

# 林木の寒さの害に関する研究 ( )

林木の冬期間における乾燥抵抗性

森田健次郎\* 水 井 憲 雄\*

Studies on the cold injury of forest trees ( II )

Desiccation resistance of wintering forest trees

By Kenjiro MORTA\* and Norio MIZUKI\*

## ま え が き

北海道の造林主要樹種であるトドマツ、カラマツの苗畑や造林地に発生する寒さの害による被害として顕著なものは、春の開葉期前後の晩霜害と、秋の生長停止期前後の早霜害である。これらの霜害については被害面積が大きく被害の時期が明確であるため、霜害防除技術などについては多くの試験研究の成果がみられる(石川 1955, 今田ら 1959)。しかし、近年になってたしかめられてきたトドマツ、カラマツの造林木の根際や幹の凍害(酒井ら 1967, 酒井 1968)についてもさることながら、土壤凍結地帯で多く発生する林木の凍結乾燥の害、いわゆる寒風害については最近になって調査研究がすすめられるようになったばかりである。

寒風の被害は、寒乾害または寒枯れともいわれ被害の発生は厳寒期に、土壤凍結や主幹の凍結のために根からの水の供給がわるい状態で、葉、幹、枝の水をうばわれやすい組織が限界をこえて脱水されておこる乾燥害であるといわれている(酒井ら 1963, 酒井 1966)。1966年冬から1967年春にかけて道東地帯の苗畑や造林地で、トドマツ、アカエゾマツは60年以來という大被害をうけた。このときの道有林厚岸林務署の苗畑におけるトドマツの苗木の被害調査を行なったところ、原産地である厚岸産の種子による苗木は被害が少なく、北見地方からの移入種子による苗木は被害が大きく、種子の産地のちがいにより被害の程度に差が認められた(森田 1967)。同年に久保田(1968)は、同地におけるトドマツ次代検定林の被害調査を行なって、その被害度が母樹産地によって北海道西部産のものが被害が大きく、東部産のもの被害が軽微で、種子産地のちがいによる寒さの害に対する遺伝的な抵抗性の差を報告している。さらに筆者は、同年浦幌林務署のトドマツ人工林の同一斜面で、樹齢のちがいによって被害のあらわれかたに差があることを調べた(森田 1967)。このとき霜害には抵抗性を示すアカエゾマツの被害がトドマツより大きく、樹種間にも被害の差がみられた。

以上のことから、寒風害に対する抵抗性の高いものは、乾燥に対して組織の耐え得る致死限界そのものに差があるのか、致死限界に達する期間の長短に差があるのか、これらのことから寒風害が発生する原因とその防除法を究明できるものと考え、産地別のトドマツ苗木と樹齢別のトドマツ、アカエゾマツ苗木を用いて、12月初旬と1月初旬に凍結乾燥による脱水過程をしらべた結果をとりまとめ報告する。

---

\* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido .

## 材 料 と 方 法

実験に用いた樹種，苗齡，産地ごとの材料と処理方法を示すと表 1 のとおりである。

5年生の苗木は1966年春まきつけして翌年すえおき，1968年春床替，1969年すえおき1970年春ジフィーポットに床替したものである。2年生の苗木は1969年春ジフィーポットに直播し，1970年すえおきしたものをを用いた。

表 - 1 供 試 材 料 と 方 法

樹 種	苗 齡	産 地	1 処 理 方 法		2 処 理 方 法	
			温 度 ( )	期 間 (日)	温 度 ( )	期 間 (日)
トドマツ	5 年 生	北 美 見 深	5, 10 "	10, 20 "	10, 20 "	10, 20, 30, 40 "
トドマツ	2 年 生	厚 岸	5, 10	10, 20	10	10, 20, 30, 40
		池 田	"	"	"	"
		浦 河	"	"	"	"
		北 見	"	"	"	"
アカエゾマツ	5 年 生	美 深	5, 10	10, 20	10, 20	10, 20, 30, 40
	2 年 生	"	"	"	"	"

1 12月1日低温室搬入      2 1月10日低温室搬入

凍結乾燥の処理は0 から - 30 まで各温度段階で，±0.2 の精度で冷却可能な低温実験室に12月1日と1月10日の2回に分けて，苗畑におかれていた苗木を搬入した。所定温度に冷却するときは急速凍結の害がおこらないよう留意し，0 から目的の温度に順次冷却した。冷却速度は毎時約5 で，総体温度とポットの土壤温度を0.3mmの銅・コンスタンタン熱電対自記温度記録計で記録させ，所定温度に凍結冷却されていることを確認した。12月1日に搬入したものは - 5 と - 10 の2室で処理し，1月10日に搬入したものは - 10 と - 20 の2室で処理した。

含水量の測定は12月1日搬入の苗木については，処理前と処理後5日，10日，20日に1月10日搬入の苗木については同様に処理前と処理後5日，10日，20日，30日，40日目にそれぞれ測定した。測定にあたっては処理室で個体ごとに葉と幹部に分けてとり，それぞれ3個の秤量管に入れた。乾燥は105 の乾燥器で16時間後に取り出し，直示天秤で0.1mgの精度で秤量した。

凍結乾燥した苗木のその後の回復度を調べるのは，12月1日搬入の苗木は処理後10日目と20日目，1月10日搬入の苗木は10日，20日，30日，40日目にそれぞれ0 の低温室で1昼夜融解させ，15 の恒温室において，その後の葉の変色の度合いと頂芽の開葉の度合いを観察した。

## 実 験 結 果

### トドマツ脱水過程の産地間の差

1月10日に - 10 の低温室に搬入した2年生の産地別苗木の葉の脱水過程を，乾重量に対する含水率であらわすと(図 1)，処理前の含水率は140~160%の範囲で，このときにわずかながら産地間に含水率の差がみ

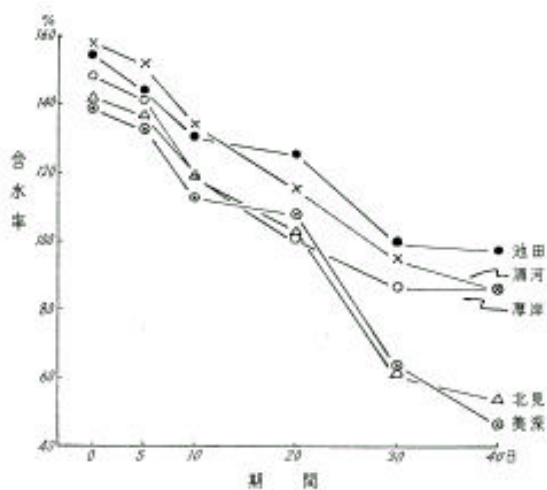


図 1 トマトツ脱水過程の産地間の差  
測定部位は葉である。処理温度  
は 10 である

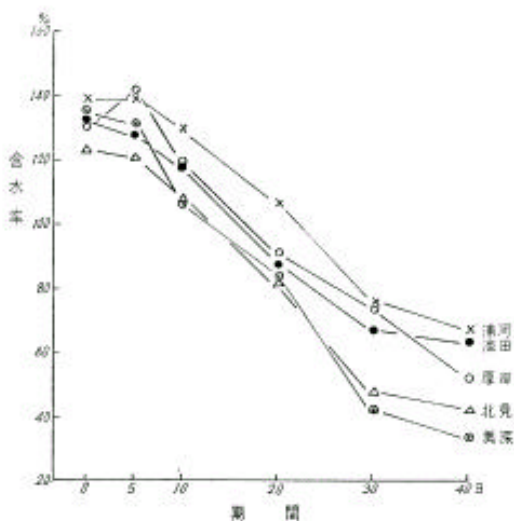


図 2 トマトツ脱水過程の産地間の差  
測定部位は幹，処理温度は 10  
である

とめられた。

含水率の低下の過程は5日目から10日目の間に低下する過程と、10日目から20日目の間の低下を示す過程、20日目から30日目の間に低下する過程をそれぞれ示すものと、処理後連続的に脱水されるものとの区分されるようである。10日目頃から脱水がすすみ、20日目頃で小康状態を示し30日目頃に急激に脱水がすすむ産地のものと脱水過程が緩慢で、脱水されかたが少ない産地のものとの分れる。

北海道西部の地区にある美深産のものは、20日から30日目の間に致死限界以下に脱水されて枯死するものと考えられる。一方、東部の産地に属する池田、浦河、厚岸産のものは30日目から40日目にえなお凍結乾燥に対して致死限界ぎりぎりに抵抗を示しているようである。

このときの同じ処理個体の幹の脱水過程を葉の場合と同様に示したものが図2で、30日目まで連続的に脱水がすすむ。

北海道西部のものは20日目から30日目にかけて脱水速度が増しており、東部地区のものとの含水率の差が大きくなる。

幹の脱水は葉の脱水に応じてすすむように考えられるが、脱水過程も脱水量も葉の場合に比較して大きい結果を示した。葉の脱水過程は処理後20日目頃から小康状態を示す一つの過程をたどる産地のものがみられたが、幹の脱水過程は連続して脱水されており、葉の場合に相当するあきらかな過程はみられない。

以上の結果から、-10の低温室で凍結状態におかれた2年生のトマトツ苗木20日目から30日目の間に急激に脱水される。その脱水速度は東部産の苗木に比較して、西

部産のものは大きく、東部地区の中でも北尾産のものは西部地区のものと同様の傾向を示し、脱水されかたも脱水量も大きい。

含水率の低下の度合いは東部産のものに比較して西部産のものが大きい。

## 脱水過程の苗齢間の差

西部地区に属する美深産のトドマツ5年生および2年生の苗木と、アカエゾマツ5年生および2年生の苗木も、1月10日から-10で凍結状態においた葉と幹の脱水過程を示すも、図3、図4のとおりである。

トドマツの5年生苗木と2年生の苗木の葉の脱水過程を比較すると、5日目と10日目の間の処理期間中に、2年生の苗木の葉の含水率は低下する速度を増しておりこのときの5年生の苗木の葉の脱水速度の差が、40日目まで苗齢間の差としてあらわれたが、その差は10%程度で少ない。

アカエゾマツの5年生苗木と2年生苗木の葉の脱水過程は、トドマツとは逆に5年生の苗木の葉の方が、2年生苗木の葉より脱水速度が早く、脱水されかたも大きい。

幹の脱水過程の苗齢間の差としては、トドマツの5年生と2年生の苗木の間に大きな差が認められ、2年生の苗木に比較して5年生の苗木では、脱水速度が緩慢で脱水のされかたも少ない。致死限界の付近のところで抵抗を示しているものと考えられる。2年生の苗木は20日目頃から脱水速度を増して、30日目頃には致死限界以下に脱水されて枯死に至っているものようである。

アカエゾマツの幹の脱水過程は、トドマツと同様に5年生の苗木では30日目頃まで極めて緩慢で、脱水されかたが小さい。しかし30日目頃から40日目にかけて脱水速度を増し脱水されかたも大きくなる。一方2年生の場合には、10日目頃から脱水速度を増して、30日目頃までに大部分の水分がとられてしまう。

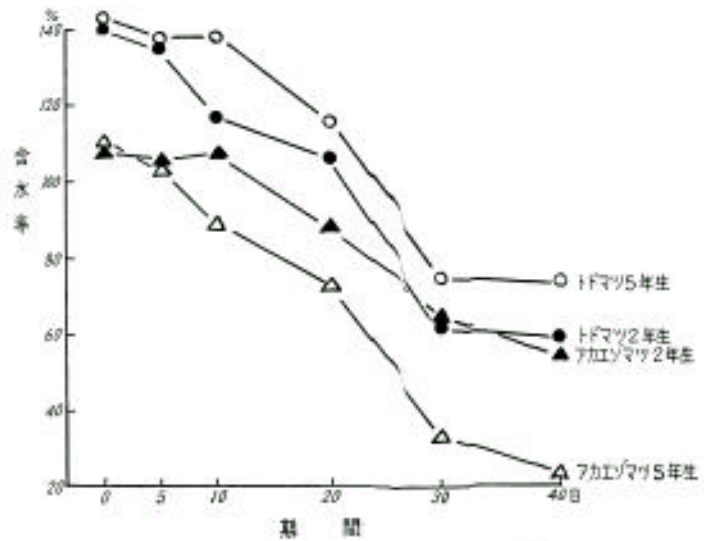


図3 脱水過程の苗齢間の差  
測定部位は葉、処理温度 10

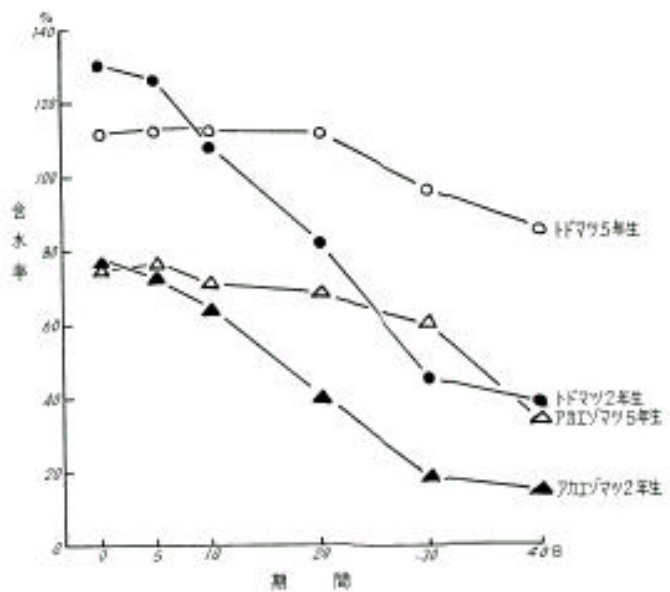


図4 脱水過程の苗齢間の差  
測定部位は幹、処理温度は 10

## 脱水過程の季節による差

2年生苗木のトドマツとアカエゾマツの葉について、12月1日に低温室に搬入した場合と、1月10日に低温室に搬入した場合で脱水過程のちがいを比較した。図5に示すように処理前の含水率を100として、処理後5日目、10日目、20日目の含水率の低下の度合いを脱水率としてあらわした。この結果によると、トドマツ、アカエゾマツとも1月に搬入したものに比較して、12月に搬入したものが脱水速度が早く、脱水されかたも比較的大きくあらわれている。脱水されにくい道東地帯のトドマツで、比較的脱水されやすい北見産のものと、北海道西部の美深産のものとの比較では、12月に搬入した場合、北見産のものが美深産のものよりも脱水されかたが少なく、脱水速度が比較的緩慢であったが、1月の搬入の苗木の場合には両者の差は極めて少ない。

この結果から季節が早い時期に脱水が促進されるような条件にあうと、脱水されやすいもののグループでもさらに早く脱水されるものが分けられる。しかし脱水が急激にすすむのは20日目から30日目頃の間になってくるので、12月処理の場合には20日目で処理を打切っているため、なおさらに検討する必要がある。

樹種間ではアカエゾマツはトドマツに比較して12月の処理も、1月の処理の場合も脱水過程は緩慢であるが、処理前の含水率そのものがトドマツより少ないので、脱水量は少ないが処理後の含水率は少ない。

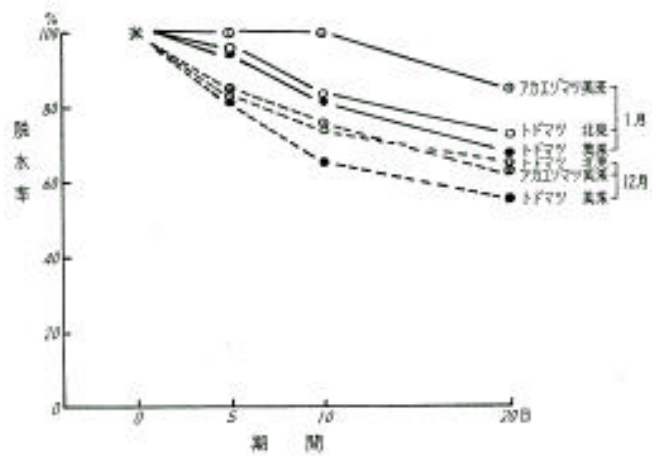


図5 2年生苗木における脱水過程の季節による差  
測定部位は葉、処理前の測定値を100とした場合である

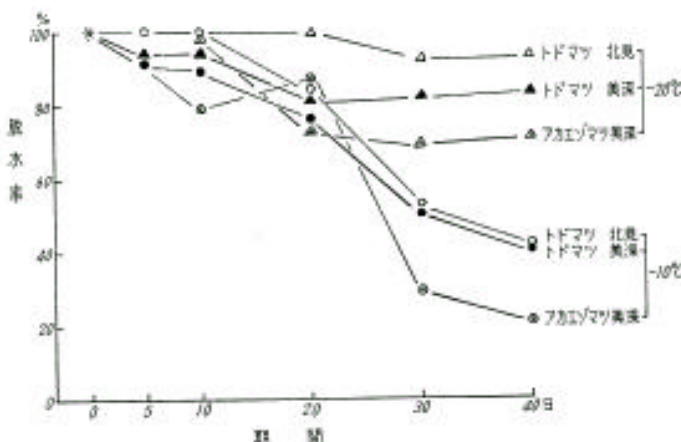


図6 5年生苗木の脱水速度と低温条件  
測定部位は葉、処理前の測定値を100とした場合である

## 脱水速度と低温条件

-10の低温室内で凍結された状態で含水率が低下してくることは、トドマツ、アカエゾマツとも前述したとおりであるが、なお-20に温度を下げた場合の結果を、-10の温度のときの結果と比較して示したのが図6である。

トドマツ、アカエゾマツとも5年生苗木を1月10日に処理を始めたものである。この結果によると-20に温度を下げたとき、-10で処理したのに比較して脱水のされかたは極めて緩慢となり、含水率の



低下の度合い乳少なくなる。処理前の含水率を 100 として、処理後の苗木の含水率の低下の度合いを脱水率として、トドマツの比較的脱水されやすい美深産と北見産の産地別の比較では、-10 の場合には脱水速度、脱水率とも産地間の差は極めて少ない。しかし -20 に温度を下げて脱水されにくい条件下では、-10 の条件で脱水されやすいグループに入る北尾産と美深産の 2 産地の比較で、北見産のものは美深産のものより脱水されにくいという産地間の差が認められる。

アカエゾマツの場合も、-20 の処理では -10 の処理に比較して脱水速度は緩慢となり、トドマツと同様の傾向がみられた。トドマツとアカエゾマツの樹種間では、-10 の処理と、-20 の処理ともトドマツに比較して、アカエゾマツの脱水率と脱水速度は大きくあらわれた。

これらの結果から、凍結乾燥の温度条件は -5 から -10 の間で含水率の低下の度合いは大きく、それ以下に湿度が低下すると含水率の低下の度合いは小さくなる。-10 では比較的脱水されやすいグループに入る産地のトドマツは産地間の差が少ないものが、-20 の脱水されにくい条件では、脱水されにくいものがさらに脱水過程が緩慢となるため、脱水率の産地間の差が大きくあらわれるようである。

#### 産地別トドマツ 2 年生苗木の脱水による葉の変色と頂芽の回復

1 月 10 日に -10 の低温室に搬入したトドマツ 2 年生の産地別の苗木も、処理を開始して 10 日目、20 日目、30 日目、40 日目にそれぞれとり出して、25 の室温において 1 ヶ月後の苗木の脱水されたためにおこる葉の変色の度合いと、頂芽の開舒状態から脱水された苗木の回復度合いを観察した。この結果を示すと図 7 のとおりである。

葉の変色は道東地区のものでは、厚岸産の苗木は 40 日処理でも、ほとんど変色がなく、池田産と浦河産の苗木が 30 日間処理では 10% 程度の変色率を示し、それが 40 日間の処理期間になると処理木の 50% が変色した。北見産の苗木は 30 日間の処理期間から急激に変色率が增大し、40 日間の処理では処理木の全苗木が変色を示した。北海道西部地区の美深産の苗木は 20 日間処理から変色率が增大し、30 日間の処理期間では処理木の全部が変色した。

この結果から脱水されたトドマツ 2 年生苗木の葉の変色の度合いと、脱水過程との間には、脱水されかたが大きい産地のものは変色の度合いも大きくあらわれ、産地の間には同様の差異が認められる。北海道東部地区の

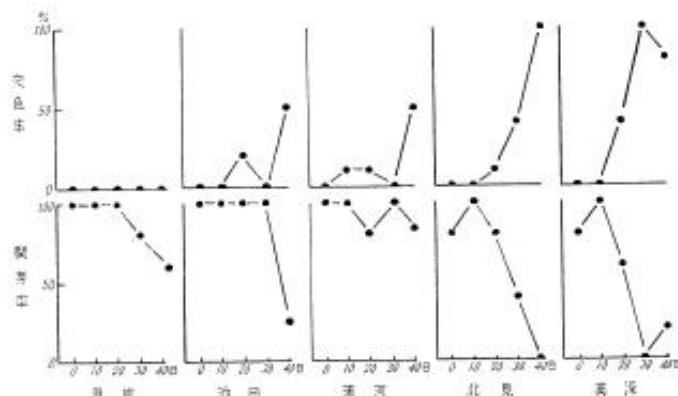


図 7 産地別トドマツ 2 年生苗木の脱水による葉の変色と回復

厚岸・池田・浦河産のものは脱水による変色率は小さく、北尾産のものは、北海道西部地区に属する美深産のものと同様の傾向を示し変色率は大きくあらわれた。

頂芽の開舒状態において、処理後の脱水の少ない道東地区の厚岸・池田・浦河産のものは、30日間の処理では、脱水による頂芽の開舒に対する影響は認め難いが、含水率の低下の度合いの大きかった道東の北見産の苗木と、道西の美深産の苗木は、処理後20日目、30日目の処理に従って開芽率が連続的に低下していることから、あきらかに含水率の低下による影響と考えられる。

変色率と開芽率から、凍結乾燥に対する抵抗と、その後の回復状態は、含水率の低下の度合いの少ない産地のものほど変色率は少なく、頂芽の開芽率が多い傾向が認められた。10の低温条件下では、トドマツ2年生苗木の産地別の脱水による回復は、道東地区の浦河・池田・厚岸産のものが多く、北見産のものと道西地区の美深産のものが低かった。道東地区の産地の苗木は-10の凍結条件下では、処理後30日間は比較的脱水に対する抵抗を示したが、道東地区の北見産及び道西地区の美深産の苗木は、処理後20日目頃から急激に脱水抵抗が低下するように考えられる。

道東産の苗木の脱水に対する抵抗性は、凍結した状態で脱水過程が緩慢で、脱水されかたも少なく、このような産地の苗木や、同じ産地の苗木でも樹齢が高くなるとその後の回復が高いようである。

## 考 察

### 寒風害と脱水抵抗

北海道の主要造林樹種であるトドマツやアカエゾマツの人工林に、寒風害による被害として近年では昭和31年、35年、38年、42年と年々被害面積が増大している。

寒風害による被害実態として、生井(1963)は昭和35年に道有林に発生した寒風害の被害を、池田・浦河・雄武各林務署のトドマツ造林地で行なって、池田林務署管内の人工林では北斜面に被害が著しくあらわれ、浦河林務署では南斜面に多く、雄武林務署では、雪面上に出ているトドマツ樹冠の南側の部分の針葉の赤変がはなはだしかったことから、多雪地帯の寒風被害は南斜面の風衝地形にあらわれることが多く、寡雪地帯の被害の方位は一定していないことをのべている。今田(t959)は土壌が凍結することは林木の寒害の大きい原因の一つであり、土壌が凍結したとき、風をあてると林木の寒害は多くなることを報告している。田中(1965)はスギ・ヒノキの寒害に影響する因子について、土壌が凍結していないポットのスギ2年生苗木を、-4の外気温の中で15m/secの断続的な息のある風に9時間あてても被害はなかったが、ポットの土壌を凍結させた場合は枯死した。また土壌は凍結していても、15m/secの風が整流された一定の風速では茎葉の振動がなく被害がなかったことから、土壌の凍結、風による茎葉の振動が被害と関係あることを述べている。酒井ら(1963)は支笏湖に面するアカエゾマツの植栽地で被害調査を行なって、寒風害のあらわれる時期は土壌の凍結開始時期、凍結深度、外気温、風の強さ、積雪量等によって異なるが、害がもっとも進行するのは厳寒期であるとし、葉や被に流動パラフィン塗布して水分の蒸散を抑えた苗では害が少なかったことをあきらかにした。さらに酒井ら(1967)は、幹の一部を-0.6の凍結状態で保ち、地上部を乾燥状態に保った時は被害が出たが、0に保ったときは被害がおきないことを確めた。

このようないくつかの事実から寒風害は、土壌が幹の一部が長い間凍っていて上方への水の上昇がおさえられた状態で乾燥した風に曝されて起きる冬季の乾燥害であるといいうる(酒井1968)

寒風害に関する調査研究は被害実態調査や、被害の発生する機作についてある程度あきらかにされてきたが、

昭和42年の春北海道東部地帯に発生した被害で、筆者ら(1967)の調査でトドマツの種子産地のちがいや、樹齢のちがいで、トドマツとアカエゾマツの樹種のちがいによって被害程度に差異があらわれたことや、久保田(1968)は、トドマツの母樹産地のちがいによって被害に対する顕著な抵抗性の差があらわれたことを報告したことから、今回の実験を行なってたしかめてみた。

風をとみなわないで、 $-5$ の凍結状態においた場合に脱水過程が、トドマツの産地のちがいで、樹齢のちがいで、トドマツとアカエゾマツの樹種のちがいによる差異をしらべた結果は、被害実態調査で抵抗性を示した産地のものや、樹齢の高い苗木は、脱水が急激にすすむ20日目から30日目の間で抵抗性をあらわしている。

寒風害によって脱水された苗木は、どの位乾燥すると回復の見込みがなくなるかを検討した結果では、トドマツ2年生苗木では、葉は乾重に対して80%以下になると変色が大きくなり、幹は乾重に対して60%以下になると開芽率が急激に低下する。どの程度脱水されるかという脱水されやすさの度合いと、脱水に対する致死限界が高いか低いかによって脱水抵抗性はちがうように考えられる。脱水されやすくても回復力の高いもりがあるように思われるが、今回の実験では抵抗性のある産地のものや、同じ産地でも樹齢が高くなると、ある致死限界のところまで脱水されにくく抵抗を示したように考えられる。アカエゾマツは比較的脱水されやすくても回復力があるように考えられるが、なお今後確かめてみる必要がある。

## 摘 要

この研究は、トドマツ・アカエゾマツの寒風害に対する抵抗性をあきらかにするため、トドマツの産地別に、トドマツ・アカエゾマツの樹齢別に、冬期間の凍結乾燥に対する脱水抵抗について実験を行なった。

1.  $-10$ の低温で凍結状態におかれた厳冬期の2年生トドマツ苗木は、20日目から30日目の間に急激に脱水される。その脱水速度は、北海道東部地区の産地の苗木に比較して、北海道西部地区の産地のものは大きく、脱水量も大きい。

2. 5年生のトドマツ・アカエゾマツの苗木は、2年生の苗木に比較して幹の脱水速度は緩慢で脱水のされかたも少なくなる。

3. 脱水されやすい北見産のトドマツと美深産のトドマツ苗木の脱水過程のちがいは、12月初旬の処理ではその差が認められるが、1月中旬の処理ではその差が少なくなる。

4. 凍結乾燥の温度条件は、 $-5$ から $-10$ の間で含水率の低下の度合いは大きく、 $-20$ では小さくなる。 $-10$ では比較的脱水されやすいグループに入る産地のトドマツの産地間の差が少ないものが、 $-20$ の脱水されにくい条件では、脱水されにくいものがさらに脱水過程が緩慢となるため、脱水率の産地間の差が大きくあらわれるようである。

5. 凍結乾燥に対する抵抗とその後の回復状態は、含水率の低下の度合いの少ない産地のものほど変色率は少なく、頂芽の開芽率が多い傾向が認められた。

以上の結果から、トドマツの冬期間の脱水抵抗性は北海道東部地区の産地の厚岸・池田・浦河産の産地の苗木は抵抗性が高く、北見産と北海道西部地区の美深産の苗木は抵抗性が低い。

トドマツ・アカエゾマツの2年生と5年生の苗木のちがいで、苗木が高くなると抵抗性は高くなる傾向が認められ、トドマツとアカエゾマツの樹種のちがいで、トドマツに比較してアカエゾマツは、2年生苗木も5年生苗木も脱水過程が早く、脱水のされかたも大きい。



## 文 献

- 石川道男 1955 クラフト式霜害防除法について．札幌林友 7
- 久保田泰則 1968 トドマツの地域性について (II), 寒さの害に対する変異．79 回日林講集：163 164
- 今田敬一・佐々木準長 1959 凍害と霜害．北方林業叢書 13：1 98
- 森田健次郎 1967 道東地方の造林地に発生した寒さの害の実態．北方林業 19：345 348
- 生井郁郎 1963 道有林における寒風害の実態．北方林業 15：258 262
- 日本生気象学会編 1968 生気象学．988 p 紀伊国恩書店東京
- 酒井昭・高樋勇・渡辺富夫 1963 林木の寒風害の研究 (1)．日林誌 45：412 420
- 1966 林木の寒さの害に関する用語の使用法についての一提案．日林誌 48：25 27
- ・斎藤満 1967 スギの幹の基部の凍害．日林誌 49：244 251
- 1967 幼木の幹の基部における凍害．低温科学生物篇 25：45 58
- 1967 10 年生トドマツの幹の凍害．日林誌 49：166 168
- 1967 果樹幼齢本の地際の凍害．農業および園芸 42(11)：49 53
- 1968 カラマツの幹の地ぎわの凍害．日林誌 50：111 113
- ・斎藤満 1967 林木の寒風害の研究(II), 水分の上昇をおさえる幹の凍結温度．日林誌 49：198  
204
- 田中貞雄 1965 スギ, ヒノキの寒害について．森林立地 6(2)：5 9