



Title	北海道主要造林樹種の凍害に関する研究(1) : 凍害と温度
Author(s)	今田, 敬一; KONDA, Keiichi; 武藤, 憲由 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 19(1), 41-60
Issue Date	1958-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20754
Type	departmental bulletin paper
File Information	19(1)_P41-60.pdf



北海道主要造林樹種の凍害 に関する研究 (I)

凍害と温度

今田敬一
武藤憲由

STUDIES ON THE FROST DAMAGE OF IMPORTANT PLANTATION SPECIES IN HOKKAIDO, JAPAN (I) TEMPERATURE AND FROST DAMAGE

By

Keiichi KONDA, Professor, Ringakuhakushi,
and Kazuyoshi MUTO, Assistant Professor

目次

緒言	41
実験材料及び方法	42
実験結果	43
I. 1年生トドマツ苗木で行った実験	43
II. 2年生トドマツ苗木で行った実験	45
III. 3年生トドマツ苗木で行った実験	50
IV. 結霜時と似た状態で行った実験	54
考察	57
摘要	59
参考文献	59
Summary	60

緒言

北海道のような寒冷地方では、5月中旬から6月上旬にかけてたびたび現われるいわゆる晩霜害——凍害¹⁾が著しく、苗畑ばかりでなく造林地の植栽木まで被害をうけ、造林成績の一向あがらない場合がすくなくない。ことに北海道のトドマツ造林にとつて、これは大きい問題である。

林地は環境の諸条件——地形、上木の有無、地床の状態などによつて場所ごとに気温がちがうが、地表附近に激しい低温があらわれる所ほど凍害が甚だしく、低温が緩和されている所には実質的な凍害がない。したがつて凍害そのものを理解するためにも、また凍害防除の方法を考えるためにも、樹種ごとに凍害と温度の関係をたしかめる必要がある。

このことについては久しく野外の観察をつづけたが、実験室の研究をはじめたのは1954年の開芽季で、北海道の主要造林樹種でありながら凍害によわいトドマツを材料とし、電気冷蔵庫をつかつて低温をあたえ、開芽しつつある芽の凍害を実験した。しかし主として冷蔵庫の調節器をたよりに温度の調整をしたため、庫内の温度のふれがかなり大きく、十分満足できる結果はえられなかつたが、トドマツの開芽季の芽の凍死の限界温度は -4°C 前後だということなどを確かめることができた。

この報告はその後1957年の開芽季に、低温室内に置かれ精密に温度の調整ができる定温器をつかい、おなじ実験を繰返してえた結果である。

実験にあたり、北海道大学附属低温科学研究所第3低温室を使用する便宜をあたえられた根井外喜男教授と林喬義助教授に感謝の意を表す。

実験材料及び方法

1. 1年生、2年生、3年生の各トドマツ苗木を実験に用いた。1年生トドマツ苗木は苗木に据置のもの、2年生トドマツ苗木は床替のため仮植のもの、3年生トドマツ苗木は1回床替後、1年間据置のものである。これらの苗木を1957年5月8日と9日との両日に掘取り、直ちに内径縦35 cm、横25 cm、深さ10 cmの木鉢に、1年生、2年生トドマツ苗木は50本、3年生トドマツ苗木は30本づつ移植して実験した。

2. 北海道大学附属低温科学研究所の第3低温室の前室($-17^{\circ}\sim-20^{\circ}\text{C}$)に内径縦50 cm、横60 cm、奥行50 cmの定温器を置き、この中に木鉢を2個づつ入れ、苗木を冷却した。

3. -3°C では3時間と4時間、 -4°C では2時間と3時間、 -5°C では30分間、1時間、2時間苗木を冷却し、冷却後すぐ木鉢を戸外に出した。なお、定温器に木鉢2個を入れると、器内の温度は 1°C 近くまで上り、のち徐々に下り、所定の処理温度になるまでに、約2.5時間かかった。処理時間は所定の温度に達してからの時間である。

4. 結霜時に似た状態を与えるため、2年生トドマツ苗木のうち定温器に入れる時と所定の処理温度に達する直前と2回、霧吹きで微粒の水滴をふきつけ、凍結させ、低温にさらしたものがある。

- 1) 凍害は開芽季のいわゆる晩霜害、落葉季のいわゆる早霜害、冬の寒害と寒風害にわけて考えると都合がよい。この報告は開芽季の凍害をとりあつかう。

5. 凍害の有無は、低温にさらしてから2週間後、昨年(1956年)作られた芽につき主軸の頂芽、その周りに着いている主軸の尖端の芽、昨年伸長した1年生の主軸を3分して芽の位置から主軸上部の芽、中部の芽、下部の芽に分け、また枝の場合は、主軸全体(苗木の高さ)を3分し、枝の位置から上部の枝の芽、中部の枝の芽、下部の枝の芽としてそれぞれ調査した。主軸の尖端から土用芽が伸長し、主軸の頂芽のそばから枝の出ているものがあつたが、この枝は上部の枝に含めた。なお、3年生トドマツ苗木には、2年生或いは3年生の主軸に不定芽が作られていることがあるが、きわめて稀であるため、調査から除いた。

実験結果

I. 1年生トドマツ苗木で行つた実験

1. 5月24日 -3.0°C で3時間と4時間苗木を冷却した結果は第1表である。

第1表 1年生トドマツ苗木の凍害状態 (処理温度 -3.0°C)

処理時間	芽の位置	供試数	生		不完全凍死*		凍死	
			個数	%	個数	%	個数	%
3時間	主軸の頂芽	50	44	88	4	8	2	4
	枝の頂芽	13	11	85	1	8	1	8
4時間	主軸の頂芽	50	32	64	8	16	10	20
	枝の頂芽	21	16	76	4	19	1	5

主軸の頂芽の生長量**は処理時間3時間及び4時間の苗木とも、平均0.8cmである。

-3.0°C で3時間冷却しても、主軸の頂芽は凍死しにくく、50個中2個、4%が凍死したにすぎない。主軸の頂芽4個が不完全凍死したが、これらは葉の尖端だけが凍死したものである。 -3.0°C では4時間冷却しても、主軸の頂芽が凍死したのは50個中10個、20%である。

枝の頂芽は主軸の頂芽より、凍害を受けにくい。また、枝の頂芽に凍害を受けた苗木の主軸の頂芽には凍害がある。

2. 5月29日 -4.0°C で2時間と3時間苗木を冷却した結果は第2表である。

* 不完全凍死 開舒、伸長した芽に着いている葉の尖端だけが凍死したのから、芽の大部分が凍死し、基部だけが凍死をまぬかれたものまで、すべてを不完全凍死とした。

** 主軸の頂芽の生長量 1957年春、芽が開舒してから、苗木を冷却する時まで伸長した主軸の頂芽の長さ。

第2表 1年生トドマツ苗木の凍害状態 (処理温度 -4.0°C)

処理時間	芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死	
			個数	%	個数	%	個数	%
2時間	主軸の頂芽	50	32	64	7	14	11	22
	枝の頂芽	13	12	92	1	8		
3時間	主軸の頂芽	50	23	46	8	16	19	38
	枝の頂芽	20	14	70	4	20	2	10

主軸の頂芽の生長量は処理時間2時間の苗木は平均0.9 cm, 3時間の苗木は平均1.0 cmである。

-4.0°C で2時間冷却した結果は、 -3.0°C で4時間冷却した結果と似ている。ただ、枝の頂芽には殆んど凍害がない。これは、主軸の頂芽が凍死した苗木11本には、枝を着けた苗木が1本もなかつたことに原因があるものと思われる。 -4.0°C で3時間冷却すると、半数以上の苗木が主軸の頂芽に凍害を受け、凍死は38%に達する。主軸の頂芽が不完全凍死及び凍死した苗木に着いた枝の頂芽は殆んど全部凍害を受けた。

3. 6月3日 -5.0°C で30分間, 6月1日 -5.0°C で1時間と2時間苗木を冷却した結果は第3表である。

第3表 1年生トドマツ苗木の凍害状態 (処理温度 -5.0°C)

処理時間	芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死	
			個数	%	個数	%	個数	%
30分間	主軸の頂芽	50	33	66	6	12	11	22
	枝の頂芽	23	21	91	1	4	1	4
1時間	主軸の頂芽	50	13	26	10	20	27	54
	枝の頂芽	10	4	40	2	20	4	40
2時間	主軸の頂芽	50	3	6	1	2	46	92
	枝の頂芽	15	4	27			11	73

主軸の頂芽の生長量は処理時間30分間の苗木は平均1.3 cm, 1時間と2時間の苗木は平均1.1 cmである。

-5.0°C では、僅か30分間苗木を冷却しても、主軸の頂芽の34%は凍害を受け、11個、22%は凍死する。主軸の頂芽に凍害を受けなかつた苗木33本中13本には、合計18本の枝があつたが、これらの枝の頂芽は全部生きていた。処理時間が1時間となると、主軸の頂芽の約3/4は凍害を受け、半数以上は凍死する。枝の頂芽に凍害を受けた苗木の主軸の頂芽は全部凍害を受けている。 -5.0°C で2時間冷却すると、1年生トドマツ苗木の

大部分は、主軸の頂芽が凍死する。また、枝の頂芽の約 3/4 は凍死する。

1 年生トドマツ苗木を用いたこれらの実験から明らかなように、 -3.0°C では、霜日の最低気温の最も長い持続時間と考えられる 4 時間の処理時間でも、主軸の頂芽の 64% は何等の凍害も受けない。凍死した主軸の頂芽は 50 個中 10 個、20% である。しかし -4.0°C で 3 時間苗木を冷却すると、はじめて半数以上の主軸の頂芽が凍害を受け、19 個、38% が凍死する。処理温度が -5.0°C となると、凍害は急激に多くなり、30 分間冷却しても、主軸の頂芽の 34% は凍害を受け、2 時間冷却すると、主軸の頂芽の 92%、46 個は凍死する。

処理温度の如何にかかわらず、処理時間が長くなると、凍死に対する不完全凍死の割合は少なくなる。

枝の頂芽は主軸の頂芽よりかなり凍害が少ない。また、主軸の頂芽に凍害を受けた苗木に着いている枝の頂芽のほうが、これに凍害のない苗木の枝の頂芽より、著しく凍害を受けやすい。

II. 2 年生トドマツ苗木で行つた実験

1. 5 月 22 日 -3.0°C で 3 時間と 4 時間苗木を冷却した結果は第 4 表と第 5 表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間 3 時間の苗木は平均 0.6 cm、4 時間の苗木は平均 0.4 cm である。

第 4 表 2 年生トドマツ苗木の凍害状態 (-3.0°C , 3 時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
一年生の主軸	頂芽	50	45	90	4	8	1	2	
	尖端	37	33	89	2	5	2	5	
	上部	10	10	100					
	中部	36	34	94			2	6	
	下部	34	34	100					
枝の位置	上部	頂芽	15	14	93			1	7
		その他	8	8	100				
	中部	頂芽	13	12	92			1	8
		その他	1	1	100				
	下部	頂芽	15	15	100				
		その他							

第5表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-3.0°C, 4時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
1年生の主軸	頂芽	50	41	82	3	6	6	12	
	尖端	33	25	76	3	9	5	15	
	上部	18	12	92			1	8	
	中部	22	22	100					
	下部	45	45	100					
枝の位置	上部	頂芽	14	12	86	1	7	1	7
		その他	8	6	75			2	25
	中部	頂芽	4	4	100				
		その他							
	下部	頂芽	21	20	95	1	5		
		その他	3	3	100				

-3.0°Cでは、3時間苗木を冷却しても、主軸の頂芽は、50個中5個しか凍害を受けない。1年生の主軸の尖端の芽の凍害状態は、主軸の頂芽のそれと似ている。上部の芽と下部の芽は凍害を受けない。上部の枝と中部の枝の頂芽は、各々1個ずつ、それぞれ全体の7%、8%が凍死した。下部の枝の頂芽と、上部の枝、中部の枝に着いた芽には凍害がない。

処理時間が4時間でも、主軸の頂芽が凍死した苗木は50本中6本、不完全凍死した苗木は3本である。1年生の主軸に着いた芽、枝の頂芽、枝に着いた芽などでは、尖端の芽と上部の枝の頂芽及びこの枝に着いた芽だけが主軸の頂芽と似た凍害状態を示すだけでこれら以外の芽には凍害が全くないか、あつても著しく少ない。

2. 5月25日 -4.0°Cで2時間、5月27日 -4.0°Cで3時間苗木を冷却した結果は第6表と第7表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間2時間の苗木は平均0.6cm、3時間の苗木は平均1.0cmである。

-4.0°Cで2時間冷却した苗木の主軸の頂芽の凍害状態は、-3.0°Cで4時間冷却した実験の結果と似ている。ただ、不完全凍死がいくらか多い。1年生の主軸の尖端の芽は主軸の頂芽と同程度の凍害を受ける。上部、中部、下部の芽の凍害は少ない。上部の枝の頂芽は主軸の頂芽より凍害が多い。

処理時間が3時間になると、1年生苗木と同様半数以上の苗木が主軸の頂芽に凍害を受ける。尖端の芽は主軸の頂芽より、いくらか凍害が少ない。中部の芽と下部の芽の凍害は約20%である。上部の枝の頂芽は、他の枝の頂芽より凍害が多く、その44%が凍死す

第6表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-4.0°C, 2時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	38	76	6	12	6	12	
	尖端部	39	29	74	5	13	5	13	
		上部	10	9	90		1	10	
		中部	19	18	95		1	5	
下部	30	29	97	1	3				
枝の位置	上部	頂芽	16	9	56	4	25	3	19
		その他	8	7	88	1	13		
	中部	頂芽	7	5	71	2	29		
		その他	2	1	50	1	50		
	下部	頂芽	19	15	79	1	5	3	16
		その他	3	3	100				

第7表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-4.0°C, 3時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	24	48	6	12	20	40	
	尖端部	36	20	56	3	8	13	36	
		上部	8	4	50		4	50	
		中部	15	12	80		3	20	
下部	18	15	83	1	6	2	11		
枝の位置	上部	頂芽	18	8	44	2	11	8	44
		その他	17	9	53	3	18	5	29
	中部	頂芽	9	6	67	1	11	2	22
		その他	3	2	67			1	33
	下部	頂芽	32	22	69	5	16	5	16
		その他	5	4	80	1	20		

る。この枝に着いた芽も、約半数が凍害を受ける。

3. 5月31日 -5.0°Cで30分間、5月29日 -5.0°Cで1時間、5月30日 -5.0°Cで2時間苗木を冷却した結果は第8表、第9表、第10表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間30分間の苗木は平均1.0 cm、1時間の苗木は平均0.9 cm、2時間の苗木は平均0.6 cmである。

-5.0°Cでは、30分間苗木を冷却しても、主軸の頂芽の34%は凍害を受け、14%は凍死する。尖端の芽の凍害の割合は主軸の頂芽のそれと等しいが、凍死の割合は多い。

1年生の主軸に着いた芽では、下に着いた芽ほど凍害が少ない。上部の枝の頂芽は、主軸

の頂芽と同程度の凍害を受けている。中部、下部の枝の頂芽は、上部の枝の頂芽より凍害を受けにくい。

-5.0°Cで1時間冷却した苗木の主軸の頂芽は半数以上が凍害を受け、26%は凍死する。尖端の芽は主軸の頂芽より、凍死した芽の割合は少ないが、半数が不完全凍死し、凍害をまぬかれた芽の割合は16%も少ない。上部、中部、下部の芽には、凍死した芽がな

第8表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 30分間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	33	66	10	20	7	14	
	尖端	31	21	68	3	10	7	23	
	上部	11	8	73			3	27	
	中部	29	25	86	3	10	1	3	
	下部	29	29	100					
枝の位置	上部	頂芽	21	14	67	4	19	3	14
		その他	11	9	82	2	18		
	中部	頂芽	9	7	78			2	22
		その他	2	2	100				
	下部	頂芽	19	14	74	2	11	3	16
		その他							

第9表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 1時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	23	46	14	28	13	26	
	尖端	43	13	30	22	51	8	19	
	上部	10	7	70	3	30			
	中部	9	8	89	1	11			
	下部	26	22	85	4	15			
枝の位置	上部	頂芽	18	5	28	12	67	1	6
		その他	8	2	25	3	38	3	38
	中部	頂芽	4	1	25	1	25	2	50
		その他							
	下部	頂芽	8	8	100				
		その他	1	1	100				

第10表 2年生トドマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 2時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
1年生の主軸	頂芽	50	6	12	4	8	40	80	
	尖端	38	3	8	5	13	30	79	
	上部	6	3	50			3	50	
	中部	14	7	50	2	14	5	36	
	下部	30	20	67	2	7	8	27	
枝の位置	上部	頂芽 その他	15 11			1	7	14 11	93 100
	中部	頂芽 その他	2	1	50			1	50
	下部	頂芽 その他	10 3	7 2	70 67	1	10	2 1	20 33

い。上部の枝の頂芽の72%は凍害を受けたが、凍死は僅か6%である。

-5.0°Cで2時間冷却すると、主軸の頂芽の80%は凍死する。1年生の主軸に着いた芽の凍害も多い。ただ、下部の芽では、2/3の芽が凍害をまぬかれている。上部の枝の頂芽は全部凍害を受け、その93%は凍死した。この枝に着いた芽は全部凍死した。

2年生トドマツ苗木も、1年生トドマツ苗木と同様に、-3.0°Cでは凍害を受けにくく、4時間冷却しても、82%の主軸の頂芽は凍害をまぬかれている。-4.0°Cで3時間苗木を冷却したときにはじめて、主軸の頂芽の半数以上が凍害を受けるようになる。処理温度を-5.0°Cにすると、凍害は急激にふえ、処理時間1時間で、半数以上の頂芽が凍害を受け2時間では80%凍死する。1年生の主軸の尖端の芽の凍害状態は、主軸の頂芽のそれと殆んど等しい。1年生の主軸に着いている芽の位置が下のものほど凍害が少ない。即ち、尖端、上部、中部、下部の芽の順に少ない。-5.0°Cで2時間冷却すると、主軸の頂芽も尖端の芽も約90%凍害を受け、約80%凍死するが、下部の芽は、1/3が凍害を受けるにすぎない。

上部の枝の頂芽は主軸の頂芽と同程度の凍害を受ける。また、中部、下部の枝の頂芽の順に凍害を受けにくくなる。これらの枝に着いた芽も、上部の枝に着いた芽ほど凍害を受けやすく、下部の枝のものほど受けにくい。

凍死に対する不完全凍死の割合は、処理時間が長いほど少ない。

表からわからないが、主軸の頂芽に凍害を多く受けた苗木ほど、苗木の各部に着いている芽の凍害も多い。

III. 3年生トドマツ苗木で行つた実験

1. 5月22日 -3.0°C で3時間, 5月23日 -3.0°C で4時間苗木を冷却した結果は第11表と第12表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間3時間の苗木は平均0.9 cm, 4時間の苗木は平均1.1 cmである。

第11表 3年生トドマツ苗木の凍害状態 (-3.0°C , 3時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
一年生の主軸	頂芽	30	28	93	1	3	1	3	
	尖端部	42	37	88	4	10	1	2	
	上中部	6	6	100					
	下部	16	16	100			1	3	
枝の位置	上部	頂芽	14	13	93	1	7		
		その他	4	4	100				
	中部	頂芽	33	32	97			1	3
		その他	7	6	86	1	14		
	下部	頂芽	39	39	100				
		その他	5	5	100				

第12表 3年生トドマツ苗木の凍害状態 (-3.0°C , 4時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
一年生の主軸	頂芽	30	22	73	3	10	5	17	
	尖端部	27	19	70	1	4	7	26	
	上中部	4	3	75	1	25			
	下部	13	11	85	2	15	1	4	
枝の位置	上部	頂芽	18	11	61	1	6	6	33
		その他	6	4	67			2	33
	中部	頂芽	34	22	65	4	12	8	24
		その他							
	下部	頂芽	17	14	82	2	12	1	6
		その他	1	1	100				

-3.0°Cで3時間冷却しても、苗木の各部に着いている芽は殆んど凍害を受けない。主軸の頂芽では、30個中僅か2個が凍害を受けただけであり、凍害の最も多い尖端の芽でも、12%の芽が凍害を受けたにすぎない。枝の頂芽及び枝に着いている芽も殆んど凍害を受けない。

処理時間が4時間になつても、-3.0°Cでは主軸の頂芽の27%が凍害を受けるだけである。尖端の芽の凍害は、主軸の頂芽と殆んど同様であるが、凍死した芽の割合は9%多い。1年生の主軸に着いている芽では、尖端、上部、中部、下部の芽の順に凍害の割合が少ない。上部、中部の枝の頂芽は、主軸の頂芽より凍害が多い。また、上部の枝に着いている芽の1/3は凍死した。

2. 5月25日-4.0°Cで2時間、5月27日-4.0°Cで3時間苗木を冷却した結果は第13表と第14表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間2時間の苗木は平均0.9cm、3時間の苗木は平均0.8cmである。

-4.0°Cで2時間冷却すると、主軸の頂芽の1/3は凍害を受ける。尖端の芽は、主軸の頂芽より凍害が多く1年生の主軸に着いている芽では、下に着いている芽ほど凍害が少ない。上部、中部の枝の頂芽は、主軸の頂芽より凍害が多く、半数以上の芽が不完全凍死及び凍死する。中部の枝に着いている芽は83%凍害を受けた。この芽12個中10個は、枝の頂芽が凍死した枝に着いていた芽で、10個とも凍害を受けた。

1年生、2年生のトドマツ苗木と同様、3年生トドマツ苗木も、-4.0°Cで3時間冷却

第13表 3年生トドマツ苗木の凍害状態 (-4.0°C, 2時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
1年生の主軸	頂芽	30	20	67	4	13	6	20	
	尖端	33	19	58	4	12	10	30	
	上部	3	2	67			1	33	
	中部	24	18	75	2	8	4	17	
	下部	39	35	90	2	5	2	5	
枝の位置	上部	頂芽	12	5	42	2	17	5	42
		その他	6	5	83	1	17		
	中部	頂芽	41	18	44	8	20	15	37
		その他	12	2	17	1	8	9	75
	下部	頂芽	45	36	80	7	16	2	4
		その他	1	1	100				

第14表 3年生トマツ苗木の凍害状態 (-4.0°C, 3時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	30	13	43	5	17	12	40	
	尖端	36	15	42	7	19	14	39	
	上部	4	3	75	1	25			
	中部	19	9	47	3	16	7	37	
	下部	30	23	77	3	10	4	13	
枝の位置	上部	頂芽	12			3	25	9	75
		その他	3	2	67	1	33		
	中部	頂芽	39	13	33	4	10	22	56
		その他	4	1	25	2	50	1	25
	下部	頂芽	23	10	43	1	4	12	52
		その他	2			2	100		

すると、主軸の頂芽の半数以上が凍害を受ける。尖端の芽と中部の芽とは、主軸の頂芽と殆んど同じ凍害状態を示す。上部の芽は、4本の苗木に各々1個ずつ着いていて、主軸の頂芽に凍害を受けた苗木に着いていた芽だけが不完全凍死した。枝の頂芽には、凍害が多く、下部の枝の頂芽でも、半数以上が凍死する。上部の枝の頂芽は全部凍害を受け、3/4は凍死する。

3. 5月31日 -5.0°Cで30分間、5月29日 -5.0°Cで1時間、5月30日 -5.0°Cで2時間苗木を冷却した結果は第15表、第16表、第17表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間が30分間と1時間の苗木は平均0.9cm、2時間の苗

第15表 3年生トマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 30分間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	30	11	37	10	33	9	30	
	尖端	28	19	68	2	7	7	25	
	上部	9	2	22	3	33	4	44	
	中部	14	7	50	3	21	4	29	
	下部	27	21	78	1	4	5	19	
枝の位置	上部	頂芽	21	8	38	5	24	8	38
		その他	7	3	43	2	29	2	29
	中部	頂芽	41	22	54	8	20	11	27
		その他	9	8	89			1	11
	下部	頂芽	18	14	78	2	11	2	11
		その他							

第16表 3年生トドマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 1時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	30	9	30	9	30	12	40	
	尖端部	31	9	29	9	29	13	42	
		上部	4	3	75		1	25	
		中部	19	15	79	2	11	2	11
下部	33	22	67	4	12	7	21		
枝の位置	上部	頂芽	23	6	26	6	26	11	48
		その他	14	4	29	6	43	4	29
	中部	頂芽	34	19	56	5	15	10	29
		その他	13	12	92			1	8
	下部	頂芽	39	21	54	9	23	9	23
		その他	3	3	100				

第17表 3年生トドマツ苗木の凍害状態 (-5.0°C, 2時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	30	5	17	2	7	23	77	
	尖端部	38	4	11	3	8	31	82	
		上部	1				1	100	
		中部	23	7	30		16	70	
下部	35	13	37	5	14	17	49		
枝の位置	上部	頂芽	18			3	17	15	83
		その他	7	1	14		6	86	
	中部	頂芽	31	6	19	2	6	23	74
		その他	3				3	100	
	下部	頂芽	25	11	44	2	8	12	48
		その他	1	1	100				

木は平均0.8 cmである。

-5.0°Cでは30分間苗木を冷却しただけで、主軸の頂芽の63%が凍害を受ける。上部の芽は78%、中部の芽は半数が凍害を受ける。尖端の芽は、これらの芽より凍害はかなり少ない。上部、中部、下部の枝の頂芽の順に、凍害が少ない。上部の枝の頂芽及びこの枝に着いている芽は60%前後凍害を受ける。

処理時間が1時間では、主軸の頂芽の70%が凍害を受け、40%は凍死する。尖端の芽は、主軸の頂芽の凍害状態と似ている。上部、中部、下部の芽の凍害は1/3以下である。上部の枝の頂芽及びこの枝に着いている芽は70%以上凍害を受ける。中部、下部の

枝の頂芽の約半数は凍害を受けるが、これらの枝に着いている芽には、殆んど凍害がない。

処理時間が2時間となると、主軸の頂芽30個中23個、77%が凍死し、2個、7%は不完全凍死する。尖端の芽は、主軸の頂芽よりいくらか凍害が多い。中部の芽、下部の芽でも、それぞれ70%、63%の芽が凍害を受ける。上部の枝の頂芽18個は全部凍害を受け15個は凍死する。中部の枝の頂芽にも凍害が多く、生きていた芽は19%にすぎない。下部の枝の頂芽でも、56%が凍害を受ける。

3年生トドマツ苗木も、1年生、2年生トドマツ苗木と同様、 -3.0°C では凍害を受けにくく、4時間苗木を冷却しても、主軸の頂芽の凍害は27%である。 -4.0°C で3時間冷却すると、主軸の頂芽の半数以上が凍害を受けるようになる。 -5.0°C では30分間冷却しただけで、主軸の頂芽の30%は凍死し、33%は不完全凍死した。 -3.0°C で3時間と4時間、 -4.0°C で2時間と3時間及び -5.0°C で1時間と2時間苗木を冷却して得た結果では、3年生トドマツ苗木の芽の凍害状態は、1年生、2年生トドマツ苗木のそれと非常に似ているにもかかわらず、 -5.0°C で30分間冷却した実験の結果だけが、3年生トドマツ苗木では、1年生、2年生トドマツ苗木より著しく凍害が多くなっている。この原因はわからない。 -5.0°C で2時間冷却すると、1年生の主軸の下のほうに着いている芽や、下部の枝の頂芽の凍害も著しく多くなる。

尖端の芽と上部の枝の頂芽は、主軸の頂芽と殆んど同程度の凍害状態を示す。1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽では、その着いている位置が下のものほど、凍害を受けにくい。枝に着いている芽は、その枝の頂芽より凍害が少ない。また、下部の枝に着いている芽ほど凍害を受けにくい。

凍死に対する不完全凍死の割合は、1年生、2年生トドマツ苗木と同様、処理時間が長いと少ない。

主軸の頂芽に凍害を受けた苗木の各部に着いている芽ほど、凍害を受けやすい。

IV. 結霜時と似た状態で行った実験

1. 6月4日、2年生トドマツ苗に微粒の水滴を吹きつけて凍結させ、 -3.0°C で3時間と4時間冷却した結果は第18表、第19表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間3時間の苗木は平均0.6 cm、4時間の苗木は平均0.9 cmである。

この状態で苗木を冷却すると、2年生トドマツ苗木は -3.0°C でもかなり凍害を受ける。処理時間が3時間で、主軸の頂芽の44%は凍害を受け、尖端の芽の凍害状態もこれと似ている。1年生の主軸に着いている芽は、着いている位置が下ほど凍害を受けにくく、

第18表 結霜時と似た状態で冷却した苗木の凍害状態 (-3.0°C, 3時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
一年生の主軸	頂芽	50	28	56	18	26	9	18	
	尖端	33	18	55	11	33	4	12	
	上部	6	4	67	2	33			
	中部	13	10	77	2	15	1	8	
	下部	25	25	100					
枝の位置	上部	頂芽	25	10	40	6	24	9	36
		その他	9	5	56			4	44
	中部	頂芽	5	3	60	1	20	1	20
		その他							
	下部	頂芽	9	7	78	2	22		
		その他							

第19表 結霜時と似た状態で冷却した苗木の凍害状態 (-3.0°C, 4時間)

芽の位置	供試数	生		不完全凍死		凍死			
		個数	%	個数	%	個数	%		
一年生の主軸	頂芽	50	14	28	25	50	11	22	
	尖端	39	16	41	14	36	9	23	
	上部	7	4	57	1	14	2	29	
	中部	16	11	69	5	31			
	下部	30	27	90	3	10			
枝の位置	上部	頂芽	24	12	50	7	29	5	21
		その他	14	7	50	5	36	2	14
	中部	頂芽	11	7	64	3	27	1	9
		その他	2			1	50	1	50
	下部	頂芽	15	12	80	2	13	1	7
		その他	4	4	100				

下部の芽には凍害がない。上部の枝の頂芽の60%は凍害を受けるが、下部の枝の頂芽の78%は凍害をまぬかれている。

処理時間が4時間になると、主軸の頂芽の72%は凍害を受ける。しかし、不完全凍死が多く、凍死は22%である。尖端の芽は、主軸の頂芽より凍害が少ない。また下部の芽の90%は凍害を受けない。上部の枝の頂芽の凍害は、3時間苗木を冷却した実験の結

果より少なくなっている。枝の着いている位置が下ほど凍害は少なく、下部の枝の頂芽の80%は無害である。

2. 6月5日, 2年生トドマツ苗に微粒の水滴を吹きつけ, -4.0°C で2時間と3時間冷却した結果は第20表, 第21表である。

主軸の頂芽の生長量は処理時間2時間の苗木は平均1.1 cm, 3時間の苗木は平均1.0 cmである。

この状態で -4.0°C で2時間冷却すると, 主軸の頂芽の62%は凍害を受け, 28%は凍死する。尖端の芽は, 主軸の頂芽より10%凍害が少ない。また下部の芽は僅か13%し

第20表 結霜時と似た状態で冷却した苗木の凍害状態 (-4.0°C , 2時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	19	38	17	34	14	28	
	尖端	44	21	48	12	27	11	25	
	上部	4	2	50		2	50		
	中部	13	10	77		3	23		
	下部	30	26	87	4	13			
枝の位置	上部	頂芽	20	11	55	7	35	2	10
		その他	2	1	50		1	50	
	中部	頂芽	7	2	29	4	57	1	14
		その他							
	下部	頂芽	14	12	86	1	7	1	7
		その他	1					1	100

第21表 結霜時と似た状態で冷却した苗木の凍害状態 (-4.0°C , 3時間)

芽の位置		供試数	生		不完全凍死		凍死		
			個数	%	個数	%	個数	%	
一年生の主軸	頂芽	50	5	10	18	36	27	54	
	尖端	46	12	26	19	41	15	33	
	上部	8	3	38	2	25	3	38	
	中部	15	8	53	4	27	3	20	
	下部	19	14	74	2	11	3	16	
枝の位置	上部	頂芽	17			8	47	9	53
		その他	5			4	80	1	20
	中部	頂芽	19	6	31	8	42	5	26
		その他	4	1	25			3	75
	下部	頂芽	15	6	40	7	47	2	13
		その他	2	2	100				

か凍害を受けず、しかも不完全凍死である。中部の枝の頂芽の71%は凍害を受けたが、上部の枝の頂芽の半数以上は無害である。下部の枝では、14%の頂芽が凍害を受けただけである。

処理時間が3時間になると、主軸の頂芽の90%は凍害を受け、54%は凍死する。尖端の芽は、主軸の頂芽より凍害が少ないが、それでも約3/4の芽が凍害を受ける。下部の芽は凍害が少なく、74%が無害である。上部の枝の頂芽とこの枝に着いている芽は全部凍害を受け、頂芽の53%は凍死する。下部の枝の頂芽でも、60%の芽が凍害を受けるが、凍死は僅か13%である。

霧吹きで微粒の水滴を2年生トドマツ苗木の表面に附着凍結させて苗木を冷却すると -3.0°C でもかなり凍害が多く、3時間冷却しただけで、主軸の頂芽の44%は凍害を受ける。4時間冷却すると、僅か28%の主軸の頂芽が凍害をまぬかれるだけである。しかし全体の半分は不完全凍死で、凍死は22%である。 -4.0°C で2時間冷却すると、凍死した主軸の頂芽は28%で、 -3.0°C で4時間冷却したものより多いが、凍害のない主軸の頂芽は38%で、これより10%多い。 -4.0°C で3時間冷却すると、主軸の頂芽の大部分は凍害を受け、半数以上は凍死する。

尖端の芽は、主軸の頂芽よりいくらか凍害が少ない。 -4.0°C で3時間冷却すると、主軸の頂芽の大部分は凍害を受けるが、このときでも、下部の芽の74%は無害である。

上部の枝の頂芽の凍害の割合は、 -3.0°C で3時間及び -4.0°C で3時間冷却した実験では、主軸の頂芽より多く、 -3.0°C で4時間及び -4.0°C で2時間苗木を冷却した実験では少ない。枝の頂芽の凍害は、枝の出ている位置が下のものほど少ない。

また結霜時に似た状態で苗木を冷却したこれらの実験では、不完全凍死の割合が多いことに気がつく。

考 察

1年生、2年生、3年生の各トドマツ苗木とも -3.0°C では凍害を受けにくく、4時間冷却しても、主軸の頂芽の20~30%が凍害を受けるだけである。北海道の5月下旬頃の霜日にあらわれる最低気温に近い低温の持続時間は長くともせいぜい4時間くらいと考えられるから、造林地の最低気温が -3.0°C 前後のときは、トドマツ植栽木の凍害は少ないと考えて差支えがない。ただし、結霜をみるときは別である。主軸の頂芽の半数以上が凍害を受けるのは、 -4.0°C で3時間苗木を冷却したときであるが、この -4.0°C を開芽季のトドマツの芽の凍死の限界温度と考えたい。これは野外の観察でもかねてから考えられたことで、また1954年に実施した予備的な実験でも認められることであつた。 -5°C で冷却すると凍害は急に多くなり、30分間冷却しただけで主軸の頂芽はかなり凍害を受け、

1時間では半数以上凍害をうけ、30%ちかく凍死し、 -5.0°C 、2時間では主軸の頂芽の大部分が凍死する。この程度の低温は開芽季の北海道の造林地にすこしも珍しいことなく、したがってトドマツ造林地に多くの不成績地があり、凍害はトドマツ造林の大きい問題になるのである。

前年伸長した1年生の主軸に着いている芽のうち、先端の芽は、主軸の頂芽と殆んど同じ程度の凍害を受ける。主軸のその他の芽は、どの実験も殆んどみな、芽の位置が1年生の主軸の下にあるほど、即ち、先端、上部、中部、下部の芽の順に凍害が少なくなる。

苗木の上部に着生している枝の頂芽は、主軸の頂芽と殆んど同じ程度の凍害を受けるが、中部、下部の枝の頂芽の順に凍害を受けにくくなる。枝に着いている他の芽は、その枝の頂芽より一般に凍害が少ない。また、上部の枝に着いている芽ほど凍害が多い。

このように芽の位置によつて凍害の程度がちがう理由はいろいろ考えられる。内径縦35 cm、横25 cm、深さ10 cmの木鉢に、2年生トドマツ苗木は50本、3年生トドマツ苗木は30本づつ植えたので密植となり、苗木の下部ほど冷却されず、温度が高いためこの結果になつたとも考えられる。しかし、1年生も50本植で、それほど密植と考えられないのに、枝の頂芽は、一般に主軸の頂芽より凍害がすくない。それゆえ芽の位置が下のものほど、木鉢の土壤に近く、4時間冷却しても凍結しなかつた土壤から、低温緩和作用を受けたとも考えられる。しかしまた、苗木の芽は、着生の位置によつて凍害に対する抵抗力のちがいがあるのかも知れない。1年生の主軸に着いている芽のうち、下部の芽には、1年生の基部、即ち前年の軸頭のすぐ上に着いている芽が多数あるが、他の芽とちがい開舒、伸長しても短枝にしかならないこれらの芽は、生理的な面で他の芽と多少異なつていると考えられる。

1954年に行つた予備的な実験の結果と同様、この実験でも、苗木を冷却する時間が長いと凍死が多くなり、不完全凍死の割合は少なくなつた。

また、主軸の頂芽に凍害を受けた苗木ほど、各部に着いている他の芽も凍害を受けやすい。このため、苗木1本に1個づつ主軸の頂芽とちがい、苗木の各部に着いている芽は、少ない苗木があつたり、反対に多くの芽をもつ苗木があつたりして、主軸の頂芽より凍害の傾向が多少ばらついてくる。しかし、これらの芽の、前記の一般的な傾向は明らかだと考える。

霜日の樹木に結霜をみるのは、輻射熱を奪われた樹体の温度が外気より下るため、このとき葉の表面に結んだ霜が核となつて葉のなかに氷を植付けるが、結霜しないときは凍るべき温度以下になつても凍らず、過冷却の状態では凍害を受けないことがありうる。IVの実験は、霧吹きで微粒の水滴を吹きつけ、凍結させてから一定の温度で苗木を冷却したが、この凍結した微粒の水滴は葉のなかに氷を植付ける核のはたらきをしたと思われ

る。このように結霜の時と似た状態で低温にさらした実験では、 -3.0°C でも3時間冷却すれば、主軸の頂芽の44%が凍害を受ける。したがって結霜をみると、トドマツ苗木は -3.0°C でもかなり凍害を受けると考えてよい。 -3.0°C 4時間では72%が凍害を受け22%凍死する。 -4.0°C 3時間では殆んど全部の主軸の頂芽が凍害を受け、半数以上凍死する。このように、結霜をみる状態では、結霜をともしないときより、おなじ低温でも被害は深刻である。また苗畑の凍害防除のため水を撒布する方法は、処置を誤れば凍害を助長することがありうる。

摘 要

1年生、2年生、3年生のトドマツ苗木をそれぞれ、 -3.0°C 、 -4.0°C 、 -5.0°C で冷却した結果と、結霜の時と似た状態で2年生トドマツ苗木を冷却した結果は次の如くである。

1. -3.0°C では、トドマツ苗木は凍害を受けにくい。 -4.0°C で3時間冷却すると、はじめて主軸の頂芽の半数以上が凍害を受けるようになる。それゆえ開芽季のトドマツの芽の凍死の限界温度を -4.0°C と考えたい。 -5.0°C で冷却すると凍害は急に多くなり、1時間冷却ただけで主軸の頂芽の半数以上凍害を受け、2時間で主軸の頂芽の大部分が凍死する。

2. 結霜する時と似た状態で2年生トドマツ苗木を冷却すれば、 -3.0°C でもかなり凍害が多い。おなじ低温でも、結霜があるときは被害が大きい。

3. 1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽は、主軸の下のほうに着いている芽ほどまた苗木の下のほうから出た枝の頂芽ほど凍害を受けにくい。

4. 苗木を冷却する時間が長くなると、おなじ低温でも被害が多くなり、また凍死の割合をまし不完全凍死の割合が少なくなる。

参 考 文 献

- DAY, W. R. and PEACE, T. R.: The experimental production and the diagnosis of frost injury on forest trees. Oxford Forestry Memoirs, 16, 1-60, 1934.
- DENGLER: Junifrostschäden an der Kiefer. Zeit. für Forst- und Jagdw., 42, 670-674, 1910.
- : Junifrostschäden an der Kiefer. Zeit. für Forst- und Jagdw., 64, 97-99, 1932.
- HESS-BECK: Forstschutz. 5. Aufl., 2. Bd., 346, 1930.
- 今田敬一: 晩霜季における林地の低気温. 北大農学部演習林研究報告, 14巻, 1号, 1-46, 1948.
- : 林地の地表附近に現れる低気温の観測例. 北大農学部演習林研究報告, 14巻, 2号, 105-123, 1949.
- : 造林地のとどまつの凍害に関する研究. 北大農学部演習林研究報告, 16巻, 2号, 117-174, 1953.

- 今田敬一： 斜面の温暖地帯と寒冷な台地について。北大農学部演習林研究報告, 17 卷, 1 号, 103-126, 1954.
- 今田敬一・武藤憲由： 地形と凍害との関係。第 66 回日本林学会大会講演集, 98-100, 1956.
- 今田敬一・佐々木準長： 国有林におけるトドマツの凍害。寒帯林 (旭川営林局報), 59 号, 12-24, 1957.
- MÜNCH, E.: Die Knospenentfaltung der Fichte und die Spätfrostgefahr. Allg. Forst- und Jagdzeit., 99, 241-265, 1923.
- : Frostgefährdung wintergrüner Gehölze. Mitt. Deut. Dendrol. Ges., 40, 175-186, 1923.
- 佐々木準長・谷口三佐男： 苫小牧地方トドマツ造林地の霜害概況並びに造林対策。北大農学部演習林研究報告, 17 卷, 2 号, 929-966, 1955.
- 佐藤義夫・武藤憲由： 樹苗の耐寒性に影響する種々の因子に就いて (II) 加里の影響。北大農学部演習林研究報告, 15 卷, 1 号, 81-96, 1951.
- 田沢 博： 北方気象と寒地農業。1945.
- : 霜と霜害。寒地農学, 1 卷, 2 号, 3 号, 1947.
- 吉井義次： 植物凍死と耐寒性の問題。農業及園芸, 11 卷, 1 号, 43-52, 1936.

Summary

Todomatsu (*Abies Mayriana*) seedlings transplanted into wooden pots were cooled in thermostat placed in low temperature room ($-17^{\circ}\sim-20^{\circ}\text{C}$) for various hours at various low temperatures.

Few terminal buds of Todomatsu seedlings were damaged by cooling for 4 hours at -3°C , above half of them, for 3 hours at -4°C and most of them, for 2 hours at -5°C .

When moistened terminal buds were cooled, 72% of them were damaged by cooling for 4 hours at -3°C and 90% of them, for 3 hours at -4°C .