

## 速報

マングローブ樹種ヒルギダマシ (*Avicennia marina*) の耐乾性試験\*1

楠城時彦\*2

楠城時彦：マングローブ樹種ヒルギダマシ (*Avicennia marina*) の耐乾性試験 九州森林研究 70: 69–72, 2017 乾燥と高塩濃度は、高等植物の成長に大きく影響する非生物学的な環境ストレス要因である。このため植物は、乾燥ストレスや塩ストレスに対するさまざまな応答機構や防御機構を発達させている。両ストレスに対する植物の細胞レベル・分子レベルでの応答機構には共通点があり、耐塩性植物の多くが高い耐乾性をもつことが知られている。本研究では、耐塩性植物の乾燥条件下での水利用を調べるために、マングローブ樹種のヒルギダマシ (*Avicennia marina*) をもちいて生態生理学的解析を行った。胎生種子をパーミキュライトに播種し、発芽後の実生苗を1×Hoagland培地で35日間栽培した。その後、実生苗をもちいて給水停止処理による耐乾性試験を行った結果、海水で前処理した苗は未処理のものよりも高い耐乾性を示した。また、暗黒下で同様の実験を行うと、光条件下よりも海水処理区と対照区の差が明確となった。

キーワード：マングローブ、ヒルギダマシ、耐塩性、耐乾性

## I. はじめに

高等植物は、自然界においてさまざまな環境ストレスにさらされている。植物を取り巻く環境ストレスには、動物による食害や微生物の感染などが原因となる生物学的ストレスと、干害、塩害、高温（または低温）、貧栄養（または富栄養）、強光（または弱光）、酸素欠乏や電離放射線などにより引き起こされる非生物学的ストレスがある。その中でも干害や塩害によってもたらされる乾燥ストレスと塩ストレスは、植物の生育や成長に大きな影響を及ぼす主要な非生物学的環境ストレスである。このため植物は、乾燥ストレスや塩ストレスに対して器官レベルから細胞内の分子レベルにいたるまで多様な応答機構や防御機能を発達させている (Krasensky and Jonak, 2012)。おもにモデル植物をもちいた研究により、両ストレスに対する植物の応答機構については、細胞レベル・分子レベルで多くの共通点があることがわかってきた (楠城ほか, 2002)。これは、乾燥と高塩濃度はともに根圏の水ポテンシャルを低下させて植物体に対して水ストレスを与えることによるものである。一方、植物にとって塩ストレスは、水ストレスに加えてイオンストレスの側面をあわせもつ。例えば、一般的な中生植物 (mesophyte) にとってナトリウムイオンは深刻な毒性を示す。これに対して耐塩性植物 (塩生植物, halophyte) は、特定の器官や組織を発達させて、体内へのナトリウムイオンの侵入防止、根系から取り込んだ余剰塩分の体外への排出や隔離などを行うことで高いイオンストレス耐性を発揮する。これまでに、耐塩性植物が高い耐乾性をあわせもつ例が報告されている (Carillo *et al.*, 2011)。ハマミズナ科メセンブリアンテマ属のアイスプラント (*Mesembryanthemum crystallinum*) やヤナギ科ハコヤナギ属のコトカケヤナギ (*Populus euphratica*) は、海水と同程度の NaCl 溶液をもちいて水耕栽培が可能であるが、もともとは砂漠のような乾燥地に自生する (Abd El-Gawad and

Shehata, 2014; Gu *et al.*, 2004)。また、マングローブ樹種は高い耐塩性をもつ植物として知られているが、潮間帯に生育する湿生植物であるためこれまで耐乾性については注目されてこなかった。本研究では、耐塩性植物の乾燥条件下での水利用を調べるために、マングローブ樹種のヒルギダマシ (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) をもちいて生態生理学的解析を行った。

## II. 材料と方法

ヒルギダマシは、クマツヅラ科のマングローブ樹種であり、アフリカ東海岸、紅海沿岸、インド洋沿岸、オーストラリア、ニュージーランド北島、ポリネシア、南シナ海沿岸や東シナ海沿岸に分布する (九州森林管理局, 2010; Tomlinson, 1986)。常緑高木であるが、分布の北限となる沖縄では樹高数 m 以下の低木である (九州森林管理局, 2010)。本種は、マングローブ林の海側前縁部に生育し、塩類腺や直立根などのユニークな器官をもつ (図-1)。本研究では、西表島に自生するヒルギダマシ立木の樹上から、完熟種子 96 個を採取した (図-2)。爪で種皮を剥離した種子を水道水に 30 分間浸漬した後、パーミキュライトを満たした直径 9 cm × 高さ 8 cm のプラスチック製ポットに 1 粒ずつ播種した。播種後のポットをプラスチック製のバットに 4 枚に 1 バットあたり 24 個ずつ入れ、各バットに 1 × Hoagland 培地 (Hoagland and Arnon, 1950) を 6 ℓ ずつ加えた。この時の培地の水位は、ポットの底から 1/3 程度の高さであった。1 × Hoagland 培地は、20 × Hoagland ストック溶液を蒸留水で 20 倍に希釈することにより調製した。日長 16 時間、光量子束密度 300~500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、昼温 30 °C、夜温 25 °C、相対湿度 70 % の気象条件下で 35 日間栽培した (図-3)。培地の水位を維持するために随時蒸留水を追加し、数日毎に培地を交換した。

実生ポット苗のうち成長が良好なものを 20 個選んで供試体と

\*1 Nanjo, T.: An analysis of ecophysiological responses to drought in the mangrove species *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.

\*2 森林総合研究所林木育種センター西表熱帯林育種技術園 Iriomote Trop. Tree Breed. Tech. Garden, For. & Forest Prod. Res. Inst., Okinawa 907-1432, Japan

した。前処理として、20個の供試体を10個ずつ2グループに分けた。1グループを対照区として1×Hoagland培地で、残りの1グループを塩処理区として1/2海水でそれぞれ上記と同じ条件下で10日間栽培した。1/2海水は、満潮時に採取した海水を蒸留水で2倍に希釈することにより調製した。

耐乾性試験は、前処理後の苗を無灌水状態で25日間放置することにより行った。ポットを3枚重ねにしたペーパータオルの上に1時間置いて土壤中に含まれる重力水を除去した。その後、対照区と塩処理区の供試体各10個からそれぞれ5個ずつ選んで、連続光、光量子束密度300~500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、昼温30℃、夜温25℃、相対湿度70%の気象条件下で放置した(明区)。両処理区の残りの供試体5個ずつを、暗黒下、以下上記と同気象条件下で放置した(暗区)。処理開始後、0, 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25日後の同時刻にポットの重量測定および供試体の定点撮影を行った。試験終了後、地際で切断した苗の地上部とそれ以外の部分(ポット+土+苗の地下部)の生重量と乾燥重量を計測した。乾燥重量の計測



図-3. ヒルギダマシ実生苗

には、乾熱滅菌器により80℃で3日間乾燥させたサンプルを用いた。これらのデータを用いて試験期間中の土壤含水率(w/w)と乾燥処理25日後の植物体地上部の含水率(w/w)を求めた。



図-1. 西表島のヒルギダマシ

西表島に自生する本種は樹高2~3m以下の低木である。樹体周囲に見える棒状のものは直立根(pneumatophore)と呼ばれる呼吸根である。



図-2. ヒルギダマシの胎生種子

樹上から採取した発芽能を持つ完熟種子。左側の2つは種皮を剥離したものである。

### Ⅲ. 結果と考察

ヒルギダマシ実生苗をもちいた耐乾性試験の結果、明区では、対照サンプル(前処理なし)は乾燥処理21日後にすべて枯死した(図-4)。この時の土壤含水率は、4.8 ± 1.0% (平均値 ± 標準偏差, 以下同様)であった。これに対して乾燥処理21日後の塩処理サンプルは、一部の葉に褐変が見られたものの5個体すべてが生存していた。この時の土壤含水率は、12.5 ± 2.0%であった(図-5)。塩処理区の土壤含水率が、対照区の苗がすべて枯死した4.8%と同程度になる前に乾燥処理を終了した。ちなみに、乾燥処理25日後の塩処理区の土壤含水率は8.3 ± 1.1%であり、この時の植物体は、ほとんどの葉が褐変したが茎部の膨圧は保たれており5個体すべてが直立していた。明区における乾燥処理25日後の植物体地上部の含水率は、対照区で44.9 ± 4.1%、塩処理区で50.4 ± 2.0%であった。一方、気孔を閉鎖させて蒸散による土壌からの吸水を抑えた場合、耐乾性に対する塩処理の影響が光条件下と異なるかどうか調べるために暗黒下で同様の実験を行った。その結果、暗区では対照サンプル(前処理なし)は乾燥処理16日後にすべて枯死した(図-6)。この時の土壤含水率は、38.7 ± 1.7%であった。これに対して乾燥処理16日後の塩処理サンプルは、5個体すべてが健全な状態で生存していた。この時の土壤含水率は、42.1 ± 1.5%であった(図-7)。ちなみに、乾燥処理18日後の塩処理区の土壤含水率は、対照区の苗がすべて枯死した時の土壤含水率38%と同程度になった。この時の植物体は、葉の一部が褐変したものの全体的に健全な状態を保っていた。暗区における乾燥処理25日後の植物体地上部の含水率は、対照区で57.2 ± 5.4%、塩処理区で71.1 ± 1.8%であった。

明区・暗区ともに対照区とくらべて塩処理区の土壤含水率の低下が遅かったが(図-5, 7)、これは不揮発性溶質の濃度が高いほど溶液の蒸気圧が低くなる物理現象(ラウールの法則)に由来

する。例えば、塩水は真水より蒸発しにくい。塩処理区では、海水を含んだ土壌や植物体の水分減少が対照区よりも遅く、結果として苗が枯れるのも遅かったと考えられる。また暗区では、明区とくらべて対照区の苗が枯死するまでの時間が短かったが（図-4, 6）、これは暗黒による気孔閉鎖によりマズフローによる根圏からの吸水が滞ったため、植物体内において早期に水欠乏が生じたためであると考えられる（日本光合成学会, 2015）。暗区において塩処理サンプルが対照サンプルよりも枯死するまでの時間が長かった理由としては、塩処理した苗では、植物体内の溶液の蒸気圧が対照区より低いことから蒸散による根圏からの水分供給が低下しても体内に水分を保持することができたこと、あるいは植物体内に取り込んだ塩イオンによって浸透圧ポテンシャルが下が

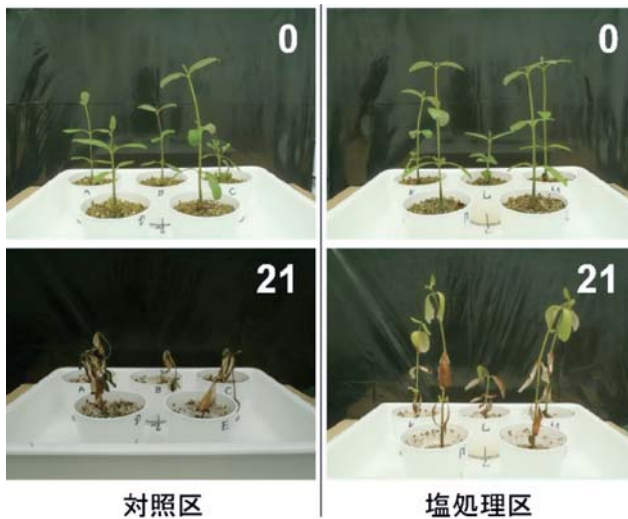


図-4. 耐乾性試験中のヒルギダマシ実生苗（明区）  
各写真右上の数字は処理開始からの日数を示す。

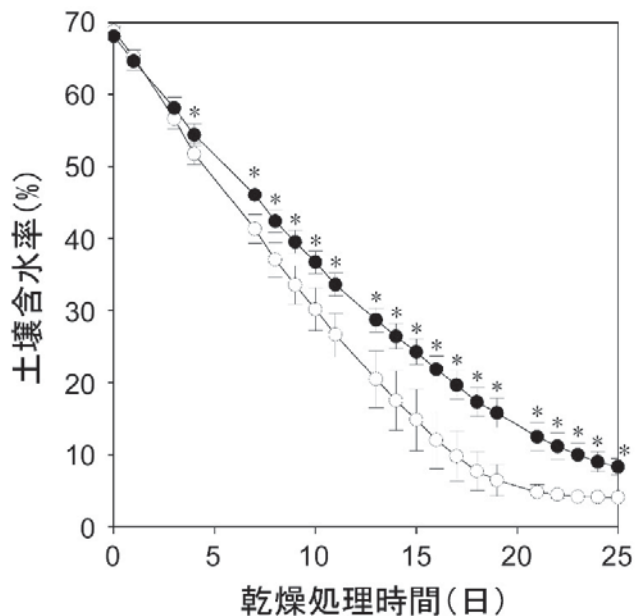


図-5. 耐乾性試験期間中の土壌含水率の変化（明区）  
○：対照区，●：塩処理区，エラーバー：標準偏差，\*：*t*検定の結果各処理時間における対照区と塩処理区の土壌含水率に有意差があることを示す ( $p < 0.05$ )

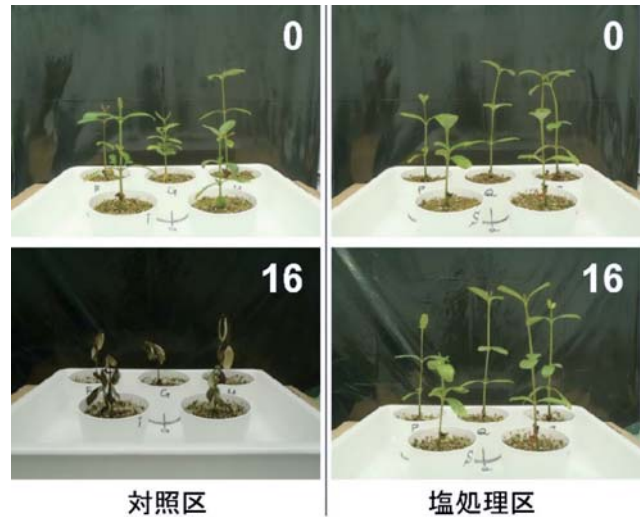


図-6. 耐乾性試験中のヒルギダマシ実生苗（暗区）  
各写真右上の数字は処理開始からの日数を示す。

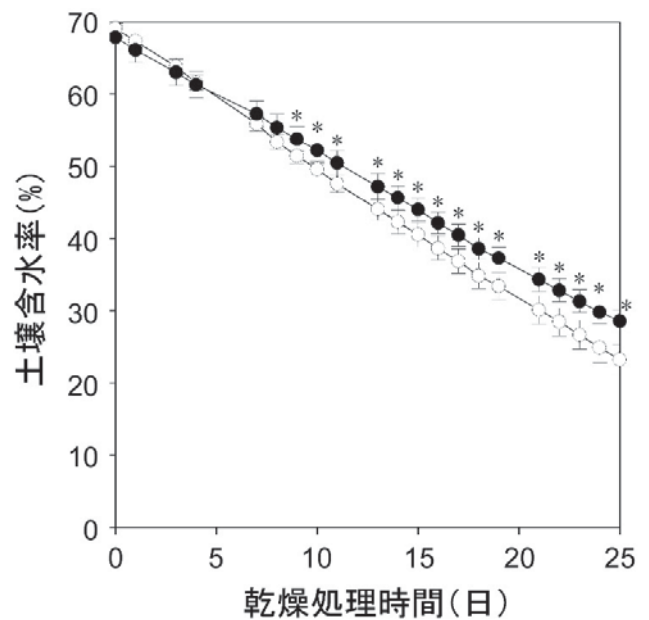


図-7. 耐乾性試験期間中の土壌含水率の変化（暗区）  
○：対照区，●：塩処理区，エラーバー：標準偏差，\*：*t*検定の結果各処理時間における対照区と塩処理区の土壌含水率に有意差があることを示す ( $p < 0.05$ )

り根からの吸水が維持できたことが考えられる（日本光合成学会, 2015）。また、明区・暗区ともに塩処理サンプルでは、適合溶質の蓄積といった順化が対照区に比べて進んでいたことが耐乾性の向上をもたらした可能性もあり今後調査が必要である。

本研究では、耐塩性植物の乾燥条件下での水利用を調べるために、マングローブ樹種のヒルギダマシをモデルとしてもちいて生態生理学的実験をおこなった。ヒルギダマシでは、根圏から吸収された塩分は拡散や蒸散流によって葉などの栄養器官まで到達する。このように地上部に高濃度の塩イオンを取り込める植物は、植物体内に高い保水力を得られるだけでなく、浸透圧ポテンシャル落差による根圏からの水分吸収が期待できる。乾燥地の多くは

塩類集積地である。乾燥地緑化を行う際、耐塩性を指標にした樹種選定が有効である可能性がある。

### 引用文献

Abd El-Gawad AM and Shehata HS (2014) Egypt J Basic Appl Sci 1 : 29 - 37.

Carillo P *et al.* (2011) Salinity Stress and Salt Tolerance, INTECH, <http://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-and-adaptations/salinity-stress-and-salt-tolerance#article-front> (2017年1月5日利用).

Gu R *et al.* (2004) Tree Physiol 24 : 265 - 276.

Hoagland DR and Arnon DI (1950) Calif Agr Exp Sta Circ 347 : 1 - 32.

Krasensky J and Jonak C (2012) J Exp Bot 63 : 1593 - 1608.

九州森林管理局 (2010) 西表島の植物誌, 九州森林管理局, <http://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/> (2016年11月8日利用).

楠城時彦ほか (2002) 蛋白質核酸酵素 47 : 1684 - 1689.

日本光合成学会 (2015) 光合成辞典 (Web版) <http://photosyn.jp/pwiki/index.php?%E5%A1%A9%E3%82%B9%E3%83%88%E3%83%AC%E3%82%B9> (2017年1月5日利用).

Tomlinson PB (1986) The Botany of Mangroves, 201 pp, Cambridge University Press, London.

(2016年11月18日受付 : 2017年1月19日受理)