

## 窒素付加が蛇紋岩土壤に植栽したグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の 光合成と成長に与える影響

北海道大学大学院農学院

笠 小春

日本学術振興会特別研究員(北海道大学大学院農学研究院)

渡辺 誠

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

高木健太郎・柴田 英昭・野村 睦

北海道大学大学院農学研究院

小池 孝良

### はじめに

カラマツ (*Larix kaempferi* Carr.) は 19 世紀後半に北海道に導入されて以来、主要造林樹種として全道的に広く植栽されてきた。カラマツは成長が速いという長所がある一方で、先枯病・ナラタケ病などの病害や野鼠害に弱いという短所がある(2)。そこで開発されたのがグイマツ雑種 F<sub>1</sub> (以下、F<sub>1</sub>) である。

F<sub>1</sub> はサハリンや千島列島に自生するグイマツ (*Larix gmelinii* var. *japonica* Pilg.) を母樹に、カラマツを花粉親にした雑種である。高い成長速度と病獣害への耐性を併せ持つことから、拡大造林で植栽されたカラマツが主伐を迎えた後の二代目造林樹種として積極的に植栽されている(9)。また、カラマツ属は乾燥や貧栄養に耐性が高いことから、主要な緑化樹種として利用されている(18)。

蛇紋岩由来の土壤(以下、蛇紋岩土壤)は塩基性、貧栄養(カルシウム(Ca)、モリブデン(Mo)、可給態リンの欠乏)およびニッケル(Ni)やマグネシウムの過剰といった特徴がある(3, 11, 16)。これらの特徴が植物の生育を妨げることから、蛇紋岩土壤の分布する地域では山火事や風害によって植生が喪失した後、植生回復が難しい。また、蛇紋岩土壤は風化を受けやすいことから崩壊地が多く発生する。そのため早期の緑化が求められている。そこで緑化樹としての F<sub>1</sub> の有用性を評価するために、植物の生育を妨げる要素を持つ蛇紋岩土壤での植栽を試みることにした。

産業革命以来、人間活動に由来する大気窒素沈着の量は増加し続けている(4)。窒素は森林生態系において不足しがちな元素とされ、窒素が付加されれば植物の成長は促進されると考えられていた。しかし、付加する窒素を増加させて一定量に達すると成長の促進は見られなくなり、やがて過剰になった窒素が成長を抑制する(1, 5, 17)。過剰窒素による植物への影響としては、葉内の養分の不均衡(例えば N/P, N/Mg の増加など)による成長低下(12, 13)、地下部に対する地上部の乾重量の比率(T/R率)の増大により無機塩類や水分欠乏への感受性が上がると指摘されている(15)。

また、窒素過剰が主に土壤を介して起こるストレスであることから、土壤が持つ性質によって窒素付加が樹木に与える影響は異なるといわれている。しかし、蛇紋岩土壤に窒素付加を行い、樹木の成長への影響を評価した例はない

(14)。以上より、本研究の目的は①蛇紋岩土壤への F<sub>1</sub> 導入の可能性の検討、および②窒素付加が蛇紋岩土壤に植栽した F<sub>1</sub> の生育に与える影響の評価、の二点とした。

### 材料と方法

本研究は北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩研究林 235 林班(N45°06', E142°12', 標高 110 m)で行った。林班内には断層によって分けられた、褐色森林土と蛇紋岩土壤の二種類の土壤が存在している。各土壤に 1999 年 5 月に設置された 15×8 m<sup>2</sup> の林間苗畑を用いた。二つの苗畑間の距離は約 100 m であるため気候条件は同様であると考えられる(8)。各苗畑は波板で区切り、窒素付加区 4 処理区と対照区 4 処理区を交互に設置した。

2007 年 5 月下旬に、各土壤それぞれ 60 本ずつ 1 年生 F<sub>1</sub> を植栽した。

2008 年 5 月と 8 月に硫酸アンモニウムを用いて窒素付加処理を行った。付加量は天塩研究林で 2005 年に観測された窒素沈着量 4.7kgN・ha<sup>-1</sup>・y<sup>-1</sup>に基づき、その 10 倍量である 47 kgN・ha<sup>-1</sup>・y<sup>-1</sup> を付加した。また、雪解けによって土壤に多量の窒素が供給されることを考慮して 5 月に 6 ヶ月分相当、8 月には 3 ヶ月分相当を施与した。なお、年間を通して実験中であるため、11 月に施与予定の 3 ヶ月分は本研究には反映されていない。

2008 年 8 月上旬に 携帯型赤外線ガス分析装置(LI-6400, Li-Cor, Nebraska, USA)を用い、針葉の純光合成速度と気孔コンダクタンス(以下、g<sub>s</sub>)を測定した。チェンバー内の測定環境について、外気二酸化炭素濃度、光強度、葉温、相対湿度はそれぞれ 380 μmol l<sup>-1</sup>, 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 25°C, 70%とし、各処理 4 個体ずつ測定を行った。蛇紋岩土壤の一部の個体で長枝の発生が見られない、または長枝での測定が困難であったため、全ての測定で短枝を用いた。光合成測定と同時期に全個体の樹高成長を測定した。

2008 年 9 月上旬に光合成速度を測定した個体のサンプリングを行った。針葉の一部は葉面積推定を行った。サンプルは 60°C で 2 日間乾燥させ、器官別に乾重量を測定した。乾燥後に針葉乾重と LMA より個体あたり総葉面積を推定した。器官別乾重量の値より T/R 率を算出した。

統計解析には二元配置分散分析を用い、土壤の違い、窒

Koharu RYU (Graduate School of Agr., Hokkaido Univ. Sapporo 060-8589), Makoto WATANABE (JSPS fellow, Res. Fac. Agr., Hokkaido Univ. Sapporo 060-8589), Kentaro TAKAGI, Hideaki SHIBATA, Mutsumi NOMURA (Hokkaido Univ. Forest, FSC, Sapporo 060-0809), Takayoshi KOIKE (Res. Fac. Agr., Hokkaido Univ. Sapporo 060-8589)

Effects of high nitrogen load on the photosynthesis and growth of the hybrid larch (*Larix gmelinii*×*L. kaempferi*) seedlings.

素付加の有無およびそれらの交互作用についての有意性を調べた。P<0.05 で有意であると判断した。

**結果**

2007 年 5 月の植栽時から 2008 年 5 月までの各土壌の F<sub>1</sub> の生残率は、それぞれ褐色森林土で 93%，蛇紋岩土壌で 98%を示した。なお、2008 年 5 月から 9 月にかけて枯死個体は見られなかった（図は省略）。

樹高成長はおよび総葉面積は蛇紋岩土壌において有意な低下が見られた（図-1, 2）。ともに窒素付加による有意な変化は見られなかった。T/R 率は処理による有意な変化が見られなかった（図-3）。純光合成速度および g<sub>s</sub> は処理による有意な変化が見られなかった（図-4, 5）。ともに蛇紋岩土壌においては窒素付加によって低下する傾向が見られた。

表-1 分散分析の結果

	樹高成長	TNA	T/R 率	A <sub>380</sub>	g <sub>s</sub>
土壌	***	***	n.s.	n.s.	n.s.
窒素	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
土壌*窒素	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

(TNA:総葉面積, A<sub>380</sub>:純光合成速度, g<sub>s</sub>:気孔コンダクタンス, \*\*\*:P<0.001, n.s.:有意差無し)

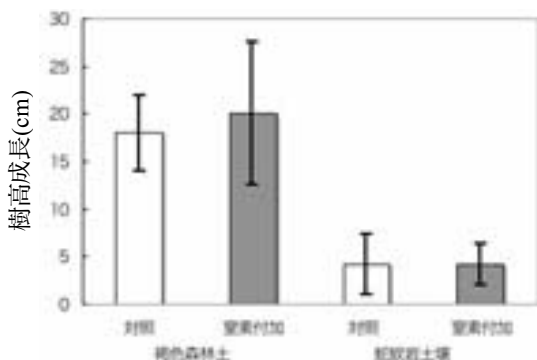


図-1 土壌の違いと窒素付加がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の樹高成長に与える影響。(n=26-30, エラーバーは標準偏差)

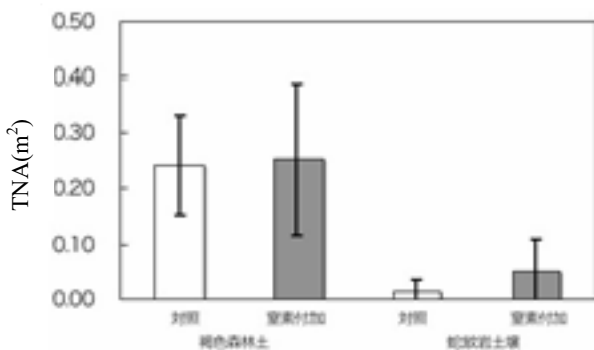


図-2 土壌の違いと窒素付加がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の総葉面積に与える影響。(n=4, エラーバーは標準偏差)

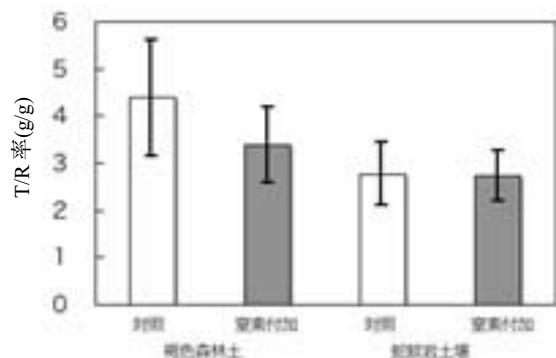


図-3 土壌の違いと窒素付加がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の T/R 率 (地上部乾重量/地下部乾重量比)に与える影響。(n=4, エラーバーは標準偏差)

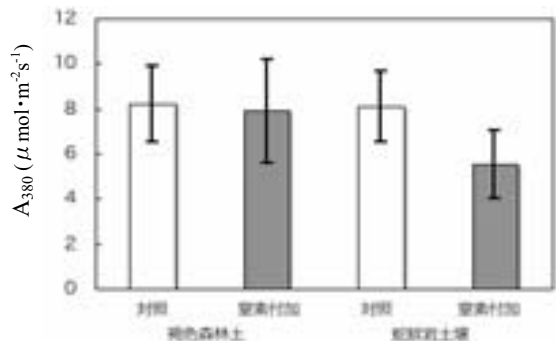


図-4 土壌の違いと窒素付加がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の光飽和の純光合成速度に与える影響。(外気二酸化炭素濃度 380 µmol l<sup>-1</sup>, 光強度 1500 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 葉温 25°C, 相対湿度 70%。n=4, エラーバーは標準偏差)

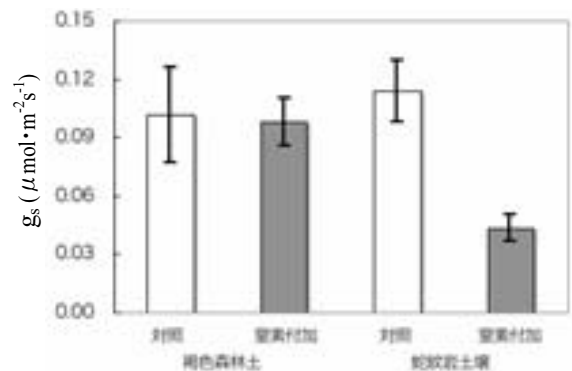


図-5 土壌の違いと窒素付加がグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)に与える影響。(n=4, エラーバーは標準偏差)

**考察**

蛇紋岩土壌における F<sub>1</sub> の活着率は褐色森林土と同様に高い値を示した。香山(8)は当地の原植生であるアカエゾマツ(*Picea glehnii* Masters)の活着率について、褐色森林土と蛇紋岩土壌と比較を行った。その結果ではアカエゾマツは 28 ヶ月でおよそ 90%の活着率を示した。本実験で用いた F<sub>1</sub>

はアカエゾマツと同様に高い活着率を示した。よって、F<sub>1</sub>は蛇紋岩土壤に植栽した際に生残および生育が可能であることが示唆された。

一方、蛇紋岩土壤でのF<sub>1</sub>の樹高成長は褐色森林土と比較して小さかった(図-1)。ここで個体の生産量を光合成速度と総葉面積の積と考えると、蛇紋岩土壤での総葉面積が有意な低下が樹高成長低下の原因と考えられる。この原因として、蛇紋岩土壤が持つ性質が関与していると考えられる。蛇紋岩土壤は粘性が強いことから堅密で過湿になりやすいため、根の呼吸が妨げられる。よって蛇紋岩土壤においては根の維持により多くの投資を行う必要があり、相対的に地上部への投資が減少していた可能性がある。今後、土壤間の物理性や土壤間での根系の違いを比較評価する必要がある。

また、蛇紋岩土壤での窒素付加によってF<sub>1</sub>の純光合成速度およびg<sub>s</sub>が低下する傾向が見られた(図-4, 5)。この原因としては、Ni過剰障害が考えられる。蛇紋岩土壤への窒素付加がpHの低下を伴う場合、土壤の可溶性Ni濃度は増加する(II)。Ni過剰障害はNi自体の毒性ではg<sub>s</sub>が低下する場合と(7)、Niとの比で相対的に鉄あるいはCa、Moの欠乏が生じてクロロシスやネクロシス等が起こる場合がある(II, 16)。今後、窒素付加による土壤や葉内のNiや鉄、Ca、Moなどの濃度を定量して、各々の養分状態を評価することによりNi過剰障害の可能性を検証する必要がある。

本実験によって蛇紋岩土壤に植栽したF<sub>1</sub>は活着できること、その一方で成長は抑制されること、蛇紋岩土壤における窒素付加によりF<sub>1</sub>の生理活性が低下する傾向があることが明らかになった。窒素付加は継続的に加わるストレスであることを考慮して、今後も調査を継続していくことが必要である。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、天塩研究林技術職員の高橋廣行、北条元、小塚力、坂井励、伊藤欣也、上浦達哉(現、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター北管理部)各氏、また同研究林の補佐員の各氏には調査地での作業をご指導頂いた。香山雅純博士(森林総合研究所九州支所)には試験地の情報を頂いた。造林学研究室諸氏との議論は有益であった。ここに記し、深謝する。

### 引用文献

- (1) Aber J. D., Nadelhoffer K. J., Steudler P. and Melillo J. M. (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience* **39**: 378-386.
- (2) 浅田節夫・佐藤大七郎 (1987) カラマツ造林学. 農林出版, 東京
- (3) Brooks R. R. (1987) *Serpentine and its vegetation*. Dioscorides Press, Portland, Oregon
- (4) Galloway J. N and Cowling E. B. (2002) Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio* **31**: 64-71.
- (5) Izuta T. and Nakaji T. (2003) Effects of high nitrogen load and ozone on forest tree species. *Eurasian J. For. Res.* **6**: 155-170.
- (6) 伊豆田猛 (2006) 樹木に対する窒素過剰の影響. 伊豆田猛編著, “植物と環境ストレス”, コロナ社, 東京, 65-87pp.
- (7) Jones M. D. and Hutchinson T. C. (1988) Nickel toxicity in mycorrhizal birch seedlings infected with *Lactarius rufus* or *Scleroderma flavidum* I. Effects on growth, photosynthesis, respiration and transpiration. *New Phytol.* **108**: 451-459.
- (8) 香山雅純 (2006) トウヒ属樹木の蛇紋岩土壤における適応機構の解明と環境修復に関する研究. 北海道大学演習林報告 **63**: 33-78.
- (9) Koike T., Yazaki K., Funada R., Maruyama Y., Mori S. and Sasa K. (2000) Forest health and vitality in northern Japan – A case study on larch plantation-. *Res. Note Fac. Forestry Univ. Joensuu* **92**: 49-60.
- (10) Larcher W. (1999) 植物におけるガス交換. 佐伯敏郎監訳, “植物生態生理学”, Springer Verlag, 東京, 58-62pp.
- (11) 水野直治 (1987) 蛇紋岩質土壤におけるニッケル過剰. “北海道農業と土壤肥料 1987”, 日本土壤肥料学会北海道支部編, 財団法人北農会, 札幌, 462-466pp.
- (12) Nakaji T., Fukami M., Dokiya Y. and Izuta T. (2001) Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings. *Trees* **15**: 453-461.
- (13) Nakaji T., Yonekura T., Kuroha M., Takenaga S. and Izuta T. (2005) Growth, annual ring structure and nutrient status of Japanese red pine and Japanese cedar seedlings after years of excessive N load. *Phyton* **45**: 457-464.
- (14) Ryu K., Watanabe M., Shibata H., Takagi K., Nomura M. and Koike T. (2008) A brief history of larch plantations in northern Japan with special reference of to their responses to changing environment, *Proceedings for ICESA 2008*: 57-62.
- (15) Seith B., George E., Marschner H., Wallenda T., Schaeffer C., Einig W., Winkler A. and Hampp R. (1996) Effects of varied soil nitrogen supply on Norway spruce(*Picea abies* [L.] Karst.), *Plant and Soil* **184**: 291-298.
- (16) 穴戸信貞・石田哲也 (1999) 蛇紋岩質土壤におけるニッケル(Ni)障害. 開発土木研究所月報 **559**: 33-37.
- (17) 丹下健 (2006) 栄養塩と光合成. “樹木生理生態学”, 小池孝良編著, 朝倉書店, 東京, 50-58pp.
- (18) Zhang P., Shao G., Zhao G., Le Master D. C., Parker G. R., Dunnung J. B. and Li Q. (2000) China's forest policy for the 21st century. *Science* **288**: 2135-2136.