

3 2

助成番号 0032

マングローブ植物の水収支と塩収支の解明

助成研究者：平沢 正 (東京農工大学 農学部)
 共同研究者：石原 邦 (東京農業大学 国際食料情報学部)
 大川 泰一郎 (東京農工大学 農学部)

熱帯・亜熱帯の沿岸海水域の生態系において重要な位置を占めるマングローブ植生を保全し、修復していくためには、マングローブ植物の生育する環境条件とこれに対するマングローブ植物の反応を明らかにし、特徴づけることが不可欠である。日変化や季節変化する土壌水の塩分濃度がマングローブ植物の生理や生長に及ぼす影響を解明していくためには、まずマングローブ植物の塩収支の実態を明らかにすることが重要である。本研究はマングローブ植物ヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa* Griff.) を用い、種々の塩分濃度条件における塩収支とこれに密接に関係すると考えられる水収支、さらに、根の NaCl の吸収に関わる特徴を明らかにすることを目的として行った。

NaCl 濃度が 50mmol/L (以下 mM) の水耕液に生育した 1.3 年齢のヤエヤマヒルギ幼植物を NaCl 濃度が 0、50、200、500mM の水耕液に移し (以下処理とし、それぞれ 0、50、200、500mM 区とする)、この条件で約 2 ヶ月間の吸水量と体内水分含量の変化、植物体と水耕液の Na⁺濃度の変化を比較した。その結果、処理期間中の個体当たり吸水量は 200mM 区が 640 ~ 1220g で最も多く、500mM 区は 220 ~ 320g で最も少なかった。処理期間中の生長量は 200mM 区が最も大きく、0mM、500mM 区が小さく、処理終了時の個体当たり含水量は 200mM 区が 55 ~ 64g で最も多く、0mM、500mM 区が 32 ~ 49g で少なかった。処理期間中の個体当たり含水量の変化量はいずれの区も吸水量の約 1% であったので、吸水された水のほとんどが蒸散によって失われたことになる。処理期間中の吸水量は含水量に比較して 50mM、200mM 区は 12 ~ 19 倍、0mM 区は 9 ~ 11 倍、500mM 区は 6 ~ 7 倍であった。このように多量の水が吸水、蒸散されたにもかかわらず、処理終了時の体内水分含量当たりの Na⁺含量 (Na⁺濃度) は、0mM 区は処理前に比較して減少は明らかでなかった。200mM 区と 500mM 区の植物体中の Na⁺濃度は処理前に比較していずれの器官も増加した。植物体中の Na⁺濃度は 200mM 区では 300 ~ 490mmolL⁻¹、500mM 区では 490 ~ 550mmolL⁻¹ で、200mM 区は 500mM 区に比較して明らかに低かった。処理期間中の 50、200、500mM 区の水耕液の Na⁺濃度の増加は水耕液からの蒸発による濃度の増加よりも明らかに大きく、これらの区のヤエヤマヒルギは水耕液から相対的に水をより多く吸収したことになる。処理期間中の個体当たり Na⁺含量の増加量を吸水量で除して求めた木部液の平均 Na⁺濃度は水耕液の濃度に対して、200mM 区では 3 ~ 4%、500mM 区では 6 ~ 8% で、いずれの区も著しく低く、とくに 200mM 区で低かった。以上の結果は、ヤエヤマヒルギでは体内の Na⁺濃度が調節されていることを示すものであった。

水耕液の NaCl 濃度を变化させた後の根圧の変化から求めた切断根の NaCl に対する反射係数の平均値は 0.08 で著しく小さかった。また、NaCl の透過係数の平均値は $1.7 \times 10^9 \text{ m s}^{-1}$ 以下であった。

今後は根の NaCl 輸送の特徴、植物体の NaCl 蓄積量の時間的变化などに着目して、ヤエヤマヒルギの NaCl 収支と体内 NaCl 濃度の調節の実態をさらに解明して行く必要がある。

3 2

助成番号 0032

マングローブ植物の水収支と塩収支の解明

助成研究者：平沢 正 (東京農工大学 農学部)

共同研究者：石原 邦 (東京農業大学 国際食料情報学部)

大川 泰一郎 (東京農工大学 農学部)

1. 研究目的

熱帯・亜熱帯の沿岸海水域の生態系において重要な位置を占めるマングローブ植生を保全し、修復していくためにはマングローブ植物の生育する環境条件とこれに対するマングローブ植物の反応を明らかにし、特徴づけることが不可欠である。沿岸海水域に生育するマングローブ植物は地下水によって薄められた海水を吸収していることが茎葉の水ポテンシャルや水の酸素同位体比の測定から明らかとなり³⁾、さらに、沿岸海水域のマングローブ植生の土壌水の塩分濃度は潮の干満によって日変化を示したり、降雨による季節変化を示すこと⁴⁾、マングローブ植物の生長にとって最適な塩分濃度は海水の塩分濃度より低いこと^{1, 2, 3, 5)}が明らかとなっている。沿岸海水域における土壌水の塩分濃度とその変化がマングローブ植物の生理や生長に及ぼす影響を解明するためには、まず、マングローブ植物の塩収支の実態を明らかにすることが必要であると考えられる。このためには塩吸収と密接に関係すると考えられる水吸収も併せて検討することが必要である。そこで、本研究は (1) 種々の塩分濃度条件におけるマングローブ植物ヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa* Griff.) の水収支、塩収支を明らかにし、さらに、(2) 塩収支の機構を解明するための基礎として、ヤエヤマヒルギ切断根を用いて根の NaCl の吸収に関わる性質を明らかにすることを目的として行った。

2. 研究方法

2. 1 水耕液の NaCl 濃度と水収支、ナトリウムの収支

1999年7月上旬に沖縄県西表島で採取したマングローブ植物ヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa* Griff.) の胎生種子を水道水で湛水状態としたパーミキュライトに植え、ガラス室内で生育させた。8月4日に 50mM の NaCl を含む水耕液⁴⁾ に移植し、ガラス室内に約2ヶ月間生育させた後、自然光型人工気象室 (昼 (12時間) 30℃、夜 (12時間) 23℃) で生育させた。2000年10月15日より NaCl 濃度が 0、50、200、500mM の水耕液を約3L入れた 1/5000 a ワグナーポットに移し (以下処理とし、それぞれ 0、50、200、500mM 区とする)、上述の自然光型人工気象室内で12月19日まで65日間生育させた。

吸水量は処理開始時と処理終了時の水耕液の重量を直接測定して求めた。処理期間中は水面からの蒸発を防ぐため、ポットは厚さ 1.8cm の発泡スチロールで覆い、発泡スチロー

ルと植物体との間は油粘土でふさいだ。水耕液の Na⁺濃度はイオンクロマトグラフィー (SCL-10A および CDD-6A、島津製作所) で測定した。植物体のナトリウム含量は粉碎後、80 °C の水で 24 時間抽出し、抽出液を定量分析用濾紙 (No.5B、アドバンテック社) で濾過後、Na⁺を上述のイオンクロマトグラフィーで測定して求めた。なお、本抽出法で定量した植物体中の Na⁺濃度は湿式分解法の 1 つである硝酸過酸化水素法による定量結果とよく一致することを確かめておいた。

植物体採取に際しては、葉、胚軸を除く茎、芽はイオン交換水で湿らせたペーパータオルで表面を丁寧に拭き、胚軸と根は 3 L のイオン交換水中に約 1 秒間浸す洗浄を 2 回繰り返した。表面の水分をペーパータオルで取り除き、展開葉、芽、茎、胚軸、根に分けてすばやく生体重と葉面積を測定した後、90 °C で通風乾燥した。

2. 2 切断根の NaCl 吸収特性

2000 年 7 月上旬に沖縄県西表島で採取したヤエヤマヒルギの胎生種子を上述と同様にして、パーミキュライト中で生育させた後、NaCl 濃度が 50mM の水耕液に移して生育させた。約 5 ~ 6cm に伸長した若い 2 次根を用いて根圧を根圧測定装置 (root pressure probe) で測定した⁸⁾。根圧測定装置に取り付けた根の根圧が一定となった後に、水耕液の NaCl 濃度を急激に変化させ、その後の根圧の変化から、根の NaCl に対する反射係数 (σ_{sr}) と NaCl 透過係数 (P_{sr}) を次式より求めた (第 3 図参照)。

$$\sigma_{sr} = (P_{r0} - P_{r.min}) / \Delta \pi_s \cdot \exp(\ln 2 \cdot t_{.min} / T^{1/2})$$

または

$$\sigma_{sr} = (P_{r0} - P_{r.max}) / \Delta \pi_s \cdot \exp(\ln 2 \cdot t_{.max} / T^{1/2})$$

(P_{r0} : 水耕液の NaCl 濃度を変化させる前の根圧、 $P_{r.min}$ ($P_{r.max}$) : 水耕液の NaCl 濃度を高く (低く) した後に示された最小 (最大) 根圧、 $\Delta \pi_s$: 水耕液の浸透圧の変化量、 $t_{.min}$ ($t_{.max}$) : 水耕液の NaCl 濃度を変えてから最小 (最大) 根圧に達するまでの時間、 $T^{1/2}$: 根圧の第 2 曲線 ($P_{r.min}$ 、 $P_{r.max}$ を示した後の根圧の変化) において根圧がその全変化量の 1/2 変化するのに要した時間)

$$P_{sr} = \ln 2 \cdot V_x / (A_r \cdot T^{1/2})$$

(V_x : 根の導管の体積、 A_r : 根の表面積)

水耕液の浸透圧は氷点降下法浸透圧計 (OM802 ; フォーゲル社) を用いて測定した。

3. 研究結果

3. 1 水耕液の NaCl 濃度が水吸収と Na⁺吸収に及ぼす影響

処理期間中の個体当たり吸水量は 200mM 区が 640 ~ 1220g で最も多く、500mM 区が 220 ~ 320g で最も少なかった (第 1 表)。処理期間中の生長量は 200mM 区が最も大きく、0mM、500mM 区が小さかった (表略)。個体当たり含水量は処理期間中に 50mM 区と 200mM 区は増加し、0mM 区と 500mM 区は葉の枯死脱落によってわずかに減少したが、含水量の変

化量は吸水量の約1%で小さかった(第1表)。含水量に対する処理期間中の吸水量は50mM区、200mM区は12~19倍、0mM区は9~11倍、500mM区は6~7倍であった。処理期間中の植物体の個体当たりNa⁺含量の変化量を見積ると、0mM区は約1mmol減少したのに対して、200mM区と500mM区ではそれぞれ9~11mmol、8~14mmol増加し、区による相違は明らかでなかった(第2表)。器官別のNa⁺含量をみると、処理前は胚軸が高かったが、処理終了時には200mM区、500mM区ではすべての器官でNa⁺含量の増加が顕著であった。とくに両区とも根のNa⁺含量の増加が顕著であった(第1図A)。さらに、200mM区では葉のNa⁺含量の増加、500mM区では胚軸のNa⁺含量の増加が顕著であった。植物体の含水量当たりのNa⁺含量(Na⁺濃度)は(第2図B)、処理開始時は根では約130mmolL⁻¹で最も低く、胚軸は約300mmolL⁻¹で最も高く、葉と茎は260~270mmolL⁻¹であった。処理終了時には0mM区の植物体のNa⁺濃度は処理前に比較して減少は明らかでなかった。200mM区ではいずれの器官においても増加し、葉は約480mmolL⁻¹、他の器官は300~380mmolL⁻¹で、葉が他の器官より高かった。500mM区では各器官のNa⁺濃度はさらに増加し、葉は約550mmolL⁻¹、他の器官は約500mmolL⁻¹で、葉が他の器官に比較してやや高い傾向があった。

水耕液のNa⁺濃度は処理終了時はいずれも処理開始時に比較して高くなり、その程度は植物体の生育している水耕液が植物体の生育していない水耕液よりも高かった(第3表)。この結果は、植物体からのNaClの溶出の可能性が考えられる0mM区以外の処理区では、ヤエヤマヒルギはNa⁺よりも水を多く吸収していることを示している。そして水耕液のNa⁺濃度の高くなる程度は蒸散量の多かった200mM区が大きかったことから、吸水の盛んな植物ほどNa⁺よりも水を多く吸収していることがわかった。総吸水量と植物体のNa⁺含量増加量とから処理期間中の総水吸収量と総Na⁺吸収量の比を求めたところ(第2表)、200mM区では9~10mmolL⁻¹、500mM区では34~43mmolL⁻¹であった。この値は水耕液のNa⁺濃度のそれぞれ0.03~0.04、0.06~0.08で著しく低く、とくに200mMで低かった。

3. 2 切断根のNaClの取り込み

測定したそれぞれの根の最大根圧は0.05~0.19MPaの範囲で、平均すると0.12MPa(標準偏差0.04MPa、n=14)であった。根をroot pressure probeに取り付けた後の根圧の変化は3つのパターンに大別できた(第2図)。1つは根を取り付けた後、約12時間頃から根圧が徐々に上昇し、24時間後から約1日の間0.05MPa程度のほぼ一定の根圧を維持した後低下するパターンである。2番目は根を取り付けた後、5~6時間から根圧が1~2時間の間に約0.05MPaに上昇し、その後ほぼ1日一定の値を維持した後急激に上昇して0.1MPa以上のピークの値を示した後急激に低下するパターンである。3番目は根を取り付けた後、0.5~1日以内に急激に増加して0.1MPa以上のピーク値を示した後漸減し、安定した根圧を示さなかったパターンである。そこで以下の切断根のNaCl取り込みの検討には1番目と2番目の安定した根圧を長時間示す根を用いた。

水耕液の NaCl の濃度を变化させた後の根圧の変化の一例を第3図に示した。水耕液の NaCl の濃度を变化させた後の根圧の変化には2つのタイプが認められた。すなわち、1つのタイプは水耕液の濃度を高（低）くすると根圧が急激に低下（増加）し、その後 NaCl が水耕液から根に移動する（NaCl が根から水耕液に移動する）に伴って根圧が再び増加（低下）するという2つの曲線を示すタイプであった（第3図A）。もう1つは根圧が水耕液に NaCl を加えた直後に变化するのみで、最小値（最大値）に達した後は根圧の変化が認められず、2番目の曲線を示さないタイプであった（第3図B）。測定した6本の根のそれぞれの結果を第4表に示した。同じ根でも両タイプの変化を示した根もあったが、そのような根は少なく、どちらのタイプを示すかは根によって異なった。反射係数は0.05～0.14の範囲にあり、平均すると0.08（標準偏差0.04、n=6）で著しく小さく、反射係数の NaCl の濃度による相違は明らかでなかった。一方、NaCl の透過性を表わす2番目の曲線を示さない根が多かったが、2番目の曲線を示した根でも、 $T_{1/2}$ が著しく大きく、したがって、 P_{Na} は平均すると $1.6 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ で小さかった。

4. 考察および今後の課題

マングローブ植物の生長や乾物生産は培地の NaCl 濃度が海水の1/2あるいはそれ以下で最大となり、海水と同濃度の NaCl 条件では生長や乾物生産はむしろ抑制されることは多くのマングローブ種で認められている^{1, 2, 3, 5)}。植物体の NaCl 含量は生育している培地の NaCl 濃度が高くなると増加するが、ヤエヤマヒルギは培地の NaCl 濃度の増加に伴う体内の NaCl 濃度の増加の程度は培地の NaCl 濃度が高くなると小さくなる。このことはヤエヤマヒルギには体内の塩分濃度をあるレベル以下に抑制する機構のあることを示している。ある種のマングローブ植物は塩腺によって吸収した塩分を体外に排出しているといわれているが⁷⁾、ヤエヤマヒルギのようにこのような塩腺をもたないマングローブ植物種⁷⁾においても NaCl 濃度増加の抑制が認められる。マングローブ植物の塩収支の実態を解明していくためには塩の吸収と移動に大きく影響する吸水と蒸散も併せて検討する必要がある。しかし、これらを同時に検討した報告は少ない。そこで、本研究はヤエヤマヒルギの塩収支の実態を解明するために、水収支も併せて検討した。

処理期間中の生長量、吸水量は NaCl 濃度が海水より低い条件で大きいことはすでに多くの報告があるが、本研究においても200mM区が最も大きく、海水の NaCl 濃度とほぼ等しい500mM区が小さかった。体内水分含量の変化量はいずれの区においても吸水量の1%程度であったので、吸水した水のほとんどが蒸散によって体外に出たことになる。さらに、処理期間中の吸水量は植物体の含水量の6～19倍で、処理期間中に多量の水が吸収されたことになる。また、個体当たりの Na^+ 吸収量は200mM区と500mM区で明らかな相違は認められなかったが、植物体の含水量当たりの Na^+ 含量（ Na^+ 濃度）は200mM区よりも500mM区が高かった。このような水収支と塩収支に基づくと、水耕液の NaCl 濃度がヤ

エヤマヒルギの Na^+ 吸収に及ぼす影響を次のように考えることができる。

いずれの区の植物も体内水分量の6倍以上の多量の水を吸収、蒸散したにもかかわらず、0mM 区の植物体の Na^+ 濃度の明らかな変化は認められなかった。一方、200mM 区では植物体の Na^+ 濃度は 300 ~ 480mM で水耕液の濃度の 1.5 ~ 2.5 倍程度、500mM 区では 500 ~ 550mM で水耕液の濃度とほぼ等しくなるにとどまった。200, 500mM 区の植物では、吸収した水の量を考えると植物体の Na^+ 含量の増加量が明らかに小さいことから、ヤエヤマヒルギは水耕液から水を相対的に多く吸収し、水に対する Na^+ の吸収の割合は水耕液の水と Na^+ の比率に比較すると低いことがわかる。このことは処理開始時と処理終了時の水耕液の Na^+ 濃度の変化からも明らかで、処理終了時の水耕液の Na^+ 濃度の増加率は水面からの蒸発による自然増加に比較して明らかに大きかった (第3表)。ヤエヤマヒルギは塩腺のないマングローブとして知られており⁷⁾、事実 200mM 区、500mM 区の植物において処理期間中に葉の表面に塩が析出することは全く観察されなかった。植物体外に排出されるナトリウム量については今後定量的に明らかにする必要はあるが、植物体のナトリウム量が吸収されたナトリウム量の大部分を占めていると考えられる。処理期間中の平均木部 Na^+ 濃度を示すと考えられる吸収した水に対する植物体の Na^+ 含量の増加量は、200mM 区は 8.7 ~ 10.3mmol/L、500mM 区は 34.3 ~ 43.3mmol/L であった。これは水耕液の Na^+ 濃度のそれぞれ 3 ~ 4%、6 ~ 8% にしか相当せず、とくに吸水量の多かった 200mM 区が低かった (第2表)。本実験では、吸水量と蒸散量とはほぼ等しいと考えて差し支えないので、この値は蒸散流濃度係数を示し、イネ⁶⁾ と比較してもとくに大きく異なっていない。

切断根の NaCl の反射係数、透過係数はそれぞれ 0.08、 $1.6 \times 10^9 \text{ m s}^{-1}$ 以下で、とくに反射係数はこれまでに報告されている他の植物に比較しても小さかった⁹⁾ (第4表)。 NaCl の反射係数が小さいことは NaCl が蒸散流とともに根の中に入って行きやすいことを示すものである。種々の濃度の NaCl を含む水耕液に切断根を浸し、切り口に吸引圧をかけて吸水させると木部液の浸透圧は常に水耕液の浸透圧に近い値を示したが、このことも根の NaCl に対する反射係数が小さいことを示すものである。そこで、このようなヤエヤマヒルギの NaCl 輸送に関する性質を基に塩収支を考えてみたい。 NaCl に対する切断根の反射係数が小さいことは NaCl が水とともに根の中に入りやすいことになるので、この結果が水耕液に生育している植物にもあてはまるとすると、日中の蒸散を行っている時には、根の周囲の土壌水の NaCl 濃度に近い濃度の NaCl が蒸散流とともに根の中に入っていることになる。しかしながら、処理期間の平均の Na^+ 蒸散流濃度係数は 0.1 以下であることから推察されるように、 NaCl の取り込みは大きく抑制されており、結果は切断根を用いた測定に基づいた推察と大きく異なっていた。根の NaCl に対する反射係数が小さいことは蒸散の盛んな日中には NaCl は水とともに根の中に取り込まれ、蒸散によって植物体中の Na^+ 濃度は水耕液より高くなると考えられる。しかし、蒸散による水の取り込みが著しく減少する夜間には、逆に Na^+ 濃度の高くなった根の木部より Na^+ は水耕液中に出ていきやすい

ことも示している。このことによって、根の Na^+ 濃度、ひいては他の器官の Na^+ 濃度が根の周囲の土壌水の Na^+ 濃度に近づくことも可能性の一つとして考えられる。しかし、0mM 区の植物体には約 120 から 300mM の Na^+ が存在するにもかかわらず、根をはじめ他の器官の Na^+ 濃度はほとんど減少していなかったことを考えると、 Na^+ の動態は切断根から推定されるような単純なものではなく、柔細胞と木部との間の Na^+ 交換など複雑な過程が存在している可能性が考えられる。

今後は本研究で明らかとなった根の NaCl の輸送特性を踏まえて、蒸散条件にも着目して体内への NaCl 蓄積過程、体内における NaCl の分布などを明らかにし、体内 NaCl 濃度の調節の実態と機構を検討していきたいと考えている。

謝辞

ヤエヤマヒルギ胎生種子の採取に当たって種々のご援助を頂いた琉球大学熱帯生物圏研究センター米盛重友氏に厚くお礼申し上げる。また、測定に協力頂いた東京農工大学農学部学生丸野佑介君に感謝する。

5. 文献

- 1) M.D. Burchett, C.D. Field, A. Pulkownik, *Physiol. Plant.*, 60, 113-118 (1984)
- 2) B.F. Clough, *Aust. J. Plant Physiol.*, 11, 419-430 (1984)
- 3) W.J.S. Downton, *Aust. J. Plant Physiol.*, 9, 519-528 (1982)
- 4) 平沢 正、石原 邦、田中教幸、大川泰一郎、ソルト・サイエンス研究財団平成11年度助成研究報告集、I 理工・農・生物系編、217-229 (2001)
- 5) 石原 邦、平沢 正、大川泰一郎、ソルト・サイエンス研究財団助成研究報告書 (プロジェクト研究)、19-49 (1999)
- 6) H. Naito, M. Tsuchiya, S. Kumano, *Jpn. J. Crop Sci.*, 63, 320-325 (1994)
- 7) P.F. Scholander, H.T. Hammel, E. Hemmingsen, W. Garey, *Plant Physiol.*, 37, 722-729 (1962)
- 8) E. Steudle, W.D. Jeschke, *Planta*, 158, 237-248 (1983)
- 9) E. Steudle, C.A. Peterson, *J. Exp. Bot.*, 49, 775-788 (1998)

Table 1 Fresh and dry weights, leaf area and water content at the end of the treatment and estimated changes in water content and amount of absorbed water during the treatment.

Treatment	Plant no.	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Leaf area (cm ²)	Water content (g)	Change of water content* (g)	Amount of absorbed water (g)
0mM	1	64.7	18.2	160.2	46.5	-0.1	435.7
	2	63.1	19.6	97.7	43.5	-4.7	432.9
	3	50.4	15.4	96.8	35.0	-1.3	385.1
50mM	1	53.0	15.1	156.0	37.9	+5.1	464.0
	2	87.1	24.7	271.2	62.4	+7.4	759.1
200mM	1	88.0	23.6	249.2	64.4	+15.3	1220.3
	2	78.5	22.0	186.6	56.5	+8.5	850.4
	3	75.7	21.1	194.6	54.6	+8.5	636.8
500mM	1	50.0	14.9	59.9	35.2	-1.4	220.2
	2	68.5	19.1	124.1	49.4	+1.0	317.1
	3	45.4	13.2	62.5	32.2	-1.3	235.8

* Fresh weight (FW) was measured in the individual plant at the commencement of the treatment. The average water content per fresh weight (AWCF) was measured for the six other plants at the time, and water content of the individual plant was estimated from (FW) × (AWCF).

Table 2 Increase in Na⁺ content, amount of absorbed water and water absorption of a plant and mean Na⁺ concentration of the culture solution during the treatment.

Treatment	Plant no.	Increase in Na ⁺ content* (A) (mmol·plant ⁻¹)	Amount of absorbed water (B) (g·plant ⁻¹)	A/B** (mmol·L ⁻¹)	Mean Na ⁺ concentration of the culture solution (C) (mM)	A / (B·C)
0mM	1	-1.3	435.7	-	0.4	-
	2	-0.9	432.9	-	0.3	-
200mM	1	+10.6	1220.3	8.7	282.0	0.031
	2	+8.5	850.4	10.0	252.1	0.040
500mM	1	+7.5	220.2	34.3	540.6	0.063
	2	+13.7	317.1	43.3	546.8	0.079

* Na⁺ content of a plant at the commencement of the treatment was estimated from fresh weight of the individual plant and the mean Na⁺ content on the basis of fresh weight of six other plants.

** Specific gravity of the culture solution was assumed to be 1.

Table 3 Na⁺ concentration of the culture solution (mM) at the commencement (Oct. 15) and end (Dec.19) of the treatment.

Treatment	Plant no.	Oct. 15 (A)	Dec.19 (B)	B/A
0mM	1	0.13	0.61	4.6
	2	0.12	0.52	4.3
	3	0.15	0.36	2.3
	blank*	0.14	0.18	1.3
50mM	1	52.0	61.5	1.2
	2	52.2	68.5	1.3
	blank	51.0	53.7	1.1
200mM	1	212.4	351.7	1.7
	2	209.6	294.6	1.4
	3	210.8	268.2	1.3
	blank	200.0	207.0	1.0
500mM	1	512.9	568.2	1.1
	2	510.4	583.2	1.1
	3	511.8	564.1	1.1
	blank	479.3	492.7	1.0

* Na⁺ concentration of the culture solution without a plant.

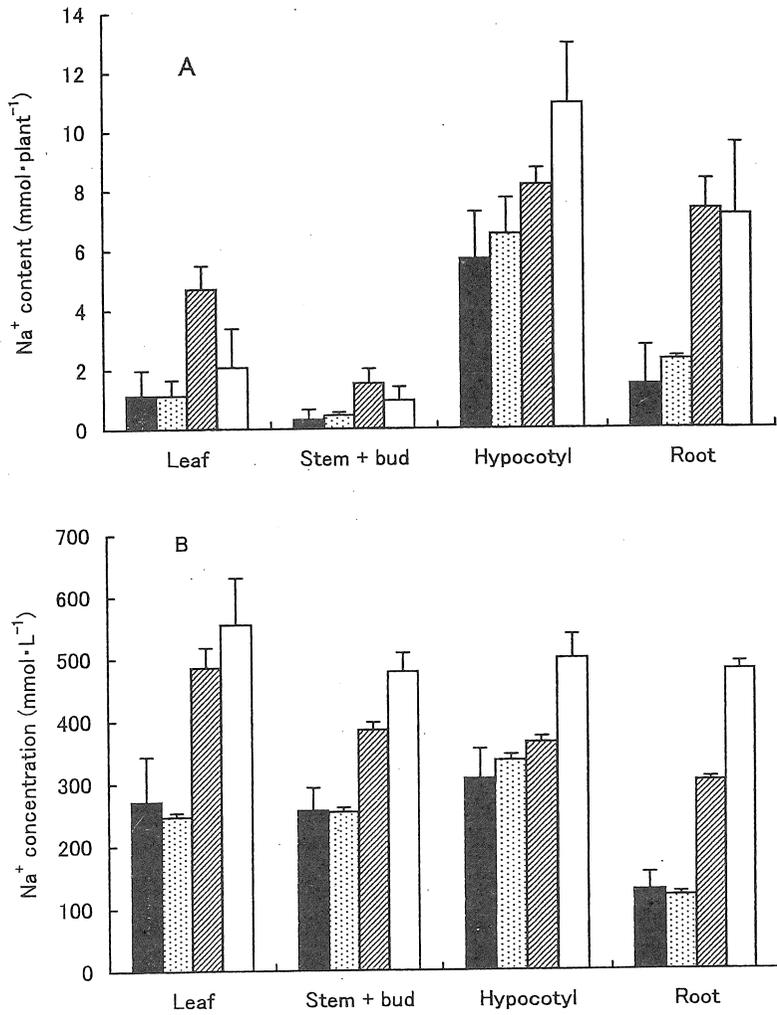


Fig. 1 Na⁺ content (A) and Na⁺ concentration* (B) of various organs at the commencement (■) and end (▤, ▨, □) of the treatment. ▤, ▨, and □ represents the plant with the treatment of 0, 200, and 500mM NaCl, respectively. Bars represent standard deviations (n=2). *Ratio of Na content to the total amount of water in a plant.

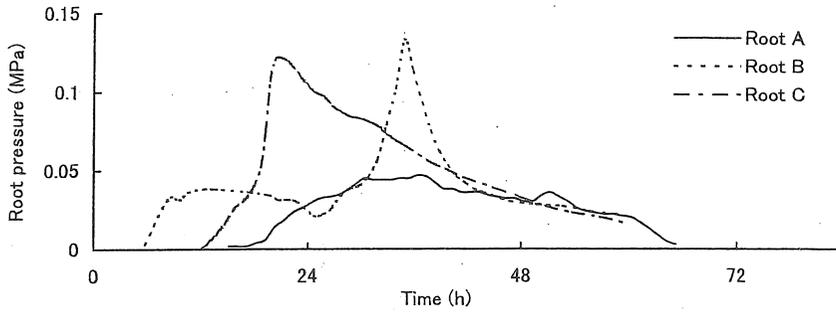


Fig. 2 Changes in root pressure after installing a root in the root pressure probe.

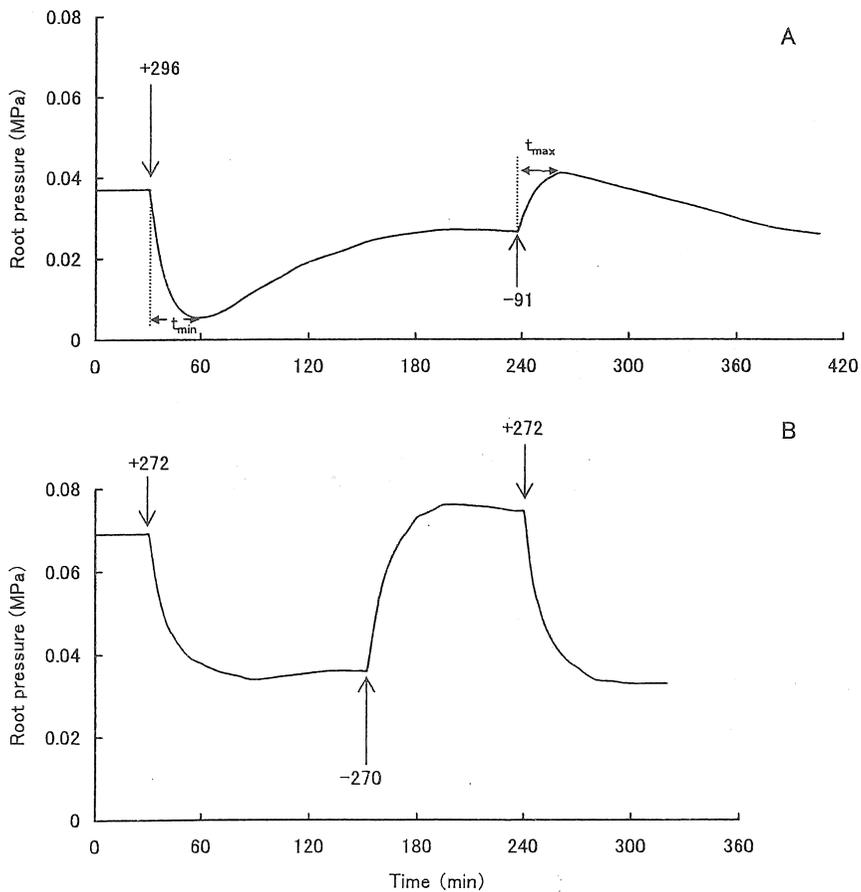


Fig. 3 Time course of root pressure during a typical experiment with a root pressure probe. NaCl concentration of the nutrient solution was changed at the time indicated by arrow. Positive and negative sign represents the increase and decrease in osmotic pressure of the solution (mOsmol/kg), respectively.

A : a root showing biphasic responses. B : a root showing monophasic responses.

Table 4 Reflection coefficient (σ_{sr}) and permeability coefficient (P_{sr}) for NaCl in roots of *Rhizophora stylosa*.

Root no.	NaCl concentration before and after changing solution (mM)		σ_{sr}	$T_{1/2}^s$ (s)	P_{sr} ($m \cdot s^{-1}$) $\times 10^{-9}$
	Before	After			
1	200	50	0.05	nm*	-
	50	200	0.05	nm	-
	200	500	0.04	nm	-
	500	200	0.05	nm	-
	200	500	0.04	nm	-
(Mean)			(0.05)		
2	50	200	0.14	nm	-
	200	50	0.13	nm	-
(Mean)			(0.14)		
3	50	200	0.05	nm	-
	200	50	0.06	nm	-
	50	200	0.06	nm	-
	200	500	0.02	nm	-
	500	200	0.04	nm	-
	200	500	0.04	nm	-
	500	200	0.05	nm	-
200	50	0.07	nm	-	
(Mean)			(0.05)		
4	50	200	0.15	nm	-
	200	100	0.17	nm	-
	100	200	0.16	nm	-
	200	400	0.07	nm	-
	400	500	0.03	2070	1.7
	500	400	0.09	nm	-
400	200	0.09	nm	-	
(Mean)			(0.11)	(2070**)	(1.7**)
5	50	200	0.08	2703	1.2
	200	150	0.10	1171	2.7
	150	200	0.06	nm	-
	200	350	0.05	1542	2.0
	350	400	0.05	2082	1.5
	400	350	0.08	1983	1.6
	350	200	0.07	1248	2.5
	200	150	0.11	1227	2.5
(Mean)			(0.07)	(1708**)	(2.0**)
6	50	200	0.07	2294	1.1
	200	150	0.10	3154	0.8
	150	200	0.06	nm	-
	200	350	0.05	2314	1.1
	350	400	0.03	1603	1.6
	400	350	0.06	1389	1.9
	350	200	0.07	3139	0.8
	200	150	0.09	1578	1.6
(Mean)			(0.07)	(2210**)	(1.3**)

* nm : No change in root pressure was observed in the 2nd phase in the response to the change of osmotic pressure of culture solution.

** Average only for the measurements where the changes in root pressure were observed in the 2nd phase.

**Salt balance in the mangrove *Rhizophera stylosa* Griff.
with reference to water balance**

Tadashi Hirasawa¹, Kuni Ishihara² and Taiichiro Ookawa¹

¹Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, ²Faculty of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture

Summary

For conserving and recovering mangrove vegetations, it would be required to characterize environmental conditions where the mangrove plants can establish and grow and their adaptable responses to the conditions. In the present research, we investigated salt balance in the mangrove plants, *Rhizophera stylosa* Griff. growing in the culture solution with NaCl of different concentrations as well as their water balance since water uptake and transpiration should affect salt balance significantly. We also tried to characterize NaCl transport properties of the mangrove roots with a root pressure probe.

The 1.3 year-old seedlings grown in the culture solution with 50mM NaCl were transplanted to the solution with 0, 50, 200 and 500mM NaCl and grown in the temperature-controlled chamber (day(12h);30°C, night(12h);23°C) for about 2 months. The plants in the solution with 200mM NaCl were the largest in the total water uptake, and the plants in the solution with 500mM NaCl, the smallest. Changes of plant water content were about 1% of the total water uptake during the treatment. Therefore, most of water which was absorbed during the treatment was to be transpired. The ratio of the total amount of absorbed water to water content of an individual plant was 9-11, 12, 12-19 and 6-7 for the plants in the solution with 0, 50, 200 and 500mM NaCl, respectively. Even though such large amount of water was absorbed and transpired, the ratio of Na⁺ content to the total amount of water in a plant, that is, Na⁺ concentration did not change significantly for the plants in the solution with 0mM NaCl. The Na⁺ concentration in a plant increased significantly in the solution with 200 and 500mM NaCl, but the increase was larger in the plants in the solution with 500mM NaCl than the plants in the solution with 200mM NaCl. The increase in the Na⁺ concentration of the culture solution with a plant was significant compared with the solution without a plant. The value of the increase of Na⁺ content divided by the total amount of absorbed water was only 3-4%, 6-8% of the concentration of the culture solution for the plants in the solution with 200, 500mM NaCl, respectively. These results suggest that tissue Na⁺ concentration was regulated in *Rhizophera stylosa* although it was not known whether Na⁺ was not transported into roots together with transpiration stream or Na⁺ went back to the solution after it was transported into plants.

The mean reflection coefficient of roots for NaCl was only 0.08. This was small compared with other plants. The mean permeability coefficient of roots for NaCl was smaller than $1.6 \times 10^{-9} \text{ ms}^{-1}$. The mechanisms of the regulation of the salt balance were discussed in view of the root properties in NaCl transport.