



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 植物の凍害におよぼす融解速度の影響 II : 凍結状態での温度変動に伴う氷の量の変化  |
| Author(s)        | 吉田, 静夫; YOSHIDA, Shizuo; 酒井, 昭 他  |
| Citation         | 低温科学. 生物篇, 26, 23-31  |
| Issue Date       | 1968-11-25  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/17735">https://hdl.handle.net/2115/17735</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 26_p23-31.pdf   |



## 植物の凍害におよぼす融解速度の影響 II\*

凍結状態での温度変動に伴う氷の量の変化

吉田 静夫・酒井 昭

(低温科学研究所 植物凍害科学部門)

(昭和 43 年 9 月受理)

### I. 緒 言

凍結した植物を急速にとかすとき、組織搾汁の氷点付近を通過する速度が被害にもっとも影響し、組織搾汁の氷点以下での凍結温度範囲を通過する速度は被害にほとんど影響しない<sup>1)</sup>。凍結温度から組織搾汁の氷点付近までゆっくり加温するか、急速に組織搾汁の氷点付近まで温めてそこに3分ほどおけば、それ以後の急速加温は植物に被害を与えない<sup>1)</sup>。これらのことは、植物組織中の氷が凍結状態でも温度の上昇につれ融解し細胞内に再吸水されることを示しているように考えられる。一方、凍結温度から組織搾汁の氷点付近に急速に温めたときは、組織内の氷は3分以内に融解して細胞内に再吸水されることが予想される。

本論文は、融解速度と凍害との関係を明らかにするため、植物組織内の氷が組織搾汁の氷点以下の温度範囲において、温度の変化につれて量的にどう変るかを調べたものである。

氷の量の測定に関して御指導いただいた本研究所海洋学部門の小野延雄講師に深く感謝の意を表します。

### II. 材料と方法

真冬と春さきに北大構内にあるイヌツゲ *Ilex crenata* Thunb. とイチイ *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. の葉を採取して実験に使った。葉を枝から切り離すと  $-5^{\circ}\text{C}$  程度の凍結温度では過冷却しやすいため、枝付のまま  $-5^{\circ}\text{C}$  で凍結し、生重量で 300~400 mg を  $-5^{\circ}\text{C}$  の低温室内で凍ったまま秤量した。秤量した葉を  $0.7 \times 4$  cm、厚さ 0.1 mm の銅板で带状につつま  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  に調節された電子冷凍槽中で所定温度まで冷却し、あらかじめ冷却された先細なピンセットでつまみ熱量計の中に投入した。氷の量は氷の融解潜熱を利用して熱量的に求めた。熱量計は放熱型<sup>2)</sup>を使った。直径 2.5 cm、高さ 5.1 cm の銅の容器を直径 3.5 cm、高さ 6.5 cm の銅の容器の中にスチロポール製のリングで固定し、全体をジャーの中に取めた。外側の銅の容器とジャーの間隙は一定温度の水で満たした。もっとも内側の銅容器には 15 ml の蒸溜水を入れ、ガラス製の小型プロペラをコルクのふたを通して外部からの小型モーターに直結し一定

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 916 号

速度で攪拌した。熱量計の温度は太さ 0.1 mm の銅・コンスタンタン熱電対で測定し、フルスケール (25 cm) が  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  になるように前置増幅器で増幅し、自動平衡型レコーダーで自記させた。銅容器の外側の水温は 1 時間以内に  $0.5^{\circ}\text{C}$  変化するだけであった。サンプル 1 個あたりにつき氷の量の測定に要する時間は 3 分以内であったので、ニュートンの法則により補正する必要はなかった。なお、すべての操作は  $0^{\circ}\text{C}$  の低温室内で行ない、凍結したサンプルを熱量計に投入する時間は 3 秒以内で、滞空中のサンプルの温度変化ならびに霜の付着はほとんどさげられた。凍結状態での温度上昇に伴う組織内の氷の量の変化は、いったん、葉を  $-30^{\circ}\text{C}$  で凍結してからそれ以上の各温度に移して 1.5 時間保ったのち測定するか、 $1.5 \times 3 \text{ cm}$  のアルミホイルで作った袋に葉を入れて  $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結してから、 $-5^{\circ}\text{C}$  あるいは  $-2^{\circ}\text{C}$  の食塩と氷の混合液に浸け攪拌し、いろいろな時間に葉だけをピンセットでつまんで熱量計にすばやく投入した。この場合はイヌツゲの葉を使い、1 回の測定には 2 枚ずつ使った。

各温度における氷の比熱は Dickinson and Osborne の値 (Dorsey<sup>3</sup>) から引用) を用い、水の比熱は Roth<sup>4</sup>) が  $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$  で求めた値を用い、 $0^{\circ}\text{C}$  以下の値は  $-40^{\circ}\text{C}$  まで外挿して得られる直線から求めた。氷の量の計算方法は原理的には Greathouse<sup>5</sup>) が植物材料で測定した方法に基づき篠崎<sup>6</sup>) の方法にならって計算した。熱量計の水当量は  $500 \sim 550 \text{ mg}$  の  $0^{\circ}\text{C}$  の水を熱量計に投入し、熱量計の温度変化から計算して求めた。9 回の測定結果は  $1.48 \pm 0.37$  であった。サンプルの乾物の比熱は、葉を  $105^{\circ}\text{C}$  で 5~6 時間乾燥して粉末とし、さらに 2~3 時間  $105^{\circ}\text{C}$  で乾燥した。この  $500 \text{ mg}$  を重量既知のアルミホイルでつつんでからさらに銅板の帯でつつみ、 $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$  で冷却したのち熱量計に投入した。そして、篠崎<sup>6</sup>) と同じ方法で計算し葉の乾物の比熱を求めた。真冬の材料ではイヌツゲが  $0.275 \pm 0.040$ 、イチイは  $0.259 \pm 0.022$  であった。春の材料について氷の量を計算するときはこの値に基づいて計算した。組織内の氷の量は次式により計算し、全含水量あたりの相対量で表わした。

$$X = \frac{W \int_{t_2}^{t_1} C_w dt + w(t_2 - t_1) - (C_d M_d + h)(t_2 - t_e) - M_w \left( \int_{t_e}^0 C_w dt + \int_0^{t_2} C_w dt \right)}{H_0 - \left[ \int_{t_e}^0 C_w dt - \int_{t_e}^0 C_i dt \right]}$$

X: 葉の組織内に形成される氷の量

W: 熱量計中の水の量 (約 15 ml)

$M_d$ : 葉の乾物重量

$M_w$ : 葉の含水量

$t_1, t_2$ : サンプル投入前後の熱量計の温度

$t_e$ : 葉の凍結温度

$H_0$ :  $0^{\circ}\text{C}$  における氷の融解潜熱 (79.60 cal/gm)

$C_w$ : 水の比熱

$C_i$ : 氷の比熱

w: 熱量計の水当量 (1.48)

h: サンプルをつつんだ銅板の熱容量

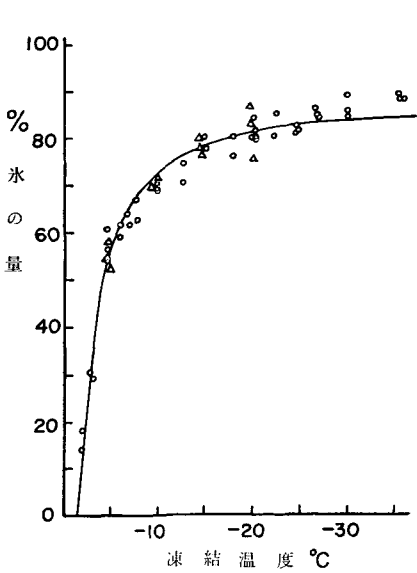
$C_d$ : 葉の乾物の比熱

各凍結温度において、葉の組織内に生ずる氷の量と温度の逆数との関係はほぼ直線とみなされるので<sup>6)</sup>、最小自乗法で回帰方程式を求め、これによって回帰曲線をえがいた。

### III. 結 果

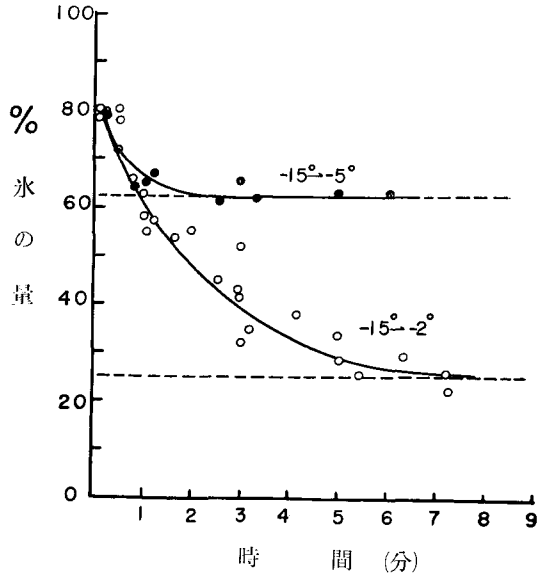
葉の組織中にできる氷の量が、凍結下での温度の下降や上昇につれて可逆的に変動するかどうかをイチイの葉を使って測定した。第1図にその結果を示す。-5°Cで凍結したサンプルを-35°Cまで冷却する過程の各温度で氷の量を測定すると同時に、いったん-30°Cで凍結したサンプルをそれ以上の各温度に移して1.5時間後に氷の量を測定した。

イチイの葉は-30°Cの凍結で害をうけないので、温度の下降および上昇過程での組織内の氷の量はすべて生きた組織について測定されたものと考えられる。葉の組織内に形成される氷の量は温度下降過程で測定しても、温度上昇過程で測定してもその値は極めて良く一致し、各温度に保つ時間が十分に長ければ、組織氷点以下においても、いったん形成された組織内の氷は温度上昇とともに可逆的に変動することがわかった。凍結過程において形成される氷の量は、組織氷点から-10°Cまでの変化がもっとも大きく、-5°Cにおいてすでに全含水量の50%



第1図 組織搾汁の氷点以下の凍結温度における温度変動に伴う組織内の氷の量の変動。氷の量は組織内の全含水量あたりの百分率で示した

材料：1月22日北大構内で採取したイチイの葉  
 ○：-3°C から -35°C までの凍結過程で測定  
 △：いったん -30°C までゆっくり凍結し、それ以上の各温度に移して1.5時間後に測定



第2図 組織搾汁の氷点付近における組織内の氷の融解速度

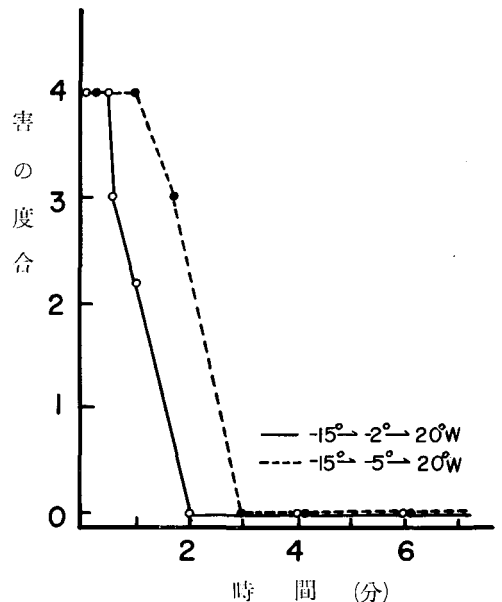
材料：1月8日に北大構内で採取したイヌツゲの葉  
 -15°Cで凍結した葉を-2(○)および-5°C(●)の食塩と氷の混合液に急速に入れてから一定時間後に氷の量を測定。図中の破線は-2および-5°Cで凍結したときの氷の量を示す(第4図参照)  
 葉の搾汁の氷点：-1.75°C

以上が、 $-10^{\circ}\text{C}$  ではその 70% 以上が凍結している。 $-10^{\circ}\text{C}$  以下では温度の下降に対する氷の形成量の割合は急激に減少し、 $-20^{\circ}\text{C}$  から  $-30^{\circ}\text{C}$  の間の変化は 4% 以内である。温度の上昇過程では、たとえば、 $-30^{\circ}\text{C}$  で凍結した組織を  $-5^{\circ}\text{C}$  にもどせば 30% の氷がとけて再び細胞内に吸収されることになる。

つぎに、いったん凍結した組織を組織搾汁の氷点、またはそれに近い温度まで急速に温めたとき、時間経過とともに組織内の氷の量がどう変るかを調べた。1月8日に野外で採取したイヌツゲの葉をいったん  $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結し、 $-5^{\circ}\text{C}$  および  $-2^{\circ}\text{C}$  の食塩と氷の混合液に入れて急速に温め、一定時間ごとに組織内の氷の量の変化を測定した。その結果を第2図に示す。

$-15^{\circ}\text{C}$  における葉の組織内の氷の量は 81% であるが、 $-5^{\circ}\text{C}$  にもどして 1 分後には 67%、3 分後には 62% となって平衡に達する。 $-15^{\circ}\text{C}$  から  $-2^{\circ}\text{C}$  にもどすと 1 分後には 58% まで減少し、5 分後には 25% まで減少して平衡に達する。サンプルは冷媒との接触を防ぐため小さなアルミホイルの袋に入れてあるので、ある程度の温度のおくれは避けられない。 $-15^{\circ}\text{C}$  から  $-2^{\circ}\text{C}$  の冷媒中に入れたとき、重ねた 2 枚の葉の中心部で、30 秒後に  $-2.5^{\circ}\text{C}$ 、1 分後に  $-2.2^{\circ}\text{C}$ 、1 分 30 秒後に  $-2^{\circ}\text{C}$  に達する。 $-5^{\circ}\text{C}$  の冷媒中に入れたときはこれよりもやや早く温度平衡に達し、1 分後には  $-5^{\circ}\text{C}$  に達する。しかし、アルミホイルに接した面は葉の中心部よりも早めにそれぞれの温度に達しているだろう。

氷の量を測定するときと同じ条件で、 $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結した葉を  $-5^{\circ}\text{C}$  および  $-2^{\circ}\text{C}$  の冷媒に入れてから各時間後にとり出して  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中で急速に温めたときの害の程度を調べた。その結果を第3図に示す。 $-15^{\circ}\text{C}$  から直接  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中に入れるとすべての葉が害される。 $-15^{\circ}\text{C}$  から  $-5^{\circ}\text{C}$  の冷媒中に入れて 2 分後に  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中に入れると、葉の受ける害の程度は軽減され、さらに 3 分後には無害となる。 $-15^{\circ}\text{C}$  から  $-2^{\circ}\text{C}$  にもどしたときには、2 分後に  $20^{\circ}\text{C}$  の温水に入れても葉は害をうけない。ここで使ったイヌツゲの葉は  $-7\sim-8^{\circ}\text{C}$  から  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中での急速融解に耐えた。 $-15^{\circ}\text{C}$  および  $-7\sim-8^{\circ}\text{C}$  で凍結したときの葉の組織内の氷の量の差、すなわち 11~13% だけ氷の量が減少するに要する時間は、 $-5^{\circ}\text{C}$  の冷媒に入れたときで



第3図  $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結後、 $20^{\circ}\text{C}$  の温水中で急速融解する前に  $-2^{\circ}\text{C}$  および  $-5^{\circ}\text{C}$  に保つ時間と害との関係

材料: 1月8日に北大構内で採取したイヌツゲの葉

$-15^{\circ}\text{C}$  で凍結した葉を  $-2^{\circ}\text{C}$  (○) および  $-5^{\circ}\text{C}$  (●) の液槽中に入れて急速に加熱し、そこに各時間おいたのち  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中で急速融解した。害の度合は数字で示し、0は無害を示し、数字の増大は害の増大を意味する

第1表 使った材料の組織搾汁の氷点、含水量、耐凍度および急速融解に対する抵抗性

| 材 料  | 実験期日  | 処 理*     | 含 水 量<br>(%/生重量) | 組織搾汁<br>の 氷 点<br>(°C) | 耐 凍 度<br>(°C) | 急速融解に対<br>する抵抗性**<br>(°C) |
|------|-------|----------|------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| イヌツゲ | 1月8日  | NC       | 59.9             | -1.75                 | -20           | -7~-8                     |
|      |       | Dehard   | 61.6             | -1.72                 | -5            | -5 以上                     |
|      | 5月8日  | NC       | 56.5             | -1.61                 | -5            | -5 以上                     |
| イチイ  | 1月22日 | NC       | 62.2             | -1.91                 | -30~-35       | -10                       |
|      |       | Dehard   | 63.5             | -1.81                 | -10           | -5 以上                     |
|      |       | Dehard→H | —                | -2.02                 | -20           | -5                        |
|      | 5月28日 | NC       | 52.3             | -2.06                 | -5            | -5 以上                     |

\* NCは無処理, Dehardは20°Cの暗黒中で1週間 dehardening, Dehard→Hは dehardening 後0°Cで2週間低温処理

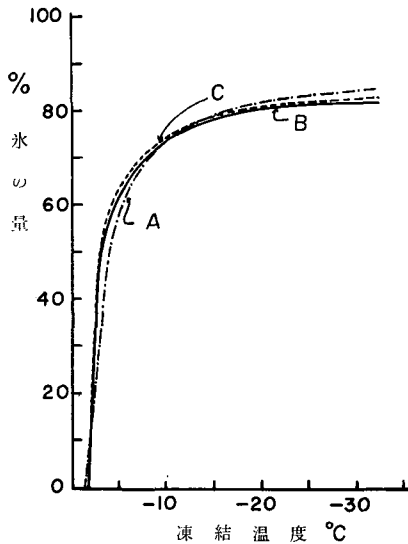
\*\* 急速融解しても耐えられる最低温度で表わした

約1分後、-2°Cの冷媒に入れたときで20~30秒以内であった。

急速融解に対する抵抗性は季節的に著しく変動するが、それと一定凍結温度における植物組織内の氷の量との関係を調べた。真冬と春さきおよび真冬に20°Cで1週間 dehardening した前後で各凍結温度における氷の量を測定した。第1表に各サンプルの組織氷点(組織搾汁の氷点)、耐凍度および20°Cの温水中での急速融解に対する抵抗性を示す。イヌツゲの葉は真冬には-20°Cでの16時間の凍結に耐え、-7~-8°Cでの凍結温度から20°Cの温水に入れて急速にとかしても害をうけない。しかし、これを20°Cで1週間 dehardening すると耐凍度は-5°Cまで低下するし、-5°Cからの急速融解にも耐えられなくなる。dehardening 前後での組織氷点の変化は小さい。春さきの材料は耐凍度が-5°Cまで低下し-5°Cからの急速融解に耐えない。その組織搾汁の氷点は真冬に比べて幾分高い。イチイの葉は真冬には-30~-35°Cで16時間の凍結に耐え、-10°Cからの急速融解にも耐える。これを1週間20°Cで dehardening すると、耐凍度は-10°Cまで低下し、-5°Cからの急速融解に耐えない。一度 dehardening した葉を0°Cで2週間低温処理すると耐凍度は-20°Cまで増大し、-5°Cからの急速融解に耐えるようになる。したがって、真冬における dehardening および低温処理の過程はある程度可逆的である。イチイの葉も春さきに耐凍度が-5°Cまで低下したときには-5°Cからの急速融解に耐えない。

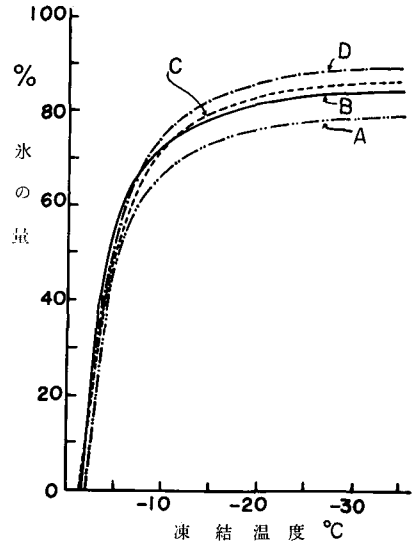
イヌツゲの葉を使って真冬と春に各温度で組織内の氷の量を求めた結果を第4図に示す。各温度での氷の量は dehardening の前後で大きな差は認められない。春さきは真冬の材料に比較して各温度での組織内の氷の量はやや多い傾向が認められる。春さきの葉の採取時期がたまたま10日間程乾燥のつづいた直後であったため、葉の含水量は冬の材料よりも逆に3%ほど少なかった。このため、相対的な氷の量も正常な含水量のものと比較して幾分少めに現れる。

第5図に、イチイの葉について、真冬と春さきに各温度で求めた氷の量を総括して示す。dehardening 後の各凍結温度での氷の量は、dehardening 前に比較してやや多い傾向が認めら



第4図 各温度におけるイヌツゲの葉の中の氷の量

- A: 5月8日に採取したもの  
 B: 1月8日に採取したもの  
 C: Bと同時期に20°C暗黒中で1週間 dehardening したもの



第5図 各温度におけるイチイの葉の中の氷の量

- A: 5月8日に採取したもの  
 B: 1月22日に採取したもの  
 C: Bと同時期に20°C暗黒中で1週間 dehardening したもの  
 D: Bと同時期に採取し、液体窒素中への急速凍結と融解を2回繰返したもの

れた。-30°Cにおける氷の量は dehardening の前後でそれぞれ84%および86%である。5月8

日の材料は、イヌツゲの場合と同様に、葉の含水量が著しく減少していて、組織搾汁の氷点も真冬よりも逆に低く-2.02°Cであった。各温度での氷の量は逆に真冬の場合よりも少なく、-30°Cでの氷の量は80%であった。

室温から液体窒素中に投入して室温でとかす操作を2度くりかえして殺したイチイの葉について、各温度で凍結した氷の量を調べた。この実験には真冬の場合の材料を使った。その結果、各温度での氷の量は生きていた材料に比べてやや増加する傾向が認められ、-30°Cでは氷の量が88%を示した。凍結融解の過程でサンプルの表面に霜の付着するのをさけるため、サンプルをアルミホイルでつつみ液体窒素中に投入し、ついでポリエチレンの袋に入れてとかしたので霜の付着による誤差とは考えられない。

#### IV. 考 察

朝比奈<sup>7)</sup>はウニの未受精卵を-20°Cまで凍結状態で冷却してから、20°Cの温水中で急速にとかすと著るしい害をうけるが、-5°Cまでゆっくり(2°C/分)温めてから温水中でとかすと害は極めて少ないと報告している。一般に急速融解しても害されることが少ないといわれる動物細胞の中にも、植物細胞と性質の類似したものがあることは興味深い。

凍結された細胞あるいは組織が、たとえ組織搾汁の氷点以下の温度でも、組織氷点に比較的近い温度範囲まで温められそこであるていどの吸水が行なわれると、それ以後 20°C の温水中に入れて急速に融解しても害をうけないものと考えられる<sup>1,7)</sup>。

組織搾汁の氷点以下の温度で植物組織中の水の量が温度の変化につれて可逆的に変動するかどうかについて、酒井<sup>8)</sup>はシラカバの枝で間接的な実験を試みた。その結果、-30°C で凍結されたシラカバの枝を -10°C に急速にもどした場合 1 分以内に組織間の氷がとけ細胞内へ再吸収されることを明らかにした。しかし、今までのところこの問題に関する直接的なデータはない。

Scholander ら<sup>9)</sup> はユスリカの幼虫を使って、microfloatation 法により体内の氷の量を測定し、-1~-15°C の間では氷の量は温度の上下にともなって完全に可逆的に変動することを明らかにした。

著者らは、-30~-35°C で 16 時間の凍結に耐えるイチイの葉を -30°C で凍結してからそれ以高の各温度にもどして、そこに 1.5 時間おいてから氷の量を測定した。こうして求めた値は冷却の過程で求めた値とよく一致した。しかし、これは時間を十分にかけた場合である。融解速度と被害との関係を論じようとするれば、ある凍結温度からそれ以高の凍結温度、ことに組織搾汁の氷点付近までもどしたときの氷の量の時間経過を知る必要がある。

-15°C で凍結したイヌツゲの葉を -5 あるいは -2°C にもどすと、それぞれ 3 分および 5 分で氷の量の変化が平衡に達する。氷の量を測定するときと同じ条件で -15°C から -5 および -2°C の液槽中に入れ、そこに 3 分および 2 分おいてから 20°C の温水に入れて急速に温めたものは無被害であった。-15°C で凍結したときの氷の量と、急速に 20°C の温水中で融解しても害のない凍結温度、すなわち -7~-8°C での氷の量の差は 11~13% である。-15°C から -5 および -2°C の液槽に入れたとき、氷の量が 11~13% だけ減少するに要する時間とそこから 20°C の温水中に入れて無被害となる時間との間には時間的なずれが認められた。このことは細胞間隙の氷の融解と細胞内への再吸水とが同時に起っていないことを示唆しているものと思われる。また、このことは葉の組織内における氷の生成場所やその局在化の問題とも関連してくるかも知れない。その意味でも今後、組織内にできている氷の分布を調べることも必要である。

われわれが問題にしたいのは、加温過程における単なる量的変化だけでなく、細胞外凍結によって脱水された状態の細胞内への実質的な水のもどりである。しかしこれを直接はかる方法は今のところない。細胞外の氷がとけて細胞内にもどるはやさは、原形質膜の水に対する透過性によって左右されるし、透過性そのものが季節的に変化するので<sup>10)</sup>、真冬の材料で得られた結果をただちに春の材料に適用することは問題かも知れない。今後春さきの材料や元来耐凍性の低い材料を使ってこの問題をさらに調べる必要があるものと思う。

多くの植物は耐凍性の大きさと平行して急速融解に対する抵抗性も変動することを、Tumanov ら<sup>11,12)</sup> は冬の多くの木の枝を用いてこのことを調べている。クワの枝の皮層細胞も 11 月中旬には -70°C から 35°C の水中への急速融解に耐えないが、12 月中旬~2 月末までの

皮膚細胞はこれに耐えられる<sup>13)</sup>。

また、シラカバやマカバの真冬の枝は  $-15^{\circ}\text{C}$  からの急速融解に耐えられるのに、春さきには  $-5^{\circ}\text{C}$  からの急速融解にも耐えられない。

篠崎<sup>6)</sup>はイラガの前蛹で凍り得る水の量の季節的変動を調べているが、イラガの体液の氷点の変動とともに凍り得る水の量も変動することを明らかにしている。植物の組織搾汁の氷点は季節的に変動する。ことに秋から冬にかけて組織搾汁の氷点がさがるので、ある温度で凍る水の量が冬のものの方が相対的に少ないとも考えられる。しかし、まえに述べたように、真冬のイチイやイヌツゲの葉を人工的に dehardening すると耐凍性も急速融解に対する抵抗性も著るしく低下するが、搾汁の氷点や各凍結温度での氷の生成量の変化は少ない。用いた材料では春さき自然条件下で dehardening されたものでも各凍結温度での氷の生成量は真冬の値と大きな差はない。このように、季節的にも人工的な dehardening のばあいでも急速融解に対する抵抗性の差は、生成する氷の量の差だけからでは説明できない。むしろこれは耐凍性と密接に関連した細胞それ自体の質的な変化<sup>14)</sup>に基づくものと考えざるを得ない。

## V. 摘 要

イヌツゲ、イチイの葉を用い、植物の急速融解の害を明らかにするため、凍結状態での温度変動に伴う組織内の氷の量的な変動と、ある凍結温度から組織搾汁の氷点近くの液槽中に入れて急速加温したときの組織内の氷のとけるはやさと被害との関係について調べつぎの結果を得た。

1) いったん  $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結した葉を  $-2$  や  $-5^{\circ}\text{C}$  の液槽中に入れて加温すると、組織内の氷の量は減少して 3~5 分以内に平衡に達する。 $-15^{\circ}\text{C}$  で凍結した葉を直接  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中でとかすと著るしく被害をうけるが、 $-2$  および  $-5^{\circ}\text{C}$  に加温してそれぞれ 2 分および 3 分後に  $20^{\circ}\text{C}$  の温水中でとかしても被害をうけない。

2) 葉の中に形成される氷の量は凍結過程で調べても、加温過程で調べてもほとんど同じであり、凍結状態での葉の中の氷の量は温度の変動につれて可逆的に変化する。

## 文 献

- 1) 吉田静夫・酒井 昭 1967 植物の凍害におよぼす融解速度の影響 I. 急速融解の害. 低温科学, 生物篇, **25**, 71-80.
- 2) Shinozaki, J. 1957 The specific heat of insects. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, VI, Zool., **13**, 470-474.
- 3) Dorsey, N. E. 1940 Properties of ordinary water-substance. In all its phases: water vapour, water and all the ices. Reinhold Publ. Corp., New York., 477-479 pp.
- 4) Roth, W. A. 1938 Die spezifischen Wärmen des Wassers ( $\text{H}_2\text{O}$ ) zwischen  $0^{\circ}$  und  $100^{\circ}\text{C}$ . *Zeitschr. Phys. Chem., A*, **183**, 38-42.
- 5) Greathouse, G. A. 1935 Unfreezable and freezable water equilibrium in plant tissues as influenced by subzero temperatures. *Plant Physiol.*, **10**, 781-788.
- 6) Shinozaki, J. 1962 Amount of ice formed in the prepupa of slug moth and its periodicity.

*Contr. Inst. Low Temp., Sci.*, **B**, **12**, 1-52.

- 7) Asahina, É 1966 Freezing injury in egg cells of the sea urchin. *In Cellular Injury and Resistance in Freezing Organisms* (É. Asahina, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 211-229.
- 8) 酒井 昭 1967 超低温における植物組織の生存 V. 耐凍性の大きさと効果的予備凍結温度との関係 2. 低温科学, 生物篇, **25**, 1-7.
- 9) Scholander, P. E., Flagg, W., Hock, R. J. and Irving, L. 1953 Studies on the physiology of frozen plants and animals in the Arctic. *J. Cell. Comp. Physiol.*, **42**, *Suppl.* **1**, 1-56.
- 10) Levitt, J. and Scarth, G. W. 1936 Frost hardening studies with living cells II. Permeability in relation to frost resistance and the seasonal cycle. *Can. J. Res.*, **14**, 285-305.
- 11) Туманов, И. И. и Красавцев, О. А. 1962 Влияние быстроты оттаивания на выживание витрифицированных клеток и закаленных растений. *Физиология Растений*, **9**, 595-606.
- 12) Туманов, И. И. и Красавцев, О. А. 1962 Изучение механизма отмирания растений при быстром их оттаивании. *Физиология Растений*, **9**, 718-729.
- 13) 酒井 昭 1968 超低温における植物組織の生存 VII. 耐凍性の低い植物細胞を超低温で生存させる方法. 低温科学, 生物篇, **26**, 1-12.
- 14) Levitt, J. and Shiminovitch, D. 1940 The relation between frost resistance and the physical state of protoplasm. *Canad. J. Res. C*, **18**, 550-561.

### Summary

The changes in amount of ice formed in the leaves were determined by the usual calorimetric method in a temperature range from  $-2$  to  $-30^{\circ}\text{C}$  in both processes of cooling and rewarming. As a result of the experiments, it became apparent that a reversible rehydration in frozen leaves took place as the temperature rose.

When the frozen leaves at  $-15^{\circ}\text{C}$  were rapidly rewarmed by immersion in water kept at  $20^{\circ}\text{C}$ , they were completely killed, but could survive when kept longer than about 2 or 3 minutes in a bath at  $-2$  or  $-5^{\circ}\text{C}$  respectively, before the rapid rewarming by immersion in water at  $20^{\circ}\text{C}$ . In connection with this problem, the amount of ice in the leaves transferred to a bath at  $-2$  or  $-5^{\circ}\text{C}$  from  $-15^{\circ}\text{C}$  was determined. The experimental results showed that the amount of ice remaining in the frozen leaves nearly reached equilibrium in about 5 or 3 minutes respectively after a transfer to a bath kept at  $-2$  or  $-5^{\circ}\text{C}$  from  $-15^{\circ}\text{C}$ .

One of the important problems to be solved in the clarification of the mechanism of damage caused by rapid thawing is to determine the rate of rehydration in cells of the melted water at temperatures near the freezing point of the leaves.

低温科学生物篇 第26輯 訂正

| 頁    | 行        | 誤                      | 正   |
|------|----------|------------------------|---|
| 英文目次 | 上から 5    | Aakira                 | Akira   |
| "    | 上から 18   | npon                   | upon  |
| 16   | 第3表の 7   | 血精                     | 血清  |
| 17   | 下から 6    | 長瀬                     | 永瀬  |
| 18   | 上から 8    | 血精                     | 血清  |
| 18   | 上から 11   | 血精                     | 血清  |
| 18   | 上から 12   | 血精                     | 血清  |
| 27   | 上から 3, 4 | 真冬と春さきおよび……<br>……各凍結温度 | 真冬に 20°C で1週間<br>dehardening した前後<br>および真冬と春さき<br>に、各凍結温度…… |
| 65   | 上から 1    | -20~-25°C              | 20~25°C   |
| 65   | 上から 3    | (第2図2)                 | (第1図2)  |
| 65   | 下から 14   | 2~3°C/分                | 1°C/2~3分  |
| 67   | 上から 2    | かかわらぬ                  | かわらぬ  |
| 67   | 上から 2    | 使っている                  | 保っている   |
| 69   | 上から 18   | 行なわれもの                 | 行なわれるもの   |
| 74   | 第2表脚註    | 翅                      | 翅   |
| 78   | 上から 2    | 脊走筋                    | 背走筋   |
| 78   | 下から 11   | 脊面                     | 背面  |
| 78   | 下から 19   | 脊面                     | 背面  |
| 85   | 下から 4    | 快復                     | 回復  |
| 88   | 上から 8    | 神経感覚器管                 | 神経感覚器官  |