

ヒバ (*Thujopsis dolabrata* var. *hondai* Makino) の
育苗におけるリン酸多施用効果
—葉のリンおよび窒素含有量と個体成長—

橋本良二*・加藤 司**・白旗 学*

Effect of large-quantity supply of phosphorus in the nursery
practice of *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* Makino
—Seedling growth as related to nitrogen and phosphorus contents in leaves—

Ryoji HASHIMOTO*, Tsukasa KATO** and Manabu SHIRAHATA*

1. はじめに

林業苗圃でのヒバ (*Thujopsis dolabrata* var. *hondai*) の育苗年数は、芽生えや稚苗段階での成長が遅いため5年が標準である (青森県林業試験場, 2004)。山出し植栽後の初期成長も遅いため、下刈り年数が多くかかる関係で造林者は大苗を望む傾向が強くなり、育苗期間が標準年数を上回るケースも少なくない。北東北においてヒバ苗の需要が高まる今日、育苗段階での成長促進に向けた検討が急務となっている。

リン酸施肥は、窒素施肥と相乗的に働いて植物成長量を増大させると古くから言われている (藤原・岸本, 1988)。しかし、林業用苗木生産の場でリン酸施肥の効果について検証した研究はスギなどの主要樹種においても十分になされているわけでない (堤, 1962; 原田, 1970)。また、施肥に対する成長反応が樹種で異なり (Nakaji et al., 2001; 白旗ら, 2005)、とくにヒバはスギなどと異なった性質をもつと指摘されていることから (Hashimoto et al., 2006)、本種の栄養管理については十分な検討を要する。

本研究では、ヒバの育苗期間を短縮するための施肥条件を明確にする目的で、リン酸の多施用がヒバの芽生えや稚苗の成長促進につながるかどうかを検討した。ヒバとスギの芽生えを、

Received January 13, 2009

Accepted February 13, 2009

* 岩手大学環境科学系 (農学部)

** 岩手大学大学院農学研究科農林環境科学専攻

窒素少施用と窒素多施用の条件下で、リン酸施用量を変えて育て、葉の窒素およびリン含有量、個体の器官成長量を調べた。芽生えの葉のリン含有量の増大やリン含有量の増大にともなう窒素含有量の変化などに注目し、ヒバの栄養生理面での特性とともにリン酸多施用による成長促進効果について考えてみた。

II. 材料と方法

1. 播種と芽生えの育成

1) 播種

ヒバ種子は、2003年秋に青森県下北郡朝比奈岳国有林1053林班い3小班で採取したものを入手し用いた。スギ種子は、2002年10月に岩手県林業技術センターの林木育種場（江刺市）で採取し2004年春に配布されていたものを購入し用いた。ヒバでは2004年3月中旬、スギでは4月中旬に、それぞれ8個のプランターに播種した。プランターはプラスチック製白色角型（24×12×11cm）のものをを用い、市販の園芸用鹿沼土（中粒）を培地とした。播種量は、プランターあたりスギ、ヒバでそれぞれ約1500、2000粒とした。播種に際しては、あらかじめ培地に十分水を含ませておき、播種後は1週間ほど実験室隅の薄暗いところに置いた。その後、プランターは実験室南側の窓辺に設置されたプランター台に並べ、できるだけ自然光が入るようにするとともに、人工光（昼光色蛍光灯）で13時間の補光をおこなった。人工光の照射光強度（光合成有効量子束密度、PPFD）は、約 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。播種後は、培地表面が乾かないように十分給水をおこなった。なお、水や培養液（後述）の供給時にプランター底部で生じる排水を受けるための受け皿を、プランターの下に敷いた。

2) 芽生えの育成

ヒバでは播種後4～5週間して、スギでは3～4週間して発芽が始まった。発芽後約2週間して施肥をおこなった。Hoagland & ArnonのNo.2培養液（浅川，1985）の組成と濃度を基準にして、窒素濃度で2段階（NLおよびNH処理）、リン酸濃度で4段階（PA、PB、PCおよびPD処理）を設け、計8種類の培養液をつくり、施肥をおこなった（表-1）。芽生えの育成は、発芽後20週間おこなった。育成期間中は、芽生えの成長状態や葉色を観察しながら、培養液を適宜施用した（表-2）。育成期間中、光量子センサー（IKS-25、小糸、東京）を用い10分間隔で光合成有効量子束密度（PPFD）を記録し、温湿度測定器（TR-72、T and D、Matsumoto）を用い30分間隔で気温と相対湿度を記録した。図-1に、育成期間中における日中の平均PPFDおよび日平均気温と相対湿度の推移を示す。なお、育成期間中、芽生えどうしの光競合を緩和するため適宜間引きをおこなった。

2. 芽生えの成長量と葉の窒素およびリン含有量の測定

1) 芽生えの成長量

表一．窒素およびリン酸施肥処理における培養液濃度

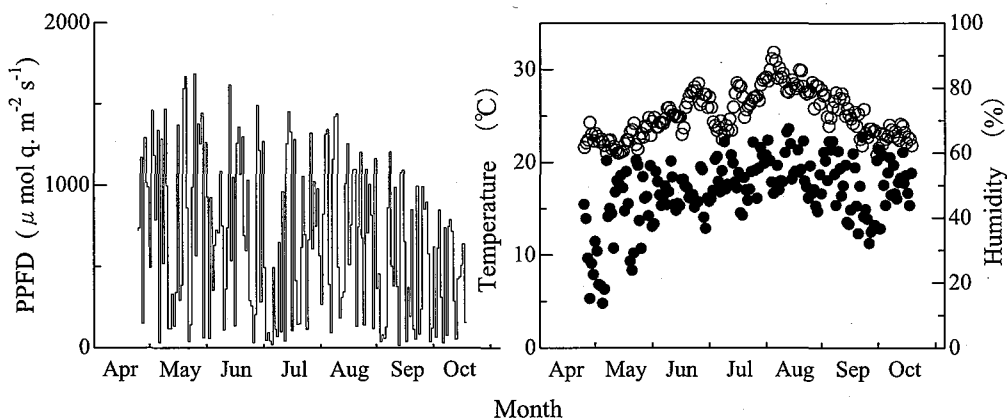
Concentration	P				
	0	0.1	0.5	2.5	
N	0.5	NLPA	NLPB	NLPC	NLPD
	5	NHPA	NHPB	NHPC	NHPD

Concentrationの数字はHoagland & ArnonのNo.2 培養液 (浅川, 1985) の濃度を基準とした倍率。

表二．芽生え育成期間における培養液の施用量

Nutrition condition	Low N				High N			
	NLPA	NLPB	NLPC	NLPD	NHPA	NHPB	NHPC	NHPD
<i>Cryptomeria japonica</i>	2.2	2.2	4.6	4.6	2.2	2.2	5.2	5.2
<i>Thujopsis dolabrata</i> var. <i>hondai</i>	3.4	3.4	5.6	5.6	3.4	3.4	5.8	5.8

数字の単位はリットル。



図一．芽生えの生育期間における光合成有効光量子束密度 (PPFD) と温湿度の推移

PPFDは9時から15時までの平均、気温 (白丸) と相対湿度 (黒丸) は日平均。

ヒバでは、子葉とほぼ同時に約10対の小さな初生葉が発生し、それらが展開終了後数週間して本葉 (鱗片葉) の形成が始まった。スギでは、子葉展開終了後数週間して初生葉が発生し、さらに本葉 (針形葉) を発生するものが一部にあった。発芽後20週間して、芽生えを培地から取り出し、葉、幹軸、根に分け、各器官の乾重を測定した。測定のためのサンプル数は、スギでは窒素少施用の各処理で30個体、窒素多施用の各処理で20個体、ヒバでは窒素少施用および多施用の各処理で20個体とした。

2) 葉の窒素およびリン含有量の測定

育成期間の中期から後期は、スギでは初生葉、ヒバでは鱗片葉の量が多くを占め、育成期間

の個体成長に大きく関与していると考えられたことから、それぞれの葉について窒素およびリン含有量を測定した。測定試料は、個体別に同一個体から窒素用とリン用を取った。試料を取った個体数は、スギでは窒素少施用および多施用の処理でそれぞれ合計で73個体、47個体、ヒバではそれぞれ65個体、70個体であった。各個体から取った試料の量は、窒素およびリン含有量の測定1回分で、それぞれ乾燥重量で約10mgであった。

窒素含有量の測定では、試料は重量を測定した後ケルダールフラスコに取り、マイクロケルダール法で分解・蒸留し、通常の方法で定量をおこない、乾重ベースの窒素含有量 (mg g^{-1}) を求めた。リン含有量の測定では、試料は重量を測定した後ケルダールフラスコに取り、湿式灰化し、硫酸モリブデン法により比色定量し、乾重ベースのリン含有量 (mg g^{-1}) を求めた。

III. 結 果

1. 葉のリンおよび窒素含有量への影響

リン酸施用処理間での葉のリンおよび窒素含有量のちがいについて分散分析をおこなった結果、スギでは処理間のちがいは窒素少施用とともに有意であり (ANOVA, $F=32.0$, $P<0.01$; $F=11.1$, $P<0.01$)、窒素多施用でも同様であった (ANOVA, $F=25.6$, $P<0.01$; $F=36.3$, $P<0.01$)。ヒバでも、スギと同様、処理間のちがいはリンおよび窒素含有量とも窒素少施用で有意であり (ANOVA, $F=37.3$, $P<0.01$; $F=31.3$, $P<0.01$)、窒素多施用でも同様であった (ANOVA, $F=75.2$, $P<0.01$; $F=18.9$, $P<0.01$)。

リン酸施用量が葉のリンおよび窒素含有量におよぼす影響について、窒素含有量とリン含有量との関係でみたのが、図-2である。また、リン酸施用処理間における葉のリンおよび窒素含有量のちがいについて、多重検定の結果を表-3に示す。スギ、ヒバともに、リン酸施用量の増大にともない、リンおよび窒素含有量はともに高くなる傾向が認められた。しかし、スギでは、窒素少施用ではPCとPD処理間でリン含有量にちがいはなく、窒素含有量はPD処理でむしろ低かった。また、スギの窒素多施用ではPCとPD処理間でリン含有量はPD処理で高いが、窒素含有量は変わらなかった。一方、ヒバでは、窒素少施用ではPCとPD処理間でリン含有量はPD処理で高いが、窒素含有量は変わらなかった。また、ヒバの窒素多施用ではPCとPD処理間でリンおよび窒素含有量ともにPD処理で高かった。

2. 個体成長への影響

リン酸施用量が個体成長量におよぼす影響をみたのが、図-3である。また、リン酸施用処理間における個体成長量と個体の葉重比のちがいについて、多重検定の結果を表-3に示す。スギでは、個体成長量は窒素少施用、多施用ともにリン酸施用量の増大にともない増大する傾向が認められ、PA、PB処理に比べPC、PD処理で大きかった。ヒバでも、個体成長量は窒素少施用、多施用ともにリン酸施用量の増大にともない増大する傾向が認められ、個体成長量は

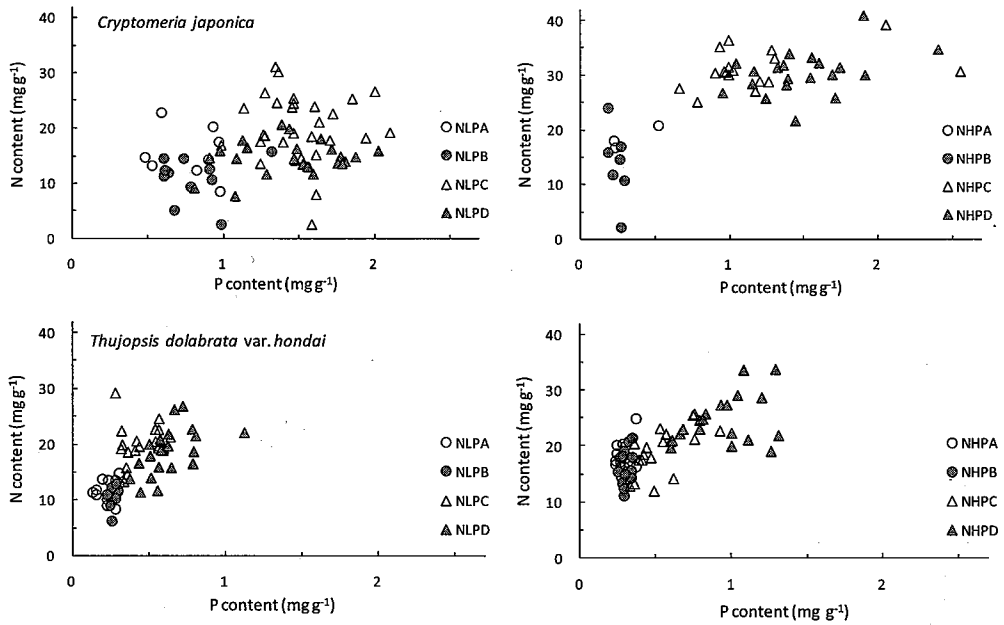


図-2. リン酸施用量の増大にともなう葉のリンおよび窒素含有量の変化

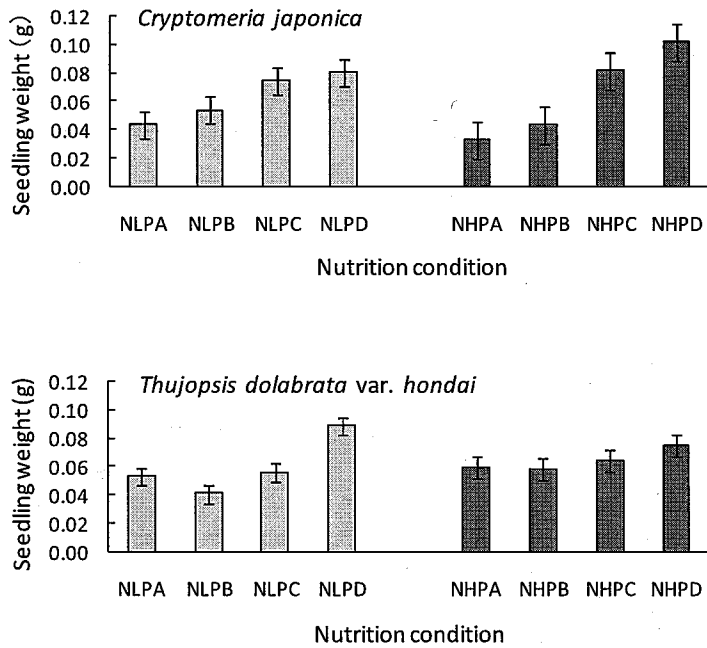


図-3. リン酸施用量の増大にともなう個体成長量の変化

表-3. リン酸施用量の増大が芽生えの葉の窒素およびリン含有量と個体成長量におよぼす影響

N supply	Low N					High N				
	P supply Σn	NLPA	NLPB	NLPC	NLPD	Σn	NHPA	NHPB	NHPC	NHPD
<i>Cryptomeria japonica</i>										
P content (mg g ⁻¹)	73	17.3 ^b ±4.6	18.4 ^b ±5.0	34.6 ^a ±5.9	33.3 ^a ±7.6	47	7.6 ^c ±3.9	5.7 ^c ±1.0	27.2 ^b ±10.6	34.4 ^a ±7.8
N content (mg g ⁻¹)	73	14.9 ^b ±4.4	10.9 ^b ±4.0	19.9 ^a ±6.2	14.6 ^b ±3.0	47	18.5 ^b ±2.1	13.6 ^b ±6.7	31.2 ^a ±3.6	30.4 ^a ±4.0
Seedling weight (g)	120	0.044 ^b ±0.015	0.054 ^b ±0.020	0.075 ^a ±0.020	0.081 ^a ±0.041	80	0.033 ^b ±0.017	0.044 ^b ±0.018	0.082 ^a ±0.038	0.102 ^a ±0.037
Leaf weight ratio (g g ⁻¹)	120	0.496 ^c ±0.057	0.460 ^d ±0.056	0.562 ^b ±0.037	0.602 ^a ±0.037	120	0.536 ^b ±0.057	0.517 ^b ±0.054	0.664 ^a ±0.023	0.655 ^a ±0.028
<i>Thujaopsis dolabrata</i> var. <i>hondai</i>										
P content (mg g ⁻¹)	65	5.6 ^c ±1.2	6.2 ^c ±0.6	10.5 ^b ±2.7	14.5 ^a ±3.9	70	6.6 ^a ±0.9	7.1 ^c ±0.7	12.4 ^b ±3.9	21.5 ^a ±5.1
N content (mg g ⁻¹)	65	11.6 ^b ±1.7	10.7 ^b ±2.2	20.0 ^a ±3.4	18.7 ^a ±4.3	70	17.5 ^b ±2.9	16.2 ^b ±3.0	19.2 ^b ±4.1	24.6 ^a ±4.2
Seedling weight (g)	80	0.053 ^c ±0.011	0.041 ^b ±0.009	0.056 ^c ±0.014	0.089 ^a ±0.017	80	0.060 ^b ±0.015	0.059 ^b ±0.018	0.064 ^b ±0.017	0.075 ^a ±0.013
Leaf weight ratio (g g ⁻¹)	80	0.494 ^b ±0.038	0.493 ^b ±0.04	0.545 ^a ±0.048	0.561 ^a ±0.039	80	0.527 ^b ±0.045	0.528 ^b ±0.034	0.55 ^b ±0.039	0.594 ^a ±0.028

Σn は各樹種の各窒素条件での測定個体の総数。データは平均値と標準偏差。
各樹種の各窒素条件についてリン酸施用処理間で多重検定 (Tukey) をおこなった。平均値のちがいは有意差 ($P<0.05$) を表す。

窒素少施用ではPD処理が他の処理に比べ相当高かったが、窒素多施用ではPCとPD処理間でちがいはなかった。葉重比は、スギ、ヒバとも窒素少施用、多施用においてPAやPB処理で低く、PCやPD処理で高かった。

IV. 考 察

リン酸施用量の増大にともない、葉のリン含有量はスギ、ヒバともに窒素少施用でも多施用でも増大したが、リン含有量の増大は樹種間ではスギで、窒素条件間では窒素多施用で大きかった (図-2, 表-3)。このように、リン酸多施肥に対する葉の栄養生理面での反応は、樹種や窒素施用量で異なる。

窒素少施用では、葉のリン含有量は、PCとPD処理を比べると、スギではPD処理で高くはなかったが、ヒバでは高くなった。また、リン含有量の上昇にともなう窒素含有量の変化についても、スギではPD処理でむしろ低下したのに対し、ヒバではそのような低下はなかった (図-2, 表-3)。個体成長量が、PCとPD処理間でスギではちがいがなかったのに対し、ヒバでPD処理で明らかに大きかったのは (表-3, 図-3)、リン酸施用量の増大にともなう葉のリンおよび窒素含有量の変化が関係していると考えられる。

窒素多施用では、リン酸施用量の増大にともない、葉のリン含有量はスギ、ヒバともに増大しPD処理で最も高かったが、窒素含有量はスギではPCとPD処理間でちがいはなかったのに対し、ヒバではPD処理で高かった (図-2, 表-3)。これらの結果から、PCとPD処理の個体成長量がスギ、ヒバともにPD処理で増大しなかった点については、スギでは窒素含有率が増大しなかったことによるとみられるが、ヒバでは窒素含有率の増大にもかかわらずそのようになったことになる。

以上より、リン酸の多施用効果はスギ、ヒバともに期待できるが、ヒバでは窒素多施用よりはむしろ少施用でより明瞭に起こるようである。ヒバで窒素多施用で葉の窒素およびリン含有量が増大するにもかかわらず、個体成長量がそれほど増大しないのは、葉における窒素の利用様式が関係していると考えられ (Warren et al., 2003; Warren and Adams, 2004; Takashima et al., 2004)、葉の窒素含有量の増大が光合成速度を支配するRubisco (リブロース1, 5二リン酸カルボキシラーゼ / オキシゲナーゼ) の活性増大に結びついていないことが一因であろう。ヒバのPD処理では、葉の窒素含有量が窒素少施用に比べ窒素多施用で高いにもかかわらず、個体成長量は窒素少施用で高くなっている。ヒバは、窒素少施用、リン酸多施用の条件下で、葉が低い窒素含有量でも高いRubisco活性を実現できる生理機構をもっているのかもしれない。

最近、樹木稚苗へのリン酸施用が葉のさまざまな光合成速度パラメーターに作用し、光合成速度の増大をもたらすと報告されている (Bown et al., 2007)。今後は、他の必須元素の施用を含め、さらにリン酸の多施用効果について苗圃での施肥試験を通じて検討することにしている。

引用文献

- 青森県林業試験場 (2004) ヒバの苗木生産技術の手引き—種子生産から山出し苗生産まで—。34pp, 青森県農業研究センター林業試験場, 平内。
- 浅川征男 (1985) 水耕法 (最新作物生理実験法, 北条良夫・石塚潤爾編, 農業技術協会, 東京), 385-391.
- Bown, H.E., Watt, M.S., Clinton, P.W., Mason, E.G. and Richardson, B. (2007) Partitioning concurrent influences of nitrogen and phosphorus supply on photosynthetic model parameters of *Pinus radiata*. *Tree Physiology* 27: 335-344.
- 藤原彰夫・岸本菊夫 (1988) 燐と植物 (1). 175pp, 博友社, 東京。
- 原田 洸 (1970) スギの成長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究. 林業試験場研究報告 230: 1-104.
- Hashimoto, R., Katou, T. and Shirahata, M. (2006) Light responsibility of juvenile seedlings of *Thujaopsis dolabrata* var. *hondai* Makino evaluated from chlorophyll a fluorescence analyses. *Environmental Control of Biology* 44: 233-244.
- Nakaji, T., Fukami, M., Dokiya, Y. and Izuya, T. (2001) Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings. *Trees* 15: 453-461.
- 白旗 学, 橋本良二, 高島輝之 (2005) アカマツとスギ芽生えの子葉のRubisco含量と施肥の影響. 東北森林科学会誌 10: 1-7.
- Takashima, T., Hikosaka, K. and Hirose, T. (2004) Photosynthesis or persistence: nitrogen allocation in leaves of evergreen and deciduous *Quercus* species. *Plant, Cell and Environment* 27: 1047-1054.
- 堤 隆雄 (1962) わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎研究. 林業試験場研究報告 137: 1-158.
- Warren, C.R., Dreyer, E. and Adams, M.A. (2003) Photosynthesis-Rubisco relationships in foliage of *Pinus sylvestris* in response to nitrogen supply and the proposed role of Rubisco and amino acids as nitrogen stores. *Öecologia* 124: 487-494.
- Warren, C.R. and Adams, M.A. (2004) Evergreen trees do not maximize instantaneous photosynthesis. *TRENDS in Plant Science* 9: 270-274.