

広葉樹に対するエゾシカ忌避剤の効果的な適用時期の検証

雲野 明¹・明石信廣¹・対馬俊之¹・中田圭亮¹・長田雅裕²・森 浩信²

Verification of effective timing of repellent application to browsing by sika deer on hardwood seedlings

Akira UNNO¹, Nobuhiro AKASHI¹, Toshiyuki TSUSHIMA¹, Keisuke NAKATA¹,
Masahiro OSADA² and Hironobu MORI²

要 旨

樹種ごとの枝の伸長フェノロジーと食害発生時期に合わせた散布適期を明らかにし、広葉樹にエゾシカ忌避剤を効果的に適用するため、北海道標津町の広葉樹植栽地において2011年に異なる時期に忌避剤を散布する試験を行った。本研究はその結果から作成した忌避剤散布スケジュールに合わせて2012年にヤチダモ、ハルニレ、ミズナラに忌避剤散布を行い、効果を検証した。その結果、どの樹種においても生育期間の樹高成長に対する忌避剤の効果はわずかであり、はっきりとは認められなかった。その理由として、2011年と比較し2012年は食害が激しく発生したためと推測された。ハルニレは2回目の下刈り時期である7月末に樹高が最大となったが、その後激しく食害されたため、10月には樹高を低下させた。しかし、2回目の下刈り直後に散布した忌避剤の樹高成長への効果は認められた。よって、忌避剤を2回散布する場合、ハルニレは大きく成長した枝を守るため、6月と7月下旬～8月上旬にかけての2回の下刈り時期に合わせて忌避剤を散布するのがよいと示唆された。ヤチダモでは直前の6月末に散布した忌避剤に明らかな忌避効果が認められたため、1回目の伸びがほぼ止る6月の下刈り時期と、もう1回は植栽直後（5月）を基本とするが、地域の食害時期に合わせて2回目下刈り時期とすることも考えられる。なお、食害時期が不明な場合は植栽直後を提案する。ミズナラは苗木の枯れ下がり等により、2回目下刈り時期の検証試験しか行うことができなかったが、2011年の結果を含めて考慮すると、植栽時期の5月と2回目下刈り前後の7月下旬～8月上旬に散布するのがよいと示唆された。なお、シカの採食圧が非常に強い地域では、3樹種とも大きく伸びると食害を受けやすくなるため、3回の忌避剤散布でも食害を受けない高さまで生育するのは難しいと推測された。

キーワード：エゾシカ、食害、広葉樹、忌避剤、散布時期

はじめに

北海道では、エゾシカ (*Cervus nippon yesoensis* Heude) の個体数増加や分布拡大に伴い各地で森林被害が顕在化している(明石・南野 2008, 明石 2009a, 南野 2011)。なかでも、広葉樹人工林は針葉樹よりも被害を受けやすく(明石 2009b)、その対策が課題となっている。エゾシカによる幼齢植栽木の食害を防除する主な手段として、柵やシェルターなどの防除資材や忌避剤による防除がある。柵やシェルターは効果が期待

できるが比較的成本が高く、積雪の多い場所や森林内ではたびたび破損が生じるためメンテナンスが必要で、最終的には撤去しなければならない。忌避剤はコストが低く、メンテナンスや撤去も不要な点で優れている。

これまで忌避剤はカラマツ (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr) で使われることが多く、カラマツは食害を受けても新たな枝が伸長するため、新たに伸びた枝を保護するように適切な時期に複数回散布する必要があることが報告されている(Akashi 2006)。一方、広葉樹では幼齢林において、春から秋

*1 北海道立総合研究機構林業試験場

Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai, Hokkaido 079-0198

*2 標津町役場農林水産課

Agriculture, Forestry and Fishery Division, Shibetsu Town Office, Shibetsu, Hokkaido 086-0162

[北海道林業試験場研究報告 第52号2015年3月 Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 52, March, 2015]

にかけて新しく伸びた枝先が食べられるため、カラマツ同様これらの枝を忌避剤で保護する必要がある。しかし、枝の伸長様式や二次伸長は樹種によりさまざまであるため（菊沢・斉藤 1978, 菊沢 1986）、防除効果を高めるためには、伸長様式に合わせて忌避剤を散布する必要がある（明石ら2012b）。

明石ら（2012b）は、2011年に4樹種の広葉樹を使ってさまざまな時期に忌避剤を散布し、忌避剤の効果、枝の伸長フェノロジー、食害発生時期に関する調査を北海道標津町で行った。その結果、2回の忌避剤散布を標準とした場合、ハルニレ (*Ulmus davidiana* Planch. var. *japonica* (Rehder) Nakai) は6月（1回目下刈り前後）と7月下旬～8月上旬（2回目下刈り前後）、ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) は植栽直後と6月下旬、ミズナラ (*Quercus crispula* Blume) は植栽直後と7月下旬～8月上旬（2回目下刈り前後）とする案が作成された。本研究では、明石ら（2012b）が提案した忌避剤散布法の有効性を検証するため、2012年にハルニレとヤチダモの2種について同じ試験地を利用し、上記の忌避剤散布スケジュールで散布を行い、樹高成長とエゾシカ食害の発生状況を調査した。また、ミズナラについては、2012年に隣接地に植栽された苗木を用いて2回目下刈り前後に関する補足試験を行った。

方法

試験地の設定

試験は明石ら（2012b）と同じ、北海道東部、標津郡標津町の標津川に近接する広葉樹植栽地で実施した。1971年から2007年まで放牧地として利用された後、放棄され、現在はクサヨシ (*Phalaris arundinacea* L.) などイネ科草本が優占する。2011年春、ここに河畔林造成のため、広葉樹4樹種（ミズナラ、ヤチダモ、カツラ (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.),

ハルニレ) が植栽された。このうち、枯死木や枯下がりの少ないヤチダモとハルニレを今回の試験に利用した。

試験地は、2011年5月12～13日に、1.2haの区域のなかに、20×20mのブロックを24個（4列×6行）設定し、各行を反復として4樹種を1ブロックずつ、2×2mの間隔で100本を植栽した。なお、隣接するブロックが同一樹種にならないように樹種を配置した。このうち、両端の4ブロックずつを除外した4×4ブロックを試験地とした(図-1)。2011年5月17日に、各ブロックを2×2本ずつ、5×5個の処理区に区分し、ラテン方格法(石村 1992)にしたがってランダムに5通りの処理を配置した。2012年については、2011年の処理区に新しくラテン方格法に従ってランダムに5通りの処理区を配置した。2011年に行われた忌避剤散布試験のため、2012年に試験に利用した苗木には忌避剤が2011年に0～6回散布されている(明石ら2012b)。2012年の処理区は、2011年の処理

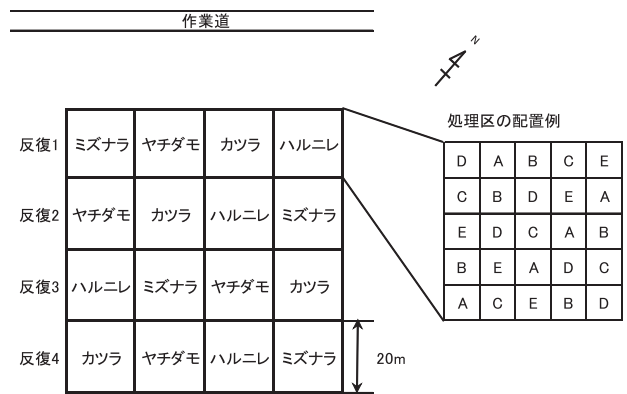


図-1 試験地の配置

A：散布なし， B：3回散布， C：2回散布， D：1回散布（優先順位が高い時期に散布）， E：1回散布（優先順位が低い時期に散布）

表-1 調査日及び各処理区の忌避剤散布スケジュール

調査日	5月9日	6月20日			7月31日	10月9日
忌避剤散布日	5月17日	6月22日			8月2日	
植栽樹種：ハルニレ						
処理区 A	×	×			×	×
B	○	○			○	×
C	×	○			○	×
D	×	○			×	×
E	×	×			○	×
植栽樹種：ヤチダモ			6月25日	7月24日		
処理区 A	×	×	下刈り	下刈り	×	×
B	○	○			○	×
C	○	○			×	×
D	×	○			×	×
E	○	×			×	×

○：忌避剤散布， ×：忌避剤散布なし

に偏りが生じないように配置した。A区は無散布区、B区は3回散布区とし、明石ら(2012b)が提案したスケジュール案に合わせた2回散布をC区、スケジュール案の2回散布のうち、散布効果が高い時期に1回散布した処理区をD区、優先順位の低い時期に1回散布した処理区をE区とした。下刈りは6月25日及び7月24日に実施した(表-1)。

樹高測定と食害調査

樹高測定と食害調査は、5月9~10日、6月20~21日、7月31日~8月1日、10月9~10日の4回行った。以下の本文及び図表中では、調査日を調査初日で表すこととする(表-1)。食害は苗木の頂部にエゾシカの食痕がある場合とし、すべての植栽木について、苗木の根元から最も先端に生存している葉の基部までの長さを樹高(cm)とした。食痕にはマーカーで色を付け、次回以降の調査で識別できるようにした。なお、本研究ではシカの影響を評価することが目的なので、前回調査時からシカ以外の原因により樹高が半分以下になるような枯れ下がりや誤伐を受けたものは、解析には含めなかった。

5月9日の調査時には、ハルニレは苗木の下の方の芽から芽吹きが始まったばかりで、2011年秋遅くに伸びたと思われる細い枝先の生死は不明であった。また、ヤチダモは芽吹き前であったため、5月9日または6月20日に測定したもっとも高い伸び始めの位置を2012年の伸び始めの樹高とした。

ヤチダモにおいて6月20日の調査時、遅霜によると思われる芽の枯れや褐色化が観察されたが、近隣のアメダスデータや芽の様子から数日前まで芽は生きていたと推測されるので、遅霜による被害についてはすべて生きているものとして、食痕や樹高を測定した。7月31日の調査時には、遅霜の影響は目視では観察できなかった。

忌避剤の散布

広葉樹に適用できるニホンジカ忌避剤として、2種が市販されている。このうち1種は、落葉広葉樹の生育期に使用すると薬害を生ずる恐れがあるため、ランテクター(有効成分の種類:全卵粉末)を使用した。粉末の薬剤に現地で水を加えて規定量で希釈し、手動の噴霧器で苗木の上部全体におおむね忌避剤が付着するよう散布した。

秋に散布した忌避剤の翌年春までの有効性を調べるため、2011年の5処理のうち、B区とD区に忌避剤の散布を行った(2011年10月13日散布)。2012年は各処理区において5月17日、6月22日、8月2日に表-1のスケジュールで忌避剤の散布を行った。他の施業と組み合わせて効率的に忌避剤散布を行うため、5月は植栽時期、6月は下刈り1回目、8月は下刈り2回目の時期を想定し、散布時期を決定した。散布は晴天または曇天時に実施し、薬剤が乾燥するまで降雨が無いよう注意した。

解析

解析は樹種ごとに行い、(1)期間ごとの食害の有無に対する忌避剤の効果を検討するため、ある調査日に記録された食害の有無を応答変数とし、前回調査時の樹高、前回調査までの食害の有無、各忌避剤散布時における散布の有無を説明変数、反復と昨年の忌避剤の効果をランダム効果、誤差を二項分布、リンク関数をロジット変換とする一般化線形混合モデルによる分析を行った。(2)各処理区間で2012年の生育期間の樹高成長を比較するため、2012年の伸び始めの高さから10月9日までの樹高成長を応答変数とし、2012年の伸び始めの高さ及び処理区を説明変数、反復と昨年の忌避剤の効果(2011年の忌避剤処理区)をランダム効果とする線形混合モデルによる分析を行った。(3)期間ごとの樹高成長に対する忌避剤の効果を検討するため、ある期間における樹高成長を応答変数とし、前回調査時の樹高、前回調査までの食害の有無、各忌避剤散布時における散布の有無を説明変数、反復と昨年の忌避剤の効果をランダム効果とする線形混合モデルによる分析を行った。

一般化線形混合モデルと線形混合モデルによる分析の結果については、AICが最小となるモデルからそのモデルとAICの差(ΔAIC)が2を越えるモデルまで候補モデルとして列挙した。解析には、R version 2.15.2 (R Development Core

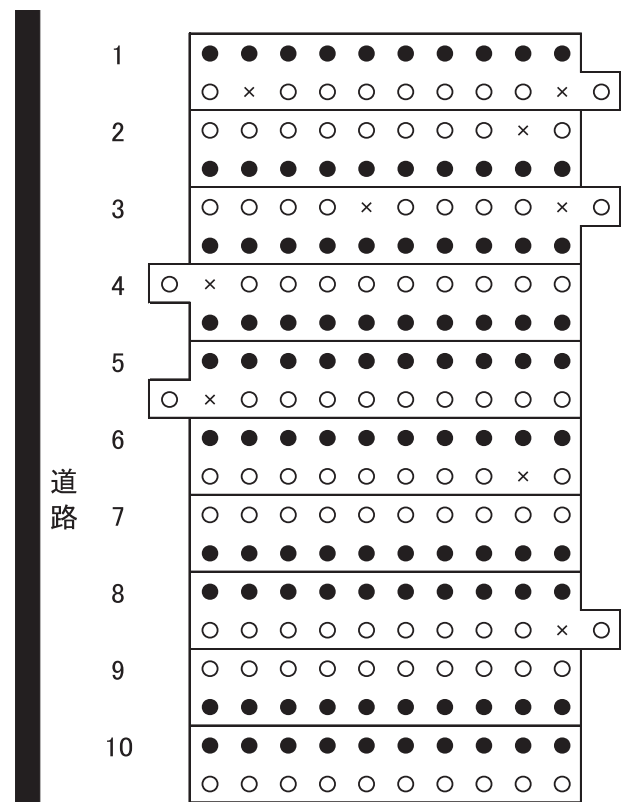


図-2 ミズナラ補足試験の試験地
記号は苗木を表す。○:忌避剤散布なし、●:忌避剤散布、×:調査開始時(8月1日)に枯れていたのを除外。左側の数字は反復番号。

Team, 2012) 及びRのパッケージlme4 (一般化線形混合モデル, Bates *et al.* 2012), nlme (線形混合モデル, Pinheiro *et al.* 2012) を用いた。

ミズナラ補足試験

2011年春に設定した試験地のミズナラの多くが、2012年春に上部の枯死により大きく枯れ下がったため、忌避剤試験地から直線距離で約400m離れた場所で補足試験を行った(2012年5月17日植栽)。6月2日にその中のミズナラ10本×20行の200本を選び、2行を1反復としてランダムに忌避剤散布区と散布なし区を設置した(図-2)。8月1日と10月11日に食害と樹高を調査し、8月2日に忌避剤散布区に忌避剤を散布した。なお、端にある調査木が枯れていた場合には、調査木をその外側の植栽木に振り替え、調査や分析を行った。

結果

食害発生パターンの推移

冬期間の忌避剤散布効果を調べるため、2011年10月に2つの処理区に忌避剤を散布したが、2012年5月9日の調査時に食害が生じていたのは、無散布区も含めハルニレ1本、ミズナラ1本、ヤチダモ3本と非常に少なく、効果の判定はできなかった。

忌避剤を散布しなかったA区をみると、6月20日には食害が少し発生し、7月31日や10月9日には激しく食害を受けた。特にハルニレは10月9日までにすべての苗木が食害を受けた(図-3上)。調査間隔が少し異なるが、忌避剤を散布していない処理区での食害率を2011年の同試験地での結果(図-3下)と比較すると、例えば、2011年8月16日~10月12日まで

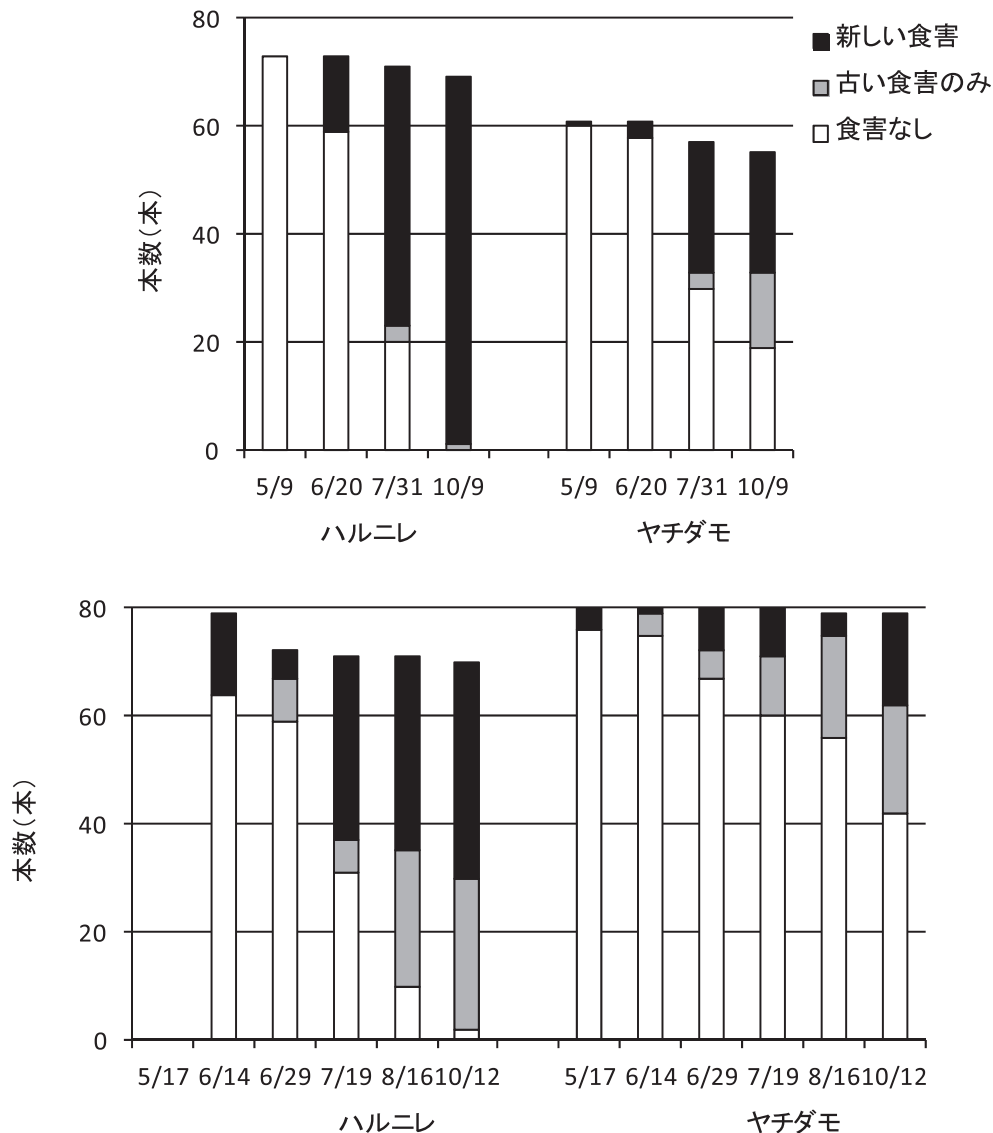


図-3 忌避剤を散布していないA区における食害本数の推移

上：2012年の調査，下：2011年調査（明石ら2011bを改変）2011年5月17日のハルニレはデータなし。調査本数が減少したのは枯死木や誤伐された木を除外したことによる。

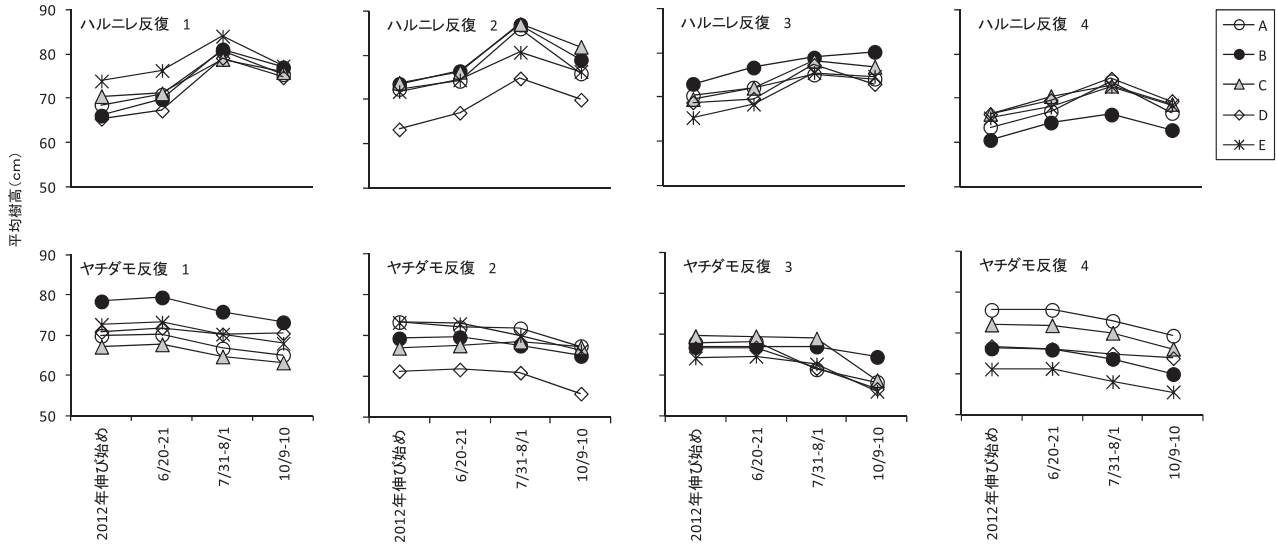


図-4 生残していた苗木の平均樹高の推移
A~Eは表-1に示した処理区。

のハルニレの新しい食害率は58.6%に対し2012年7月31日～10月6日は98.6%，2011年8月16日～10月12日までのヤチダモの食害率は21.5%に対し，2012年7月31日～10月6日は40.0%であり，2012年の方が被害は多く発生した。

樹高成長の季節パターン

図-4に10月9日まで生残した苗木の平均樹高の推移を示した。ハルニレは，6月20日までの樹高成長は少なく，その後食害を受けながらも7月31日までは樹高を伸ばした。10月の調査時まで枝を出し続け伸長していたが，食害により10月9日には樹高が低下した。10月9日の樹高は2012年伸び始めの樹高より全体で5cm程度高くなった。

表-2 ハルニレにおける食害の有無を応答変数とする一般化線形混合モデルの結果

調査日	説明変数				ΔAIC
前回調査時の樹高	前回調査時までの食害有無	5月17日忌避剤散布の有無	6月22日忌避剤散布の有無		
6月20日 ¹⁾					
+	*	-		0	
+	(-)	-		1.5	
*	*	-		3.5	
7月31日					
+	*	*	(+)	0	
+	*	*	*	1.7	
+	(+)	*	+	1.9	
+	*	(+)	(+)	1.9	
+	*	(+)	*	2.7	

+は食害増加，-は減少する効果があったことを示す。括弧はP>0.05であった係数。*は選択されなかった変数。

¹⁾ 前回の調査時は芽吹き前の木が多かったため，伸び始めの高さを前回調査時の樹高とした。

ヤチダモの樹高成長は非常に小さく，6月20日の樹高は2012年の伸び始めの位置とほぼ同じまたは数cm高くなる程度でその後食害が増えたため樹高は低下していった。10月9

表-3 ヤチダモにおける食害の有無を応答変数とする一般化線形混合モデルの結果

調査日	説明変数					ΔAIC
前回調査時の樹高	前回調査時までの食害有無	5月17日忌避剤散布の有無	6月22日忌避剤散布の有無	8月2日忌避剤散布の有無		
6月20日 ¹⁾						
*	(+)	*			0	
*	*	*			0.2	
(+)	*	*			0.3	
(+)	(+)	*			0.4	
*	(+)	(-)			1.8	
*	*	(-)			2.0	
(+)	*	(-)			2.0	
(+)	(+)	(-)			2.1	
7月31日						
+	*	*	-		0	
+	*	(-)	-		1.7	
+	(-)	*	-		1.8	
+	(-)	(-)	-		3.4	
10月9日						
+	*	*	*	(-)	0	
+	*	*	*	*	0.8	
+	*	*	(-)	*	1.1	
+	(-)	*	*	(-)	1.2	
+	*	*	(-)	(-)	1.6	
+	*	(+)	*	(-)	1.7	
+	(-)	*	(-)	*	2.1	

+は食害増加，-は減少する効果があったことを示す。括弧はP>0.05であった係数。*は選択されなかった変数。

¹⁾ 前回の調査時は芽吹き前の木が多かったため，伸び始めの高さを前回調査時の樹高とした。

日の樹高は2012年の伸び始めの位置より全体で6 cm程度低下した。また、7月31日の調査時で当年の伸長はほぼ終了したが、一部の苗木で10月までにもう一度、枝を伸ばしたものがあつた。

忌避剤の効果

食害の有無に関し、ハルニレは5月17日、ヤチダモは6月22日の忌避剤の効果が次回の調査時にあきらかに認められた(表-2, 3)。その他の時期ではハルニレの6月22日の散布を除いては、候補モデルに忌避剤の有無が取り込まれた場合の説明変数の値は常に負となり、弱い効果ながら忌避剤は常に食害を低下させるように作用していた。なお、10月9日の調査では、ハルニレは調査木352本のうち343本で食害が発生していたため、モデルが収束せず分析はできなかった。

各処理区間で生育期間の樹高成長を比較した結果、ハルニレ、ヤチダモともに、処理区間で樹高成長に大きな違いは得られなかった(表-4)。ただし、すべての変数を入れたフルモデルでは、ヤチダモのE区を除いてすべての処理区の係数はプラスの値を示し、忌避剤の効果がまったくなかったわけではなかった。10月9日までの成長量は、忌避剤を散布しなかったA区が両樹種ともに最も平均値が小さく、忌避剤を3回散布したB区で最も高かったがその差はわずかであった(図-5)。

各調査期間における樹高成長に関する忌避剤の効果は、ハルニレは、5月17日と8月2日の忌避剤の効果が次回の調査時に明らかに認められた(表-5)。ヤチダモでは忌避剤の効果がほとんど認められなかったが、候補モデルで直前の忌避剤散布の有無が取り込まれた場合の説明変数の係数は正となり、弱いながら樹高成長を増加させる効果を示した(表-6)。

表-4 10月9日までの樹高成長を応答変数とする線形混合モデルの結果

樹種	説明変数				ΔAIC
	処理区				
2012年の 伸び始め の高さ	B	C	D	E	
ハルニレ					
-0.27	*	*	*	*	0
-0.28	(1.89)	(1.88)	(0.66)	(0.78)	4.6
ヤチダモ					
-0.11	*	*	*	*	0
-0.11	(2.05)	(1.36)	(1.42)	(-0.02)	6.4

正の係数は樹高増加、負の係数は低下する効果があつたことを示す。処理区の係数はA区との差を示す。括弧はP>0.05であつた係数。*は選択されなかつた変数。

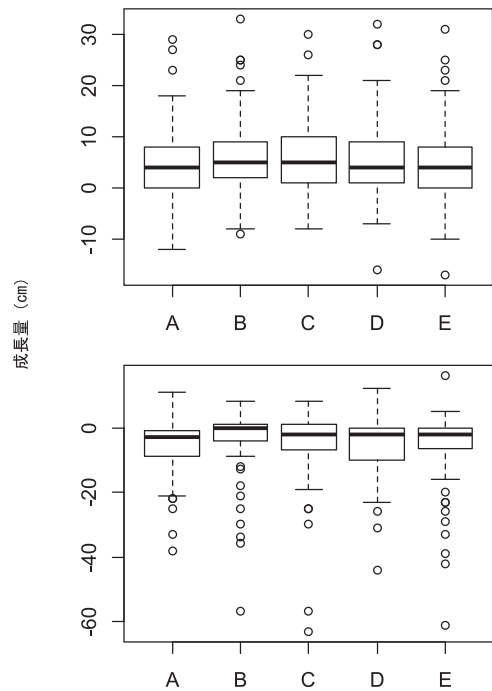


図-5 各処理区の2012年伸び始めの位置から10月9日までの成長量

上：ハルニレ、下：ヤチダモ。箱の中の線は中央値、箱は中央値の上下25%が含まれる範囲、上下に延びる「ひげ」の長さは、箱の長さの1.5倍以内にある最大値または最小値。○は大きく外れている値を示す。

表-5 ハルニレにおける樹高成長を応答変数とする線形混合モデルの結果

調査日	説明変数					ΔAIC
	前回調査 時の樹高	前回調査 時までの 食害有無	5月17日 忌避剤散 布の有無	6月22日 忌避剤散 布の有無	8月2日 忌避剤散 布の有無	
6月20日 ¹⁾						
-	*	+				0
-	(-)	+				1.9
-	*	*				6.8
7月31日						
-	*	*	*			0
-	(+)	*	*			1.3
-	*	(-)	*			1.7
-	*	*	(-)			2.1
10月9日						
-	(+)	*	*	+		0
-	(+)	*	(+)	+		1.1
-	*	*	*	+		1.1
-	*	*	(+)	+		1.9
-	(+)	(+)	*	+		2.0

+は樹高増加、-は低下する効果があつたことを示す。括弧はP>0.05であつた係数。*は選択されなかつた変数。

¹⁾ 前回の調査時は芽吹き前の木が多かつたため、伸び始めの高さを前回調査時の樹高とした。

表-6 ヤチダモにおける樹高成長を応答変数とする線形混合モデルの結果

調査日	説明変数				ΔAIC
	前回調査時の樹高	前回調査時までの食害の有無	5月17日忌避剤散布の有無	6月22日忌避剤散布の有無	
6月20日 ¹⁾					
(-)	-	*			0
(-)	-	(+)			1.1
*	-	*			1.7
*	-	(+)			2.8
7月31日					
-	*	*	*		0
-	(+)	*	*		0.3
-	*	*	(+)		0.9
-	(+)	*	(+)		1.4
-	*	(+)	*		1.8
-	(+)	(+)	*		2.1
10月9日					
-	*	*	*	*	0
(-)	(-)	*	*	*	0.3
-	*	*	*	(+)	1.6
-	*	(-)	*	*	1.7
*	(-)	*	*	*	1.8
(-)	(-)	(-)	*	*	1.8
(-)	(-)	*	*	(+)	2.0
-	*	*	(+)	*	2.0

+は樹高増加，-は低下する効果があったことを示す。括弧はP>0.05であった係数。*は選択されなかった変数。

¹⁾ 前回の調査時は芽吹き前の木が多かったため、伸び始めの高さを前回調査時の樹高とした。

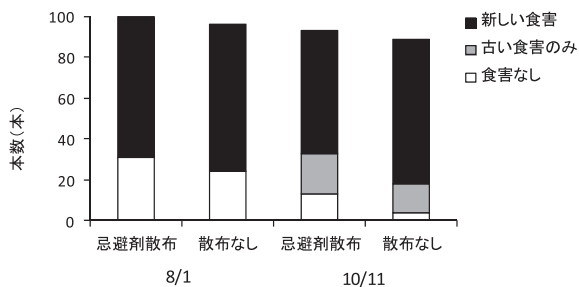


図-6 ミズナラの新しい食害木本数の推移

調査本数が減少したのは枯死木等を除外したことによる。

ミズナラ補足試験

8月1日の樹高測定時点で、最初に選んだ200本のうち、枯損を除外した196本が調査対象となった。植栽から8月1日までの全体の食害率は71.9%であった(図-6)。10月11日には、さらに14本枯れて調査木は182本となった。8月1日以降に発生した食害率は69.7%であった。8月1日までに枯れた4本のうち、1本は下刈りによる誤伐で、3本は不明であった。さらに10月までに枯れた14本のうち9本は8月1日までにシカによる食害を受けていた。どの苗木も2012年に開葉した葉

表-7 ミズナラの8月1日から10月11日までの食害の有無を応答変数とする一般化線形混合モデルの結果

説明変数			ΔAIC
8月1日の樹高	8月1日の食害の有無	忌避剤散布の有無	
+	*	-	0
+	(+)	-	0.9
+	*	*	4.4

+は食害増加，-は減少する効果があったことを示す。括弧はP>0.05であった係数。*は選択されなかった変数。

表-8 ミズナラの8月1日から10月11日までの樹高成長を応答変数とする線形混合モデルの結果

説明変数			ΔAIC
8月1日の樹高	8月1日の食害の有無	忌避剤散布の有無	
-	*	*	0
*	*	(+)	0.5
-	(-)	*	1.6
-	(-)	(+)	2.2

+は樹高増加，-は低下する効果があったことを示す。括弧はP>0.05であった係数。*は選択されなかった変数。

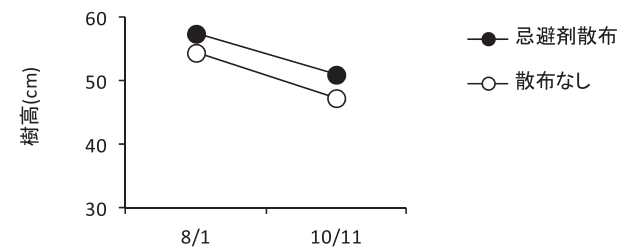


図-7 ミズナラの平均樹高の推移

の量は少なく、特に食害を受けた苗木の葉の量は少なかった。

10月11日の食害の有無を応答関数とする一般化線形混合モデルで分析した結果、8月1日に散布した忌避剤に明確な忌避効果が認められた(表-7)。8月1日から10月11日までの樹高成長を応答関数として線形混合モデルで分析した結果、忌避剤散布の効果は弱く(表-8)、忌避剤散布により平均樹高の低下率がわずかに下がった程度であった(図-7)。

考察

冬期間の忌避剤散布効果

当試験地での冬期間の食害が少なかった理由として、試験地が標津町市街に近い平坦部にあり周辺に針葉樹林は少なく越冬地として不適で、多くのシカが他地域に移動することが考えられる。ただし、2011年10月の忌避剤散布時や2012年5月の調査時には調査地周辺でシカを目撃しているの

で、シカがまったく生息していなかったということではない。近隣の釧路総合振興局管内ではカラマツやトドマツ (*Abies sachalinensis* (Fr.Schm.) Masters) の植栽後数年の幼齢木の被害は春から秋にかけて生じることが多いという報告 (外崎 1997) があり、本試験地が特殊な場所ということではない。忌避剤の秋から冬にかけての効果を明らかにするには、越冬地など確実に冬季に食害が発生する場所で、再調査する必要がある。

忌避剤の効果

明石ら (2012b) によって提案されたスケジュールに沿って忌避剤の散布を行ったが、忌避剤の効果は小さく、生育期間を通しての樹高成長に対して明らかな効果は認められなかった。2011年の調査 (明石ら2012b) では、生育期間を通しての樹高成長への忌避剤の効果が認められたが、2012年は期間ごとの忌避剤の効果が認められたにすぎなかった。その原因の1つとして、食害率が2012年の方が高いことが挙げられる (図-3)。これまでもシカの生息密度の高い地域では忌避剤を使用しても被害率の高い林分があったり (明石・寺澤 2006)、忌避剤を散布した苗木でもシカ道沿いでは食害の程度が激しく生じたりする事例 (池田 1996) が報告されており、忌避剤の効果は絶対的なものではない。ハイイヌガヤ (*Cephalotaxus harringtonia* var. *nana* (Nakai) Rehder) やハンゴンソウ (*Senecio cannabifolius* Less.) などの不嗜好植物が高密度シカ個体群下で食物条件が悪くなると採食されたり (Takahashi and Kaji 2001, 村田ら 2009)、無散布の被害木を試験区から取り除くと忌避剤散布木を食害し始めたりする事例 (和口 1999) からシカの餌選択が条件によって変化する事が推測される。

ハルニレに対する効果的な散布スケジュール

ハルニレは、エゾシカの嗜好性が高い樹種とされ (明石ら 2012a)、春から秋まで順次枝を伸ばして成長していく樹種である (明石ら2012b)。そのため、2011年の結果では忌避剤を散布するほど樹高成長がよい傾向が認められ、最終的な樹高成長を確保するため成長期の後半に忌避剤を散布するのが効果的と考えられた。そこで下刈り時期に合わせた2回散布が提案された (明石ら2012b)。樹高成長のパターンをみると、忌避剤の効果が認められる6月20日までの成長量は小さく、忌避剤の効果が認められなかったが7月31日には大きく成長した。その後シカに食害され、ほぼ成長の終わる10月9日にはほとんどの処理区や反復で樹高が低下していたが、この期間の樹高成長に対する忌避剤の効果は明らかであった。2012年は採食圧が強く生育期間の樹高成長を忌避剤では十分に確保できなかったが、効果的な忌避剤散布スケジュールとしては、大きく成長した枝を守るため、下刈り時期に合わせての2回散布が基本となるだろう。また、忌避剤の散布を1回とする場合は、散布効果が強く、樹高が高くなる2回目の下刈り時

期に合わせて散布するのが効果的である。

ヤチダモに対する効果的な散布スケジュール

ヤチダモは、2011年の結果では6月下旬まで枝を伸長させた後はほとんど樹高を成長させなかった (明石ら2012b)。2012年は遅霜などの影響を受け、一部で6月下旬以降も枝を伸長させた苗木があったが、ほとんど同じ樹高成長のパターンを示した。樹高成長のパターンと忌避剤散布の結果から、1回散布の場合は、忌避剤の効果が強く、樹高成長がほぼ終わる1回目の下刈りに合わせて忌避剤を散布するのが効果的である。2回散布を行う場合は、シカの食害時期に合わせて散布するのがよいだろう。当試験地では、2011年は植栽後すぐに食害が生じ、その後、急激に食害率が上がることはなかった。また、春に散布した忌避剤の効果が秋まで持続していたため、植栽時期の散布が推奨された (明石 2012b)。植栽後すぐ (5月) の食害は芽吹き前のため、頂芽のある幹ごとかじられてしまうので、芽の間隔が広いヤチダモはかなり枯れ下がってしまう。この現象は、2012年6月20日の樹高成長が、前回の調査時に食害があると、明らかに小さくなったことから推測される (表-6)。このような意味からも植栽直後の散布が効果的であった。しかし、2012年の結果では、1回目の下刈り以前には食害がほとんどなく、初夏から秋にかけて高くなり、2回目の下刈り以降に散布するのが効果的となった。以上から2回散布する場合は、1回目の下刈り前後にあたる6月下旬は必ず散布し、もう1回は地域の食害発生時期に合わせて春先か2回目の下刈り前後かを判断することが望ましい。食害発生時期がわからない場合はこれから伸びる頂芽を守るため、まずは春先に散布することを提案する。

ミズナラに対する効果的な散布スケジュール

明石ら (2012b) は、ミズナラの効果的な忌避剤散布スケジュールとして、植栽直後と2回目下刈り前後の2回を推奨した。1回散布であればミズナラは春に一斉に葉が開く一斉開葉型なので、植栽直後を推奨している。残念ながら、調査予定木の枯れ下がりにより本調査では植栽直後の散布はできなかった。補足調査で2回目下刈り前後に忌避剤を散布した結果、忌避剤の効果はある程度確認できた。2011年の樹高成長の結果では、ミズナラはハルニレと同じで2回目下刈り前後までに急速に樹高が成長し、その後、食害等により樹高を低下させていた。2012年も2回目下刈り以降は忌避剤散布の有無にかかわらず、樹高は低下していたが、忌避剤散布の適期としては、もっとも高くなった枝を守るという意味で、この時期の散布は有効である。

樹高が忌避剤の効果に及ぼす影響

多くの統計モデルで、前回の調査時の樹高や伸び始めの樹高が高いほど、明らかにシカに食害を受けやすく、樹高が低

下していた（表-2, 3, 5, 6, 7, 8）。すなわち、忌避剤の効果によって樹高が高くなると、食害を受ける可能性が高くなる可能性を示している。この理由として、樹高が高くなると草の上に苗木が出るのでシカに見つかりやすくなるのが考えられる。当試験地のハルニレやヤチダモは現状のシカの採食圧が続くのであれば、伸長して大きくなると食べられる、の繰り返しとなり、シカの食害を受けない高さまで成長することは3回の忌避剤散布だけでは難しいと思われる。2年間の調査結果が示すように、忌避剤の効果はシカの採食圧に影響を受けるので、シカの採食圧がかなり強いと思われる場所や食害を受けやすい樹種では、侵入防止柵やシェルタータイプなど物理的な防除方法も検討する必要がある。また、シカがあまり好まない樹種の植栽、さらにそのような樹種と忌避剤との組み合わせなどの対策も考えられる。

忌避剤散布スケジュール

忌避剤散布の効率化を考慮し、散布時期を下刈りや植栽時期に合わせて検討した結果を表-9に示す。ただし、2011年と2012年では食害率や食害発生時期に違いがあったように、シカの採食圧は一定ではないため、忌避剤を散布した場合においてもその効果をモニタリングし、シカの採食圧に対し柔軟に対応する必要がある。忌避剤の防除効果を高めるためには、食害発生時期やシカによる採食圧を事前に知ることが重要である。それには忌避剤散布予定地周辺での忌避剤使用事例、シカ密度や移動パターンなどの事前情報の収集が有用である。また、採食圧や食害時期を知るための指標植物の探索など新たな研究も必要だろう。

表-9 本研究の結果に基づく効果的な忌避剤散布スケジュール

樹種	忌避剤適用時期
ハルニレ	②6月（1回目下刈り前後） ①7月下旬～8月上旬（2回目下刈り前後）
ヤチダモ	①6月下旬（1回目下刈り前後） ②植栽直後（5月）、または 7月下旬～8月上旬（2回目下刈り前後） 食害時期に合わせて選択。不明な場合は植栽直後。
ミズナラ	①植栽直後（5月） ②7月下旬～8月上旬（2回目下刈り前後）

丸数字は優先順位

謝辞

本研究は、保土谷アグロテック株式会社から北海道立総合研究機構への受託研究として実施したものである。調査に当たって、藤八雅幸氏、法島直人氏、山本健治氏、津坂正勝氏、標津町役場の滝本清氏、岩崎百美子氏、保土谷アグロテック株式会社の石塚仁氏、原田靖之氏、大同商事株式会社橋本喜太郎氏にご協力いただいた。ここに記して感謝する。

引用文献

- Akashi, N. (2006) Height growth of young larch (*Larix kaempferi*) in relation to the frequency of deer browsing damage in Hokkaido, Japan. *J. For. Res.* 11: 153-156.
- 明石信廣 (2009a) エゾシカによる森林被害—エゾシカ保護管理計画策定以降の対策の歩みと今後の課題—。林業と薬剤 188: 1-8.
- 明石信廣 (2009b) 幼齢人工林におけるエゾシカ食害の発生状況とエゾシカ生息密度指標との関係。日林誌 91: 178-183.
- 明石信廣・寺澤和彦 (2006) 人工林のエゾシカ被害。梶光一・宮木雅美・宇野裕之 (編著) エゾシカの保全と管理。北海道大学出版会、札幌。pp.115-129.
- 明石信廣・南野一博 (2008) 空知地方におけるエゾシカの生息状況と森林への影響。光珠内季報 152: 10-13.
- 明石信廣・雲野明・秋本正信・寺澤和彦 (2012a) 広葉樹植栽地におけるエゾシカの樹種嗜好性と樹木の反応。森林防疫 61: 16-21.
- 明石信廣・雲野明・対馬俊之・鈴木春彦・長田雅裕・大野葵 (2012b) 広葉樹のエゾシカ食害に対する忌避剤の効果的な適用時期。北林試研報 49: 97-107.
- Bates, D., Maechler, M. and Bolker, B. (2012) lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4 classes. R package version 0.999999-0. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- 池田浩一 (1996) 福岡県におけるシカ被害の特徴と忌避剤による被害軽減の試み。林業と薬剤 137: 13-18.
- 石村貞夫 (1992) 分散分析のはなし。373pp. 東京図書株式会社、東京。
- 菊沢喜八郎 (1986) 北の国の雑木林 ツリー・ウォッチング入門。220pp. 蒼樹書房、東京。
- 菊沢喜八郎・斎藤新一郎 (1978) 広葉樹の二次伸長。北方林業 30: 241-244.
- 南野一博 (2011) 道南地域におけるエゾシカ人工林被害と天然林への影響。北方林業 63: 273-277.
- 村田育恵・井上幸子・矢部恒晶・壁村勇二・鍛冶清弘・久保田勝義・馬淵哲也・椎葉康喜・内海泰弘 (2009) 九州大学宮崎演習林におけるニホンジカ生息密度と下層植生の変遷。九大演報 90: 13-24.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. and the R Development Core Team (2012) nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-105.
- R Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Takahashi, H. and Kaji, K. (2001) Fallen leaves and unpalatable plants as alternative foods for sika deer under food limitation.

Ecological Research 16: 257-262.

外崎則夫 (1997) 釧路西部地区におけるエゾシカの食害傾向
と忌避剤の散布時間. 森林保護 260: 31-32.

和口美明 (1999) 草食動物に対する忌避剤効果判定の一方法.
森林防疫 48: 169-170.

Summary

Effective schedules of the application of repellent to minimizing browsing by sika deer (*Cervus nippon yesoensis*) on hard wood seedlings in relation to the shoot growth phenology were proposed (Akashi et al. 2012b). This study verified the schedules in the plantations of *Fraxinus mandschurica*, *Ulmus davidiana* var. *japonica*, and *Quercus crispula* in Shibetsu, Hokkaido. The effect of the repellent application in autumn was examined in the next spring. Five treatments (twice applications according to the schedules proposed by Akashi et al. (2012b), single application at high-priority time, single application at low-priority time, no repellent application, and three times applications) were configured. The effect of the repellent application in autumn was not clear because there was little browsing in winter. Browsing intensity on tree seedlings from spring to autumn in 2012 was extremely higher than in 2011, and the effect of the repellent application on tree growth was weak. *U. davidiana* was the highest tree height on July 31, and then decreased in height on October 9 by heavy browsing. However, the repellent application on August 2 was effective for enhancing height growth. Browsing on *F. mandschurica* was slight on June 20, and then it increased. The repellent application on July 31 was effective for browsing on *F. mandschurica*. Repellent application reduced browsing only immediately after application. From these results and the previous report (Akashi et al. 2012b), we recommend the following application schedules for applying a repellent twice annually: *U. davidiana*, in June and in late July/early August for protecting growing shoots; *F. mandschurica*, in late June when the growth of the current-year shoots is completed, and in May when just after planting or in late July/early August depending on the timing of regional heavy browsing.; and *Q. crispula*, in May and in late July/early August. Because all tree species are browsed more severely as the seedling height increase, repellent application three times annually may be insufficient to protect their shoots in the area where extremely heavy browsing occurs.

Key words

sika deer, browsing, hardwood species, repellent, application schedules