

高 CO₂ がエゾノキヌヤナギの光合成特性と成長に与える影響

森林総合研究所 北海道支所
 日本大学 生物資源学部
 森林総合研究所

北岡 哲・上村 章・原山尚徳
 丸山 温
 飛田博順・宇都木 玄

はじめに

ヤナギ属(*Salix*)の樹木は遷移初期に見られ、成長速度が速く、挿し木でも簡単に増殖でき、さらに収穫後も容易に萌芽する(8, 13)。このような性質からバイオ燃料資源としての利用を目的としたヤナギ属樹木の育種や栽培実験が行われている(3, 14)。また環境変動に応じた育種選抜を効率的に進めるため、ポット苗を用いた温室実験から野外における収量の推定も試みられている(14)。このため、ヤナギ属樹木のポット苗の高 CO₂ 応答を明らかにすることは、将来の高 CO₂ 下に適した品種の育種選抜や野外における収量予測に貢献できる可能性がある。

高 CO₂ 下において光合成特性の低下(負の制御現象: 6, 7, 10, 12)が生じる理由のひとつに、光合成生産(ソース)と光合成産物の貯蔵や成長による消費(シンク)の関係の崩れがある(5, 7, 10)。特にシンク器官である根の生長空間に限られるポット苗では、ポットサイズ効果と呼ばれる現象が指摘されている(1)。ポットサイズ効果とは容量 5 L 以下のポットで材料を生育させると、負の制御現象が生じて光合成特性の低下が見られるが、容量が 5 L より大きいポットでは負の制御現象が生じず、光合成速度は低下しない現象のことである(1)。しかしながら、容量 5 L 以下のポットでも十分な施肥を与えて生育させると、ポットサイズ効果はみられないという報告もある(6, 7, 10)。

ヤナギ属樹木のポット苗を用いた CO₂ 付加実験において栽培に用いるポットサイズの違いが生理応答に与える影響は明らかにされていない。そこで本研究はヤナギ属樹木であるエゾノキヌヤナギ(*Salix pet-susu* Kimura)の高 CO₂ に対する生理応答に、ポットサイズの違いが与える影響を評価することを目的に実験を行った。

材料と方法

2012年5月上旬にエゾノキヌヤナギの挿し穂を洗浄した川砂で満たしたポットに挿しつけた。ポットは 0.5 L, 5 L, 10 L の 3 サイズ用意した。植え付けた苗は森林総合研究所北海道支所の自然光人工気象室(気温昼 25 °C /夜 16 °C)で 120 日間育成した。CO₂ 濃度は 370 ppm, 720 ppm の 2 条件とした。

施肥は先行研究を参考にしておこなった(4,5)。元肥として 250 mgN 相当の窒素を緩効性の固形肥料で材料に与えた。また成長に伴う養分不足が懸念されたため、追肥として液肥を週 1 回 50 mgN づつ 10 週間計 500 mgN 与え

た。展葉開始後 90 日目に先端より 10 枚目の成熟した葉を対象として、生育 CO₂ 濃度における光合成速度(P_{growth})と二酸化炭素-光合成関係の測定を行った。測定は LI-6400(Li-cor 社 米国)を用い、測定手順は Long and Bernacchi (9)に従った。最大 Rubisco 活性(V_{cmax})と最大電子伝達速度(J_{max})(2)は Onoda et al. (11)を参考に算出した。

光合成速度を測定した葉を採取したのち、1cm²のディスクを 5 枚打ち抜き、80°C で 48 時間乾燥させ、LMA の測定と窒素含有量(N)の分析に供した。窒素含有量の分析は全自動元素分析装置 vario MAX (Elementar Analysensysteme GmbH, 独国)を用いた。統計解析は分散分析を用いて、高 CO₂ とポットサイズ効果の有無を 5% 水準で検定した。効果がみられた場合には、多重比較(テューキー法)を行って各処理間の差を検定した。

結果と考察

J_{max} を除いた各パラメーターの高 CO₂ に対する応答に、ポットサイズによる違いは見られなかった(表-1)。すなわち、いずれのポットサイズにおいても N_{area} , V_{cmax} は 720 ppm で有意に低下し($p < 0.01$)、LMA, 幹乾重は 720 ppm で有意に増加した(表-1, $p < 0.01$)。

720 ppm の P_{growth} , V_{cmax} において負の制御現象(6, 7, 10, 12)がみられた(表-1)。720 ppm で LMA が 370 ppm よりも有意に増加し、葉の窒素量が減少していることから(表-1)、高 CO₂ 処理によって代謝バランスが崩れ、炭水化物が葉に蓄積することによって葉の窒素濃度が希釈されていることが推察される(5)。また 720 ppm において幹乾重が 370 ppm よりも有意に増加していることから(表-1)、成長増加によって樹体内の窒素濃度が希釈されたことも P_{growth} , V_{cmax} で負の制御現象がみられた要因のひとつと考える。

本研究では、ポットサイズの違いが高 CO₂ 応答に与える影響にのみ着目したが、ポットサイズの影響は与える施肥量によっても異なる(6, 10)。今後異なるポットサイズと施肥量の組み合わせ試験を行って明らかにしていきたいと考える。

謝辞: 本研究は生研センターのイノベーション創出基礎的研究推進事業の支援を受けた。

引用文献

- (1) Arp WJ. (1991) Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant Cell Environ.* **14**:869-875.

Satoshi KITAOKA, Akira UEMURA, Hisanori HARAYAMA (Hokkaido Branch Center, FFPRI, Sapporo 062-8516), Yutaka MARUYAMA (Coll. Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa, 252-8510), Hiroyuki TOBITA and Hajime UTSUGI (FFPRI, Tsukuba, 305-8687)

Effects of elevated CO₂ concentration and pot size to leaf photosynthetic responses of willow (*Salix pet-susu* Kimura).

- (2) Farquhar GD., von Caemmerer S. and Berry JA. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* **149**:78-90.
- (3) Karp A. and Shield I. (2008) Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytol.* **179**:15-32.
- (4) Kitao M., Koike T., Tobita H. and Maruyama Y. (2005) Elevated CO₂ and limited nitrogen nutrition can restrict excitation energy dissipation in photosystem II of Japanese white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) leaves. *Physiol. Plant.* **125**: 64-73.
- (5) 北岡哲ら (2011) 大気 CO₂ 濃度の増加がエゾノキヌヤナギに与える影響. *日林北支論* **59**: 53-54.
- (6) 小池孝良 (1999) CO₂ 濃度上昇と森林の応答機能研究の動向. *大気環境学会誌* **34**:A35-42.
- (7) 小池孝良 (2003) 地球環境変化と植物: 木本植物における高 CO₂ 環境への応答. 光と水と植物のかたち-植物生理生態学入門-, 文一総合出版, 東京, pp120-138.
- (8) Koike T., Kohda H., Mori S., Takahashi K., Inoue MT. and Lei TT. (1995) Growth responses of the cuttings of two willow species to elevated CO₂ and temperature. *Plant Species Biol.* **10**:95-101.
- (9) Long SP. and Bernacchi CJ. (2003) Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error, *J. Exp. Bot.*, **54**:2393-2401.
- (10) 牧野 周 (1999) CO₂と光合成. 植物の環境応答 -生存戦略とその分子機構-, 秀潤社, 東京, pp134-141.
- (11) Onoda Y., Hikosaka K. and Hirose T. (2005) Seasonal changes in the balance between capacities of RuBP carboxylation and RuBP regeneration affects CO₂ response of photosynthesis in *Polygonum cuspidatum*. *J. Exp. Bot.* **56**:755-763.
- (12) Sage RF., Sharkey TD. and Seemann JR. (1989) Acclimation of photosynthesis to elevated CO₂ in five C₃ species. *Plant Physiol.* **89**:590-596.
- (13) 酒井 昭 (1995) 植物の分布と環境適応. -熱帯から極地・砂漠へ-. 朝倉書店, 東京, 164pp.
- (14) Weith M. and Nordh N-E. (2005) Determinants of biomass production in hybrid willows and prediction of field performance from pot studies. *Tree Phys.* **25**: 1197-1206.

表-1 異なるポットサイズと CO₂濃度で育てたエゾノキヌヤナギの光合成および葉の特性と成長量

パラメーター (単位)	CO ₂	ポットサイズ			ANOVA
		0.5 L	5 L	10 L	
P _{growth} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	370 ppm	19.90(0.85)ab	15.35(1.51)a	15.01(0.70)a	p < 0.01
	720 ppm	23.11(2.03)b	18.38(1.56)a	16.00(0.65)a	
LMA (g m ⁻²)	370 ppm	38.65(0.89)c	50.42(0.92)ac	62.27(3.29)ab	p < 0.01
	720 ppm	73.46(4.51)bd	69.07(2.40)bd	85.57(3.55)d	
N _{area} (g m ⁻²)	370 ppm	1.53(0.06)c	1.32(0.04)ac	1.19(0.05)ab	p < 0.01
	720 ppm	1.05(0.09)bd	1.01(0.04)bd	0.86(0.05)d	
V _{cmax} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	370 ppm	96.65(4.65)c	78.04(8.15)ac	75.20(4.47)ab	p < 0.01
	720 ppm	70.06(6.65)ab	50.69(4.08)d	52.14(4.91)d	
J _{max} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	370 ppm	140.41(2.34)c	112.44(4.49)a	97.26(1.63)ab	p < 0.01
	720 ppm	101.77(5.12)ab	82.93(4.99)b	84.41(2.30)b	
幹乾重 (g)	370 ppm	22.03(3.58)a	32.37(2.03)ab	28.64(0.96)ab	p < 0.01
	720 ppm	38.62(3.63)bc	43.62(3.23)c	42.40(3.23)c	

()内は標準誤差を示す。栽培条件の効果は一元配置の分散分析(ANOVA)で検定した。有意水準 5%とし, p 値を示した。各処理の反復数は n = 6 である。