

カラマツ属3種のポット苗における光合成速度の 温度および蒸気圧欠差に対する反応

森林総合研究所北海道支所 原山尚徳・上村 章・北岡 哲・宇都木 玄
北海道立総合研究機構林業試験場 大野泰之・来田和人

はじめに

近年、北海道のカラマツ林が収穫時期を迎えている。次世代の再造林樹種として、グイマツを母親、カラマツを花粉親として交配して作られたグイマツ雑種 F₁ (5) に期待が寄せられている。このグイマツ雑種 F₁ は、カラマツの欠点を改良することを目的として作られており、グイマツの野ネズミに対する食害抵抗性の高さや材強度の高さを引継ぐ一方で、カラマツの成長の良さを引継いでいる (2)。

グイマツ雑種 F₁ の両親であるグイマツとカラマツの分布域は大きく異なっている。グイマツはユーラシア大陸北東部と千島列島以北に分布するのに対して、カラマツは日本の中部地方以北に分布する。将来予測される地球温暖化に対して北方系のグイマツをかけ合わせたグイマツ雑種 F₁ はカラマツよりも適応性が低い可能性がある。そこで本研究では、葉温の上昇や大気乾燥に対する光合成速度の反応をグイマツ、カラマツ、グイマツ雑種 F₁ で比較し、これら3樹種の地球温暖化に対する適応性の違いについて光合成の観点から検討した。

材料と方法

研究にはカラマツ、グイマツ、グイマツ雑種 F₁ (クリーンラーチ) の3年生ポット苗を用いた。ポット苗は、2年目までは3樹種ともに美唄市の北海道立総合研究機構林業試験場で育成したが、3年目にグイマツのみ札幌市の森林総合研究所北海道支所に移動し育成した。札幌市と美唄市の気温を比較すると、日最低気温が札幌市よりも美唄市で高く、日最高気温はほぼ同じ値である (図-1)。

飽和光における光合成速度 (P_{max}) の温度反応および

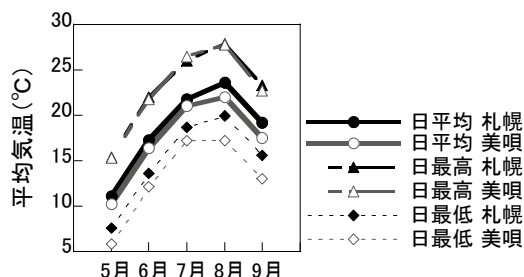


図-1 2011年の札幌市と美唄市における月毎の平均気温

蒸気圧欠差反応の測定を2011年8月末から9月初めに行った。測定はすべて森林総合研究所北海道支所にある環境調節室内で行った。葉のガス交換の測定には携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400, Li-Cor) を用いた。測定中の光合成有効放射束密度 (PPFD) とチャンバー内 CO₂ 濃度はそれぞれ 1000 μmol m⁻² s⁻¹ および 370 ppmv とし、環境調節室内の PPFD はポット苗の高さで約 200 μmol m⁻² s⁻¹ とした。

葉温の変化に対する P_{max} の反応の測定では、葉温を 15℃ から 35℃ まで 5℃ 間隔で変化させ、それぞれの葉温で 30 分間維持した後に P_{max} を測定した。その際、環境調節室内の気温は葉温と等しくした。測定中、チャンバー内と環境調節室内の相対湿度を 80-85% に維持した。葉温 15, 20, 25, 30, 35℃ における葉と大気間の蒸気圧欠差 (VPDL) はそれぞれ 0.51 ± 0.06, 0.66 ± 0.06, 0.85 ± 0.07, 1.11 ± 0.06, 1.46 ± 0.07 hPa (平均値 ± 標準偏差) であった。各樹種ともに 6 個体からそれぞれ 1 枚の葉について測定した。葉温と P_{max} の関係を 2 次多項式で回帰し、回帰式から P_{max} が最大となる時の葉温 (= 最適光合成温度) を算出した。

VPDL の変化に対する P_{max} の反応の測定では、葉温と

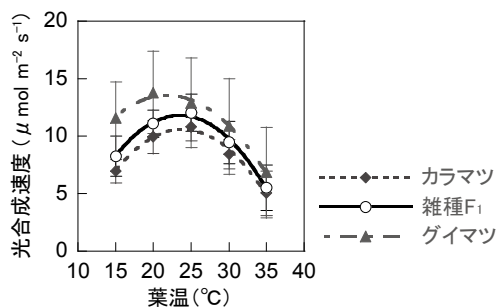


図-2 葉温と光合成速度の関係 (平均値 ± 標準偏差, n = 6)

表-1 葉温-光合成関係の回帰式 (光合成速度 = a 葉温² + b 葉温 + c), 回帰式から算出した光合成最適温度 (℃)

樹種	a	b	c	最適温度
カラマツ	-0.0457	2.18	-15.4	23.8
グイマツ雑種 F ₁	-0.0485	2.28	-15.1	23.5
グイマツ	-0.0392	1.71	-5.2	21.8

Hisanori HARAYAMA, Akira UEMURA, Satoshi KITAOKA, Hajime UTSUGI, (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516), Yasuyuki OHNO, Kazuhito KITA (Local Independent Administrative Agency, Hokkaido Research Organization)

Temperature and vapor pressure deficit dependence of photosynthetic rate in saplings of three *Larix* spp.

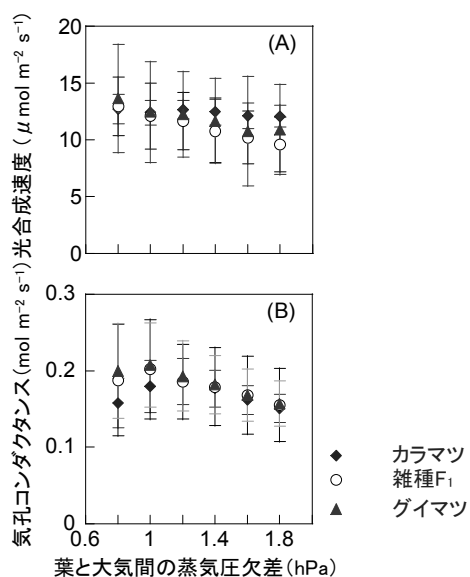


図 - 3 葉と大気間の蒸気圧欠差と (A) 光合成速度および (B) 気孔コンダクタンスの関係 (平均値±標準偏差, n = 4)

環境調節室の気温を 23℃に保った。チャンバー内へ流入する空気の湿度を調節することで、測定葉の VPDL を 0.8 hPa から 1.8 hPa まで 0.2 hPa 間隔で変化させた。それぞれの VPDL 条件で 10 分間維持し気孔コンダクタンス (g_s) のが安定したのを確認した後に P_{max} と g_s を測定した。環境調節室内の相対湿度は約 70% に保った。各樹種ともに 4 個体からそれぞれ 1 枚の葉について測定した。

結果と考察

3 樹種ともに P_{max} は葉温が低温や高温の時に低く、中温で高い傾向を示したが、 P_{max} が最大となる時の葉温はカラマツ・グイマツ雑種 F_1 とグイマツとは異なった (図 - 2)。カラマツやグイマツ雑種 F_1 の P_{max} は葉温が 25℃で最大となったのに対して、グイマツでは葉温が 20℃で最大となった。また、葉温 - P_{max} 関係の回帰式から算出した光合成最適温度は、カラマツやグイマツ雑種 F_1 のほうがグイマツよりも 2℃程高かった (表 - 1)。こうした結果は、グイマツ雑種 F_1 の光合成温度反応は分布域が北にあるグイマツよりも分布域が南にあるカラマツとよく似ており、光合成の点から見ると、グイマツ雑種 F_1 の温暖化適応性はカラマツと同程度でグイマツよりも高いことを示している。一般に、光合成の最適温度は生育温度が高くなるほど高くなる傾向にある (1)。今回測定に用いたポット苗は、美唄市で育成したカラマツやグイマツ雑種 F_1 よりも、札幌市で育成したグイマツのほうが生育温度は高い (図 - 1)。したがって、グイマツと比べた時のグイマツ雑種 F_1 やカラマツの温暖化適応性の高さは、今回観測された程度よりさらに大きい可能性がある。

葉温 23℃に維持した時の VPDL 変化に対する P_{max} 変化は、グイマツ雑種 F_1 とカラマツ、グイマツで概ね同じような傾向を示した (図-3 A)。3 樹種ともに VPDL が増

加しても P_{max} はほぼ一定 (カラマツ)、もしくは緩やかに低下した (グイマツ雑種 F_1 とグイマツ)。また VPDL の増加に伴う P_{max} の低下は葉温上昇に伴う P_{max} の低下よりも小さく、VPDL が 1.6 hPa のときでも P_{max} は約 80% と高い値を示した。さらに、VPDL に対する気孔コンダクタンスの反応も 3 樹種ともに同じような傾向を示し、VPDL の増加に対して g_s は緩やかに低下した (図 - 3 B)。こうした結果は、今回研究したカラマツ属 3 樹種は地球温暖化にともなう大気の乾燥に対して適応性が高く、樹種間差が少ないことを示している。また、今回測定された葉温上昇に伴う P_{max} の低下 (図 - 1) の主な要因は、葉温上昇によって生じる VPDL 増加による気孔閉鎖ではなく、温度上昇による光合成系酵素の反応速度の低下 (1) であることを示している。

北海道では 21 世紀末に夏の気温が 3℃程度上昇すると予測されている (3)。そこで、今回得られた葉温 - 光合成関係式の回帰式と、8 月の札幌の平均日最高気温 (過去 10 年の平均値, 26.7℃) から、将来の P_{max} を予測した。文献から日中の葉温は気温よりも 3.6℃高いと仮定した (4)。その結果、21 世紀末の P_{max} はカラマツとグイマツ雑種 F_1 で現在の 74.9%、グイマツで 78.2% となり、地球温暖化の P_{max} への影響は比較的小さくグイマツ雑種 F_1 とカラマツ、グイマツの間の差は小さい結果となった。一般に光合成の温度反応は CO_2 濃度や生育温度の違いによって変化することが知られていることから (1)、将来大気 CO_2 濃度上昇し地球温暖化が生じた場合、今回試算した将来の P_{max} 値よりもさらに高くなる可能性がある。

今回の研究結果から、光合成の点から見ると、グイマツ雑種 F_1 はカラマツと同程度の温暖化適応性を持つことが明らかとなった。前述のとおり、光合成の温度反応は CO_2 濃度や生育温度の違いによって変化する (1)。今後、グイマツ雑種 F_1 を高 CO_2 条件や高温で育成させた時に今回ここで示した温度 - 光合成関係がどのように変化するかを明らかにすることで、グイマツ雑種 F_1 の温暖化適応性をより明確にできるだろう。

引用文献

- (1) Hikosaka K., Ishikawa K, Borjigidai A, Muller O. and Onoda Y. (2006) Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. J. Exp. Bot. 57 : 291-302.
- (2) 北海道立林業試験場 (2004) これがグイマツ雑種 F_1 だ! . 8pp.
- (3) 気象庁札幌管区气象台 (2010) 北海道の気候変化. <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/kikohenka/kikohenka.html>
- (4) 三田村理子・山村靖夫・中野隆志 (2008) 雪崩攪乱で生じた強光環境でのシラビソとカラマツ稚樹の光合成と水分特性. 富士山研究 2 : 15-21
- (5) 高橋延清・柳沢聡雄・久保田泰則 (1968) 雑種カラマツの生産と利用. 北海道林木育種協会, 180pp.