中国内蒙古クブチ砂漠に植栽後、埋砂された小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) の成長と浸透調節能

宮崎寛大¹⁾・岡田憲和¹⁾・立石麻紀子²⁾・山本福壽^{*1)}
毛 恵平³⁾・谷口武士⁴⁾・山中典和⁴⁾

1) 鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

2) 九州大学演習林 Kyushu University Forest

3) 内蒙古大学生命科学学院 College of Life Sciences of Inner Mongolia University

4) 鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori University

摘要: 2013年8月、中国内蒙古自治区のクブチ砂漠に植栽され、樹幹が埋砂した小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) の成長と葉の浸透調節能を調べるとともに、クロロフィル蛍光収率、および炭素安定同位体比を計測した。小葉楊の伸長成長と年輪の成長は埋砂が深くなるほど急速に増加した。葉の浸透調節に関わる糖アルコールの一種であるマンニトール、および3種のベタイン (βアラニンベタイン, グリシンベタイン, γブチロベタイン) の含有量は埋砂された個体で顕著に増加した。この分析データは、斜面の埋砂環境に生育する個体は強い乾燥ストレス下に置かれていることを示している。以上の結果、埋砂は小葉楊の成長を顕著に促進すること、またこの樹種は乾燥ストレス環境で浸透調節物質を効率的に葉に集積する能力を持つことが明らかになった。

キーワード: 小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) , 浸透調節, ベタイン類, 埋砂

MIYAZAKI, Kandai, OKADA, Yoshikazu, TATEISHI, Makiko, YAMAMOTO, Fukuju, MAO, HuiPing, TANIGUCHI, Takeshi and YAMANAKA, Norikazu: **Effects of sand burial on growth and osmotic adjustment in Simon poplar (*Populus simonii* Carr.) planted in Kubuqi desert, Inner Mongolia, China.**

Abstract: Effects of sand burial on growth, osmotic adjustment and Fv/Fm ratio and $\delta^{13}C$ in leaves were investigated in Simon poplar (*Populus simonii* Carr.) saplings planted in Kubuqi desert, Inner Mongolia, China, in August, 2013. Tree heights and annual ring widths in the saplings were rapidly increased as the increase in the depth of sand burial. In leaves of sand-buried saplings on dune slopes, high amounts of accumulated osmolytes including mannitol, a sugar alcohol, and three kinds of betaines β -alanine betaine, glycine betaine and γ -butylobetaine were detected, suggesting water stress environment on the dune slopes. These results indicate that sand burial enhances growth and development of Simon poplar saplings planted in sand-moving deserts. This species has high ability to accumulate osmolytes to adapt to water stress environment on dune slopes.

Key words: *Populus simonii* Carr., Osmotic adjustment, betaines, sand burial

1. はじめに

中国内蒙古自治区のオルドス高原北部に広がるクブチ (庫布其) 砂漠は東西約 262 km, 総面積約 18,600 km² であり、中国における 7 番目の規模の砂漠である。この場所は温帯大陸性気候下にあり、1957~2000 年の 6 月の平均気温は 24 °C, 1 月の平均気温は -11 °C である。年平均降水量は 150~400 mm で夏に集中する。植生は主にマメ科の花棒 (*Hedysarum scoparium* Fisch.) やアカザ科の沙米 (*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.) などの低木・草本植物が優占する草原地域である。地下水位は砂丘の地形によって 1~4 m とばらつきはあるものの、比較的高い¹⁰⁾。

クブチ砂漠は多数の流動砂丘が連なって拡大しつつある砂漠で、黄砂発生源として認識されており、拡大防止のための集中的な緑化が必要な地域である¹⁰⁾。クブチ砂漠では 1998 年より植林が行われ、その面積は約 200 km² にものぼる¹⁰⁾。当初から日本の NGO など関わる植林活動が活発に行われてきたが⁴⁾、特に多く植栽されているのがヤナギ科ハコヤナギ属の小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) である。

通常、飛砂の被害が大きい乾燥地地帯では植栽された植物は砂に埋没し (埋砂), 枯死するケースが多い。移動砂丘に植栽された植物の生育における主な問題は砂の移動による埋砂と根の裸出であり³⁾、特に植栽植物の定着には埋砂が大きな影響を及ぼす⁵⁾。植栽植物に対する埋砂の影響については、

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail : fukuju@muses.tottori-u.ac.jp

〒680-8553 鳥取市湖山町南 4-101 Minami-4-101, Koyama, Tottori 680-8553, Japan.

ハマビシ科白刺属の泡泡刺 (*Nitraria sphaerocarpa* Maxim.)¹³⁾や、キク科ヨモギ属の黒沙蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch.)⁶⁾、ヤナギ属の沙柳 (*Salix psammophila* C. Wang et Ch. Y. Yang)⁹⁾などの低木樹種に関する研究例がある。沙柳は埋砂によって不定根が形成されるとともに地上部の成長も増加する⁹⁾。高木樹種の埋砂の影響に関する研究例は少ないが、小葉楊は埋砂によって不定根の形成とともに成長の促進が引き起こされる可能性が高い⁸⁾。不定根とは枝や幹などの放射組織に新たな根原基が分化し、伸長、発達した根のことである。この性質により小葉楊は飛砂の激しい流動砂丘での防風、防砂、砂丘固定などの効果が期待できる樹種として選択されてきた。

一方、小葉楊などの *Populus* 属は防砂機能以上に経済的価値が高く、多くの植林が実行された²⁾。一般に *Populus* 属のような早生樹は水消費量が大きいとされる。乾燥地では、*Populus* 属は低地に植栽され、多くの地下水を吸収して成長する¹⁾。クブチ砂漠も地下水位が高いが¹⁰⁾、降雨による水供給には限界がある。したがって無計画な植林は地下水の過剰利用による水位低下¹¹⁾や全面枯損など、多くの問題を招来する可能性が高い。このためクブチ砂漠の主要な植栽樹種である小葉楊について、砂漠環境における成長や水利用特性、乾燥ストレス応答や耐性などの詳細な解析を行っておくことは、今後の植栽計画策定に必須と考えられる。

本研究では立石ら⁸⁾に続いて、中国内蒙古自治区のクブチ砂漠に植栽され、埋砂の影響を受けている小葉楊の成長と葉の浸透調節物質の定量を行うとともに、クロロフィル蛍光収率、および葉の炭素安定同位体比を計測し、乾燥ストレス環境に対する本樹種の応答を調べた。

なお浸透調節物質とは代謝系に悪影響を及ぼすことなく細胞の原形質内に高濃度に蓄積される糖、糖アルコール、アミノ酸、ペタイン類などの可溶性の低分子化合物である⁷⁾。環境ストレス下（乾燥や塩害等）におかれた植物は、その強さに応じて細胞内にこれらの物質を単体または複合して蓄積し、浸透圧を調節する。今回は糖、糖アルコール、及びペタイン含有量の分析を行った。

2. 材料と方法

2.1 調査概要

調査はクブチ砂漠内の地域 (40° 18' N, 109° 41' E, 標高 1,080 m) の前回調査⁸⁾とほぼ同じ場所で行った。調査期間は 2013 年 8 月 19 日から 23 日である。調査地は 2006 年に小葉楊の挿し穂 (長さ約 2 m, 根元径約 2cm) が 3 列に直挿し (深さ約 50cm) され、計 57 本が健全に生育している場所である (写真-1)。この約半数は平坦地に生育しており、埋砂されることなく植栽時の状態のままで生育していた。一方、砂の移動により埋砂を受け、現在は砂丘斜面上に生育している個体が約半数あった。そこですべての個体の生育状況を測定するとともに、平坦地の 7 個体と斜面上に生育する 7

写真-1 調査地の状況

Photo 1 Study site indicating reference site (flat site) and sand burial site (dune slope).

図-1 3列に植栽された小葉楊の平面位置 (左図) と調査時点の比較地盤高 (右図)。黒色は平坦地の、灰色は斜面の調査個体を示す。矢印は植栽当初の根元の深さを確認した個体。

Fig.1 Plan view of planted trees in 3 lines (left) and their comparative ground heights (right). Black and grey-colored markers indicate seven plants selected on a flat plane and slope, respectively. The arrow indicates the plant measured the depth of original roots.

個体を選木し、生理的な解析を行った。

2.2 調査項目

1) 樹形・成長・葉のサイズ・年輪幅

水準測量により再下端の個体の位置を基準点とし、すべての植栽木位置と比較地盤高を算出した (図-1)。植栽時は平坦地に近かったことを地球緑化クラブに確認後、斜面の1個体の根を掘り (図-1)、当初の根系が 229 cm の深さにあり、地盤がほぼ平坦であったことを認めた。これにより現在の地盤高の差異を埋砂の深度として取り扱った。植栽されている 57 本すべての個体の地上高、地際直径、胸高直径を計測するとともに、樹冠中央の陽葉 5 枚の葉面積、最大幅を測定した。斜面上の個体の樹高は埋砂深も考慮する必要があるため、地上高に現在の地盤高を加算し、推定樹高として算出した。

年輪幅からみた半径成長変化の計測は成長の差が大きかった斜面上と平坦地の各 7 個体、合計 14 個体を選択し、成長

錐によって採取したコアを用いて行った。コアサンプリングは平坦地、斜面ともに現在の地盤から 50 cm の高さで、1 個体につき 1 方向から行った。その後、鳥取大学の実験室にサンプルを持ち帰り、実体顕微鏡を用いて年輪幅を計測した。

2) 浸透調節物質

2-1) 糖・糖アルコール: 選木した 14 個体から葉を採取し、糖、糖アルコール含有量の解析を行った。小葉楊の樹冠部の陽葉 5~7 枚を細かく刻んで混和したのち、生重で 0.5 g になるよう電子天秤で量り取り、80 %エタノール 5 ml を入れた 15 ml プラスチックバイアルに採取した。分析の前処理としてサンプルを磨砕し、遠心分離 (5,000 回転, 10 分) したのち、上澄みを回収した。同じ工程は計 3 回行った。エタノール量は 2 回目が 5 ml, 3 回目が 3 ml である。抽出液を 50 °C の乾燥機に入れてエタノールを蒸発させた後、10 ml にメスアップし、分析直前に濾過した。分析には高速液体クロマトグラフ HPLC (RF-10AxL, Shimadzu Co., Japan) を用い、ポストカラム法によるスクロース (ショ糖), フルクトース (果糖), ガラクトース, 及びグルコース (ブドウ糖) の 4 種の可溶性糖の含有量, 及びイノシトール, ソルビトール, 及びマンニトールの 3 種の糖アルコール含有量の測定, 解析を行った。

2-2) ベタイン類: 選木した 14 個体について葉を採取、ベタ

イン含有量の解析を行った。サンプルの採取は糖, 糖アルコールと同時にを行った。小葉楊の葉を適量採取, 生重の測定後, 送風乾燥機 (RY-120HL, ALP Co. Inc. Japan) を使用して 80 °C, 48 時間乾燥, 電子天秤で乾燥重量を測定した。重量測定後はサンプルを粉砕し, マイクロチューブにサンプル 65 mg と蒸留水 1 ml を加えて混ぜ合わせ, インキュベーターを用いて 75 °C で 20 分間熱抽出した。熱抽出サンプルは分析の直前にフェナシルエステル化反応させ, キャピラリー電気泳動装置 (CAPI-3300, Otsuka Electronics Inc., Japan) でグリシンベタイン (GB), β -アラニンベタイン (β -AB), および γ -ブチロベタイン (γ -BB) の含有量を測定, 解析を行った。

3) クロロフィル蛍光収率

測定には携帯型 PAM クロロフィル蛍光測定器 (MINI-PAM, WALZ Con. Germany) を用い, 選木した 14 個体それぞれについて成熟した葉を無作為に 1 枚選び, 2013 年 8 月 23 日の 21:00 から測定を行い, 暗順化後の最大の量子収率 (Fv/Fm) について評価した。

4) 葉の炭素安定同位体比

選木した 14 個体について葉を採取し, 炭素同位体比の解析を行った。サンプルはベタイン解析の際に使った粉末サンプルのものをを使った。錫カプセルに 0.1 mg のサンプルを詰

図-2 比較地盤高と推定樹高との関係

Fig. 2 Relationship between comparative ground heights and estimated tree heights.

図-4 比較地盤高と平均葉面積との関係

Fig. 4 Relationship between comparative ground heights and mean leaf areas.

図-3 比較地盤高と胸高直径 (地盤から 1.3 m) との関係

Fig. 3 Relationship between comparative ground heights and stem diameters at 1.3 m above the ground level.

図-5 幹のコア試料から読み取った植栽後の年輪成長の変遷。以下の図も含め、縦線は標準誤差(SE)を示す。

Fig. 5 Changes in annual diameter increment studied in stem core samples. Error bars indicate SE.

め、質量分析計 (Flash2000 & Delta S, Thermo Fisher Scientific Inc. MA, USA) を用いて炭素の安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を測定した。

図-6 葉の糖含有量
Fig. 6 Sugar content in leaves.

図-7 葉の糖アルコール含有量
Fig. 7 Sugar alcohol content in leaves.

図-8 葉のベタイン含有量 (β-AB: β アラニンベタイン, GB: グリシンベタイン, γ-BB: γ ブチロベタイン)

Fig. 8 Betaine content in leaves (β-AB: β-alanine betaine, GB: glycine betaine, γ-BB: γ-butyro betaine)

3. 統計処理

測定した項目ごとのデータは Excel 統計 2012 の重回帰分析、及び t-検定によって比較検定した。

4. 結果

1) 樹形・成長・葉のサイズ・年輪幅

各個体の成長レベル (推定樹高, 胸高直径, 樹冠側の陽葉 5 枚の葉面積) と比較地盤高との関係を図-2~図-4 に示す。この結果, 比較地盤高と推定樹高との間には正の相関関係 ($R^2=0.9035$) が認められた (図-2)。比較地盤高と胸高直径もまた弱い正の相関関係 ($R^2=0.1815$) が認められた (図-3)。さらに比較地盤高が深くなるほど, 葉面積も増加する傾向が認められた (図-4)。

樹幹のコアサンプルより計測した年輪幅を図-5 に示す。年輪幅は 2010 年ごろから埋砂地で急速に増加し, この傾向は 2013 年も続いていた。

2) 浸透調節物質

糖含有量の結果を図-6 に示す。スクロースについては平坦地の葉内の濃度がやや高かったが, フルクトース, ガラクトース, 及びグルコースの濃度には平坦地と埋砂地とでほとんど差がなかった。

糖アルコール含有量の結果を図-7 に示す。イノシトール, ソルビトールにおいては平坦地, 埋砂地で有意差は認められなかった。これに対してマンニトールの含有量は埋砂地の個体の葉が平坦地に比べ 2 倍近い値を示した。

ベタイン類の含有量の分析結果を図-8 に示す。β-アラニンベタイン (β-AB), グリシンベタイン (GB) 及び γ-ブチロベタイン (γ-BB) すべてにおいて埋砂地の個体の葉が平坦地に比べて有意に高かった。特に β-AB は平坦地に比べて 2 倍以上の濃度が検出された。

3) Fv/Fm 比

Fv/Fm 比の結果を図-9 に示す。平坦地と埋砂地との数値間には有意な差は認められなかった。

4) 葉の炭素安定同位体比

炭素安定同位体比の結果を図-10 に示す。平坦地と埋砂地で有意な差は認められなかった。

5. 考察

2012 年の立石らの調査⁸⁾, 及び 2013 年の本研究により, 流動砂丘地に植栽された小葉楊は埋砂の影響を強く受けることを明らかにした。立石ら⁸⁾は, 埋砂された斜面上の個体が平坦地のものよりも埋砂によって急速に成長が促進されたことを観察している。これについて, 埋砂を受けた個体では伸長成長に資源の投資が行われて単体のサイズが大きくなり, 辺材面積や総葉面積も増大した結果, 単木での蒸散量, さらに光合成量が大きくなった, との考察を述べている⁸⁾。本

図-9 葉の Fv/Fm 比
Fig. 9 Fv/Fm ratio in leaves.

図-10 葉の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$)。エラーバーは標準誤差を表す。
Fig. 10 ^{13}C - ^{12}C ratios ($\delta^{13}\text{C}$) in leaves.

研究の調査でもまた、埋砂による刺激が植栽された小葉楊の若木の成長を急速に、しかも短い期間に促進するという事実をあらためて確認することができた。特に 2010 年から急速に成長が増大しており、埋砂はその年から始まったものと考えられる。

本調査地の斜面上に生育する埋砂された小葉楊では、砂の除去によって多くの不定根が形成されていることを観察した。また 2013 年に行った小葉楊、銀白楊 (*P. alba* L.)、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz) 3 種の挿し木苗木を用いた実験結果においても、埋砂処理が急速にそれぞれの成長を促進することを見出している (宮崎ら 未発表)。さらに毛鳥素沙地に植栽された沙柳 (*Salix psammophila*) では、埋砂により根量が増加し、地上部成長量が増大することが報告されている⁹⁾。これらの結果から、埋砂を受けたこれらの移動砂丘地で植栽されるヤナギ科の樹種は、不定根を形成することによって急速に地上部の成長が増加する特性を持つと考えられた。

立石ら⁸⁾は、斜面上と平坦地に生育する小葉楊の水分生理学的な比較解析により、個葉スケールでは気孔コンダクタンス、蒸散速度ともに斜面上で小さく、水利用効率が高いことから、斜面上の個体が平坦地に比べてより乾燥ストレスが生じていると考察した。また単木の樹液流量は斜面上の個体群で大きかったが、これは個体サイズが反映したのものであるとし

ている。

本研究では、斜面上の個体では平坦地の個体に比べて葉に含まれる糖アルコールのひとつのマンニトールと 3 種のベタイン類が、顕著に増加していることを見出した。これらの物質の増加は水欠乏ストレスに対する葉の浸透圧の調節が、少なくともマンニトールとベタイン類の集積によって行われていることを示し、砂丘の斜面が平坦地よりもより乾燥ストレス下にあることを証明しており、立石ら⁸⁾の結果を裏付けるものである。

Fv/Fm 比の計測結果や葉の炭素安定同位体比については、平坦地と埋砂地との数値間には有意な差は認められなかった。しかしながら立石らの報告⁸⁾では、炭素の安定同位体比が平坦地に比べて斜面上で有意に高く、斜面上の方で水利用効率が高いことを明らかにしている。2012 年と 2013 年の調査地は直線で 200m 以上離れており、結果がやや異なったのは地下水位に影響する微地形の差異が影響したのかもしれない。

埋砂され、斜面上に生育する小葉楊が平坦地よりも乾燥ストレス下に置かれているという理由として、まず、葉と根の距離、すなわち地表面から地下水位までの距離が異なることが一つの要因として考えられる。斜面上の個体は埋砂によって成長が促されたために植林当時の地表の高さから地下水位までの距離が長くなっている。このために葉が常時、水不足となり、気孔が閉鎖ぎみになりやすい状態に置かれているものと考えられる。またその結果として、葉において多くの浸透調節物質の集積が引き起こされたものであろう。

また地上部の成長にともなう葉数の増加もまた、斜面上の個体の樹液流量、つまり蒸散量を大きくしている⁸⁾。この事実も斜面上の個体がより強い水ストレス状態となりやすい要因であろう。

小葉楊は水平根を地表面からごく浅い深さに伸ばし、根萌芽を形成する種であるといわれる¹²⁾。本試験地では、斜面上の個体では水平根は確認できなかったが、埋砂の影響を受けていない平坦地の齢の進んだ個体では、水平方向に広範囲に水平根が伸び、根萌芽が複数あるのを確認した(写真・2)。し

写真-2 調査地内平坦地に生育する小葉楊の根萌芽
Photo 2 Root sucker formation on horizontal roots of a *P. simonii* tree.

たがって、埋砂を受けた個体では伸長成長が大きくなる一方で、埋砂のない個体では横に広がって新個体（ラメット）を増やし、埋砂の有無によって資源配分が変化するものと考えられる。すなわち埋砂を受けた個体では伸長成長に同化産物が投資されて単体のサイズが大きくなり、辺材面積や総葉面積も増大して、単木での蒸散量や光合成の量が大きくなると思われる。しかし個体全体として水ストレスが生じやすく、多くの浸透調節物質の集積によって膨圧を維持し対応しているものと考えることができる。

中国で飛砂固定に用いられる灌木の泡泡刺（*Nitraria sphaerocarpa*）¹³⁾ や半灌木の黒沙蒿（*Artemisia ordosica*）⁷⁾ の若い実生苗は個体が 100 %埋砂すると生存率、成長率ともに強く抑制された。これに対してヤナギ科ヤナギ属の樹種である沙柳は、埋砂深が増加するにつれて根の発達が顕著となり、地上部の成長が増加することが確かめられている。これらの傾向の違いが、灌木・半灌木性に対して高木性といった生活形の違いによるものか、あるいは種特性によるものかについては明らかではない。また、小葉楊や沙柳のようなヤナギ科樹種が埋砂によってどのような機構により個体サイズが大きくなるのかについても明らかではない。

今後、この現象の解明も含めて、移動砂丘の固定に有効と考えられているこれらヤナギ科樹種の適応能力の詳細を検討していく必要があるだろう。

謝辞：一般社団法人地球緑化クラブの原鋭次郎氏ならびに朝克松布尔氏には、クブチ砂漠現地での野外調査を行うにあたり全面的協力をいただいた。この場を借りて深く御礼申し上げる。また、本研究は文部科学省特別事業経費「東アジア砂漠化地域における黄砂発生源対策と人間・環境への影響評価」の援助を受けて行われた。

引用文献

- 1) Chang, X., Zhao, W., Zhang, Z. and Su, Y. (2006) Sap flow and tree conductance of shelter-belt in arid region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4) : 132-141.
- 2) Cossalter, C. and Pye-Smith, C. (2005) Fast-wood forestry -Myths and realities-(Japanese). Centre for International Forestry Research, 7pp., CIFOR, Bogor, Indonesia.
- 3) Danin, A. (1996) Adaptations of *Stipagrostis* species to desert dunes. *J. Arid, Environ.*, 34 : 297-311.

- 4) 原鋭次郎 (2008) 持続・拡大が可能な緑化活動を目指して, 日本緑化工学会誌, 33 (4) : 561-565.
- 5) Payne, A. M. and Maun, M. A. (1984) Reproduction and survivorship of *Cakile edentula* var. *lacustris* along the Lake Huron shoreline. *Am. Midl. Nat.*, 111 : 86-95.
- 6) Shou, L., Marinus, J. A. W., Pieter, A. Z., Fei, H., and Ming, D. (2010) Seedlings of the semi-shrub *Artemisia ordosica* are resistant to moderate wind denudation and sand burial in Mu Us sandland, China. *Trees*, 24(3) : 515-521.
- 7) 高倍鉄子 (1991) ラン藻の浸透圧調節系の構築, 蛋白質核酸酵素, 36 (9) : 1616-1620.
- 8) 立石麻紀子・宮崎寛大・山本福壽・毛恵平・岡田憲和・山中典和 (2013) 中国内モンゴルクブチ砂漠に植栽された小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) の水利用と成長に及ぼす埋砂の影響, 日本緑化工学会誌, 39(1) : 68-73.
- 9) 寺南智弘・中島 敦司・仲里長浩・市原諭・黒瀧麻衣・山本牧子・山本将功・吉川賢・張国盛 (2010) 中国内モンゴル毛烏素沙地に自生する沙柳(*Salix psammophila*)の生育に及ぼす埋砂の影響, 日本緑化工学会誌, 36 (1) : 87-92.
- 10) 徳岡正三 (2003) 砂漠化と戦う植物たち -がんばる低木-, 241pp., 研成社
- 11) Wilske, B., Lu, N., Wei, L., Chen, S.P., Zha, T.G., Liu, C.F., Xu, W.T., Noormets, A., Huang, J.H., Wei, Y.F., Chen, J., Zhang, Z.Q., Ni, J., Sun, G., Guo, K., McNulty, S., John, R., Han, X.G., Lin, G.H. and Chen, J.Q. (2009) Poplar plantation has the potential to alter the water balance in semiarid Inner Mongolia. *Journal of Environmental Management*, 90(8) : 2762-2770.
- 12) Xu, L., Yu, F., van Drunen, E., Schieving, F., Dong, M. and Anten, N. (2012) Trampling, defoliation and physiological integration affect growth, morphological and mechanical properties of a root-suckering clonal tree. *Annals of Botany*, 109(5) : 1001-1008.
- 13) Zhao, W., Li, Q., and Fang, H. (2007) Effects of sand burial disturbance on seedling growth of *Nitraria sphaerocarpa*. *Plant and Soil*, 295 : 95-102.

(2014.6.13 受理)