



Title	耐凍性の持続及びそれに及ぼす温度の影響
Author(s)	酒井, 昭; SAKAI, Akira
Citation	低温科学. 生物篇, 14, 1-6
Issue Date	1956-11-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17580
Type	departmental bulletin paper
File Information	14_p1-6.pdf



耐凍性の持続及びそれに及ぼす温度の影響 (I)*

酒 井 昭

(低温科学研究所 生物学部門)

(昭和 31 年 7 月受理)

I.

耐凍性** の小さい植物は温度が割合に高く、且つ短時間ならば、細胞外凍結に耐え得るが、長くなるにつれて、又温度が低くなるほど害を受けるようになる。自然状態の下での hardening の場合も、また人工の場合でも、耐凍性の程度が進むにつれて、植物の耐え得る最低温度は漸次低下するが、それに伴つて、ある温度において、植物が凍結状態に耐え得る時間の長さも長くなる。現在のところこれについて系統立つたデータは見当らない。

冬期間、植物の雪の下に埋もれている部分は雪の上に出ている部分と比較して耐凍性が小さい^{1),2)}。種類によつては、冬期間でも耐凍性の程度が気温と共に著しく変化するものもある³⁾。これらの事実は植物が冬期間耐凍度がある程度に維持するには、ある程度の低温度が必要である事を示しているが、冬期の最大の耐凍性を長く保持するのに必要な温度が何度位であるかはよく判つていない。

人工的に hardening する場合、0°C では、ある程度以上には耐凍性が増大しない。より以上の耐凍性を得るためには氷点下の温度が必要である^{3),4),5)}。最大の耐凍性を得るのに必要な温度と最大の耐凍性を最も永く持続するのに必要な温度との間には、何等かの関係があるように思われる。之等の諸問題は植物の耐凍性や hardening の機構を考える上に有効なデータを与えると考えられるので、木本類について予備的な実験を行なつた。その結果を報告する。

II.

実験材料は桑 (*Morus bombycis* Koidz.)、(品種タキノカワ) とポプラ (*Populus sieboldi* Mig.) を用いた。

耐凍性の大きさは一定の温度で 24 時間凍結融解後、桑では皮層柔組織を原形質分離させて、分離した細胞の割合から害の度合を判定し、ポプラでは融解後温室で約 1 箇月間水挿して

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 347 号

** 植物が凍結に耐える性質を耐凍性、その大きさを耐凍度という。

から、各組織の褐変の度合から害を判定して、耐えうる最低温度を求めた。連続的凍結実験には恒温箱 ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) を用いた。枝条の両端にワセリンをつけてから、ビニール布に包んで乾燥を防ぎ、一定時間毎に取り出して害の度合を調べた。耐凍性維持の実験には、恒温箱から取り出して融解後、 -10°C ~ -30°C の各温度で1日間凍結させてから原形質分離によつて耐凍性の大きさを調べた。

III.

実験 1. 人工的 hardening の結果得られた耐えうる最低温度と、ある温度で凍結に耐えうる時間の長さなどがどのように変るかをくらべてみた。まず桑の枝条を9月18日より12日間

0°C で hardening してから、耐凍性の大きさがどのように変るかを調べた結果は第1表に示すように、対照は -10°C で6時間の凍結に20%位しか耐えられないが、hardening されると -20°C で6時間の凍結でも半数の細胞が生存している。 -10°C での凍結に耐え得る時間の長さを調べたが、対照は -10°C で1日間の凍結で全細胞が死んでしまうが、hardening された方は少なくとも3日間後でも80%の細胞が生きている。又 -5°C の凍結では、対照は1日間凍結後では60%の細胞

が生存しているが、時間と共に死細胞の数がまして、3日間の凍結後は全細胞が死んでしまう。hardening されたものでは、少なくとも3日後でも全細胞が生存している。かように

第2表 皮層柔細胞の -10°C で凍結に害なしに耐えうる日数の季節的变化

期 日	生存日数	期 日	生存日数
10月5日	0	11月25日	5
10月25日	1	12月10日	8
11月10日	2	12月20日	15
11月15日	3	1月20日	40*

* 少なくとも40日

11月中旬より最低気温は氷点下の日が多い。この間には耐え得る最低温度も著しく低くなつてゐる。皮層柔細胞は1~2月頃には -30°C の凍結に少なくとも40日間以上耐え得るようになる。

実験 2. 各温度の凍結状態に耐え得る日数。1月中旬、下旬の2回ボブラの1年生の枝

第1表 0°C において (12日間 hardening した後の耐凍性の変化)

材料: クワ 品種: タキノカワ
hardening の時期: 9月18日~9月30日

	凍結温度 ($^{\circ}\text{C}$)	凍 結 時 間			
		6時間 (%)	1日 (%)	2日 (%)	3日 (%)
対 照	-5	70	60	20	0
	-10	20	0	0	0
低 温 処 理	-5	100	100	100	100
	-10	100	100	90	80
	-20	50	10	0	0

表中の数字は皮層柔細胞の生存率を示す。

hardening に伴つて、耐え得る最低温度が低くなるばかりでなく、凍結に耐え得る時間の長さも延びてくる。

秋から冬にかけて、自然条件で hardening された場合に、 -10°C で耐え得る時間の長さがどのように変るか調べてみた。第2表に示すように、11月下旬より12月下旬の間に凍結に耐え得る時間は著しく延びている。

の径 0.6 cm 位の部分を 10 cm の長さに切つて、それぞれ -5° , -10° , -20° , -30° の恒温箱に入れて、約 10~20 日間隔で 1 回に約 3 本宛取り出し各温度について害の度合を調べた。その結果を第 1 図に示した。 -5° では少なくとも 160 日後に於いても殆んど害が認められない。 -30° では 20 日間迄は、害が認められないが、以後時間の経過と共に害があらわれてくる。いずれの場合も最初に害が現われてくるのは、髓、髓周辺組織、髓線であり、次で韌皮部の pericycle である。以上の結果からみると凍結状態の温度が低いほど害は早く現われてくる。芽はどの組織よりも強く、 -30° では 100 日間生存しているし、 -20° 以上では少なくとも 145 日間は生存している。

第 3 表に示すように、桑はポプラと比較して、実験した温度範囲では、凍結に耐え得る日数は短かく、温度が低いほどポプラとの差は大きくなる。耐凍性の大きい植物ほど、低温度における連続的凍結状態に長い間耐え得る。 0° では実験を行なう事が出来なかつたので -5° との比較は出来ない。

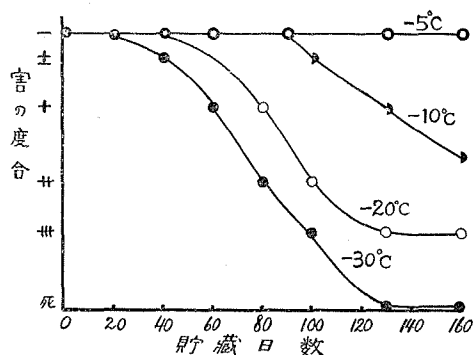
ポプラの枝を -5° で 145 日間凍結後、その耐凍性の大きさがどの位であるか調べるため

第 3 表 桑, ポプラの凍結状態で害なしに耐えうる日数

植物の種類	凍 結 温 度			
	-5°	-10°	-20°	-30°
桑	180*	30	10	1/2
ポプラ	180*	90	50	20

* 少くとも 180 日の意味である。
材料は 2 月 10 日に採集したものをを用いた。

実験 3. 耐凍性維持に及ぼす温度の影響。冬に耐凍性を維持するには、どんな低温度が必要であるかをポプラで調べてみた。最初は 15° , 10° , 5° , 0° , -5° の各温度で一定期間貯蔵した後、いろいろの温度で凍結させてみて、耐凍性がどのように変化しているかを調べた。第 2 図は縦軸に害なしに耐えうる最低温度を示した。貯蔵温度が高いほど耐凍性の低下が著しい。 0° よりも -5° の凍結状態の方が長い間、初めの耐凍性を保持していることが判る。然



第 1 図 各温度に於ける凍結状態で貯蔵中に現われる害の度合

貯蔵温度: -5° , -10° , -20° , -30°

材 料: ポプラ (1 月 20 日採集)

害の度合: — は正常。

± 髓周辺部に僅かな褐変がみとめられる。

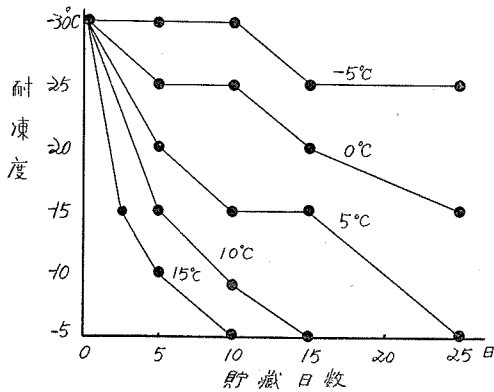
+ 髓と髓周辺部に明らかな褐変がみとめられる。

++ 更に韌皮部及び材部にも褐変がみとめられる。

枝の全組織褐変し芽の伸長もきわめて弱い。

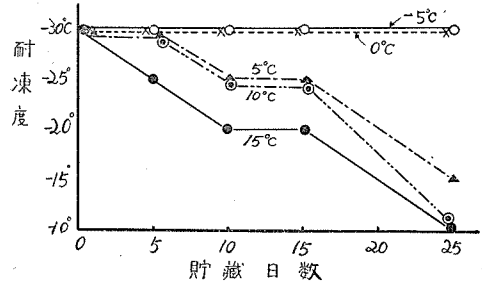
以上の害の判定は凍結後 1 箇月温室にて水挿後の結果である。

に、融解後さらに -30° , -20° , -15° の各温度で 1 日間凍結させた後、発芽と褐変の程度から耐凍性の大きさを調べたが、 -20° $^{\circ}$, -15° では害がなく、 -30° では発芽するが、著しい害が認められた。従つて処理前には少なくとも -30° で 20 日間ぐらいの凍結にまでは耐えたが、 -5° で 145 日間貯蔵されると耐凍性は低下する。



第2図 各温度で貯藏中に於ける耐凍性の大きさの変化

材料：ポプラ（1月20日採集）
図中の温度は貯藏温度を示す



第3図 各温度で貯藏中に於ける芽の耐凍性の大きさの変化

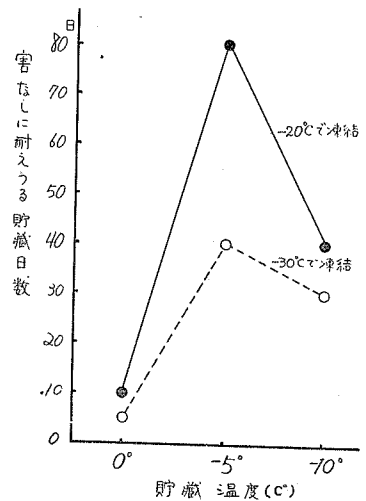
材料：ポプラ（1月20日採集）

しながら前の実験と同じ条件では第3図に示すように、芽の耐凍性の低下は非常に少ない。0°C以下の温度では、少なくとも25日間耐凍性は少しも低下しない。

以上の実験から耐凍性を長い間保持するには、氷点下の温度の方が0°C以上の温度よりもよいことが判つたので、更に0°, -5°, -10°Cの各温度について80日間貯藏してみた。10日毎に取り出して耐凍性の強さを調べた。材料はポプラの1年生枝の先端部を10cmの長さに切つて用いた（第4図）。-5°Cでは少なくとも80日後に於いても、-20°Cにおける1日間の凍結に耐え得るが、0°Cでは30日後において、すでに可成りの害が現われてくる。

IV.

人工的に及び自然条件下において hardening されると、耐凍性の大きさは著しく増し、また長時間の凍結状態にも耐えられるようになる。その耐え得る日数は植物の状態によつても又植物の種類によつても、又同一植物でも組織部位によつてことなる。多くの草本類は数時間ならば-10°Cの凍結に耐え得るが、1日以上以上の凍結では害が現われるものが多い。木本類でも耐凍性の小さいバラ（H.T種）は冬期-10°Cの凍結に精々15日間以上耐えられないが、中程度の耐凍性を有する桑は約30日間、耐凍性の大きいポプラ、ヤナギは90日間も耐え得る。-30°Cの凍結では桑は数時間、またポプラは20日間耐え得る。然し凍結温度が-5°Cの場合には、ポプラも桑も同様に少なくとも



第4図 各温度で貯藏中に於ける耐凍性の変化

材料：ポプラ（2月1日採集）
耐凍性は枝を-20°, -30°Cの温度で1日間凍結させてから1箇月間水挿後の褐変の度合で判定した。

180日間耐え得るが、凍結温度が低くなる程両者の差は大きくなる。かように耐凍性の小さい植物ほど、 -10°C 以下の温度での連続凍結に耐える能力が少ない。

0°C では冬の耐凍度を長期間維持する事が出来ない。 0°C 保存の場合は10日後にすでに可成り耐凍性が低下してくる。長期間凍害を受けずに貯蔵出来、然も大きい耐凍性を保持できる温度はこの実験条件では -5°C である。 -10°C 以下、殊に -20°C 以下では貯蔵中に害が生ずるし、 0°C では長期間貯蔵出来るが、耐凍性が著しく低下する。冬期間、厚い雪の層で覆われると耐凍性が低下するのは、この事実から説明出来る。桑は -10°C での連続凍結状態に精々30日以内しか耐えられない。札幌の野外の1~2月頃の気温は -5°C ~ -15°C 、の温度範囲で変動しているが、桑は自然条件で冬期間約60日以上殆んど害なく -20°C ~ -25°C の耐凍度を維持している。本実験は恒温で行なわれたのであるが、もし適当に温度に日周変動を与えればこの実験結果より高い耐凍性を長期間保持することができるであろう。hardeningする場合⁴⁾、 0°C よりも -5° 、 -10°C の方がhardening効果が大きい、このことと上にのべた冬期の耐凍性を保持するのに有効な温度とが大体一致する。従つて両者の間にある程度密接な関係があると思われる。どういう条件が耐凍性を保持するに一番有効であるか、又hardening効果が一番大きいかについて更に実験を進める予定である。

摘 要

1. 人工の場合も自然条件の下における場合もクワ、ポプラ、ヤナギの枝条はhardeningされると耐凍性が大きくなり、それにつれて、連続的な凍結状態に耐え得る期間も長くなる。耐凍性の大きい植物程 -10°C 以下の温度に耐え得る期間が長い。

2. 最も長時間の凍結状態に耐え得る温度は実験の範囲内(-5°C ~ -30°C)では -5°C であつた。ポプラの枝は少なくとも180日間 -5°C で凍結していた後も正常に生存している。貯蔵温度がそれ以下に低下するにつれて、生存期間は著しく短くなる。

3. 長期間大きい耐凍性を維持するためには、 -5°C から -30°C の範囲内では -5°C が最も有効である。ポプラの枝は少なくとも150日間保存後においても、 -20°C の1日間の凍結に耐えられる。 0°C では耐凍性は短期間に低下する。

文 献

- 1) Levitt, J. 1951 Frost, drought, and heatresistance. Annual Rev. Plant Physiol., 2, 245.
- 2) Lichikaki, V. M. 1955 Dinamika morozostoykosti ozimou pshenitsy v polevykh usloviyakh. Dokrady Akademiy Nauk, 100, 805.
- 3) 酒井 昭 1955 桑の耐凍性及び皮層柔細胞の生理的状態の季節的变化. 低温科学, 生物篇, 13, 33.
- 4) ——— 1956 耐凍性増大に及ぼす外圍温度. 低温科学, 生物篇, 14.
- 5) Tumanov, I. I. and O. A. Krasavtsev 1955 Morozostoykost' drevesnykh rasteniy. Fiziologiya Rasteniy., 2, 320.

Résumé

In proportions as frost hardiness is increased by hardening either artificial or natural, the length of time within which the parenchyma cells of twig cortex of tree can withstand continuous freezing becomes longer. Under the continuous frozen state at -10°C the twigs of mulberry tree and poplar could survive for 30 and 80 days respectively.

The temperature at which the twigs of the trees can stand against freezing, without injury, for the longest time, is -5°C in the range of the experimental temperatures ($-5^{\circ}\sim-30^{\circ}\text{C}$). For example, the twigs of poplar stored at -5°C could withstand freezing for more than 180 days; further the browning as the sign of frost injury appeared in the pith peripheral tissue and the pith after 60, 30 and 10 days of the freezing storage at -10° , -20°C and -30°C respectively.

For the purpose of maintaining frost hardiness for a long time under the frozen state, storage at -5°C is the most effective in poplar and mulberry tree under the experimental conditions.