

トドマツ苗木の耐凍性変動に及ぼす温度の影響

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	栄花, 茂 酒井, 昭
巻/号	54巻12号
掲載ページ	p. 412-417
発行年月	1972年12月

論 文

トドマツ苗木の耐凍性変動に及ぼす温度の影響

栄花 茂*・酒井 昭**

Effect of Temperature on Hardiness Changes of Saghalien Fir Seedlings

Sigeru EIGA* and Akira SAKAI**

Summary: Effect of temperature on cold hardiness changes was studied with 5-year Saghalien fir (*Abies sachalinensis*) and the following results were obtained:

1. As natural hardening Processes developed from early October to late November, artificial hardening at 0°C became less effective and conversely, but hardening at -3 to -5°C become more effective.
2. Sub-freezing temperatures were required for increasing hardiness near the maximal level.
3. Dormant condition maintained the hardiness level of -15°C for at least 72 days.
4. In the seedlings in which dormancy was broken by exposure to sufficient low temperatures, dehardening occurred readily when exposed to temperatures above 15°C.
5. Sub-freezing temperatures were required to prevent hardiness loss.
6. Dehardened seedlings were capable of rehardening whether they were dormant or not.

要 旨: トドマツ5年生苗の耐凍性の変動に及ぼす温度と休眠の関係を調べた。

- 1) 秋から冬にかけて耐凍性が高まるにつれて0°Cでのハードニング効果は減じ、-3~-5°Cの方が効果が高くなる。
- 2) 耐凍性を最高度近くまでたかめるためには氷点下にさらすことが必要である。
- 3) 72日間15°Cにおいても休眠は破れなかったし、-15°Cの耐凍性を保持した。
- 4) 適当な低温にさらして休眠の破れた苗木は、これを15°C以上の温度にさらすと耐凍性が急速に低下する。
- 5) 休眠の破れた苗木では耐凍性の低下を防ぐために凍結状態におくことが不可欠である。
- 6) 休眠の破れた苗木でもハードニングすると耐凍性は高まる。

I. はじめに

植物の耐凍性は伸長停止後、秋から冬にかけてたかまることは古くから知られている。植物の耐凍性は植物の種類、産地、時期、また組織等によって異なる¹⁻³⁾。一般に木本植物の品種および産地間の耐凍性の差は、北海道では9月から11月の間に著しくなる、12月にはいとその差は非常に少なくなる²⁻⁵⁾。

トドマツの耐凍性を最高に高めるために必要な環境要因のうち、外囲温度がもっとも主要なものと思われる。トドマツの晩霜の被害と関連してその開舒前後の耐凍性について多くの報告があるが⁶⁻⁸⁾、秋から冬にかけての耐凍性増大に及ぼす外囲温度の影響についてはほとんど調べられていない。

本論文はトドマツ苗木の耐凍性増大に及ぼす外囲温度の影響、冬の高い耐凍性を保持するための温度条件、耐

凍性変動と休眠との関係を明らかにするために一連の実験を行なった。

当研究は著者の一人が林野庁の委託研修生として北海道大学低温科学研究所において1971年6月から1972年2月までの間に行なったものである。

ファイトロンの施設を使用させて頂いた北海道農業試験場、山本技官に感謝の意を表す。

II. 材料と方法

実験材料: 北海道林木育種場が1966年の4月下旬にまき付けした遺伝子保存林用苗のトドマツ (*Abies Sachalinensis*) の一部を使用した。

トドマツ各組織の耐凍性の増大過程と耐凍性増大期におけるハードニング(低温にさらして耐凍性を高める処理)の効果を調べる実験には、育種場の苗畑に植えられている苗のうち50個体を選び、頂芽の着生した幹、輪

* 北海道林木育種場 Hokkaido For. Tree Breed. Sta., Ebetsu, Hokkaido

** 北海道大学低温科学研究所 Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., Sapporo, Hokkaido

生枝，地表面上10~15cmの幹，および根部の側根を切断して実験に用いた。これらの実験に用いた苗木の種子産地は，旭川営林局の羽幌国有林のものである。

耐凍性の増大と，その変動に及ぼす温度の影響を調べる材料は1971年5月に育種場で鉢植えして，9月下旬に北大低温科学研究所の苗畑に移したものを使用した。これらの種子産地は帯広営林局足寄国有林からのものである。なお耐凍性保持の実験に用いた鉢植え苗は旭川営林局の枝幸国有林産のものである。これらの実験にもちいた苗木を裸地植えた育種場の苗畑は12月初旬から降雪のたびに除雪をした。

実験方法：実験には地表面上10~15cmの苗木の幹の部位を2~3cmの長さに切りとり，枝は幹の上部に着生する1年生枝，根部は側根を7~8cmの長さに切りとって用いた。なお，凍結実験には1温度処理につき，それぞれ5本用いた。これらの材料はポリエチレンの袋に入れ，できるだけその中の空気を除いてから -5°C の低温室で凍結させた。その後，1時間ごとに 5°C ずつ温度を低下させ，所定の温度に達してからそこにそれぞれ16時間おいた。その後これらの材料を 0°C の空气中で融解した。 -40°C 以下の温度で冷却する時には，前述の方法で -30°C まで冷却したのち， -120°C まで冷却可能なディープ・フリーザに移し， -40°C から2時間ごとに 10°C ずつ温度を上げて所定温度まで冷却した。その温度に2時間おいたのち 0°C の空气中で融解した。融解された材料は水蒸気で飽和されたポリエチレンの袋に入れて，3~4週間室温においてから被害を判定した。

ハードニングの実験はまえに述べたと同様に，幹，枝および根の小片をポリエチレンの袋に入れて暗黒のもとで異なる温度にさらした。 -3 または -10°C 以下でハードニングする場合には，あらかじめ -5°C で2時間凍結させてから， -3 または -10°C の恒温箱に移した。鉢植苗木を用いた実験では，鉢全体をビニール袋でおおってハードニングした。

被害は組織の褐変によって決め，その程度を肉眼またはルーペで，正常，軽害，中害，激害および死の5段階に分けた。耐凍性は各組織が害なく（軽害を含む）耐える最低温度で表わした。

III. 結 果

1) 耐凍性増大に及ぼす温度の影響

1971年9月下旬から12月下旬までの自然条件下でのトドマツ苗木の耐凍性増大過程と気温および地温の変化を図-1に示した。トドマツ苗木では季節にかかわりなく最も高い耐凍性を示すのは幹の形成層で，最も低い

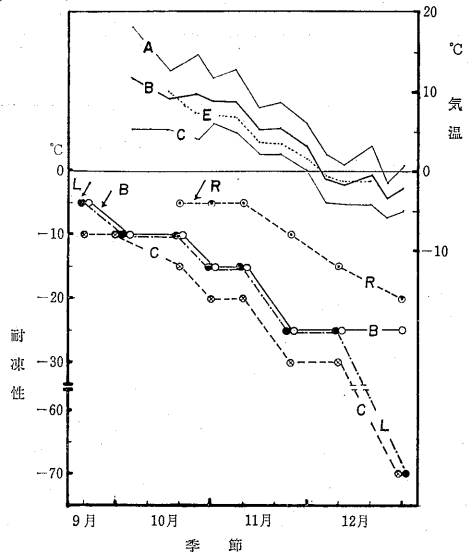


図-1. トドマツ組織の耐凍性の増大過程

材料は羽幌産5年生苗木の切枝，耐凍性は苗木の各組織が16時間の凍結に害なく耐える最低温度($^{\circ}\text{C}$)で表わした。図中の略号は次のとおり，A(最高気温の平均)，B(平均気温)，C(最低気温の平均)，E(地表面下5cmの地温の平均)を表わし，気温は札幌気象台，地温は北大低温科学研究所の苗畑の観測，苗木の各組織の略号はR(根)，B(芽)，L(葉)，C(皮部の形成層)を表わす

は根である。葉と芽の耐凍性はほぼこれらの中にある。図-1に示すように9月下旬に冬芽と葉は -5°C の凍結に耐えた。形成層は -10°C に耐えたが，根は -5°C の凍結にも耐えなかった。その後，冬芽と葉は10月初旬に -10°C に，11月初旬には -25°C の凍結に耐えるようになった。この時の平均気温は $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ であった。11月中旬以降気温の低下に伴ない耐凍性は高まり， 0°C 以下の続く12月下旬には最高の耐凍性に達した。形成層の耐凍性の高まりは芽や葉よりも常に 5°C 高いが，その増大の傾向はそれらと同じで，11月初旬には -20°C に，12月下旬には -70°C の凍結に耐えた。根の耐凍性の高まりは他の組織よりもおそく，10月下旬にようやく -5°C に耐えるようになった。平均地温(地表面下5cm)が 5°C 以下になった11月中旬以降は根の耐凍性の高まりも著しくなり，12月下旬には -20°C の凍結に耐えた。なお土壤凍結深度は12月初旬に約 $5\sim 7\text{cm}$ ，下旬に $20\sim 25\text{cm}$ に達した。

つぎに，ハードニング効果のちがいを知るために，上に用いた実験と同じ苗木を用いて，9月下旬から12月下旬までの期間に，人工的に異なる低温にさらして耐凍性の高まりを調べた結果を表-1に示した。10月中旬以前，葉と形成層が $-10\sim -15^{\circ}\text{C}$ の凍結にしか耐えない時， 0°C に20日間さらしても耐凍性の高まりは低かったが，

表-1. トドマツ苗木の耐凍性増大期におけるハードニング効果

採種月日	各 組 織 の 耐 凍 度 (°C)												
	芽				形 成 層				根				
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)	
無				-5° ₍₁₈₎	無			-5° ₍₁₈₎	無				
処	0° ₍₂₀₎	0° ₍₁₀₎	-5° ₍₂₀₎	-10° ₍₈₎	処	0° ₍₂₀₎	0° ₍₁₀₎	-5° ₍₂₀₎	-10° ₍₈₎	処	0° ₍₂₀₎	0° ₍₁₀₎	
理		-3° ₍₁₀₎		-15° ₍₈₎	理		-3° ₍₁₀₎		-15° ₍₈₎	理		-3° ₍₁₀₎	
				-20° ₍₁₁₎					-20° ₍₁₁₎				-5° ₍₂₀₎
26/IX	-5	-10	-10		-10	-15	-5						-5
7/X	-10	-15	-10		-10	-15	-10						-5
18/X	-10	-15	-20		-15	-20	-20			-5	-10		
28/X	-15	—	—		-20	—	—			-5	—		
10/XI	-15	-20	-20		-20	-25	-30			-5	-10	-10	
25/XI	-25	-20	-25		-30	-40	-50			-10	-10	-10	
8/XII	-25	-20	—	-30*	-30*	-40	—	-70*	-70*	-15	-10	-15*	-15*
25/XII	-25	-20	—	-30*	-30*	-70	-50	-70*	-70*	-20	-10	—	-20*

実験材料は羽根産5年生苗の切枝,*は12月8日と25日の処理のうち(C)と(D)は根のついた苗木のままでハードニング処理。表中の略号は0°₍₂₀₎は0°Cに20日間ハードニングを表す。0°₍₁₀₎+3°₍₁₀₎は0°Cに10日間処理後に-3°Cに10日間ハードニングを表す。無処理の耐凍度は図-1の値である。耐凍度は苗木の組織が害なく16時間の凍結に耐える最低温度である

それ以降耐凍性の高まるにつれて、-3°Cまたは-5°Cの凍結状態での高まりがより大きくなった。

トドマツ苗木の耐凍性増大に及ぼす温度の影響をさらに詳細に調べるために、野外におかれた鉢植苗木を10月11日から12月22日までの72日間、自然日長下で12と15°Cの一定温度に保たれたガラス室、自然日長下で平均温度17°C(最低10°~最高24°C)の温室、および0°Cの低温室(8時間人工照明)において耐凍性の高まりを比較した。なお、0°Cの温室の苗木はその後の1月22日ま

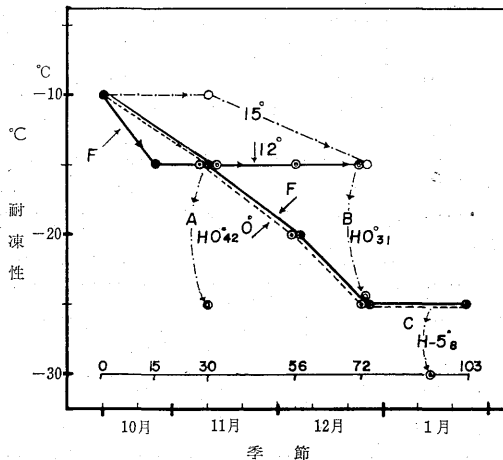


図-2. トドマツ冬芽の耐凍性増大におよぼす温度の影響

材料は野外におかれた足寄産鉢植苗木、温度処理の条件は15°Cガラス室、12°Cガラス室、0°C低温室、それに野外(F)、なおHO₄₂は0°Cで42日間ハードニング(A)、HO₃₁は31日間ハードニング(B)、H-5°は-5°Cに8日間ハードニング(C)されたことを示す

で(103日間)引き続きそこにおいた。その結果を図-2に総括して示した。15°Cに約30日間においても耐凍性は高まらなかったが、0、12°C、および10~24°Cと同じ期間さらしたものは野外のものと同様にその期間に5°Cだけ耐凍度が高まった。その後、12月22日(72日目)まで、12と10~24°Cにおいたものでは耐凍度は高まらなかった。しかし、0°Cや野外におかれたものはその間に耐凍性は漸次高まり、-25°Cまでの凍結に耐えるようになった。12°Cに30日または72日間おいたのち、それぞれ0°Cに31日または42日間さらした時、耐凍性はいずれも-25°Cまで高まった(図-2.A,B)。なお、0°Cにさらに30日間、すなわち1月22日までの103日間さらしても耐凍性はそれよりは高まらなかった。しかし、これらを-5°Cに8日間おいた時、-30°Cまでの凍結に耐えるようになった(図-2.C)。これらの実験から12°C以上の温度におかれたトドマツ苗木の冬芽は-15°Cまでの凍結にしか耐えられるようにならなかったが、これを0~-5°Cの低温にさらすと-25~-30°Cまでの凍結に耐えるようになった。

2) 耐凍性の保持におよぼす温度および休眠の影響

耐凍性の保持に及ぼす温度の影響について鉢植苗を用いて、2,3の実験を行なった。苗木が雪でおおわれるのを防ぐために自然日長の無加温ビニールハウスにおかれた苗木を異なる時期、平均温度17°C(最低10~最高24°C)の温室に移してトドマツ苗木の耐凍性の低下を調べた。図-3に冬芽についての結果を示した。10月中旬から11月中旬、-10~-15°Cの凍結に耐えるトドマツを平均気温17°Cの温室に移し、そこに73日または103日間お

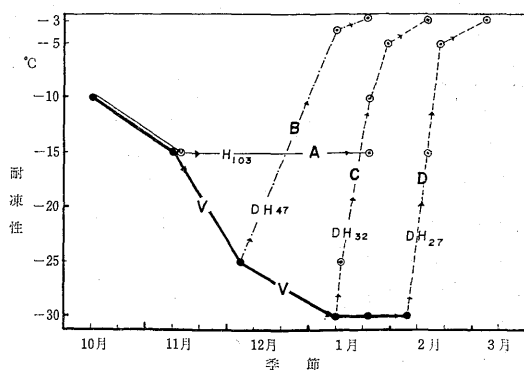


図-3. トドマツ冬芽の耐凍性の変動におよぼす温度の影響

無加温のビニールハウス(V)におかれたトドマツ鉢植5年生苗木を10月11日から2月6日までの異なる期間、17°C(最低10°~最高24°C)の温室においた。その期間は103日(A)、47日(B)、32日(C)、27日(D)である、DH₄₇は17°Cの温室に47日間デ・ハードニングを示す。デ・ハードニングによる耐凍性の低下の割合は-5°Cに達するのにBは0.54°C/日、Cは1.50°C/日、Dは2.08°C/日である

いても耐凍性は低下しなかったし、それらの冬芽はまったく開舒の徴候も示さなかった。このことは休眠中の苗木はある限度をこえて耐凍性を低下しないことを示している(図-3. A)。しかし、耐凍性が著しく高まった12月初旬、17°Cにおくと耐凍性は著しく低下した。その低下の割合は冬から早春にかけて著しくなった。すなわち、12月初旬には-5°Cの耐凍度まで低下するのに1日あたり0.5°C(図-3. B)、1月初旬には1日あたり1.5°C(図-3. C)、2月初旬には約2.1°Cの割合(図-3. D)で低下した。12月初旬以降、温室で耐凍性の著しく低下したものは、冬芽はほころび早晚開舒した。このことは、これらの苗木の冬芽が野外で休眠がすでに破れていたことを示す。これらの実験はトドマツ苗木の冬芽は17°Cに103日間おいても耐凍性は低下しないが、12月まで野外におき休眠の破れた苗木は耐凍性が著しく低下することを示している。さらにこのことを詳細に調べるために、野外におかれたすでに休眠の破れた苗木と、自然日長下で12と15°Cに保たれたガラス室におかれた鉢植苗木を、12月7日から15日間自然日長下の異なる温度条件下において耐凍性の変動を調べた。表-2に示すように、12月6日まで野外においた鉢植苗木を15°C以上の温度に15日間おくと、芽の耐凍性は著しく低下した。19~24°Cにおかれたものは冬芽の内苞が完全に破れて開葉し、-3°Cの凍結にも耐えなかった。10月11日から56日間、12と15°Cのガラス室におかれた苗木の冬芽は、そのままさらに15日間12または15°Cの温度においても耐凍度はほとんど変わらなかった。しかし、19~24°C

表-2. トドマツ苗木の耐凍性変動に及ぼす温度の影響

温度条件(°C)	処理後の各組織の耐凍度(°C)			処理後の冬芽の開葉状態
	前処理(56日間)	後処理(15日間)	芽 葉 形成層	
15→19~24	-3	-15	-20	わずかにふくらむ
野外→19~24	—	-3	-15	完全に内苞が破れた
15→15	-15	-15	-20	まったく変化は認められない
野外→15	-3	-5	-15	大きくふくらむ
12→12	-15	-15	-25	変化は認められない
野外→12	-10	-15	-15	ほとんど認められない

12月6日まで野外におかれた鉢植苗木と10月初旬から56日間自然日長下の12と15°Cのガラス室におかれた鉢植苗木を、12月7日から15日間ガラス室の異なる温度条件下においた。野外の平均気温は10月中旬~11月初旬は9°C、11月中旬~12月初旬は3°Cであった。なお、12月6日の野外の苗木は芽が-20°、葉は-60°、形成層は-70°Cの凍結に耐えた

の温度にさらしたもので、冬芽はふくらみ-3°Cの凍結にしか耐えなかった。なお、12月6日まで野外におかれた苗木を12°Cに15日間おいても冬芽の外観は休眠のものと同様でなかったが、耐凍性は12や15°Cで前処理したものより著しく低下した。

最後に早春のトドマツ苗木のハードニングに及ぼす温度の影響を知るために一連の実験を行なった(図-4)。自然日長下の無加温のビニールハウス中におかれた鉢植苗木を、1月中旬に15日間温室(平均温度17°C、最低12~最高24°C)におき、耐凍性をあらかじめ低下させた。

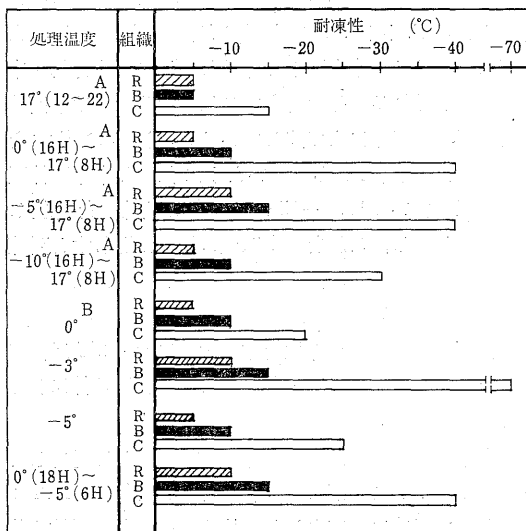


図-4. 休眠の破れたトドマツ苗木の耐凍性保持におよぼす温度の影響

自然日長下のビニールハウス内におかれたトドマツ鉢植苗木を1月中旬に温室(平均17°C、最低12°~最高24°Cの温度)に15日間おいて、あらかじめ耐凍度を低下させた。これらの苗木を1月28日から8日間異なる低温条件におき耐凍性の変動を調べた。Aは自然日長下の温室、Bは0°Cの人工照明(8時間)、図中の組織の略記号は根(R)、芽(B)、形成層(C)

その後それらを1月28日から8日間異なる温度下においてハードニングした。この結果、早春の休眠の破れた耐凍性はかなり低下した苗木では、0°Cや-5°Cで8日間処理しても耐凍性はわずかにしか増大しなかった。-3°Cで連続凍結状態においたものや0°C(日中)~-5°C(夜間)、または-5°C(夜間)~17°C(日中)の処理がもっとも効果が高かった。この実験のうち-5~17°Cにおかれたもので、鉢が凍結するため地下部の温度が17°Cに移してもかなり長い間5°C以下の温度に保たれている。そのため17°Cにおかれても地上部の耐凍度が低下しにくいものと考えられる。

IV. 考 察

1) 休眠と耐凍性

秋から冬にかけての木本植物の多くの耐凍性増大過程は伸長停止後から10月下旬頃までの比較的高い温度(10~20°C)ですすむ準備段階と、5°C以下の低温下ですすむ2つの段階からなっている。トドマツの芽は10~15°Cの温度におく限り、その耐凍度は-15°Cよりは増大しないし、その値を長い間保持している。これを-25°C以下の耐凍度にするためには、どうしても0°C以下の低温が必要である。トドマツの休眠が破れるのは札幌では11月中旬~下旬と思われる。自然日長下で0°Cまたは氷点下の気温に一定期間さらされると休眠は破れるものと考えられるが、トドマツの耐凍性はその後12月下旬まで高まり続ける。札幌では広葉樹の多くは11月初~中旬に休眠が破れる、その時点でこれらの耐凍性は最高値の約70%の高さにまで達している。これらの樹木を10°C以下の温度にさらさないようにすれば半年間休眠状態を保っているし、-15~-20°Cの耐凍度を保持している。しかし、これを0°C以下の低温にさらすと耐凍性は著しく高まるし、同時に休眠も破れる。休眠の破れたものでは、その耐凍性は0°C以上の温度に長くおけば漸次低下するので、耐凍性を保持するには-3°C以下で連続凍結状態または10~-3°Cのような変温条件におくことが必要である。

越冬中の樹木の耐凍性は外界の温度の変動に対応して速に変化することがモモの花芽を用いてPROEBSTING¹⁰⁾によって詳細に研究された。彼はモモの花芽が休止状態にある限り、耐凍性はそれよりは低下しないあるレベルがあることを明らかにした。すなわち、モモの休止状態にある花芽では耐凍度は冬期間-25~-18°Cの間で変動し、3~5日間10°Cにおいても-18°Cよりは低下しない。そして平均温度が-2°Cから-8°Cまで低下すると耐凍性は最高値に向かって高まり、0°C以上では

最小値に向かって低下する。なお、その増大と低下の進度は低温の持続期間によって左右されることが明らかにされた。シラカバ、ポプラ等の耐凍性の高いものでは、厳寒期10°Cに3日間さらしても耐凍性はまったく低下しないで、少なくとも-100°C以下の凍結に耐えた¹¹⁾。本州で越冬しているスギはかなりはげしい温度変動にさらされているが、休眠が破れにくいためにこうした条件下で予想外にたかい耐凍を保持していることが堀内ら⁹⁾によって明らかにされた。

2) トドマツの耐凍性の特性

トドマツの耐凍性は組織、器官によって著しく異なる。耐凍性の立場からみたトドマツの特徴は韌皮ことに形成層、葉の耐凍性が高く、芽が低いことにある。トドマツに対してスギは形成層の耐凍性をもっとも低いことが特徴である。異なった気候帯で自生している針葉樹の耐凍性の差を調べてみると³⁾、暖地性の針葉樹は-25°Cまでの凍結にしか耐えないものが多く、これでは葉、芽、韌皮間に著しい耐凍性の差は認められない。しかし、亜高山帯と北方針葉樹ではいずれも-30°C以下の凍結に耐えるものが多く、これらでは葉、韌皮は-70°C以下の凍結に耐えるものが多いが、モミ、トウヒ属の芽はせいぜい-30~-50°Cの凍結にしか耐えない³⁾。一般に寒冷地に自生するものほど芽の耐凍性が高い傾向が認められる。トウヒ、モミ属で芽が-70°C以下の凍結に耐えるのはアラスカのグラウカトウヒ(*Picea glauca*)とマリアナトウヒ(*Picea mariana*)のみである¹²⁾。北米の五大湖周辺に自生しているこれらの樹種でも芽はせいぜい-50°Cの凍結にしか耐えない²⁾。モミ、トウヒ、トガサワラ属等の芽では被害をうけるのは芽条の原基に限られる¹²⁾。したがって、これらの属の耐凍性の高さは芽条原基の強さに支配されるものと考えてよい。同様なことがカラマツについてもいえる³⁾。カラマツは花芽の耐凍性が葉、芽よりもかなり低い。マツ属では芽の原基が強く、葉と芽の耐凍性の間にほとんど差が認められない。このことはマツ属のきわだった特徴である³⁾。

トドマツ苗木の種子産地や母樹による耐凍性の差は10、11月に著しく、12月にはその差がほとんどなくなる⁵⁾。種子産地や母樹別のハードニング効果にも同じ傾向が認められる^{5,13)}。同じことが改良ポプラ⁴⁾やカラマツ²⁾についても認められている。トドマツの耐凍性の選抜が耐寒性育種の上から問題になっているが、トドマツの耐凍性の差が、耐凍性の高まりの進度のみ差があるのか、それとも厳寒期や早春の耐凍性の低下期においても差が認められるのか否かを今後調べることが必要である。トドマツ苗木の種子産地や母樹および精英樹クロー

ン間の形質の変異性について北海道林木育種場で、生長量¹⁴⁻¹⁶と生長期間¹⁷、二次生長の発生率¹⁶、冬芽の芽鱗の層数¹⁸、冬芽の開芽^{17,19}および冬芽形成期¹⁷、種子形質¹⁴や子葉数²⁰のちがい等について詳細に調べられてきた。さらに産地や母樹間の特性を明らかにするために、休眠の深さ、休眠打破に必要な温度条件、種子発芽や生長量に及ぼす温度の影響等について今後調査をすすめることが必要である。

引用文献

- 1) 酒井 昭: 桑枝条の発育過程と耐凍性獲得との関係. 低温科学(生物篇) **13**: 21~31, 1955
- 2) HAMAYA, H., KURAHASHI, A., TAKAHASHI, N. & SAKAI, A.: Studies in frost-hardiness of the Japanese and the dahurian larch and their hybrids. Bulletin of Tokyo Univ. For. **64**: 197~236, 1968
- 3) SAKAI, A. & OKADA, S.: Freezing resistance of conifers. Silv. Gen. **20**: 91~97, 1971
- 4) 森田健次郎・酒井 昭: ポプラ類の凍害に関する研究(I), 日林誌 **48**: 267~273, 1966
- 5) 柴花 茂・岡田 滋・森 俊人・酒井 昭・向出弘正: トドマツの産地特性について. 83回日林講: 1972(印刷中)
- 6) 今田敬一・武藤憲由: 北海道主要造林樹種の凍害に関する研究(I), (II), (III). 北大演習林報告 **19**: 41~121, 1958
- 7) STOECKELER, J. H.: Spring frost damage in young forest plantings near La Cross Wisconsin. J. For. **63**: 1965
- 8) 岡田 滋・森 俊人・酒井 昭: 開葉時のトドマツ, アカエゾマツ, エゾマツ苗木の耐凍性の比較. 日林北支講 **18**: 1969
- 9) 堀内孝雄・酒井 昭: スギの耐凍性におよぼす温度の影響. 1972 (未発表)
- 10) PROEBSTING, E. L.: The role of air temperature and bud development in determining hardiness of dominant Alberta peach fruited buds. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **83**: 259~269, 1963
- 11) SAKAI, A.: Characteristics of winter hardiness of extremely hardy twigs. Plant and Cell Physiology. 1972 (in press)
- 12) SAKAI, A. & WEISER, C. J.: Freezing resistance of tree in North America with reference to the regions. Ecology. 1972 (in press)
- 13) 柴花 茂・酒井 昭: 主要な針葉樹の耐凍性の季節変化とハードニング効果. 1972 (未発表)
- 14) 柳沢聡雄・岡田 滋・成田一芳: トドマツの地域特性について. 北海道の林木育種 **9**: 36~41, 1966
- 15) 岡田 滋・柳沢聡雄・成田一芳: トドマツ苗木の産地特性についての調査(II). 日林誌 **48**: 440~444, 1966
- 16) 岡田 滋・向出弘正: トドマツ苗木の産地特性について(III). 日林誌 **51**: 6~11, 1969
- 17) 岡田 滋・酒井 昭・向出弘正: トドマツ苗木の産地特性について(V). 日林誌 **52**: 357~361, 1970
- 18) ————: トドマツ苗木の産地特性について(VI). 日林誌 **52**: 10~13, 1970
- 19) 丸岡富次郎・柳沢聡雄・西岡利忠: トドマツツギキクローン開芽調査. 日林北支講 **13**: 88~92, 1964
- 20) 岡田 滋: トドマツ苗木の産地特性についての調査(I). 日林誌 **48**: 331~333, 1966

(1972年7月15日受理)