adapt against the damage of late frost in early spring.

본 實驗은 短期 低溫處理가 3개의 사과品種과 양앵두의 休眠打破中인 가지(枝)의 耐寒性도에 미치는 效果를 연구하였다.

短期 低溫처리 효과는 低溫처리 후의 解水처리에 따라 다르게 나타났다. 解水처리와 함께  $-9^{\circ}\text{C}$  까지의 結氷溫度가 3時間 반복되어 처리되었을 때 사과 및 양앵두의 耐寒性도는 低溫처리에 의하여  $3\sim 9^{\circ}\text{C}$  만큼 뚜렷하게 높아졌다. 이와 반대로 解水처리가 없이 結氷溫度( $-9^{\circ}\text{C}$ )가 10시간 前處理되었을 때 耐寒性도는 低溫처리에 의하여 아무런 영향을 받지 않았다.

自然에서 일어나는 溫度의 結氷-解氷 반복의 역할은 위와 같은 自然的인 溫度 자극이 休眠이 깨어나고 있는 나무의 耐寒性을 增進하여 초봄에 일어나는 晩霜의 被害에 適應할 수 있도록 하는데 있다고 考察되었다.

### 緒 言

植物 耐寒性도의 季節的인 變化에 關하여는 많은 연구가 되어왔다<sup>10)</sup>.

植物의 低溫順應(cold acclimation)의 mechanism은 光週期效果에 의한 第一次 低溫順應과 低溫效果에 의한 第二次 또는 第三次 低溫順應으로 나뉜다.

樹木의 一次 低溫順應은 短日處理에 의하여 促進되고 長日處理에 의하여 저해되는 것으로 알려지고 있다<sup>3,4)</sup>

또한 赤色 및 超赤色光線(farred)에 의한 第一次 耐寒性의 저해 및 促進作用을 實驗적으로 보이므로서 第一次 順應에는 phytochrome이 관여하고 있는 것으로 알려지고 있다<sup>4,11)</sup>. 이러한 第一次 順應이 끝난 후에, 또는 第一次 順應과 並行하여 低溫處理에 의하여 第二次 低溫順應 등이 일어나는데 Tumanov와 Krasavtsev<sup>8)</sup>는 一次 順應이 끝난 樹木에 實驗 室內에서  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-50^{\circ}\text{C}$ 와  $-60^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 각 24시간 동안 점차적으로 低溫처리하여 樹木들의 耐寒性을 높였고 Sakai<sup>5)</sup> 및 Sakai와 Weiser<sup>6)</sup>는 2주일동안은  $-3^{\circ}\text{C}$ 에 1

\*1 Received for publication in August 7, 1975

\*2 建國大學校 農科大學 College of Agriculture, Kon Kuk University, Seoul

주일간은  $-5^{\circ}\text{C}$  에 그리고 마지막 3일간은  $-10^{\circ}\text{C}$  에 30餘種의 樹木을 저장하여 最高 耐寒性度를 얻었다고 보고하고 있다. Horiuchi와 Sakai<sup>1)</sup>는  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  와  $+15^{\circ}\text{C}$  의 온도에서 1日마다 水下 氷上온도를 週期的으로 15日間 처리하여 삼나무(杉)의 耐寒性을 增加시켰다고 보고하고 있다.

第二次 順應과정은 第一次順應 과정과는 달리 低溫에 의하여 유발되기 때문에 生理, 生化學的인 대사과정에 依하기 보다는 低溫에 의한 物理的變化과정에 의하여 이루어 지리라고 추리되었다<sup>1,8,10)</sup>. 예를 들면 植物細胞膜의 단백질 部分의 低溫처리에 의한 構造的變化에 의하여 이루어 질지도 모른다고 추측되었다<sup>10)</sup>.

筆者들은 第二次 順應過程이 위와 같은 物理的變化에 依한다는 가정 아래 短期的인 低溫처리 效果를 알기 위해 本實驗을 遂行하였다. 아울러 第二次 順應을 유발하는 것이 低溫 그 自體 때문인지 아니면 水下 온도와 氷上온도의 週期的인 變化 때문인지를 알기 위하여 實驗方法에서와 같은 實驗 設計를 하였다.

## 材料 및 方法

### I. 試驗材料

시험재료는 서울특별시 성동구 모진동 건국대학교농과대학내 品種保存園에 植栽되어 있는 Nugget Spur, 옥오 및 Earlibraze의 사과품종과 양앵두(*Prunus avium*)의 母樹로부터 1年生 가지를 1975년 3월 1일 約 50 cm의 길이로 摘취하여 貯藏장고( $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ , 相対습도 100%)에 1개월간 貯藏하였다가 사용하였다.

### II. 試驗方法

各 樹種 및 品種의 가지를 3~4cm의 길이로 잘라서 lable한 다음 sample을 aluminum film에 싸서 3組의 保溫병(一組當 5개의 보온병)에 넣었고 모든 溫度처리의 속도는 시간당  $6^{\circ}\text{C}$  보다 천천히 하였다. 그림 1과 같이 前處理로서 一組의 보온병에 있는 sample들은  $-9^{\circ}\text{C}$ 의 低溫처리를 10分동안 한 다음  $5^{\circ}\text{C}$ 로 解氷시킨 후 다시  $-9^{\circ}\text{C}$ 의 저온처리를 10分間 한 후  $5^{\circ}\text{C}$ 로 解氷시켰다. 이러한 前處理를 받은 sample을 앞으로 그림 1과 같이 處理로 略稱키로 하겠다. 또다른 一組의 5個의 보온병에 들어 있는 sample들은  $-9^{\circ}\text{C}$ 의 低溫處理를 解氷시키지 않고 10時間동안 계속하였다. 이러한 Z 前處理를 앞으로 Y 처리하고 略稱한다. 나머지 一組의 sample은 control 組로서 이를 C 처리로 略稱한다.

各組의 sample에 C, Y, 또는 Z 처리를 한후 溫度를 下降시켜 各組의 sample이  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-18^{\circ}\text{C}$ ,  $-21^{\circ}\text{C}$ ,  $-24^{\circ}\text{C}$ ,  $-27^{\circ}\text{C}$ 의 溫度에 이르러 때 마다 보온병을 冷

凍器로부터 꺼내어  $4^{\circ}\text{C}$ 의 냉장고에서 서서히 解氷시켰다. 그 외 傷害程度의 測定 方法은 밤나무 耐寒性實驗方法과 같다<sup>12)</sup>.

## 結果 및 考察

사과의 모든 品種 및 양앵두에 있어서  $-9^{\circ}\text{C}$ 의 低溫處理를 解氷과 함께 反復적으로 했을 때는 3 내지  $9^{\circ}\text{C}$  가량 耐寒性이 높아졌다(表 1). 이외는 달리  $-9^{\circ}\text{C}$ 의 저온처리를 내한성 실험을 하기 전에 解氷시키지 않은 경우는 내한성이 변화되지 않았다.

Sakai<sup>5)</sup>와 Sakai 및 Weiser<sup>6)</sup>의 低溫실험 경우 實驗上의 便宜 때문에 저온처리후에 실험재료를 解氷시켰다가 다시  $5^{\circ}\text{C}$  가량의 解氷온도에서 실험을 始作하였으므로 實際로는 그들의 저온처리는 항상 解氷이 뒤따라 實施되었으나 저온처리가 이와 같이 解氷이 뒤따라야만 뚜렷한 효과가 있다는 것을 그들은 발견하지 못하였다. Tumarov와 Krasavtsev<sup>8)</sup> 兩氏의 경우는 저온처리후에 解氷처리가 되었는지 아닌지가 실험방법에 명확히 기재되지 않았다.

또한 本實驗 결과 特記할만한 것은 10시간 이라는 짧은 시간 동안의 短期 低溫처리에 依해서도 植物의 耐寒性度를 높일 수 있었다는 사실이다.

植物이 自然環境의 變化에 適應하는 方法은 그 환경條件보다 앞서 오는 어떤 환경변화를 자극으로 받아 植物이 미리 앞으로의 환경조건에 적응할 수 있도록 自身の 生理的인 또는 形態的인 變化를 준비하므로써 앞으로 닥쳐올 어떤 환경조건에 적응하여 生存하는 것이다. 예를 들면 植物의 耐寒性度의 增進도 마찬가지로 추운 겨울이 오기 前에 미리 9月경 부터(樹種에 따라 또는 위도에 따라 그 時期는 다르지만) 日長(短日處理) 또는 超赤色光(far-red) 및 赤色光의 變化에 자극을 받아 미리 第一次의으로  $-10^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$ 까지 그의 耐寒性度를 높인다<sup>4,11)</sup>. 시간이 지나감에 따라 10月末 내지 11월이 되었을 때 한겨울의 가장 낮은 氣溫에 適應할 수 있도록  $-20^{\circ}\text{C}\sim -30^{\circ}\text{C}$ 까지 耐寒性度를 높이는데 이 때의 植物에 대한 자극은 10월 내지 11월에 있을 수 있는  $-3^{\circ}\text{C}\sim -5^{\circ}\text{C}$ 의 溫度자극이다<sup>10)</sup>.

한겨울의 低溫자극에 의해 植物은 最高로 耐寒性度를 높이나( $-30^{\circ}\text{C}$  이하)  $10^{\circ}\text{C}$  内外의 人爲的 高溫처리를 계속하면 한겨울이라 하더라도 植物은 自身の 내한성도를 높이지 않는다<sup>2)</sup>. 이러한 실험 결과와 같이 3~4월이 되면 점진적인 高溫에 의해 植物은 休眠에서 깨어나 耐寒性이 낮아지는데 이때 晩霜의 경우에서와 같

表 1. 短期 低温處理가 사과 및 영두의 내한성에 미치는 效果

部 位 Tissue Parts	樹種 및 品種 Species, Cultivars	前處理 Pretreatment	各處理溫度에서 傷害率 Percent damage at each treatment temperature					
			-15°C	-18°C	-21°C	-24°C	-27°C	
冬 芽 Winter Bud	Apple cultivar	사 과 Nugget Spur	Ca)	77d)	86	100	100	100
			Yb)	60	50	67	100	100
			Zc)	0	0	40	80	100
		사 과 Earlibraze	C	30	36	60	100	100
			Y	30	35	66	100	100
			Z	0	12	25	50	70
	사 과 육오 Yuk-o	C	33	100	100	100	100	
		Y	30	100	100	100	100	
	양 영 두 <i>Prunus avium</i>	Z	0	20	41	83	100	
		C	0	25	40	90	100	
Y		0	20	47	69	100		
影 成 層 Cambium	사 과 Nugget Spur	Z	0	0	10	10	30	
		C	0	37	59	98	100	
		Y	0	22	14	55	100	
	사 과 Earlibraze	Z	0	0	0	0	45	
		C	0	0	15	23	85	
		Y	0	0	20	20	90	
	사 과 육 오	Z	0	0	0	0	17	
		C	20	15	27	100	100	
		Y	20	20	30	100	100	
	양 영 두	Z	0	0	16	33	66	
		C	0	0	0	40	60	
		Y	0	0	0	26	53	
材 部 柔 組 織 Xylem ray parenchyma	사 과 Nugget Spur	Z	0	0	0	0	0	
		C	0	30	60	98	100	
		Y	10	26	13	72	100	
	사 과 Earlibraze	Z	0	0	0	10	43	
		C	0	0	13	36	75	
		Y	0	0	10	40	80	
	사 과 육 오	Z	0	0	0	0	18	
		C	37	30	36	100	100	
		Y	30	30	40	100	100	
	양 영 두	Z	0	0	20	42	84	
		C	0	0	0	33	67	
		Y	0	0	0	24	50	
	Z	0	0	0	0	0		

a) C: 對比區(Control)      b) Y: 10時間동안 계속하여 -9°C(Continuously at -9°C for 12 hours)  
 c) Z: 3時間동안 -9°C까지의 결빙온도 처리후에 5°C로 해빙, 두번반복 (Freezing temperature to -9°C for 3 hours followed by thawing at 5°C, repeatedly twice)  
 d) 각각의 측정치는 10개의 평균치임. (단위 %)

이 만일 氷下의 온도가 갑자기 낮아지면 一部 休眠이 깨어져서 耐寒性도가 낮아진 樹木들이 다시 耐寒性도를 높이기 도며 그렇지 못한 경우에는 凍害를 입게 된다.

本 實驗에서 보인 바와 같이 3월 초에 採取한 一部 休眠이 打破 중인 休眠枝의 耐寒性도가 解氷이 뒤따른 低溫 처리에 依해서만 높아진다는 사실은 植物이 晩霜에서 오는 被害에 對抗하여 適應하는데 있어서 낮에는 氷上, 밤에는 氷下의 週期的인 溫度 변화를 갖는 초봄의 氣候 條件과 一致한다는 點에서 매우 흥미로운 사실이며 이와 같은 현상은 第一次 順應이 끝난 樹木의 경우 초가을의 기후조건 下에서 일어날 것이 豫想된다.

實際적으로 初霜 또는 晩霜에 강한 樹種 또는 品種을 선발함에 있어서 그 時期에 어떤 植物의 耐寒性도의 絕對值 뿐만 아니라 이와 같이 低溫 처리에 對한 反應度 또한 考慮되어야 할 것이다. 왜냐하면 反應도가 빠른 植物의 경우 즉 저온 처리에 의하여 얼마나 예민하게 耐寒性도를 높이는가에 따라 初霜 및 晩霜의 被害程度가 적을 것이 예상되기 때문이다.

그러면 무엇 때문에 解氷이 뒤따른 저온 처리만이 耐寒性도를 높이는가?에 對한 解答을 얻기 위해서는 아직도 많은 實驗 및 研究가 進行되어야만 되리라 생각되는데 本 紙面에서는 일단 이 問題를 여지껏 연구되어 온 植物細胞가 凍害로 죽는 過程 및 原理와 關聯시켜 考察해 보려 한다.

植物 細胞가 低溫處理를 받으면 먼저 細胞 밖에서 (intercellularly) 얼음(氷) 結晶이 形成된다. 이렇게 형성된 얼음을 中心으로 溫度가 더욱 下降되면 될 수록 細胞안에 있는 液體의 물이 細胞膜 밖으로 脫水되고 이것이 細胞 밖에서 응결되어 마치 原形質 分離와 같은 현상이 일어 나다가 어떤 限界點에서 細胞內(intracellularly)에 얼음 결정이 형성되면 植物의 細胞는 그 限界點에서 致死하게 된다고 알려 졌다<sup>1,8)</sup>.

耐寒性도가 강한 植物 細胞일 수록 더 낮은 溫度에서 細胞內에 얼음 結晶이 形成되며<sup>1)</sup> 細胞膜의 水分 투과성이 높다<sup>1)</sup>. 細胞의 主要 成分인 phospho-lipid(磷脂質)가 低溫에 의하여 파괴된다고 보고 되었는바<sup>9)</sup> 이는 低溫에 의한 細胞膜의 파괴가 凍死의 原因이라는 좋은 實驗的 증거이다.

本 實驗에서 보인 바와 같이 계속  $-9^{\circ}\text{C}$ 를 처리했을 때는 耐寒性도가 높아지지 않은 것으로 보아 그러한 低溫狀態에서는 細胞膜의 구조적 變化 또는 水分 투과성이 변화하지 않고, 만일 그러한 변화가 일어났다면 低溫 처리後에 뒤따라 解氷이 되었을 때 일어났을 것이 분명하다.

低溫處理 後에 解氷되는 과정에서 細胞膜의 水分 투과성 또는 細胞膜의 蛋白質 構成 成分의 構造的 變化<sup>10)</sup>가 예상되며 또한 아직 實驗的 증거는 없으나 細胞膜과 細胞壁 사이의 유착度的 변화 등이 상상될 수 있겠다.

위와 같은 문제點들에 關하여는 앞으로의 좀더 깊은 연구가 되어야 解明될 줄 믿으며 附加하여 앞으로 이와 같은 基礎 研究와 並行하여 低溫處理에 依한 耐寒性도의 增進을 實際面에서 活用할 수 있는 方向으로 많은 研究가 되어야 할 것이다.

## 結 論

短期 低溫處理( $-9^{\circ}\text{C}$ 에서 10時間 以內) 効果는 低溫 처리 後에 뒤따른 解氷의 경우에만 수목의 耐寒性도를 높였고( $3^{\circ}\text{C}\sim 9^{\circ}\text{C}$ ) 解氷이 뒤따르지 않은 계속적인 저온 처리는 效果가 없었다.

## 謝 辭

本 實驗 遂行에 많은 노고를 아끼지 않은 건국대학교 농과대학 임학과 3학년 황의만, 고광운, 김영, 안대환 君들에게 심심한 사의를 표한다.

## 引 用 文 獻

1. Horiuchi T. and Sakai A. 1973. Effect of temperature on the frost hardiness of *Cryptomeria japonica*. J. Jan. For. Soc. 55(2):46-51
2. Howell G.S. and Weiser C.J. 1970. The environmental control of cold acclimation in apple. Plant Physiol. 45:360-394
3. Irving R.M. and Lanphear F.O. 1967 The long day leaf as a source of cold hardiness inhibitor. Plant Physiol. 43:9-13
4. McKenzie J.S., Weiser C.J. and Burke M.J. 1974. Effect of red and farred Light on the initiation of cold acclimation in *Cornus stolonifera* Michx. Plant Physiol. 53:783-789
5. Sakai A. 1970. Freezing resistance in willows from different climates. Ecology 51:485-491
6. Sakai A. and Weiser C.J. 1973. Freezing resistance of trees in North America with reference to tree regions. Ecology 54(1):118-126

7. Takeda A. 1971. Studies on the cold resistance of forest trees (II). The freezing mode of frost hardy mesophyll cells of sugi in the neighborhood of their lethal point. J. Jan. For. Soc. 53 (10):311-314
8. Tumanov I.I. and Krasavtsev O.A. 1959. Hardening of northern woody plants by temperatures below zero. Soviet Plant Physiol. 6:663-673
9. Yoshida S. and Sakai A. 1974. Phospholipid degradation in frozen plant cells associated with freezing injury. Plant Physiol. 53:509-511
10. Weiser C.J. 1970. Cold resistance and acclimation in woody plants. Hort Science 5(5):403-410
11. William B.J., Pellett N.E. and Klein R.M. 1972. Phytochrome control of growth cessation and initiation of cold acclimation in selected woody plants. Plant Physiol. 50:262-265
12. 趙台煥·洪性珪 1975. 밤나무의 耐寒性(第一報) —— 品種別 部位別 差異에 關하여 ——  
한국일학회지 No. 26:19-22