

カラマツ類の着花に及ぼす施肥の効果

今 博計*・成田あゆ*・石塚 航*・佐藤弘和*・来田和人*

Effects of Fertilizer Application on Flowering of Larch in Japan

Hirokazu KON*, Ayu NARITA*, Wataru ISHIZUKA*, Hirokazu SATO*, and Kazuhito KITA*

要旨

(1) グイマツとカラマツの雑種採種園で2015年から2018年にかけて施肥を行った。窒素の単肥区、窒素・リン酸・カリ(3:6:4)の混合肥料区、比較対照の通常施肥区の3処理を設けた。試験にはグイマツ精英樹(中標津5号)の107ラメットを用い、2019年まで雌花数を計測した。2017年から2019年の期間、窒素だけを与えた施肥は雌花数を減少させたが、窒素・リン酸・カリを混合した肥料では雌花数を増加させた。

(2) 小澤・松崎(1955)が施肥と針金のまきじめによる着花促進処理を行った16年生カラマツでの花芽の着生数を再分析した結果、窒素の施用は花芽の着生数を減少させる傾向があり、リン酸とカリの施用と針金のまきじめ処理には花芽の着生数を増加させる傾向が認められた。

キーワード：グイマツ，カラマツ，球果生産量，採種園，施肥管理

はじめに

カラマツ(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)は国内の造林用針葉樹の中でも優れた材質特性を持つ樹種であり、木材の乾燥・加工技術の向上にともなって、梱包材だけでなく、集成材・合板としての利用が増加している。このためカラマツ造林の意欲が高まりつつあり、カラマツの造林面積はスギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)に次ぐ全国第二位、面積割合は24.4%を占めている(林野庁2019)。しかし、全国的にカラマツの苗木が不足する状況にあり、種子の安定生産が求められている。また、全国のカラマツ造林量の80%を占める北海道では、採種園から生産されるカラマツ種子の割合が2~3%と低下しており、採種園産種子の確保が喫緊の課題となっている。

カラマツ類の花芽形成を促進する有効な方法としては、幹の樹皮を1~2cm程度の幅で環状に剥ぎ取る処理がある(百瀬1964, 浜谷・倉橋1970, 内山ら2007, Matsushita et al. 2020)。しかし、若齢の個体や樹勢の低下した個体に環状剥皮を行うと、衰弱して枯死にいたることがある。継続的に種子生産を行うためには、母樹を健全に育てながら着花を促進する処理

を行うことが必要であり、その方法としては樹体の栄養状態を改善する施肥が有効と考えられている(浅川1965)。

採種園での施肥については、林野庁(1964)が策定した「採種園の施肥要領」の中で母樹あたりの施用量が示されている。しかし、施肥の効果を検証した事例は少なく、国内ではアカマツ(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)採種園(三宅・沖部1967, 高山1967)とヒノキ(*Chamaecyparis obtuse* Sieb. et Zucc.)採種園(山手1976)での報告に限られている。一般に、施肥には花芽形成や結実に対してプラスの効果があるとされる。肥料の三要素(窒素, リン酸, カリ)の中では窒素が樹木の花芽形成・結実を促進するとの報告例が多く、ダグラスファー(*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) (Ebell and McMullan 1970, Ebell 1972), クロトウヒ(*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) (Smith 1987), ナンキョクブナ(*Nothofagus solandri* (Hook. f.) Oerst.) (Smaill et al. 2011), ブナ(*Fagus crenata* Blume) (Miyazaki et al. 2014), アカガシワ(*Quercus rubra* L.) (Bogdziewicz et al. 2017)など様々な樹種で知られている。海外のカラマツ類採種園でも窒素の施用が行われており、アメリカ合衆国アイダホ州のウエスタンラーチ(*L. occidentalis* Nutt.)採種園では、5月最終週から6月第一週の間に硝酸態

* 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

[北海道林業試験場研究報告 第59号 令和4年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 59, March, 2022]

窒素を55kg/ha散布している（田村・宮下2016）。しかし、同じアイダホ州のウエスタンラーチ天然林での施肥試験では、336kg/haのアンモニア態窒素の施用により球果の着生数が抑制されたこと（Graham et al. 1995）、16年生のカラマツ人工林で行った施肥試験では、アンモニア態窒素の施用によって花芽が減少し、リン酸とカリの施用によって花芽が増えたことも報告されている（小澤・松崎1955）。同様に、ヨーロッパトウヒ（*P. abies* (L.) Karst.）でもアンモニア態窒素が着花を抑制しカリが促進するとの報告がある（Kurm and Kiviste 2004）。このように着花におよぼす窒素の影響はまちまちであり、また、リン酸やカリの影響についても十分検討されていない。

本研究では、カラマツ類の着花に及ぼす窒素とリン酸とカリの効果を検証することを目的に、二つのアプローチにより取り組んだ。一つは、グイマツ雑種F₁採種園の種子親であるグイマツ（*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr. ex Kuzen, var. *japonica* (Maxim. ex Regel) Pilg.）を対象とした施肥試験であり、20年生の採種園において施肥と雌花数との関係を4年間にわたって調査した。もう一つは、カラマツで唯一報告例のある小澤・松崎（1955）が行った花芽着生におよぼす施肥試験の再解析である。60年以上前に行われた試験では28万個もの冬芽を対象に葉芽・花芽の分別を行うなど調査に多くの努力がかけられているものの、試験設計が複雑なこともあり、調査データが分析されてなく検証が不十分な結果に終わっている。本論では、この既往の報告例について改めて解析し、カラマツの花芽の着生数に及ぼす施肥の影響を評価した。

材料と方法

1. グイマツ雑種F₁採種園

施肥試験は北海道常呂郡訓子府町字駒里の道有採種園のNo. 1ブロック（面積2.88ha）とNo. 2ブロック（面積5.92ha）で行った（北緯43.749°、東経143.697°）。ブロックの間に作業道が通っているが、林分としては連続している。採種園は標高200mの平坦な台地上に位置する。土壌は黒ボク土であり、軽石流堆積物の上に火山灰が堆積している。試験地は1961年にカラマツ採種園として造成された。その後1996年にグイマツ雑種F₁採種園として再整備するため、南北方向に24m幅で伐採し、伐採帯の中央にグイマツ精英樹中標津5号が8m間隔で1列植栽された（黒丸ら2003）。列の長さは540mである。伐採帯は保残帯に挟まれる形で3列ある。カラマツが残る帯幅は32mで、2014年時点のカラマツの樹高は26~30m、胸高直径は50~60cm、本数密度は60~80本/haである。正確な時期と本数は不明であるが、グイマツは複数回にわたって補植が繰り返された。試験を開始した2015年時点でのグイマツの本数は102本、胸高直径は1~22cmである。また、光環境の改善により着花を促進することと効率良く安全に採種することを目的に、2006年と2009年に地上高4mの位置で断幹が行

われた。なお、このグイマツ1クローンをカラマツの中に列状に植栽した単一クローン母樹雑種採種園は、母樹となるクローン以外の他のグイマツが周囲にないため、雑種率が86%以上と高く、効率的に雑種種子を生産できる特徴を持っている（Moriguchi et al. 2008, 森口・来田2015）。

採種園の整備として、毎年グイマツの植栽列で下刈り、殺鼠剤散布、施肥を行っている。通常の施肥は5月上旬から6月下旬の間に行われ、林業用固形肥料まるやま3号（成分：窒素3%、リン酸6%、カリ4%）を1本あたり144g与えている。樹冠下に深さ20cmの穴を3箇所開け、1穴につき3粒（16g/粒）を埋めている。成分ごとの施用量は1本あたり窒素4.32g、リン酸8.64g、カリ5.76gである。

2. 施肥試験の設定

試験では2種類の肥料を使用した。まず、雌花の着生に及ぼす窒素の効果を検証するため、尿素（成分：窒素46%）を与える処理（尿素処理）を設けた。次に、リン酸とカリの効果も含めて検証するため、事業的に使用している林業用固形肥料まるやま3号を通常よりも多く与える処理（まるやま3号処理）を設けた。いずれの処理も通常の施肥に加えて行っている。試験では、事業的にまるやま3号を施用している処理を事業処理とした。処理数は計3つである。グイマツが植栽された3列を6区画に分け、各処理2区画ずつ設けた。供試数は尿素処理とまるやま3号処理がそれぞれ各30個体、事業処理が47個体である。施肥の方法は、樹冠の外周線上の地上投影部分に幅1mの輪状の範囲を設け、所定の量を地上部に散布した。なお、土壌へのすき込みや覆土等は行っていない。施用量は4方位の樹冠幅から輪状の面積を計算し、尿素を1m²あたり43.5g（窒素20g）、まるやま3号を1m²あたり83.3g（窒素2.5g、リン酸5.0g、カリ3.3g）とした。施肥日は2015年6月11日、2016年5月19日、2017年5月15日、2018年5月25日である。ただし、尿素処理とまるやま3号処理の各1区画では2016年と2018年は施肥を行っていない。

3. 調査と解析方法

採種園の土壌の化学性を把握するため、2019年9月26日に調査地のNo. 1ブロック（1地点）、No. 2ブロック（2地点）を含む6地点で土壌試料を採取した。土壌試料の採取はグイマツ母樹の細根が多く分布する深さ25~30cmの黒ボク土層で行い、1試料あたり生土500gを採取した。採取した土壌は実験室に持ち帰り風乾した。分析は一般社団法人日本土壌協会に依頼し、pH（ガラス電極法）、EC（電気伝導率計法）、アンモニア態窒素（インドフェノール法）、硝酸態窒素（アルカリ還元・ジアゾ色素法）、有効態リン酸（Murphy-Riley法）、交換性加里（炎光光度法）、交換性石灰（OCPC法）、交換性苦土（XB-1法）、リン酸吸収係数（バナドモリブデン酸法）、陽イオン交換容量（インドフェノール法）を測定した。

雌花（若い球果）の着生調査は、処理前の2012～2015年と処理後の2016～2019年の計8年間行った。調査は各年6月11～25日に実施し、個体の周りを1周しながら着生数を肉眼で計測した。なお、雄花の着生について調査していない。

尿素処理とまるやま3号処理による雌花着生の効果は、施肥前後の雌花の平均着生数の変化率（2016～2019年の着花数／2012～2015年の着花数）を比較することにより求めた。比較対照には、事業処理の変化率を用いた。

雌花の着生数に及ぼす窒素、リン酸、カリの量的な効果を検証するため、2017～2019年の毎年の個体ごとに観測された着生数を応答変数、前年の窒素施用量、リン酸施用量、2015年春の胸高直径を説明変数とする一般化線形モデルを各年で

構築した。なお、処理前の平均着花数は胸高直径と相関関係があり（ $r = 0.436, p < 0.001$ ）、ばらつきはあるものの胸高直径が8cmを越えると着花数が急激に増加する傾向があったため、説明変数として採用した（図-1）。モデルの誤差分布はポアソン分布（link関数はlog）であり、AICにより最良モデルを選択した。なお、本試験ではリン酸量とカリ量は比例関係にあるため、リン酸とカリの効果を分離できない。そのため説明変数にはリン酸量のみを用いた。また、重度の獣害を受けた個体や衰退した個体5本と、肥料を施用しなかった尿素処理とまるやま3号処理の各1区画（2017年と2018年の雌花の着生数）は解析から除外した。なお、2016年は凶作年であったことから、解析は行わなかった。

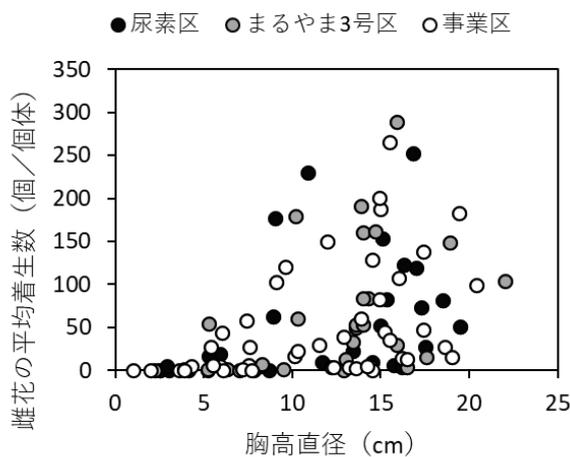


図-1 ギヤマツの胸高直径と施肥前4年間(2012～2015年)の雌花の平均着生数との関係
2016年からの施肥試験に供試した個体がわかるよう処理区別にわけて示している。

4. カラマツ施肥試験（小澤・松崎1955）の再解析

試験林分は北海道森林管理局定山溪国有林の傾斜約25°の斜面に位置する16年生のカラマツ人工林（面積0.6ha）である。3種類の肥料が用いられ、1個体あたりの施用量は、硫酸アンモニア（成分：窒素21%）が200g、過リン酸石灰（成分：リン酸16%）が500g、硫酸カリ（成分：カリ48%）が300gである。試験では各肥料を組合せてNPK、PK、NK、NP、P、Kの6種類の処理が設けられた（表-1）。さらに各処理について、春と秋の施肥時期を変えた処理があり、施肥は1952年5月と同年9月、1953年6月と同年10月、1954年6月に行われた。また、1954年6月には地上40cmの樹幹に針金を巻きつける「まきじめ」による着花促進処理が行われた。1954年11月に長さ2m前後の枝が採取され、短枝上に着いている冬芽の形態から、葉芽、花芽などが計測されている。供試数は無処理区の12個体を含めた72個体であり、処理の繰り返しはない。なお、冬芽の観察であることから雄花と雌花の区分はされていない。

表-1 針金まきじめ及び施肥処理別の調査本数

針金まきじめ	施肥種別	春散布 (本数)	秋散布 (本数)	無施肥 (本数)
有	NPK	3	2	-
	PK	3	2	-
	NK	3	2	-
	NP	3	2	-
	P	3	2	-
	K	3	2	-
	Cont	-	-	6
	無	NPK	3	2
PK		3	2	-
NK		3	2	-
NP		3	2	-
P		3	2	-
K		3	2	-
Cont		-	-	6

(小澤・松崎1955)

カラマツの花芽の着生に及ぼす窒素、リン酸、カリの効果を検証するため、花芽数を応答変数、窒素施用量 (g/個体)、リン酸施用量 (g/個体)、カリ施用量 (g/個体)、斜面位置 (上部、中部、下部)、処理時期 (春、秋)、まきじめ処理の有無、調査枝の着生高 (m) を説明変数、短枝数をオフセット項とする一般化線形モデルを用いた。誤差分布はポアソン分布 (link関数はlog) であり、AICにより最良モデルを選択した。結果で用いる花芽率は、花芽数/短枝数の百分率である。

すべての解析はR4.0.2 (R Core Team 2020) を用いた。

結果

1. 土壌化学性

訓子府採種園の土壌化学性の結果を表-2に示す。土壌は無機態窒素と有効態リン酸が極めて少ない貧栄養の状態にあった。アンモニア態窒素と硝酸態窒素を合わせた無機態窒素量は1.3mg/100gであり、北海道で果樹栽培を行う場合の参考基準値5.0mg/100gを大きく下回った。また有効態リン酸 (1.2mg/100g) も無機態窒素と同様の傾向を示し、値は1.2mg/100gと小さく、植物が利用できるリン酸が欠乏していた。一方、土壌がリン酸を固定する程度を示すリン酸吸収係

表-2 訓子府採種園の土壌分析結果

項目	単位	訓子府	参考基準値
pH	-	5.9	5.5~6.0
アンモニア態窒素 (AN)	mg/100g	0.6	5.0*
硝酸態窒素 (NN)	mg/100g	0.7	
有効態リン酸 (P ₂ O ₅)	mg/100g	1.2	10~20
交換性カリ (K ₂ O)	mg/100g	18.4	15~30
交換性苦土 (MgO)	mg/100g	23.3	25~40
交換性石灰 (CaO)	mg/100g	246.3	170~350
リン酸吸収係数	-	1,583	

参考基準値は北海道でリンゴ栽培を行う場合の望ましい基準 (北海道農政部)

*無機態窒素は (一財) 日本土壌協会による畑での基準値

数は1,583と高く、火山灰土壌の特性を示していた。交換性カリは18±9mg/100gと果樹栽培の基準値内にあり、また、交換性苦土と交換性石灰の値も概ね基準値内もしくはそれに近い値であった。

2. ギヤマツ施肥試験

雌花の着生数は年変動が著しく2016年は着花調査した8年間のうち着花個体の割合が29.8%と最も少ない凶作年だった (図-2)。一方、2017年から2019年は83.9~89.4%の個体が着花していた。施肥処理後4年間の雌花の平均着生数は、処理前の4年間に比べて増加する傾向があった。しかし、処理区間で変化率は異なり、事業区の変化率は228%、尿素区は159%、まるやま3号区は337%だった。事業区の変化率に比べると尿素区は0.70倍 (159/228) の増加、まるやま3号区は1.48倍 (337/228) の増加幅であり、施肥の種類で雌花の量に違いが生じていた (図-3)。

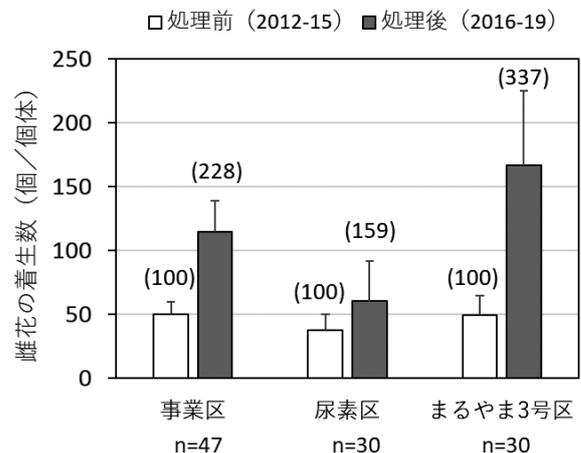


図-3 ギヤマツの施肥処理前後4年間の雌花の平均着生数 ()は処理前の着花数を100とした時の変化率 (2016~2019年の着花数/2012~2015年の着花数×100) を示す。

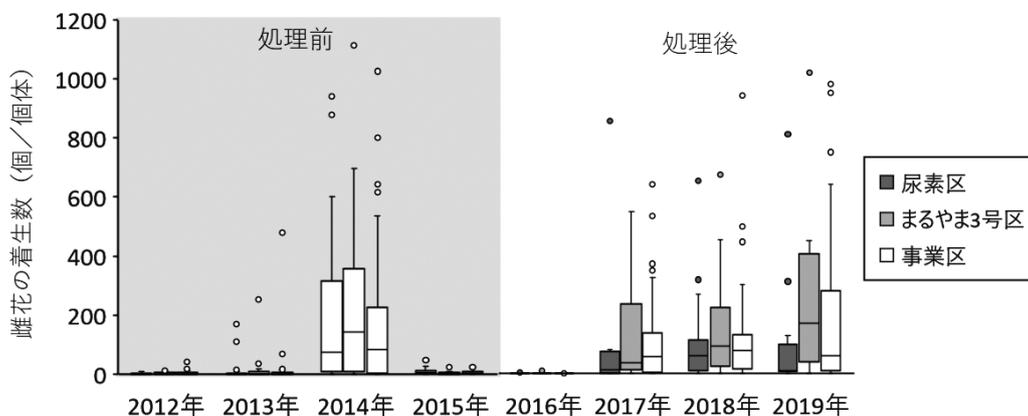


図-2 ギヤマツの施肥前後8年間の雌花の着生数の推移

処理前 (2012~2015年) の各年の3本の棒グラフは、処理後 (2016~2019年) の処理区と対応しており、左から尿素区の処理前、まるやま3号区の処理前、事業区の着花数を表している。

表-3 ギイマツ雌花の着生数を説明する一般化線形モデルの比較

応答変数	説明変数	AIC	ΔAIC
2017年	Fullモデル	12,992	0
	-リン酸	13,018	26
	-窒素	13,234	242
2018年	Fullモデル	13,213	2
	-リン酸	13,211	0
	-窒素	13,280	69
2019年	Fullモデル	30,890	0
	-リン酸	31,343	453
	-窒素	32,164	1,274
	-胸高直径	32,034	1,144

Fullモデルには、リン酸、窒素、胸高直径の3変数を含んでいる。
モデルの比較は、FullモデルとFullモデルから変数の一つを取り除いたモデルのAICにより行った。

表-4 ギイマツ雌花の着生数を説明する最適な一般化線形モデルにおける係数の推定値

応答変数	説明変数	係数	標準誤差	p値
2017年	切片	3.8060	0.0353	***
	窒素	-0.0016	0.0001	***
	リン酸	0.0015	0.0003	***
	胸高直径	0.0748	0.0026	***
2018年	切片	3.4790	0.0297	***
	窒素	-0.0005	0.0001	***
	胸高直径	0.1059	0.0021	***
2019年	切片	4.8310	0.0222	***
	窒素	-0.0029	0.0001	***
	リン酸	0.0041	0.0002	***
	胸高直径	0.0556	0.0017	***

リン酸とカリの量は比例関係のため、効果を分離できない。そのため説明変数にはリン酸のみを用いている。

雌花の着生数を説明する変数を一般化線形モデルによって選択したところ、2017年と2019年の2年間の着生数は、胸高直径、窒素、リン酸の三つの変数を含むモデルが選ばれた(表-3、表-4)。また、2018年の着生数は、胸高直径と窒素を含むモデルが選ばれた。雌花の着生数は胸高直径が大きいほど増加していた。また、窒素の施用は雌花の着生数を減少させる傾向があり、リン酸の施用は雌花の着生数を増加させる傾向が認められた。

3. カラマツ施肥試験の再解析結果

花芽の着生数を説明する変数を一般化線形モデルによって選択したところ、窒素、リン酸、カリ、斜面位置、処理時期、

表-5 カラマツの花芽数を説明する最適な一般化線形モデルにおける係数の推定値

説明変数	係数	標準誤差	p値
切片	-3.0126	0.0528	***
N	-0.0112	0.0004	***
P	0.0004	0.0002	*
K	0.0032	0.0001	***
斜面下部	-0.2512	0.0186	***
斜面上部	0.1010	0.0188	***
春散布	0.0303	0.0137	*
まきじめ	0.1382	0.0148	***
枝高	0.0793	0.0074	***

*<0.05, ***<0.001

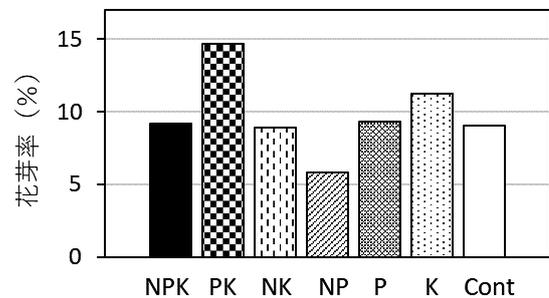


図-4 16年生のカラマツ人工林における肥料種別の花芽率
小澤・松崎(1955)を再解析した結果
花芽率は一般化線形モデル(斜面上部、春施肥、針金まきじめなし、枝の着生高6m)による推定値で、花芽には雄花と雌花の両方を含む。

まきじめ処理、調査枝の着生高の全変数を含むモデルが選ばれた(表-5)。このモデルにより推定した花芽率(条件:斜面上部、春施肥、まきじめなし、枝の着生高6m)は、無処理で9.0%、PK処理で最高の14.7%、NP処理で最低の5.8%であり、施肥の種類により花芽率に差があった(図-4)。窒素の施用は花芽の着生数を減少させる傾向があり、リン酸とカリは花芽の着生数を増加させる傾向があった。また、斜面下部で着生数が少なく、斜面上部で着生数が多く、着生位置の高い枝ほど着花数が多くなっていた。さらに針金のまきじめにより着花が促進されていた。施肥時期は5~6月の散布により着生数が増加していた。

考察

ギイマツ施肥試験では、施肥による着花促進の効果は小さく、2016年の凶作年に雌花の着生数が増えることはなかった。また、2017~2019年においてもギイマツの花数を大きく増加させることはなかった。また、カラマツの着花促進についても、花芽率を9.0%から5.7ポイント向上させる程度にとどまっていた。したがって、今回用いた施肥の種類や量は、着花促

進の主要な手段にならないと考えられた。事業的には、環状剥皮処理が着花促進の主処理であり、施肥は補助する役割になると考えられる。

着花に及ぼす施肥の効果は小さかったものの、肥料の種類により効き方が異なり、窒素は着花を抑制、リン酸とカリは着花を促進する傾向があった。この傾向はグイマツとカラマツの両種で共通していた。窒素の施用が雌花の着生数を抑制するという結果は、北米のウエスタンラーチ天然林での施肥試験 (Graham et al. 1995) や、ポーランドの若齢のヨーロッパカラマツ (*L. decidua* Mill.) 採種園での施肥試験 (Mejnartowicz 1970) とも一致していた。また、岩手県のカラマツ採種園では、6月に尿素を与えた場合、翌年の雌花の着生数が抑制されたことが報告されている (蓬田2019)。したがって、カラマツ類では窒素の施用が雌花の花芽形成に対してマイナスに働くと考えられた。

ただし、着花促進に及ぼす窒素の効果は、窒素の形態によって異なる可能性も残されている。例えば、ダグラスファーでは花芽形成が硝酸態窒素では促進するのに対して、アンモニア態窒素では抑制されることが知られている (Ebell 1972)。また、作物においても、硝酸態窒素とアンモニア態窒素のどちらをより有効に吸収利用するかは、植物の種類によって異なることが知られており、生育反応によって好アンモニア性植物や好硝酸性植物に区分されている (但野・田中1976, 柴田2018)。これらのことは、施肥として与える窒素形態についても検討が必要なることを示唆する。カラマツ類での施肥試験では、アンモニア態窒素 (小澤・松崎1955, Graham et al. 1995)、尿素態窒素 (蓬田2019, 本研究) では着花に対して抑制効果が示されている。その一方、アイダホ州の採種園で事業的に施用されている硝酸態窒素については報告事例がない (なお, Mejnartowicz 1970は窒素の施用形態が不明)。硝酸態窒素の効果については今後検討すべき課題である。

リン酸とカリについては、グイマツの施肥試験では効果を分離できなかったが、カラマツの結果とあわせると、リン酸とカリはともに促進効果を持つと考えられた。一般に、農業においては、リン酸は花芽形成を促進する働きがあるとされる。その詳しいメカニズムについては解明されていないが、樹木においても、リン酸を300kg/ha施用したレッドアルダー (*Alnus rubra* Bong.) で個体あたりの雌花序数が増加したことや (Harrington and Debell 1995)、リン酸とカリの混合肥料を葉面散布したブナの枝で雌花序数が増加したこと (和田ら2018) が報告されている。また、岩手県のカラマツ採種園では、6月に尿素 (240g/本) を与えた後、7月に過リン酸石灰 (305g/本, 601g/本) を与えた処理で、雌花の着生数が増加したこと、また、リン酸の施用量が多いほど雌花数が増えたことが報告されている (蓬田2019)。したがって、カラマツ類ではリン酸の施用が雌花の花芽形成に対してプラスに働くと考えられた。また、施肥の時期としては、前年の春 (5~6月)

により着花が促進しており、花芽分化時期前の散布に効果が見られた。

森林土壌におけるリン酸の供給は、降雨にはほとんど含まれていないため、土壌母材に由来する。しかし、火山灰土壌は鉄やアルミニウムを多く含むため、リン酸の固定量が多く、植物が利用できるリン酸が欠乏しやすい。施肥試験を実施した訓子府採種園の土壌は、リン酸吸収係数が1,500を越え、有効態リン酸が不足する状態にあったことから、リン酸の施用がグイマツの着花を促進していたと考えられる。また、同様の結果は、リン酸が不足する熱帯雨林において、一斉開花を示すフタバガキ科の巨大高木リュウノウジュ (*Dryobalanops aromatica* C.F.Gaertn.) でも報告されており、同種では、樹体内へのリン酸の蓄積程度が繁殖を引き越す一因になっているとされる (市栄2006)。したがって、施肥の効果については、対象とする森林土壌の栄養状態が影響しているだろう。花芽形成の制限要因となっている肥料要素を施用することが、効果的に働くのかもしれない。例えば、ヨーロッパアカマツ (*P. sylvestris* L.) の採種園では、土壌の養分状態が良好であれば、施肥による着花促進効果は小さく、施肥は不要であるとの報告もあり (Saarsalmi et al. 1994)、施肥の管理においては、土壌の種類や特性、養分状態の把握が必要である。

カリによる着花促進の効果については、エストニアのヨーロッパトウヒ採種園で報告があるものの (Kurm and Kiviste 2004)、農作物も含めカリが着花を促進するという報告はほとんどない。カリの効果については、花芽形成に直接寄与するのではなく、肥料における拮抗作用や相乗作用を通して間接的に関わっている可能性もある。窒素やリン酸、マグネシウムやカルシウムを含めた養分の構成割合について、さらなる検討が必要である。

採種園の種子生産量を増やすための施肥のうち、花芽形成に直接影響する施肥以外の方法には、採種木の成長を促進させて、栄養成長から生殖成長への移行を早める施肥がある。本研究でも、グイマツの着花量は個体サイズの影響を強く受けていて、胸高直径が8 cm以上を越えると雌花の生産量が著しく増えていた。現在、北海道ではグイマツ雑種F₁の母樹 (中標津5号) が「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」により特定母樹に指定され、民間事業者により採種園造成が進められている。こうした採種園では事業的に採種できるようになるまで、造成後15年以上かかる見通しである。採種園管理においては、生育段階に合わせて、成長を早める施肥と着花を促進する施肥の切り替えが必要と考えられる。

謝辞

本試験を実施するにあたり、北海道水産林務部林務局森林整備課およびオホーツク総合振興局東部森林室職員には、現地調査にご協力いただいた。また、岩手県林業技術センターの蓬田英俊氏には、土壌分析方法やカラマツ採種園での施肥

管理方法についてご教示いただいた。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 浅川澄彦 (1965) カラマツの結実促進. 79pp. 日本林業技術協会, 東京.
- Bogdziewicz, M., Crone, E. E., Steele, M. A., and Zwolak, R. (2017) Effects of nitrogen deposition on reproduction in a masting tree: benefits of higher seed production are trumped by negative biotic interactions. *Journal of Ecology* 105: 310–320.
- Ebell, L. F., and McMullan, E. E. (1970) Nitrogenous substances associated with differential cone production responses of Douglas fir to ammonium and nitrate fertilization. *Canadian Journal of Botany* 48: 2169–2177.
- Ebell, L. F. (1972) Cone-induction response of Douglas Fir to form of Nitrogen fertilizer and time of treatment. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 317–326.
- Graham, R. T., Tonn, J. R., and Jain, T. B. (1995) Cone and seed production of western larch in response to girdling and nitrogen fertilization - an update. In: Schmidt, Wyman C.; McDonald, Kathy J, comps. *Ecology and management of larch forests: A look ahead: Proceedings of an international symposium; 1992 October 5-9; Whitefish, MT, U.S.A.* Gen. Tech. Rep. GTR-INT-319. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. p. 204–208.
- 浜谷稔夫・倉橋昭夫 (1970) 2, 3の機械的処理によるカラマツの着花結実促進. *日本林学会誌* 52: 244–253.
- Harrington, C. A., and Debell, D. S. (1995) Effects of irrigation, spacing and fertilization on flowering and growth in young *Alnus rubra*. *Tree Physiology* 15: 427–432.
- 北海道 (2017) 北海道採種園整備方針. 8 p
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/grp/hokkaidoseedplan.pdf>
- 市栄智明 (2006) 結実の豊凶はなぜ起こる? 正木隆・田中浩・柴田鏡江 (編) *森林の生態学*. 文一総合出版. pp 59–62
- Kurm, M., and Kiviste, A. (2004) The effect of fertilization on Norway spruce (*Picea abies* L.) cone and seed crops in Pauska seed orchards, Estonia. *Baltic Forestry* 10: 19–30.
- 黒丸亮・大島紹郎・来田和人・内山和子 (2003) グイマツ雑種F₁ 種苗のブランド化目指した新採種園方式 - 列状植栽した単一クローン母樹産種子の品質と雑種率 -. *北海道の林木育種* 46: 5–8.
- Matsushita, M., Nishikawa, H., Tamura, A., and Takahashi, M. (2020) Effects of Light Intensity and Girdling Treatments on the Production of Female Cones in Japanese Larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.): Implications for the Management of Seed Orchards. *Forests* 11(10): 1110.
- Matthews, J. D. (1963) Factors affecting the production of seed by forest trees. *Forestry Abstracts* 24(1): 1–13.
- Mejnartowicz, L. (1970) The influence of mineral fertilization on the flowering of a larch seed orchard. *Arboretum Kórnickie* 15: 117–128 (in Polish with English summary and explanations).
*論文を読むことはできなかった。要旨のみ参照。
- 森口喜成・来田和人 (2015) DNAマーカーによるグイマツ×カラマツ採種園の雑種率検証と苗木の効率的生産. *森林遺伝育種* 4: 158–161.
- Moriguchi, Y., Kita, K., Uchiyama, K., Kuromaru, M., and Tsumura, Y. (2008) Enhanced hybridization rates in a *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* inter-specific seed orchard with a single maternal clone revealed by cytoplasmic DNA markers. *Tree Genetics & Genomes* 4: 637–645.
- 三宅登・沖部明 (1967) アカマツ, クロマツ採種園に関する基礎的研究 (第5報) アカマツクローンの生長および着果におよぼす施肥の影響. *島根県農科大学研究報告* 15: 101–112.
- Miyazaki, Y. et al. (2014) Nitrogen as a key regulator of flowering in *Fagus crenata*: understanding the physiological mechanism of masting by gene expression analysis. *Ecology Letters* 17: 1299–1309.
- 百瀬行男 (1964) カラマツの結実性促進について. *林業技術* 267(6): 12–15.
- 小澤準二郎・松崎昭三郎 (1955) カラマツ結実促進試験 (第1報) - 花芽着生におよぼす施肥の効果 -. *林試北海道支場特別報告* 4: 58–71.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁 (1964) 採種園の施業要領 (39. 林野造第1720号).
- 林野庁 (2019) 森林・林業統計要覧2019.
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/kankou_youran.html
- Saarsalmi, A., Lipas, E., Mikola, J., Nikkanen, T., and Savonen, E. M. (1994) Effect of fertilization on flowering and seed crop in Scots pine seed orchards. *Silva Fennica* 28(3): 155–176.
- 柴田勝 (2018) 肥料と養分: 硝酸態チッソ (硝酸イオン) について (その2). *農業と化学* 704: 1–7.
- Smaill, S. J., Clinton, P. W., Allen, R. B., and Davis, M. R. (2011) Climate cues and resources interact to determine seed production by a masting species. *Journal of Ecology* 99: 870–877.
- Smith, R. F. (1987) The effects of fertilization on flowering of various-sized black spruce (*Picea mariana*) trees. *Forest Ecology and Management* 19: 189.
- 但野利明・田中明 (1976) アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差 (第1報) 生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応—比較植物

- 栄養に関する研究一. 日本土壤肥科学雑誌47: 321-328.
- 高山芳之助 (1967) アカマツの採種園に関する研究 (II) アカマツツギキクロンで観察した肥培の影響. 日本林学会誌49: 192-197.
- 田村明・宮下久哉 (2016) 北米のカラマツ類採種園と育苗状況の視察報告. 森林遺伝育種 5: 155-158.
- 内山和子・黒丸亮・来田和人 (2007) ゲイマツクローンの着果量に対する光条件と環状剥皮の影響. 北海道林業試験場研究報告44: 119-127.
- 和田尚之・小林孝徳久・斎藤秀之 (2018) 施肥がもたらすブナの着果への効果. 北方森林研究66: 67-68.
- 山手広太 (1976) ヒノキ採種園の採種量におよぼす施肥の影響(1). 九州森林研究29: 85-86.
- 蓬田英俊 (2019) 第1章花芽形成の促進-施肥処理. 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター (編・発行) カラマツ種苗安定供給のための手引き. p17.

Summary

(1) During 2015–2018, fertilizers were applied to the interspecific seed orchards of *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* in Hokkaido. The following three fertilizer treatments were used: a nitrogen-only fertilizer, a complete fertilizer containing NPK (3:6:4), and a control fertilizer. The experiments comprised 107 ramets of *L. gmelinii* plus trees (Nakashibetsu 5). The cone production of these trees was observed until 2019. From 2017 to 2019, it was observed that the nitrogen-only fertilizer decreased the cone production, whereas the complete NPK fertilizer increased the cone production.

(2) During the analysis of flower production in a 16yearold *L. kaempferi* in response to fertilization and stem girdling with wire, it was noted that unfavorable flowering responses were attributable to the application of N fertilizer, whereas positive flowering responses were attributable to the application of P and K fertilizers as well as to the wire girdling.

Key words

Japanese larch, Kurile larch, seed orchard, strobile production, fertilization