

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580231

研究課題名(和文) バイオマス造林樹種ヤナギの高い二酸化炭素吸収能の機構解明

研究課題名(英文) The relationships between high biomass production and ecophysiological properties for two *Salix* species (*Salix sachalinensis* Fr. Schm and *S. pet-susu* Kimura)

研究代表者

上村 章 (Uemura, Akira)

独立行政法人森林総合研究所・北海道支所・主任研究員

研究者番号：30353600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：寒冷な地域における木質バイオマスエネルギー作物として、海外では、ヤナギの短伐期栽培が取り組まれている。我々は、北海道においてオノエヤナギ(*Salix sachalinensis* Fr. Schm)とエゾノキヌヤナギ(*Salix pet-susu* Kimura)の短伐期栽培の可能性を評価するために試験を行っている。成長や生理生態学的特性に両ヤナギの間に大きな違いはみられなかった。両ヤナギは、葉に多くの窒素を持った。葉の窒素の大部分が光合成系の酵素に配分されるため、高い光合成能力を持つと考えられた。

研究成果の概要(英文)：We investigate the relationships between high biomass production and ecophysiological properties for two *Salix* species (*Salix sachalinensis* Fr. Schm and *S. pet-susu* Kimura). Both *Salix* species are important as biomass energy plants. Both *Salix* species had high photosynthetic rate and transpiration rate. Additionally, both *Salix* had high nitrogen content in the leaves. High nitrogen content conduct high photosynthetic rate, because nitrogen in leaves are closely related enzyme for photosynthesis.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：オノエヤナギ エゾノキヌヤナギ バイオマス 光合成

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化問題への対応の1つとして、バイオマスの利活用が進められている。その中でも食物生産と競合しないバイオマスとして、木質系バイオマスが注目されている。木質系バイオマスは、草本系バイオマスと比べて、貯蔵安定性が高い、生産安定性が高い、事業安定性が高いといった特長を持つ。しかし、これまで日本では、バイオマス資源作物として樹木種の畑作的短伐期栽培はほとんど行われてこなかった。

(2) 北海道では、使われていない採草放棄地などの土地を利用したヤナギの栽培試験が進められてきた。そこで用いられるヤナギ樹種には、北海道全域の特に河畔域に多く分布し、成長の旺盛なエゾノキヌヤナギとオノエヤナギが選ばれている。これらのヤナギは、その初期成長の早さだけでなく、容易な挿し穂による増殖、高い萌芽再生能力といったバイオマス生産樹種として適した特長を持つ。

(3) これらエゾノキヌヤナギとオノエヤナギの収量は、これまでの我々の研究により、一般的な落葉広葉樹や落葉針葉樹(カラマツ)の収量と比べてかなり大きいことがわかってきた。しかし、両ヤナギの生理生態学的特性は十分解明されていない。ポテンシャルとしての二酸化炭素吸収能力(光合成能力)が、同じく北海道に広く分布する落葉広葉樹のミズナラやシラカンバと比べて高いであろうか。

### 2. 研究の目的

木質バイオマス資源作物としてエゾノキヌヤナギとオノエヤナギが注目され、収穫試験が行われてきた。この試験により、1年で6.5 ton ~ 13.2 ton / ha (乾燥重量)の高いバイオマス収量が得られることがわかってきた。しかし、これらヤナギの高いバイオマス収量や樹種・クローン間差をもたらす要因が明らかにされていない。本研究では、生理生態学的側面からヤナギの種特性を評価することを目的とし、成果は、その能力を維持増進させるための栽培管理や植栽場所選定に活用する。道内数河川流域において成長がすぐれると思われる数個体から採取、増殖したものの(クローン)を用い、次の点を明らかにする。

- (1) ガス交換速度の日変化を明らかにする。
- (2) 土壌水分条件とガス交換速度の関係を明らかにする。
- (3) クローン間差をもたらす要因を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 北海道下川町に道内数河川より集めた、エゾノキヌヤナギ 10 クローン(うち 4 クローンは地物(下川産))とオノエヤナギ 6 クローン、各クローン 25 本(株)ずつ挿し木で植栽した。光合成特性を明らかにするために、携帯型光合成蒸散測定器を用いて、切り枝法によりガス交換の測定を行った。チャンバーは人工光チャンバーを用い、光強度(PPFD)は  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、葉温は 25 に設定した。葉内二酸化炭素濃度と光合成の関係(Ci-A 曲線)を得るために、二酸化炭素濃度を 370、50、80、110、140、370、600、1200、1800、2000 ppm と変化させ光合成速度の値を測定した。測定した曲線から  $V_{\text{cmax}}$ (最大二酸化炭素同化効率=光合成能力)を計算した。測定した葉は、実験室に持ち帰り、窒素濃度の分析(VarioMax)、形態的観察を行った。比較として、同所的に成育する落葉広葉樹シラカンバ、ミズナラも同様の測定を行った。

(2) 微気象環境の変化に伴うガス交換速度の変化を明らかにするために、ガス交換速度の日変化を測定した。森林総合研究所北海道支所の苗畑に育成したエゾノキヌヤナギとミズナラとシラカンバを用いた。ガス交換速度の測定には、携帯型光合成蒸散測定器(Li-Cor. LI-6400)を用いた。チャンバーヘッドは、自然光型を用いた。導入空気の水蒸気と二酸化炭素濃度は、外気と等しくなるようにした。

ガス交換速度の光誘導(light induction)反応のエゾノキヌヤナギ、ミズナラ、シラカンバの違いを明らかにするために、光強度(PPFD)を  $1200 \quad 60 \quad 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  と変化させた。

(3) 土壌水分とガス交換速度の関係を明らかにするために、降雨が2週間以上なかった日と2週間以内に90mmの降雨があった日に携帯型光合成蒸散測定器を用いてガス交換速度の測定を行った。

(4) 個葉の形態学的特性を明らかにするために、光学顕微鏡を用いて、気孔、横断面切片の観察を行った。

### 4. 研究成果

(1) バイオマス造林に有望であるエゾノキヌヤナギとオノエヤナギの両種は、高い光合成能力( $V_{\text{cmax}}$ : 最大二酸化炭素同化効率)を持った(図-1)。特に、エゾノキヌヤナギの地元(下川町)採取のクローンが高い  $V_{\text{cmax}}$  を持った。

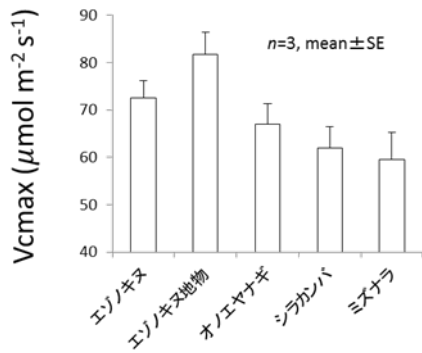


図 - 1 各樹種の Vcmax

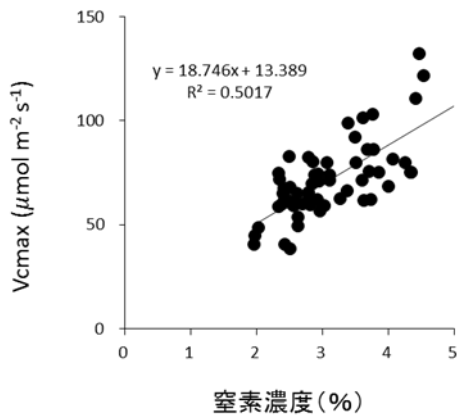


図 - 2 葉の窒素濃度と Vcmax の関係

図 - 2 に葉の窒素濃度と Vcmax の関係を示した。窒素濃度が他の落葉広葉樹(通常 2~3%)より高いものも多く、また、窒素濃度と Vcmax の間に正の相関関係が見られた。光合成系のタンパク質に多くの窒素が分配されている事が考えられた。

(2) 光合成能力がどのように日中発揮されているかが、成長にとって重要である。ガス交換速度(純光合成速度、蒸散速度)の日変化の測定から得られた、気孔コンダクタンス(気孔の開度の指標)と純光合成速度の関係にエゾノキヌヤナギ、ミズナラ、シラカンバの間に大きな違いはなかった。高い純光合成速度は、大きい気孔コンダクタンスを持つことによって発揮されていることがわかった。

雲が太陽光をさえぎる時、葉に照射される光強度も大きく変化し、ガス交換速度も影響を受ける。ガス交換速度の光誘導(light induction)反応は、そのパターンがエゾノキヌヤナギ、ミズナラ、シラカンバで異なった(図 - 3)。気孔コンダクタンスは、エゾノキヌヤナギとシラカンバで、光強度の減少に伴う影響はほとんど見られなかった。気孔コンダクタンスを低光強度下でも維持できることは、その後の強光下ですばやく高い光合成を行うために有利であることを示す。こ

れらの反応パターンは、日中の光合成生産を高める上で重要であると考えられた。

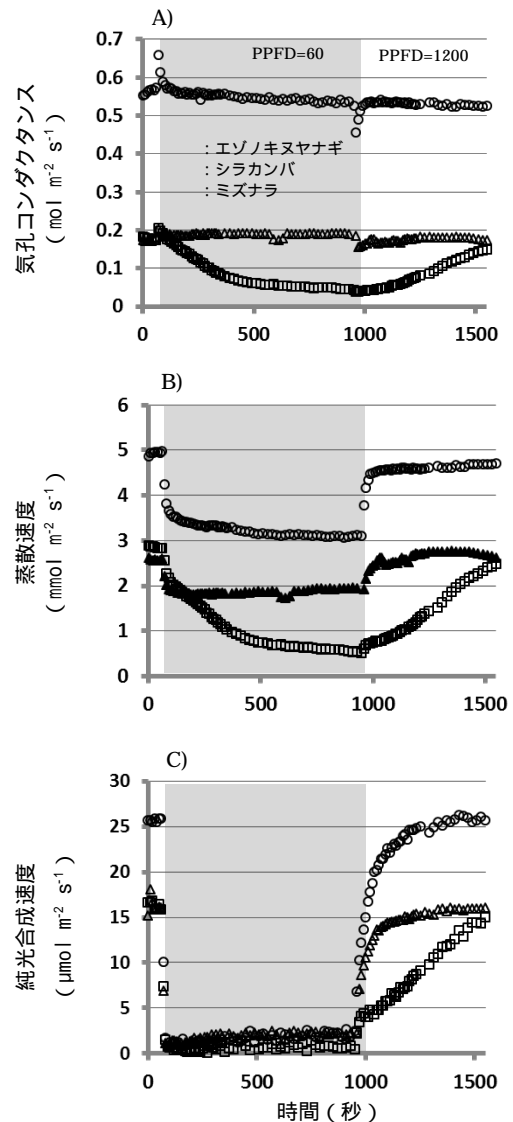


図 - 3 光誘導(light induction)反応

(3) 降雨が2週間なかった後の土壌のpF値は2.7で、降雨が2週間以内にあった後の土壌のpF値は0であった。土壌水分の増加により、光飽和の純光合成速度は、エゾノキヌヤナギは約2.0倍、ミズナラは、約1.3倍増加した。気孔コンダクタンスは、エゾノキヌヤナギは約4.6倍、ミズナラは約1.8倍増加した。エゾノキヌヤナギは、土壌に水分が十分ある時に気孔開度を大きくでき、高い光合成速度を発揮できることがわかった。

(4) 葉の解剖学的特性は、葉の生理的特性と密接に関係する。エゾノキヌヤナギとオノエヤナギの横断面切片を観察したところ、ミズナラ、シラカンバと比べて、海綿状組織に空隙が多かった。この特長は、両ヤナギにおいて高い葉内二酸化炭素コンダクタンスを導くことを推測された。

(5) 収量のクローン間差をもたらす要因としては、光合成能力は関係が薄く、内在的水利用効率(純光合成速度/気孔コンダクタンス)と若干の関係が見られ、水利用効率が大いほど収量が多くなる傾向が見られた。

エゾノキヌヤナギとオノエヤナギは、土壤水分が十分である時、その潜在能力を十分発揮できることがわかった。また、窒素を多く求める樹種であり、高い能力を持つためには、施肥により窒素分を与えてやる必要があることが示された。特に、葉に多くの窒素を含むため、収穫の際は、枝幹だけを収穫し、葉はその場に取り残し収穫する、あるいは落葉後に収穫することがよいと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

上村章、原山尚徳、宇都木玄、丸山温、高橋祐二、下川町栽培試験地におけるヤナギの収量とその年変動、北方森林研究、査読有、63: 19-20、2015

[学会発表](計 1件)

上村章、原山尚徳、宇都木玄、バイオマス造林樹種ヤナギの高い二酸化炭素吸収能のメカニズム、日本森林学会、2015.03.28、北海道大学(札幌)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上村 章 (UEMURA, Akira)  
森林総合研究所北海道支所・主任研究員  
研究者番号: 30353600

### (2) 研究分担者

宇都木 玄 (UTSUGI, Hajime)  
森林総合研究所植物生態研究領域・チーム長  
研究者番号: 40353601

原山 尚徳 (HARAYAMA, Hisanori)  
森林総合研究所北海道支所・主任研究員  
研究者番号: 60353819