

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780159

研究課題名(和文) 葉の炭素・酸素安定同位体比を用いた乾燥地緑化植物の耐塩性診断

研究課題名(英文) Estimating salt tolerance from stable carbon and oxygen isotopes in desert plants

研究代表者

松尾 奈緒子 (Matsuo, Naoko)

三重大学・生物資源学研究科・講師

研究者番号：00423012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：中央アジアや紅海沿岸の塩生植物において葉の酸素・炭素安定同位体比と枝中の水の酸素安定同位体比を測定し、それらと生育場所の土壌塩分濃度との関係を調べた。その結果、葉の炭素安定同位体比を用いて水利用効率向上による塩への耐性を、枝中水の酸素安定同位体比を用いて地下水など塩分濃度の低い水の利用による塩の回避を評価することができた。また、葉の酸素安定同位体比から蒸散抑制による塩の回避を評価できる可能性が示唆されたが、国内で育てた苗木の塩ストレス実験では再現できなかった。以上より、乾燥地植物の耐塩メカニズムのいくつかは葉の酸素・炭素安定同位体比と水の酸素安定同位体比を指標として評価できることが示された。

研究成果の概要(英文)：The effect of soil salinity on the oxygen and carbon isotope compositions in leaf organic matter and the oxygen isotope composition in stem water were examined for some halophytes in the Central Asian desert and on the Red Sea coast. The results indicate that the water-use strategy of desert plants in high-salinity environments can be assessed based on their carbon and oxygen isotope ratios.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：水利用効率 気孔コンダクタンス 吸水源 塩ストレス 塩生植物 乾燥地

1. 研究開始当初の背景

アジアやアフリカの乾燥地域では砂漠化や土壤塩類集積による生態系の劣化が深刻な問題となっている。そのような生態系の修復のため、緑化が行われてきた。しかし、活着率が高い、成長が速い、耐乾性・耐塩性が高いなどの理由によりタマリスクやメスキート、サクサウルなどの外来種が用いられることが多く、その結果として水・熱収支への影響、在来種との競争、遺伝的多様性の低下などの新たな環境問題が発生してしまった。そこで、中国の退耕還林政策などに見られるように、外来種ではなく在来種を用いた緑化による自然植生の回復が求められるようになっていた。こうした状況を受け、乾燥地、特に土壤塩類集積地における在来植物を用いた緑化技術の確立が急務となっていた。

土壤塩類集積地における緑化技術の基礎として求められるのは、緑化対象地の塩類集積レベルに応じた耐塩性を持つ在来種の選択、対象地の水分・塩分環境に配慮した植栽密度や給水管理の方法の確立である。また、乾燥地緑化では植栽植物の成長量と水消費量、そしてこの二つのバランスである水利用効率が重要となる。植物の耐塩性のメカニズムは塩分濃度の高い水の回避、過剰塩の排出、塩への耐性の三つに分類できる。耐塩性の高い植物は三つの分類のうち、どれか一つ、あるいはいくつかの組み合わせにより、高塩分/極乾燥条件に適応している。各メカニズムは光合成・蒸散速度の測定、根系分布の調査、葉や根の水ポテンシャルの測定、細胞内の浸透圧を調節する適合溶質濃度の測定、葉の細胞構造の観察など生理生態学的手法を用いて定量的に評価されてきた。しかしながら、野外で複数項目を測定することの難しさから一部の項目に注目した研究が大半であり、土壤塩類集積レベルに応じた耐塩性を持つ植物種を選択するための方法論確立には至っていなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、植物の長期平均的な水利用効率(光合成量と蒸散量の比)を反映する葉の炭素安定同位体比、長期平均的な蒸散量を反映する葉の酸素安定同位体比、吸水源を反映する枝中水の酸素安定同位体比を利用して、乾燥地植物の耐塩性を簡易かつ定量的に評価する手法の開発を目指した。

3. 研究の方法

水利用効率の向上による塩への耐性は長期平均的な水利用効率を反映する葉の炭素安定同位体比を、蒸散抑制による塩の回避は長期平均的な蒸散量を反映すると考えられている葉の酸素安定同位体比と枝中水の酸素安定同位体比の差を利用して評価できるという仮説を立てた。

中央アジアのタマリスク等の塩生植物と紅海沿岸のヒルギダマシを対象として、葉の

酸素・炭素安定同位体比と生育地の土壤塩分濃度との関係を調べ、上記の仮説を検証した。

さらに、塩分濃度の低い水の利用による塩の回避を評価するため、枝中の水の酸素安定同位体比と地下水等の酸素安定同位体比を照合して吸水源を推定した。

これらの結果をもとに、安定同位体比に基づく耐塩性の評価指標を構築した。

4. 研究成果

4.1 中央アジアの塩生植物の耐塩性の評価

中央アジア・キジルクム砂漠に設定した土壤塩類集積レベルの異なる6調査区に分布する在来のC₃植物である *Tamarix hisapida* と *Artemisia diffusa*、C₄植物である *Haloxylon aphyllum* を対象として葉の炭素・酸素安定同位体比と枝中水の酸素安定同位体比を測定し、それらと土壤塩分濃度との関係を調べた。

その結果、低塩分区～高塩分区に分布する *T. hisapida* と *H. aphyllum* の枝中水の酸素安定同位体比は地下水の酸素安定同位体比の値に近く、低塩分区のみに分布する *A. diffusa* の枝中水の酸素安定同位体比の値とは大きく異なっていた。これらのことから、高塩分区でも生育できる種は塩分濃度のより低い深層の土壤水を利用していることが示唆された。また、低塩分区～高塩分区に分布する *T. hisapida* の葉の炭素安定同位体比は低塩分区にのみ分布する *A. diffusa* のそれよりも高く、また高塩分区の個体の方が低塩分区の個体よりも高かった。したがって、高塩分区でも生育できる *T. hisapida* は塩分濃度の高い場所の個体ほど葉の水利用効率が低いことがわかった。*H. aphyllum* はC₄植物であるため葉の炭素安定同位体比を水利用効率の指標として利用できないが、C₄植物はC₃植物よりも水利用効率が高いことが知られる。最後に、葉の酸素安定同位体比は低塩分区～高塩分区に分布するC₄植物の *H. aphyllum* で最も高く、次に低塩分区～高塩分区に分布するC₃植物の *T. hisapida*、低塩分区にのみ分布する *A. diffusa* は最も低かった。また、*T. hisapida* の葉の酸素安定同位体比は高塩分区の個体ほど高い値であった。これらのことは、高塩分区でも生育できる種は蒸散量を抑制して吸水量および塩分吸収量を減少させていることが示唆された。

以上より、低塩分区のみに分布するC₃植物である *A. diffusa* は雨季にのみ浅層土壤水を利用して蒸散をたくさんしており、水利用効率が低いことがわかった。このため、土壤表層での塩類集積の影響を大きく受けることが示唆された。また、低塩分区～高塩分区に分布するC₃植物である *T. hisapida* は塩分濃度の低い深層土壤水を利用しており、さらに土壤表層の塩分濃度の上昇に対して水利用効率を向上させることができることが示唆された。同じく低塩分区～高塩分区に分布するC₄植物である *H. aphyllum* は塩分濃度の

低い深層土壌水を利用し、土壌表層の塩分濃度に関わらず蒸散量を小さく維持しており、塩分吸収量を抑えていることがわかった。これらの種においては土壌表層での塩類集積の影響は小さいと考えられた。

4.2 紅海沿岸の塩生植物の耐塩性の評価

熱帯乾燥地域に位置する紅海沿岸は降水量、淡水供給量ともに極めて少なく、高温であるため海水や土壌水の塩分濃度が高い。エジプトとスーダンの紅海沿岸に分布する塩生植物であるヒルギダマシ (*Avicennia marina*) 林において内陸から海側にかけてトランセクト調査区を設け、樹形や葉の炭素安定同位体比と土壌塩分濃度の関係を調べた。

その結果、同一環境に生育する個体では枝の長さが長いほど、匍匐枝で不定根がある場合は不定根から枝の先端までの長さが長いほど葉の炭素安定同位体比が高かった。このことから、吸水経路長が長くなり通水抵抗が大きくなることに対して葉の水利用効率を上昇させて対応していることが示唆された。

このことを検証するため、スーダンのヒルギダマシ林において個葉の光合成・蒸散速度を測定したところ、枝の長さが長いほど先端の葉の炭素安定同位体比は高い値であった、すなわち水利用効率が高いという同様の結果が得られたのに対し、個葉の光合成・蒸散速度から求めた水利用効率は樹形とは関係がなかった。この不一致の原因解明が今後の課題として残された。

環境条件が穏やかな冬季には朝から夕方まで光合成・蒸散を行っており、低潮位・超高温・強乾燥条件となる夏季においても午前中の短時間は光合成・蒸散を行っていることがわかった。いずれも塩分濃度の高い土壌水と海水を吸収していることが枝中の水の酸素安定同位体比から確認できた。したがって、紅海沿岸に生育するヒルギダマシは塩分濃度の高い土壌水を利用し、大気が比較的乾燥していない時間帯に光合成を行っていることが示唆された。

エジプトのヒルギダマシ林では潮位変動による干上がり継続時間の長い内陸側の個体の方が干上がり継続時間の短い海側の個体よりも樹高が低く枝の長さが短いこと、同じ長さの枝どうしでは葉の炭素安定同位体比が高かった。このことから、干上がりによる乾燥・塩分濃縮の影響が大きい内陸側の個体ではそのストレスにより水利用効率が上昇しているが成長量は小さいことが示唆された。一方、葉の酸素安定同位体比は干上がり継続時間や樹形とは明確な関係は見られなかった。

4.3 まとめ

中央アジアの塩生植物において根を深く伸ばして塩分濃度の低い深層土壌水を利用する、土壌表層の塩分濃度が低下する雨季のみ成長するなどの塩回避パターンを枝中の

水の酸素安定同位体比から評価することができた。

また、中央アジアと紅海沿岸の塩生植物において塩分濃度の上昇に対して葉の炭素安定同位体比が上昇したことから、葉の炭素安定同位体比を用いて水利用効率向上による塩耐性を評価できることを示した。しかし、光合成・蒸散速度から算出した水利用効率の結果との不一致が見られるなど解明すべき課題が残された。

さらに、中央アジアの塩生植物では土壌塩分濃度の上昇に対して葉の酸素安定同位体比と枝内の水の酸素安定同位体比の差が減少したことから、これらの指標を用いて気孔閉鎖による塩吸収の回避を評価できる可能性が示唆された。一方、紅海沿岸のヒルギダマシでは葉の酸素安定同位体比は仮説どおりの反応を示さなかった。このような不一致がなぜおこったのか、その原因の解明を今後の課題としたい。

以上より、いくつかの課題は残っているが、乾燥地植物の耐塩メカニズムのいくつかの水の酸素安定同位体比、葉の酸素・炭素安定同位体比を指標として評価できることが示すことができた。

表 耐塩メカニズムの分類とその評価指標。白マークは水、黒マークは葉、 ^{18}O と ^{13}C はそれぞれ酸素安定同位体比と炭素安定同位体比を表す。

塩の回避 (Avoidance)	
A1 塩分濃度の低い地下水の利用	
A2 土壌表層の塩分濃度が低下する雨季に成長	
A3 気孔閉鎖による塩吸収量の抑制	
A4 根による選択的イオン吸収	
塩への耐性 (Tolerance)	
T1 液胞に貯蔵	
T2 適合溶質をためて浸透調節	
T3 水利用効率の向上	

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3件)

Matsuo N, Ojika K, Shuyskaya E, Radjabov T, Toderich K (2013) Responses of carbon and oxygen isotope compositions in desert plants to

spatial variation in soil salinity in Central Asia. Ecological Research 28: 718-723, 査読有.

Shuyskaya E, Radjabov T, Matsuo N, Toderich K, Gismatullina L, Voronin P, Yamanaka N (2012) Seasonal dynamics of Asiatic desert C₃/C₄ species related to landscape planning and rehabilitation of salt affected land. Journal of Arid Land Studies 22: 77-82, 査読有.

Maimaiti A, Iwanaga F, Murata N, Hara N, Nishizawa M, Matsuo N, Yunus Q, Yamanaka N (2011) Cation content of five halophytes growing in saline soil around Aiding Lake in the Turpan Basin, Xinjiang, China. Sand Dune Research 58: 95-102, 査読有.

〔学会発表〕(計 11 件)

青木万実・松尾奈緒子・久堀史暁・楊靈麗・三木直子、乾燥地に分布する匍匐性樹木の夜間の樹体内の水移動、2014 年 3 月 16 日、第 61 回日本生態学会大会、広島国際会議場(広島市)

笠間融・松尾奈緒子・中島敦司・吉川賢・縄田浩志、極乾燥域に自生するマングローブ樹 (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) の安定同位体比を用いた葉のガス交換特性の解明、2014 年 3 月 16 日、第 61 回日本生態学会大会、広島国際会議場(広島市)

笠間融・松尾奈緒子・中島敦司・吉川賢・縄田浩志、紅海沿岸の乾燥域に生育するマングローブ樹の炭素安定同位体比を用いた葉のガス交換特性の解明、2013 年 12 月 17 日、第 3 回同位体環境学シンポジウム、総合地球環境学研究所(京都市)

青木万実・松尾奈緒子・楊靈麗・吉川賢・張国盛・王林和、安定同位体比を用いた乾燥地植物の吸水における主根・不定根・葉の役割の解明、2013 年 3 月 6 日、第 60 回日本生態学会大会、静岡県コンベンションアーツセンター(静岡市)

笠間融・松尾奈緒子・中島敦司・吉川賢・縄田浩志、スーダン紅海沿岸域に生育するマングローブ植物 (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) の樹形と葉の水利用特性の関係、2013 年 3 月 6 日、第 60 回日本生態学会大会、静岡県コンベンションアーツセンター(静岡市)

小瀬雄太・松尾奈緒子・岩永史子・エリジャンマイマイティ・山中典和、窒素安定同位体比を用いた土壌塩類集積地における塩生植物と土壌間の窒素循環の解明、2013 年 3 月 6 日、第 60 回日本生態学会大会、静岡県コンベンションアーツセンター(静岡市)

齋木拓郎・松尾奈緒子・野口よしの・宮田慎吾・谷口真吾・山中典和、長短期塩分ストレスに対するヒルギダマシ

(*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) の葉の炭素・酸素安定同位体比の応答、2013 年 3 月 6 日、第 60 回日本生態学会大会、静岡県コンベンションアーツセンター(静岡市)

Matsuo N, Takamido Y, Oki K, Seasonal Variation in Oxygen Isotope Ratio of Leaf Organic Matter in Temperate Broad-leaved Trees、2012 年 3 月 20 日、Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ and the 5th EAFES International Meeting、龍谷大学(大津市)

Imada S, Imai K, Masani T, Iwanaga F, Murana N, Acharya K, Matsuo N, Yamanaka N, Effect of salinity on fine root growth and biomass partitioning *Tamarix ramosissima* cuttings、2012 年 3 月 20 日、Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ and the 5th EAFES International Meeting、龍谷大学(大津市)

大橋達矢・松尾奈緒子・楊靈麗・吉川賢・張国盛・王林和、酸素安定同位体比を用いた乾燥地植物の夜間の気孔コンダクタンスと露利用の解明、2012 年 3 月 20 日、第 59 回日本生態学会大会、龍谷大学(大津市)

Hara N, Matsuo N, Imai K, Imada S, Maimaiti A, Yamanaka N, Evaluation of salt tolerance of desert plants using carbon isotope ratio、2012 年 3 月 18 日、Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ and the 5th EAFES International Meeting、龍谷大学(大津市)

〔図書〕(計 2 件)

松尾奈緒子、他、臨川書店、アラブのなりわい生態系 3: マングローブ(縄田浩志・中村亮編) 2014、323 (85 - 97)

松尾奈緒子、中島敦司、他、東海大学出版会、国立科学博物館叢書・砂漠の水を分かち合う知恵(篠田謙一・縄田浩志編) 454 (147 - 155)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾奈緒子 (MATSUO, Naoko)
三重大学・大学院生物資源学研究科・講師
研究者番号：00423012

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし