

## カラマツコンテナ苗の成長に及ぼす水分環境の影響

北海道大学農学部

西井あす香

北海道大学農学院

菅井徹人

北海道大学院 農学研究院

玉井裕・斎藤秀之・澁谷正人・小池孝良

### はじめに

持続的な森林経営を行うためには再造林のコスト削減が急務とされている<sup>(6)</sup>。その一手段として、林業機械を用いて、伐採から植栽を連携し同時に行う「一貫作業システム」が提唱されている。伐採と並行して植栽を行うため、裸苗より比較的植栽可能な時期が長いとされている<sup>(15)</sup>コンテナ苗の使用が期待されている。なお、本稿においてはマルチキャビティコンテナ苗を「コンテナ苗」と表記する。

北海道の造林樹種の一つであるカラマツのコンテナ苗については、先行研究において植栽後の活着および初期成長が良好であることが明らかにされており<sup>(3)</sup>、夏から秋にかけて植栽月によらず植栽1ヶ月後の活着が認められた<sup>(11)</sup>。これらは現在の気候条件下で行われた実験であるが、今後地球温暖化や世界的な農工業の発展に伴い、苗の生育環境は大きく変化すると予測される。したがって予測される環境変動下でカラマツコンテナ苗が植栽後にどのような応答を示すのかを明らかにすることが、これからの再造林に際して重要である。

現在、化石燃料の大量消費や森林破壊による地球温暖化が問題視されている。これに伴い、日本では今後、降水量や短時間強雨、無降水日の発生回数が上昇すると予測されており<sup>(10)</sup>、極端な降水現象が増加すると推察される。降水量は樹木の成長を制限する主要因<sup>(9)</sup>であるため、その変化が植栽後のカラマツコンテナ苗に与える影響を考える必要がある。

さらに、近年窒素の湿性沈着量が日本海側で増加傾向にあり、主な原因として越境大気汚染物質の増加が示唆されている<sup>(12)</sup>。例として、大陸から硫酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が飛来していることが報告されている<sup>(14)</sup>。(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>は土壤酸性化を促進し、土壤中の重金属の溶出や菌根菌の種組成の変化が起きる可能性がある。また、土壤に窒素が過剰に供給された場合、外生菌根の発達が阻害された例が報告されている<sup>(4)</sup>。そしてこれらは樹木の成長抑制へつながり得る。

本研究では降水パターンの変化として過湿条件および急激な乾燥条件を想定し、さらに窒素沈着がコンテナ苗の成長へもたらす影響も併せて検討した。

### 材料と方法

#### 1) 試験地と材料

本研究は、北海道大学農学部温室で行った。道総研・林業試験場から供試された2年生のカラマツ(*Larix kaempferi*)コンテナ苗を用い、4月に15Lポットへ植栽した。北海道に分布する風化した火山灰土壌を想定して、供試土壌は鹿沼土と赤玉土を1:1で混合したものを用いた。5月初旬に基礎養分として総合肥料(ハイポネックス2000倍液)を全ポットに与えた。1ヶ月間すべてのポットに等しく灌水を行い、6月から以下の実験を行った。

通常の灌水・窒素付加なしの条件を対照区とし、加えて過湿区、窒素付加区、過湿・窒素付加区の計4つを設けた(以下対照区、W区、N区、複合区とする)。各処理区につき4個体×4反復の16個体、合計64個体を使用した。

#### 1-1) 過湿、窒素付加処理

本研究での処理期間は大きく3つに分けられる。6月～8月は過湿処理および窒素付加処理を施した。6月と7月は、400mlの水を複合区とW区には1～3日に1度、対照区とN区には約7日に1度与えた。そして8月は、対照区とN区への灌水は変えずに、複合区とW区に800mlの水を同頻度で与え、さらにポット全体をビニール袋で覆った(表1, 図1)。このとき、袋内には常にポット底から10cm滞水しているようにした。この処理の目的は、同処理間の個体における土壌水分量の差を小さくすることと、過湿条件をさらに強めることである。

土壌中の水分条件管理のために各処理に1つずつpFメーター(大起KK, 東京)を設置した。

窒素付加処理は、硫酸アンモニウム水溶液を80kgN/ha・年を目安としてN区と複合区の個体に与えた。

処理は約2週間に1度、5回に分けて行い、1回1個体あたり0.12%の硫酸アンモニウム水溶液を400mlずつ付加した。その際、窒素付加後にポット下のトレイから水溶液があふれないように注意した。窒素付加処理を行う際、対照区とW区には同量の水道水を与えた。

#### 1-2) 追加乾燥処理

9月～10月中旬に、突然の乾燥を想定して全個体の灌水を停止した。さらに、複合区とW区のポットからビニール袋を取り除いた。土壌の水分条件管理には土壌含水率を用いた。

---

Asuka NISHII (School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Tetsuto SUGAI (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Yutaka TAMAI, Hideyuki SAITO, Masato SHIBUYA, Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589)

**Effects of soil moisture condition on growth of containerized Japanese Larch (*Larix kaempferi*) seedlings**

2)測定項目と方法

樹高，地際直径成長量：4月の植栽後より約2か月ごとに測定した。

相対細根比：各処理から4個体ずつを掘り取り，測定した。地下部をドライオープン(75℃，3日間)で乾燥後，2mmメッシュのふるいを通したものを細根と定義した。そして地下部の総重量に対する細根の重量を相対細根比として求めた。

木部圧ポテンシャル：追加乾燥処理期間，各処理3個体×3サンプルずつ長枝を採取して木部圧ポテンシャル(以下XWPとする)を測定した。測定にはプレッシャーチャンパー(PMS社，USA)を用い，測定は3~5日に一度，夜明け前の早朝3時頃行った。

土壌含水率：5~8月は約1週間に1度，9月は約3日に1度測定した。

3)統計処理

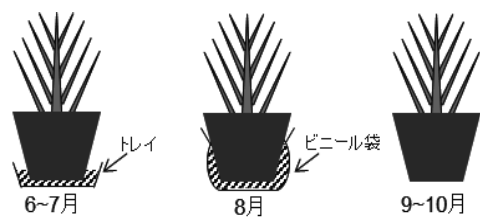
窒素付加および過湿処理の効果を明らかにするため，相対細根比，樹高および地際直径の成長量に対するそれぞれの処理および窒素付加×過湿処理の交互作用を要因とした二元配置分散分析(2wayANOVA)を行なった。

追加乾燥処理での土壌含水率とXWPとの関係において，窒素付加の有無による回帰直線の傾きの検定には共分散分析を用いた。

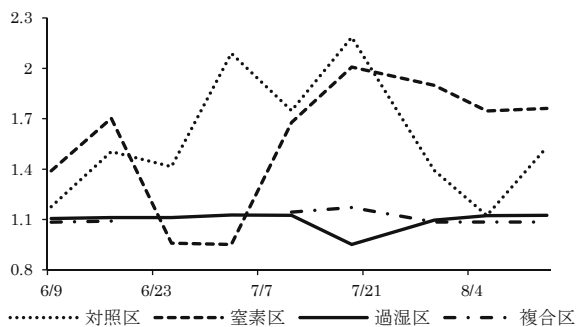
解析には統計ソフトR(ver. 3.4.2)を使用した。

表一1 過湿処理 灌水方法

	W区, 複合区	N区, 対照区
6, 7月	400ml/1~3日程度	400ml/7日程度
8月	800ml/1~3日程度(袋で覆う)	400ml/7日程度
9, 10月	灌水停止	



図一1 過湿処理下ポット模式図



図一2 各処理のpF値の季節変化

結果と考察

1)過湿，窒素付加処理

図2に示すように，W区と複合区のpF値が1.1付近を維持していることから，重力水が存在していることが示され，過湿処理は十分に行われていたと推測できる。また，対照区や窒素区のpF値の範囲は最高でも2.3程度であり，圃場容水量の1.8から初期萎凋点の3.8までの易有効水分量の範囲内であったことから<sup>(8)</sup>，樹木の水分吸収が困難なほどの乾燥条件ではなかったと考えられる。

1-1)樹高，地際直径成長量

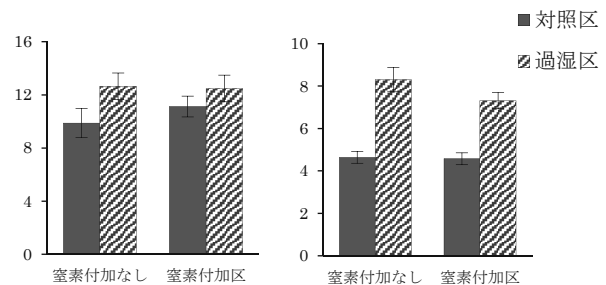
両者ともに過湿処理で増加し，窒素付加による影響はみられなかった(図3，4，表2，3参照)。これにより，6月~8月の過湿処理は地上部の成長を促進したといえる。

塩野ら<sup>(12)</sup>が示したように，過湿条件下では根が低酸素状態に陥り，成長が阻害されることによって個体は衰退することが通説とされているが，本実験での結果はこれと異なる。この原因として，本実験で用いた鹿沼土および赤玉土の通気性の高さが考えられる。これらの火山灰土壌は固相率が20%前後と低く孔隙率が高いことから通気性が高く，土壌が低酸素状態に陥りにくかった可能性がある。

窒素付加による影響は認められなかったことから，本実験での地上部の成長においては窒素付加処理よりも過湿による影響が大きかったことが推察される。

1-2)相対細根比

相対細根比は，過湿処理で低下し窒素付加で上昇した(図5，表4)。過湿処理下では土壌中の水分が多く，水分吸収のための細根を伸ばす必要性が低かったと推察される。



図一3 樹高成長量[cm]

図一4 地際直径成長量[mm]

表一2 樹高成長 分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
過湿	1	100.8	100.83	5.878	0.0185
窒素	1	18.4	18.44	1.075	0.3042
過湿×窒素	1	4.8	4.75	0.277	0.6006
誤差	57	977.8	17.15		

表一3 地際直径成長 分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
過湿	1	163.94	163.94	64.957	3.88e-11
窒素	1	4.49	4.49	1.779	0.187
過湿×窒素	1	3.43	3.43	1.360	0.248
誤差	60	151.43	2.52		

また、土壌への過剰な窒素付加は根を太く短くすることにつながるが示されており<sup>(2)(6)</sup>、このことから相対細根比は窒素付加に伴い低下すると考えられる。しかし本研究ではこれと一致しなかった。George<sup>(2)</sup>の実験においては585kgN/haを目安に窒素付加を行っており、これは本研究の約7倍の窒素付加にあたる。そこで本研究での窒素付加量は根の発達を阻害する要因とはならなかった可能性が示唆された。ただし、窒素付加により樹体内のリンをはじめとする養分バランスが崩れた可能性については該当元素の定量によって推定できるため、今後の課題とする。

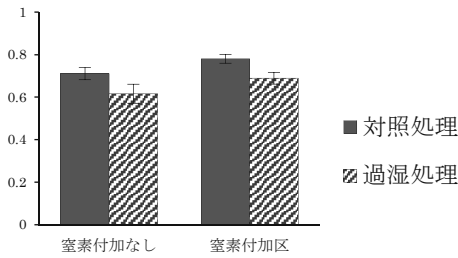


図-5 相対細根比(縦軸:無単位)

表-4 相対細根比 分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
過湿	1	0.02357	0.023572	5.791	0.0369
窒素	1	0.02260	0.022603	5.553	0.0402
過湿×窒素	1	0.00026	0.000262	0.064	0.8050
誤差	10	0.04070	0.004070		

2) 追加乾燥処理

過湿条件下で育成した苗木は、相対細根比が低下したにも関わらずXWPは高かった。この処理区においては、土壌中の水分が対照区と比較して豊富であり、灌水停止までにより多くの水分を樹体内に蓄えられたため、灌水停止後も高いXWPを示したと推察される。さらに、過湿条件下では前述のように地際直径が増加していることから、より太い幹の形成による水分蓄積や幹への通気組織の形成に関与している可能性も考えられる。

土壌含水率とXWPの関係を図6に示す。各処理に回帰分析を行い、回帰係数を求めた(表5)。さらに、複合区とW区(過湿条件)、対照区とN区(対照条件)の2グループに処理区を分けた。それぞれのグループ内で窒素の有無がもたらす影響を評価するため、各グループについて共分散分析を行い、交互作用の有無から回帰直線の傾きに差があるかを検討した(表6, 表7)。

回帰直線の傾きを比較すると、両グループともに有意差( $p < 0.05$ )はみられなかったが、対照条件下においては回帰直線の傾きが異なる傾向が示された( $p < 0.1$ )。これは、過湿条件下では窒素付加の影響が小さいことを示唆している。過湿条件下では、苗が吸収する水分中の窒素量が対照処理と比べて相対的に少なく、窒素が苗のXWPに与える影響が小さくなった可能性が考えられる。しかしこれに関しては、今後さらに各処理の個体の窒素含有量を定量する

ことが必要である。

また、対照条件下では窒素付加の影響がみられた( $p < 0.1$ )。これは窒素付加により、土壌含水率の低下に伴ってXWPが特に低下しやすいことを意味する。結果1)に示したように、本実験での窒素付加は根の成長阻害要因とならなかったことが示唆されるため、窒素区では付加された窒素が栄養分として働き、光合成およびそれに伴う蒸散を促進させた可能性がある。

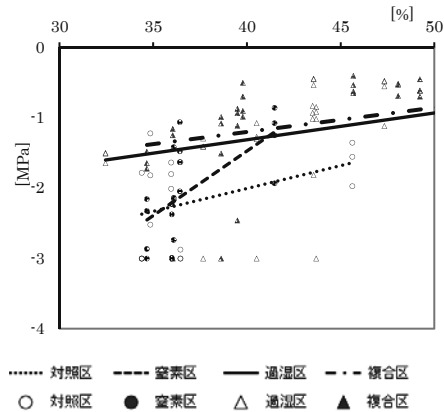


図-6 土壌含水率と木部圧ポテンシャル XWP の関係

表-5 回帰直線の傾き

対照区	N区	W区	複合区
0.476	1.016	0.209	0.2

表-6 過湿条件下 分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
窒素付加	1	0.0248	0.0248	0.0689	0.7938
土壌含水率	1	7.6091	7.6091	21.1580	1.898e-05
窒素×含水率	1	0.0178	0.0178	0.0496	0.8245
誤差	68	24.4551	0.3596		

表-7 対照条件下 分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
窒素付加	1	0.208	0.208	0.614	0.43880
土壌含水率	1	3.769	3.769	11.125	0.00212
窒素×含水率	1	1.104	1.104	3.259	0.08018
誤差	33	11.179	0.339		

まとめ

過湿・窒素付加処理期間において、窒素付加の地上部への影響はほとんど見られず、過湿条件下では地上部の成長が促進された。このことから、6~8月においては窒素条件よりも水分条件がカラマツコンテナ苗の地上部成長に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。また、窒素付加処理が個体に及ぼした影響を評価する際には、本実験に追加として個体内の窒素の定量を行う必要がある。

そして相対細根比に関しては窒素・過湿条件ともに影響

があると考えられるため、今後さらに地下部に関する調査および評価が必要と思われる。

追加乾燥処理においては、過湿条件下の個体はより高いXWPを示し窒素付加の影響はみられなかった。しかし土壌含水率とXWPの関係を評価したところ、対照条件下の窒素付加により、土壌含水率低下に伴うXWP低下が促進される傾向があった。

本研究は単年度の研究結果であり、さらに処理のもたらす越年効果も追跡する必要がある。

#### 謝辞

本実験の実施にあたって、実験材料を提供して下さった来田和人、今博計、石塚航氏ら道総研・林業試験場の皆様には心より感謝する。

#### 引用文献

- (1) Ban S, Matsuda K, Sato K, Ohizumi T (2016) Long-term assessment of nitrogen deposition at remote EANET sites in Japan Atmos Environ **146**:70-78
- (2) George E, Kircher S, Schwarz P, Tesar A, Seith B (1999) Effect of varied soil nitrogen supply on growth and nutrient uptake of young Norway spruce plants grown in a shaded environment Journal of Plant Nutrition and Soil Science **162**:301-307
- (3) 原山尚徳, 来田和人, 今博計, 石塚航, 飛田博順, 宇都木玄 (2016) 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長および生理生態特性 日林誌 **98**:158-166
- (4) H. Wallander and J.-E. Nylund(1992) Effects of excess nitrogen and phosphorus starvation on the extrametrical mycelium of ectomycorrhizas of Pinus sylvestris L. New Phytol. **120**:495-503
- (5) 石塚森吉 (2012) 低コスト造林技術の研究開発方向 現代林業 **555**:14-17
- (6) 伊豆田猛 (2001) 森林生態系における窒素飽和とその樹木に対する影響 大気環境学会誌 **36**:A1-A13
- (7) 苅住昇 (2010) 最新樹木根系図説総論 誠文堂新光社 937pp.
- (8) 河田弘 (1989) 森林土壌学概論 博友社 399pp.
- (9) 川口光倫 (2014) 森林生産性の傾向変化に寄与する気候的・非気候的要因 日本生気象学会雑誌 **51**:71-82
- (10) 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報 第9巻 <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/>
- (11) 成松眞樹, 八木貴信, 野口麻穂子 (2016) カラマツコンテナ苗の植栽時期が植栽後の活着と成長に及ぼす影響 日林誌 **98**:167-175
- (12) 野口 泉, 山口 高志 (2010) 大気からの窒素成分沈着 地球環境 **15**No. 2: 111-120
- (13) 塩野克宏, 高橋宏和, 中園幹生 (2010) 植物は過湿土壌にどのように適応しているのか 化学と生物 **46**:245-251
- (14) 渡邊陽子, 山口高志, 野口泉, 堅田元喜, 若松歩, 川井田東吾 (2013) 北海道の大気中エアロゾル成分と樹木個葉に付着したエアロゾル粒子の観察 北森研 **61**:85-86
- (15) 山川博美, 重永英年, 久保幸治, 中村松三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響 日林誌 **95**:214-219