

速報

光強度の違いが抵抗性クロマツの材線虫病抵抗性に及ぼす影響^{*1}松永孝治^{*2}・千吉良治^{*2}・武津英太郎^{*2}・倉原雄二^{*2}・倉本哲嗣^{*2}

松永孝治・千吉良治・武津英太郎・倉原雄二・倉本哲嗣：光強度の違いが抵抗性クロマツの材線虫病抵抗性に及ぼす影響 九州森林研究 68：141－143，2015 一般にクロマツは光強度が低下した場合、材線虫病に対する感受性が高くなることが知られているが、遺伝的な抵抗性と光強度の関係は十分検討されていない。そこで本研究は遺伝的に抵抗性が異なる2年生クロマツ苗（抵抗性家系及び精英樹家系）に遮光程度が異なる寒冷紗を設置してマツノザイセンチュウを接種した。その結果、どの光強度においても抵抗性家系は精英樹家系より枯損しにくいことが示されたが、抵抗性家系であっても光強度の低下に伴い枯死率が上昇することが示された。

キーワード：クロマツ，抵抗性，マツノザイセンチュウ，育種，光強度

I. はじめに

クロマツ (*Pinus thunbergii*) は農地や市街地を守る防潮林、飛砂防備林、海岸防風林として利用される一方、海岸景観を構成する重要な樹種でもある。しかしながら、マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) (以下、線虫) によって引き起こされるマツ材線虫病により、壊滅的な被害を受け続けている (林野庁, 2014)。材線虫病への対策の一環として、林木育種センターは関係機関と協力してマツノザイセンチュウ抵抗性品種を開発してきた。1978年から行われた「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」等により、2014年までに全国で抵抗性クロマツ144クローンを選抜している (藤本ほか, 1989; 岡本ほか, 2006; 大平ほか2010等)。これらの抵抗性クローンは抵抗性採種園の構成母樹として利用され、この採種園から得られた種子をもとに生産された苗木が各地の海岸に植栽されている。

クロマツで海岸林を造成する場合、防風効果等を十分に発揮するために、高密度で植栽される場合が多い。この結果、高密度植栽地では個体あたりの光環境が十分ではない可能性が考えられる。これまでに、光強度が低い条件でマツの苗木に線虫を接種した場合、枯死率が上昇することが報告されている (Kaneko, 1989; Kaneko & Imagawa, 2000; 川口・玉泉, 2006)。従って、高密度植栽地では光環境が影響することで抵抗性を十分発揮できない可能性がある。しかし、これまでの実験は用いたグロースチャンバーの光強度が自然光に比べ低い条件であったり、自然光を用いている場合であっても、極端に強い被陰条件下で光強度の影響を調べている。加えて、供試されたマツの抵抗性との関連性まで踏み込んだ研究はなかった。本研究では遺伝的に抵抗性が異なるクロマツ材料 (抵抗性クロマツ家系及び精英樹家系苗木) に異なる光強度条件下でマツノザイセンチュウを接種して、マツの抵抗性に及ぼす光環境の影響を調べた。

II. 材料と方法

1) クロマツ

九州育種場内に設定されたモデル抵抗性採種園から田辺54および波方37の自然受粉した種子及び九州育種場内の精英樹保存園および大分県湯布院に設定した精英樹保存園より南高来102および南松浦111の自然受粉した種子をそれぞれ採取した。これらの種子を2012年3月に苗畑に播きつけ、2013年3月に床替えして実験に用いた。

2) 被陰処理

2013年7月17日に遮光程度の異なる5種類の寒冷紗 (ワイドスクリーンBK12, BK12 (2重), #1204, #1205, #1208) を設置して、寒冷紗を設置しない自然光の処理区を含めて光強度が異なる6つの処理区 (100 (自然光), 85, 70, 60, 50, 35%) を設定した (表-1)。寒冷紗は調査が終了するまで設置していた。各処理区に各家系の12-20本 (平均14.3本) の苗木を割り当て、そのうち2-4本 (平均3.6本) を線虫接種しない対照苗とした。

表-1. 実験に用いた材料の詳細

家系	抵抗性	接種本数						合計
		光強度 (%)						
		100	85	70	60	50	35	
波方37	5	15	15	16	13	14	15	88
田辺54	2	10	12	14	12	12	11	71
南高来102	精英樹	16	15	15	14	16	15	91
南松浦111	精英樹	16	16	15	16	16	14	93
合計		57	58	60	55	58	55	343

3) 線虫

直径9cmのペトリ皿内に増殖させた *Botrytis cinerea* 上で線虫アイソレート「島原」を2週間培養した。この線虫をバールマン

^{*1} Matsunaga, K., Chigira, O., Fukatsu, E., Kurahara, Y., Kuramoto, N.: The effect of light intensity on resistant performance for *Pinus thunbergii* using two-year-old open pollinated families.

^{*2} 森林総合研究所林木育種センター九州育種場 Kyushu Regional Breed. Office, Forest Tree Breed. Ctr, For. & Forest Prod. Res. Inst., Koshi, Kumamoto 861-1102 Japan.

法で培地から分離し、1mlあたり10万頭に調整して接種に用いた。

4) 接種・調査

2013年の7月末すべての苗木の高さを測竿を用いて測定した。同年8月2日に各苗の地際に線虫懸濁液50μl(5,000頭)を剥皮接種法で接種した。接種後原則として2週間ごとに12週まで接種苗の外部病徴を目視で調査した。全針葉が変色した個体を枯死と判断した。調査期間を通じて線虫を接種しなかった対照苗は枯死しなかった。

5) 解析

苗木の枯死の有無を従属変数、家系、光強度、苗高、およびそれらの交互作用を説明変数としてCox回帰分析を行った。解析にはR3.0.1(R Development Core Team, 2013)のSurvivalパッケージのcoxph関数を用いた。各説明変数を組み合わせたモデルの中で最もAICが小さくなった組合せを最適なモデルとして、各変数の回帰係数を求めた。また抵抗性家系と精英樹家系のそれぞれについて、光強度と接種12週後の枯死率の相関係数(Spearmanの順位相関)を求めた。

Ⅲ. 結果と考察

線虫接種4週以降、枯死苗が発生し、最終的に全体の80%の苗木が枯損した。光強度が100, 85, 70, 60, 50, 35%と低下するに従い、抵抗性家系の接種12週後の平均枯損率は60, 67, 77, 68, 77, 88%と次第に増加する傾向にあった(図-1)。一方、精英樹家系は全体的に枯死率が高いためか(南高来102:86%, 南松浦111:88%), 光強度と枯死率の間に抵抗性家系ほどの明瞭な関係は見られなかった。

Cox回帰によるモデル選択の結果、家系、光強度、苗高を説明変数としたモデルが最適なモデルとして選択された(表-2)。説明変数間の交互作用が最適なモデルに含まれなかったため、光強度及び苗高の影響は家系ごとに異なるというよりはすべての家系に同様に影響していると考えられた。

最適なモデルによってCox回帰分析を行った結果(表-3)、最も枯死率の高かった精英樹南松浦111を対照とした場合、抵抗性家系の波方37と田辺54のハザード比は0.39(0.22-0.56

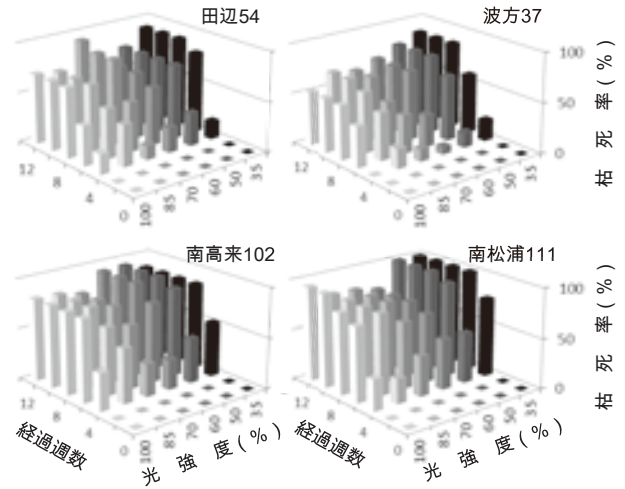


図-1. 各光強度において線虫接種したクロマツ家系の枯死率の時間変化

表-2. モデル選択の結果

家系(F)	説明変数の組合せ					AIC
	光強度(L)	苗高(H)	(F)×(L)	(F)×(H)	(L)×(H)	
○	○	○				2814
○		○				2817
○	○	○		○		2819
○	○	○			○	2819
○		○		○		2821
○	○	○		○	○	2823

(95%信頼区間))と0.43(0.25-0.61)となり、1より有意に小さかった。この結果は抵抗性家系は様々な光強度下において、精英樹家系より枯死率が低いことを示唆する。

また、光強度について、100%を対照とした場合、50%と35%のハザード比は1.67(1.45-1.87)と1.72(1.51-1.93)となり、1より有意に大きかった。また、抵抗性家系における光強度と接種12週後の枯死率の間の順位相関係数は-0.83(n=6, P=0.06)となり、精英樹家系の相関係数は-0.54(n=6, P=0.30)であっ

表-3. Cox回帰分析の結果

要因	抵抗性	β	ハザード比	95% 信頼区間		P 値	
				上限	下限		
家系	波方37	5	-0.94	0.39	0.56	0.22	<0.001
	田辺54	2	-0.84	0.43	0.61	0.25	<0.001
	南高来102	精英樹	-0.14	0.87	1.03	0.71	n.s.
	南松浦111	精英樹	対照				
光強度	100	対照					
	85	0.12	1.13	1.34	0.91	n.s.	
	70	0.06	1.06	1.27	0.85	n.s.	
	60	0.05	1.05	1.26	0.83	n.s.	
	50	0.51	1.67	1.87	1.45	<0.05	
	35	0.54	1.72	1.93	1.51	<0.05	
苗高		-0.12	0.89	0.90	0.87	<0.001	

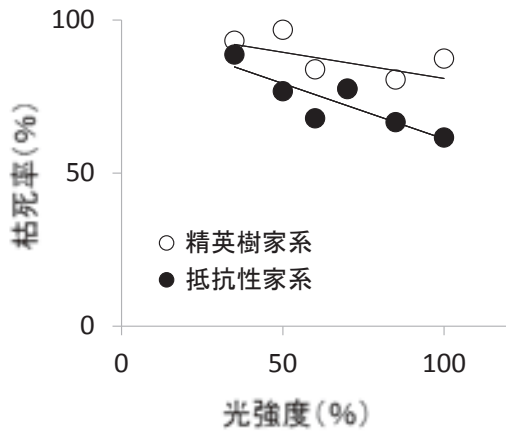


図-2. 光強度と線虫接種したクロマツ苗の枯死率の関係

た(図-2)。これらの結果は光強度が低くなるほどクロマツは材線虫の感染に対して枯損しやすい傾向があることを示唆し、特に光強度が50%以下では統計的に有意に枯死率が増加することが示された。先行研究は自然光の30%に被陰した条件で苗木の枯損率が増加することを示しているが(川口・玉泉, 2006)、本研究はより軽度の被陰によっても枯死率が増加することを示した。精英樹家系の相関係数の絶対値が抵抗性家系に比べて小さかったのは、全体的な枯死率が高く、光強度間の差が十分に現れなかったためかもしれない。

また、Cox回帰における苗高のハザード比は0.89(0.87-0.90)であった。これは苗木が1cm高くなると0.89倍枯れやすくなる、つまり、苗木が大きいほど枯れにくいことを示唆する。

サイズの大きな個体が枯損しにくい明確な理由は不明であるが、苗木の高さは、各個体の持つ遺伝的要因と各個体が経験してきた環境要因によって決まると考えられる。苗畑の環境は比較的均一であると考えられるため、苗高が大きい苗は播種から接種前までの期間に光合成あるいは光合成産物を同化して成長する過程が、小さい苗より効率的であったと考えられる。そのような光合成等について効率のよい個体が材線虫病に対して枯損しにくいのかかもしれない。また、苗高の大きな苗はそれに伴い根系が発達していると考えられる。一般に水分ストレスが高まると材線虫病への感受性が高まることが知られており(Suzuki & Kiyohara, 1978)。

苗高の大きい苗は同様な環境条件下であっても小さな苗より水分ストレスを受けにくかった可能性がある。また、サイズが大きい苗では線虫の移動や線虫の感染によって引き起こされる様々な病理反応が全身に広がるまでに時間を要するため、結果的に枯損が生じにくいという可能性も考えられるだろう。

IV. おわりに

本研究によって、光強度が段階的に低下した場合に、クロマツの材線虫病抵抗性が段階的に低下することが示された。この傾向は抵抗性家系において顕著に表れたが、精英樹家系においても同様の傾向があった。また様々な光強度において、抵抗性家系は精英樹家系より枯損しにくいことが示された。本研究の結果は比較的軽度の被陰によっても、クロマツの遺伝的な抵抗性が十分発揮されない可能性を示唆する。このような知見はクロマツ海岸林における苗木の植栽箇所や、管理手法を検討する上で有用となるであろう。

引用文献

- 藤本吉幸ほか(1989) 林育研報 7:1-84.
 Kaneko S (1989) Can. J. Bot. 67: 1861-1864.
 Kaneko S and Imagawa H (2000) Proc. 3rd Regional Workshop of IUFRO 7.03.08, Forest Protection in Northeast Asia. 135-145.
 川口エリ子・玉泉幸一郎(2006) 日林試 88: 342-347.
 岡村政則ほか(2006) 林育研報 22: 35-50.
 大平峰子ほか(2010) 平成22年度版 林育七年報: 57-64.
 R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
 林野庁(2014) 平成26年度版森林・林業白書, 300 pp. 全国林業改良普及協会, 東京.
 Suzuki K and Kiyohara T (1978) Eur. J. For. Pathol 8: 97-107. (2014年11月20日受付; 2015年2月3日受理)