

## 9521 マングローブ樹種苗木の生育に及ぼす塩分の影響

助成研究者：中須賀常雄（琉球大学 農学部）

共同研究者：岸本 司（沖縄国際マングローブ協会）

塩月 正敏（琉球大学）

【目的】世界のマングローブ林は最近急速にその分布面積が減少し、また質の悪化が起きている。本林は陸地と海域との間にあって移行帯として重要な働きをしている生態系で、その保全及び再生が急務である。本研究はマングローブ林再生のための苗木生産における育苗技術検討の一つとして、ヒルギ科樹種の苗木の生育に及ぼす塩分の影響について検討した。

【方法】材料は沖縄産ヒルギ科樹種のメヒルギ (*Kandelia candel*) の苗木である。メヒルギは塩分濃度0%、1.8%及び3.6%の人工培地で育成し、約4ヶ月後の生育状況を観察した後、5%以上の高濃度塩分下に移した時の生育反応を光合成及び苗木体内の無機物含量より検討した。

【結果と考察】メヒルギ苗木の生育は塩分濃度1.8%区で最良で、これはこれまでの報告と一致している。高濃度塩水処理により、光合成は無塩分区より塩分区の方が低下率が大きい。無塩分区では処理後苗木体内に取り込まれたNaがプラスの効果をしたことが考えられ、その後多量に蓄積して害を与えたものとみられる。生存率は塩分0%区と1.8%区で処理後11日目に0%となり、3.6%区では処理後26日目に55%となり、その後変化していない。また、苗木体内のNaとK含量からみると、5%以上という高濃度塩分処理に対して前処理の塩分濃度が3.6%でないと耐塩効果がないようである。また、苗木の各部位におけるNaの吸収、分散をみると、通気組織からなる粗根の役割が大きいことが示唆された。



## 9521 マングローブ樹種苗木の生育に及ぼす塩分の影響

助成研究者：中須賀常雄（琉球大学 農学部）

共同研究者：岸本 司（沖縄国際マングローブ協会）

塩月 正敏（琉球大学）

### 1. 研究目的

マングローブ林は熱帯や亜熱帯域の海水や汽水に冠水する立地に生立する特殊な森林で、陸域と海水とを結ぶ移行帯として重要な生態系である。最近、本林は過度の伐採や種々の開発により急激に破壊されており、その保全及び再生が望まれている。しかしながら、本林の植栽に関する技術開発は少なく、育苗や植栽法などについての研究が急務である。筆者らは、沖縄やフィリピンなどでヒルギ科樹種の育苗や現地植栽試験を継続中であるが、淡水下で育苗した苗木を海水又は汽水下の現地へ植栽した時、枯死する苗木が多々みられる。そこで、本研究では、塩水による塩分ハードニング効果について試験を行い、マングローブ樹種の植栽技術の向上に寄与することを目的とする。

### 2. 研究方法

実験材料はヒルギ科のメヒルギ苗木である。メヒルギの胎生芽は1995年6月、宜野座村渦原のマングローブ林より採集した。採集した胎生芽は選別した後、パーミキュライトと腐葉土を2：1に混合した培地を入れた1/5000aワグネルポットに1ポット当たり3本植え付け、7月中旬まで管理した。塩分処理区は、1/2海水区（水道水＋海水、塩分濃度1.8%）及び海水区（海水のみ、塩分濃度3.6%）で、対照区（水道水のみ、塩分濃度0%）を設け、各処理に11ポットを配し、7月15日から11月1日までの110日間処理を行った。この間、ホグランド20倍液を10日毎に、またEDTA鉄水溶液（500mg/l）を5日毎に1ポット当たり10ml添加した。

処理期間中、10日毎に主軸伸長量を測定し、10月12日（処理90日目）に上部から第2節葉の葉緑素含有量を葉緑素計（ミノルタSPAD 502）を用いて測定した。処理終了時の11月1日に各処理区から2ポット取り出して苗木を掘取り、各部位の生長量を測定した。

次に、11月18日に上記各処理区より5ポットを取り出し、海水に自然塩を加えて塩分濃度9%に調整した塩水を各ポットに注入し、排水の塩分濃度が5%以上になった時点で栓をして処理を開始した。処理後4日目に各処理区から1

ポットを堀取って苗木の各部位別に含水率を測定した。また、3日毎に枯死個体数を調べた。また、処理前と処理後4日目に個葉の光合成速度を測定した。高濃度塩分処理に伴う光合成速度の反応や枯死率をもとにメヒルギ苗木の塩分ハードニングについて検討した。

Table 1 Weight growth of *K.candel* seedling in each salt concentration of the soil (growth period 110 days, dry weight; g)

Condition	Above-ground				Under-ground				Total	TR ratio <sup>1)</sup>
	Vivi- parous	Shoot	Leaf	total	Vivi- parous	Medium root	Fine root	total		
0%	1.624	0.607	1.106	3.337	2.097	0.468	0.793	3.358	6.695	1.361
1.8%	1.672	0.772	1.637	4.081	2.652	0.861	0.807	4.320	8.401	1.443
3.6%	1.478	0.519	1.570	3.568	2.121	1.059	0.725	3.904	7.472	1.194

1) Top/root ratio except viviparous part

Table 2 Leaf character of *K.candel* seedling in each salt concentration of the soil (per seedling)

Condi- tion	Leaf number	Length (cm)	Width (cm)	Mean leaf area (cm <sup>2</sup> /no.)	Total leaf area (cm <sup>2</sup> )	Mean dry weight (g/no.)	Water content (%)	SLA (cm <sup>2</sup> /g)
0%	7.3±0.6	6.5±0.6	3.1±0.3	15.8	114.7±16.7	0.656	76.9	103.6
1.8%	8.2±0.4	7.3±0.7	3.4±0.3	20.0	163.0±28.2	0.882	77.3	103.2
3.6%	9.6±1.3	6.5±0.4	3.4±0.1	17.1	158.9±21.8	0.755	77.6	101.3

Table 3 Root length of *K.candel* seedling in each salt concentration of the soil (cm)

Condition	Medium root	Fine root	Total
0%	45.7	1151.6	1197.3
1.8%	63.1	1212.0	1275.1
3.6%	64.7	973.9	1038.6

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1. メヒルギ

##### 3.1.1. 土壌水の塩分濃度による生長の違い

処理開始から処理110日後間の各処理における主軸伸長をFig.1に示した。塩分濃度1.8%区と他2処理区とは処理後20日頃から伸長量の差がみられ、以後、次方に差が開いていっている。塩分濃度0%区は処理後50日頃に差がみられ、以後、処理終了まで同様の差を維持している。処理終了時の主軸長は、塩分濃度1.8%区が18.9cm、同0%区が16.2cm、同3.6%区が14.9cmであった。処理後110日の重量生長をTable.1に示した。各処理区別の苗木の各部位別の生長量は主軸長と同様に塩分濃度1.8%区で最大であるが、処理区によって差が大きい部位は葉と粗根であった。胎生芽を除いた部位の110日後の乾重量は、塩分濃度1.8%区で4.078g、同3.6%区で3.873g、同0%区で2.974gとなり、塩分区が淡水区より大であった。塩分濃度により生長差が大であった葉の特性について表-2に示した。着葉数は塩分濃度0%から3.6%へと増加しているが、全葉面積は塩分濃度1.8%区で163cm<sup>2</sup>と最大となり同3.6%区で159cm<sup>2</sup>、同0%区で115cm<sup>2</sup>と、塩分区と淡水区との差が大きくなっている。SLAは101.3~103.6、含水率は76.9~77.6%とほぼ同じ値と示しており、処理区によって葉の形状は異なるが質的にはほぼ同じであることを示している。各処理区別のSPAD値は、塩分濃度0%区で59.1%、同1.8%区で64.8%、同3.6%区で70.4%であった。その値をSPAD値と葉緑素含有量との関係式、 $Y = 0.0153 + 0.0141X$  ( $r = 0.896$ ) に当てはめて算出した各処理区の葉緑素含有量は、上記の順に0.849mg/g生、0.929mg/g生及び1.007mg/g生で塩分濃度が高くなると葉緑素含有量が多くなる傾向を示した。

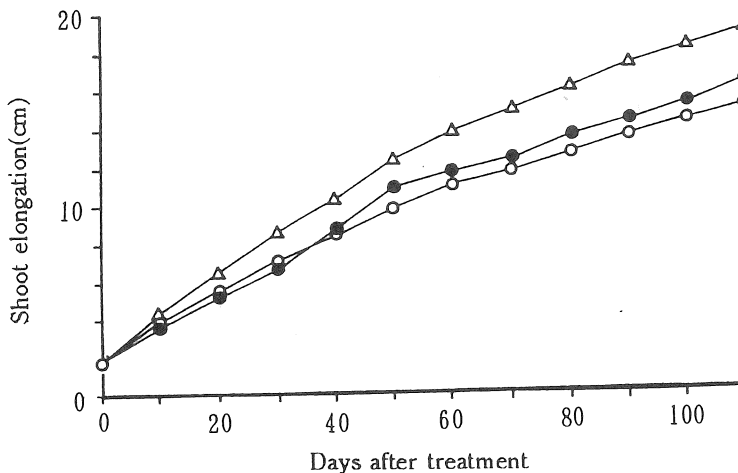


Fig.1 Shoot elongation of *K.candel* seedling in each salt concentration of the soil(%)

● 0%    △ 1.8%    ○ 3.6%

## 3.1.2. 高塩分濃度処理に対する反応

各塩分区における高濃度塩分処理の影響を処理前後の光合成速度反応について検討した。Fig.2 に処理前の各塩分区の光-光合成関係図を示した。200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 以下の弱光では塩分濃度1.8%区と3.6%区とは同様な反応を示し、約5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ の光合成速度で0%区より大で、光強度が500  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ になると、光合成は8~10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ となり、順位は1.8%区>0%区>3.6%区となり、この順位で光強度の増加につれて光合成速度も増加し2,000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ では、1.8%区を0%区が光合成速度は15  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、3.6%区で10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ となっている。高濃度塩分処理4日後の各処理区における光-光合成関係をFig.3~5に示した。図中の上部の曲線は同時に測定した無処理区の光合成速度、下部が処理区のそれである。塩分濃度0%区の光合成低下率は光強度2,000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ で約55%、同じく1.8%区では約85%、3.6%区では約75%と、無塩分下で育てた苗木の方が塩分下で育てた苗木より高塩分処理の影響が小さい結果となった。処理後苗木の生存率の変化をFig.6に示した。塩分濃度0%区と1.8%区とは8日後の生存率が各々58%、75%と差がみられたが11日後の生存率が両区とも0%となった。塩分濃度3.6%区では8日後より枯死個体がみられたが、その後徐々に生存率が低下し、26日後に55%となって、図示していないがその後枯死個体はみられなかった。

次に高濃度塩分処理前後の各部位の含水率をTable.4に示した。葉の含水率についてみると、処理前は76.9~77.6%であるが、処理後は63.7~71.3%とその差が大となり、0%区では13.2%減少し、塩分区ではその値の半分の6.0~6.9%とほぼ両区で同じ値であった。胎生芽下部（地上部）では、処理前の含水率は74.6~74.9%と3処理区ともほぼ同様の値を示しているが、処理後は59.8~63.2%となり、11.4~15.1%も減少している。根部の含水率の変化は、粗根は処理後が処理前より全区で6.1~6.9%減少しているのに反して、細根では0%区が処理によって8.5%減少しているが、塩分区の1.8%区では2.2%、3.6%区では1.2%増加しており、処理によって含水率の増加がみられたのは塩分区の細根のみであった。

各処理区における掘取り苗木の各部位別の処理前・後のナトリウム含有量の変化をFig.6~8に示した。塩分濃度0%区では処理前のナトリウム含量は少なく、最大は細根での約8,000ppmである。処理後4日目の11月21日の各部位のナトリウム含有量は全ての部位で処理前より増加しているが、特に増加したのは下葉と細根で、前者では7.2倍、後者では5.2倍となっていた。処理14日後（枯死後）の各部位におけるナトリウム含量は、処理4日後に比して下葉と細根で減少、上葉と胎生芽で増加しているが、その変化は小さい。塩分区の1.8%

Table 4 Water content in each part of *K.candel* seedling in each salt concentration of the soil(%)

Part	Bud	Leaf	Shoot	Above-ground viviparous	Under-ground viviparous	Medium root	Fine root
Before treatment							
0%	72.6	76.9	70.6	73.3	74.9	85.2	86.3
1.8%	68.7	77.3	72.2	72.2	74.8	89.9	79.4
3.6%	70.1	77.6	73.8	71.7	74.6	89.3	79.0
At 4 days after treatment							
0%	62.6	63.7	64.7	60.9	59.8	78.8	77.8
1.8%	66.0	71.3	67.9	63.0	62.8	83.0	81.6
3.6%	66.0	70.7	65.4	61.6	63.2	83.2	80.2

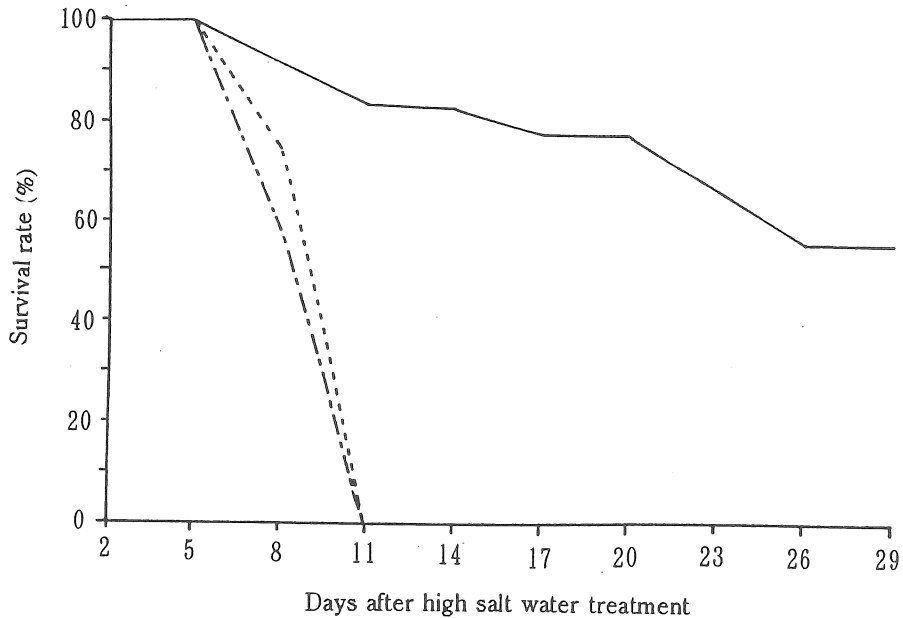


Fig.6 Survival rate of *K.candel* seedling after high salt water treatment in each salt concentration of the soil  
 - - - 0 %    ..... 1.8%    ——— 3.6%

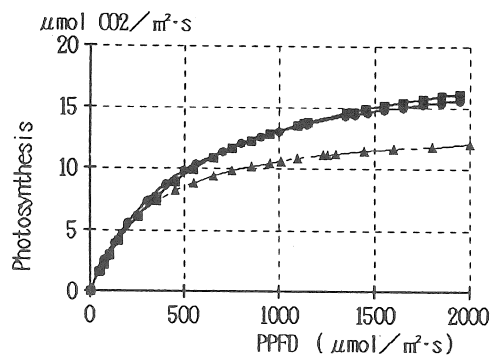


Fig.2 Light-effect curves of photosynthesis of *K.candel* seedling in each salt concentration (growth period 115 days, before high salt water treatment)  
 ■ 0 % ▲ 1.8 % ● 3.6 %

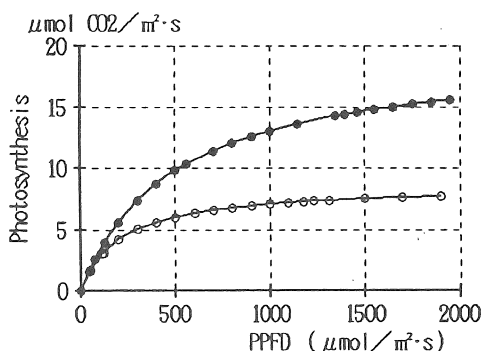


Fig.3 Light-effect curve of photosynthesis of *K.candel* seedling grown under 0% salt concentration of the soil at 4 days after high salt water treatment  
 ● control ○ treatment

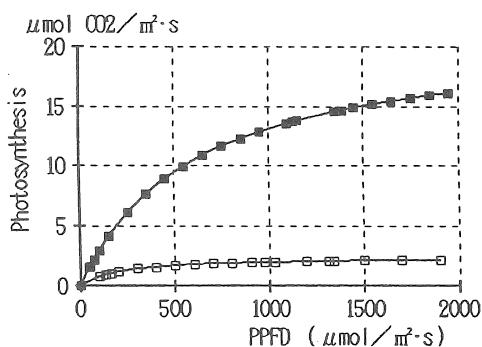


Fig.4 Light-effect curve of photosynthesis of *K.candel* seedling grown under 1.8% salt concentration of the soil, at 4 days after high salt water treatment  
 ■ control □ treatment

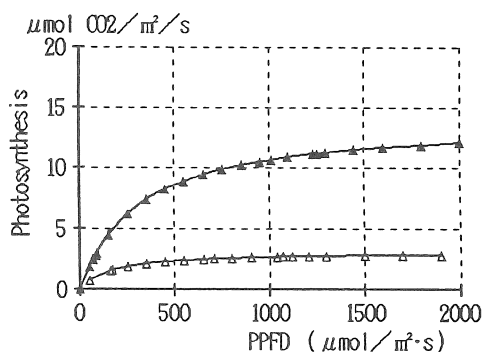


Fig.5 Light-effect curve of photosynthesis of *K.candel* seedling grown under 3.6% salt concentration of the soil, at 4 days after high salt water treatment  
 ▲ control △ treatment



区では、処理前に各部位とも0%区に比して多量のナトリウムを含んでおり、16,000ppmで0%区のその6.4倍、同じく粗根では27倍、細根では7.6倍である。1.8%区においても処理後各部位でナトリウム含量は増加しているが、その増加率は0%区より小さく処理前に比して、処理4日後には下葉で2.2倍、細根で1.7倍である。処理14日後のナトリウム含量は処理4日後に比して、葉と根では減少、胎生芽では増加しているが、細根での減少が目立っている。塩分区の3.6%区では、処理前の各部位とも多量のナトリウムを含んでおり、1.8%区よりも少し多く、地上部では下葉で、地下部では粗根で最大となっている。粗根のナトリウム含量は0%区の35.8倍、1.8%区の1.3倍、細根では順に6.2倍、0.81倍である。処理による各部位でのナトリウム含量の変化は、処理4日後に粗根で少し減少しているがその他の部位では増加し、下葉では1.8倍、細根では2.2倍である。処理14日後にはナトリウム含量は4日後に比して、葉と細根で減少し、主軸、胎生芽及び粗根では増加しているが、大きな変化は根部でみられる。

次に各塩分区の苗木の各部位でのカリウム含量をFig.9~11に示した。処理前の各塩分区におけるカリウム含量は0%区が各部位とも最多で、上葉、軸及び細根で他区との差が大で、最多含量のオーダーは約35,000ppmである。処理4日後の各塩分区のカリウム含量は全部位で処理前より減少し、減少率が塩分濃度が高いほど小さくなっており、最大含量は下葉の24,000ppmと処理前に比して10,000ppm以上減少している。処理14日後のカリウム含量が処理4日後とほぼ同様で各部位とも0%区が高い結果を示している。

以上の結果から、メヒルギ苗木の生長は1.8%の塩分濃度区で最も良好で、ついで塩分濃度3.6%区、同0%区の順となっており、メヒルギの生長は塩分を含んだ土壌水の方が淡水区より生長が良いという報告を指示している。しかし、上記の実験は淡水下で発根、開芽させた後に塩分処理を行った結果であるが、当初から塩分処理した苗木の初期生長は淡水下の方が塩分区より良好であるという報告もあり、アッケシソウの研究で指摘されているように、どの時期に耐塩性ないし抗塩性が獲得されるかは今後の課題である。

次に、メヒルギ苗木を塩水下で育てると、耐塩性を高める事ができるかどうかというソルトハードニングについては、塩分区1.8%で育てた苗木に5%以上の塩水処理を行うと無塩分区（0%）と同じく、処理後11日目に生存率は0%となり、効果がなかった。しかし、塩分区3.6%下の苗木は5%塩水処理下で26日後に生存率55%となり、以後生存しており、その区ではソルトハードニング効果があったと考えられる。また、光合成速度の面からみた場合、塩分0%区が他の塩分区より5%塩水処理による影響が小であったという理由として、処理

4日後の測定時までには苗木体内に進入したナトリウムがプラスの働きをなしたが、その後ナトリウムが体内特に細根に蓄積した結果、水分の吸収が阻害され含水率が低下し (Table.4)、枯死したものと考えられる。塩分区の1.8%区では処理11日後に生存率0%となり、その時、3.6%区では生存率80%余りを示した理由は、苗木体内に侵入したナトリウムが根から地上部へ拡散せず蓄積されたのに対し、3.6%区では細根から粗根へ、地上部へと拡散して各部位に蓄積され、また、Na/K比 (Fig.13~15) からみて3.6%区の方が1.8%より耐塩性が高いことによるものと推定された。

#### 4. 文献

1. 古谷雅樹他編 物質の交換と輸送 p153-194 朝倉書店 東京 1975
2. 古谷茂貴 塩類濃度がマングローブの光合成に及ぼす影響 科学技術振興調整費による生活・地域流動研究 マングローブを中心とした生態系の解明に関する研究 平成3年度調査研究報告書 pp12-15 1991
3. 亀谷 仁 他2名 メヒルギの初期生長について 日本林学会九州支部会論文集 44 73-74 1991
4. 加藤茂・杉二郎 マングローブ植物オヒルギの初期生育と塩環境 科学技術振興調整費による生活・地域流動研究 マングローブを中心とした生態系の解明に関する研究 平成3年度調査研究報告書 pp146-155 1991
5. 川満芳信他2名 沖縄産マングローブのはの光合成速度及び水ポテンシャルに及ぼすNaCl濃度の影響 琉大農学報 42 9~22 1995
6. 倉石 晋他 マングローブの生理とマングローブ林の生長 (東南アジアのマングローブ、文部省科研費海外学術調査(1985~87) 報告、杉二郎代表) pp97-146 1990
7. 中須賀常雄他2名 マングローブ樹種の育苗に関する研究 日本林学会九州支部会論文集 47 67-68 1994
8. 新魚輝男編 環境応答 pp133-136 朝倉書店 東京 1991
9. 高田英夫 塩と生物 pp125-140 創元社 大阪 1974
10. 高田英夫 塩と生物 pp169-178 創元社 大阪 1974
11. 高田英夫 海浜植物の生理 植物と自然 14(9) 13-18 1980
12. 高橋英一 植物における塩害発生の機構と耐塩性 (日本土壌肥科学会編 塩集積土壌と農業) pp123-154 博友社 東京 1991
13. 矢部 農他3名 塩性植物の生理 生理生態 13(1) 25-33 1965

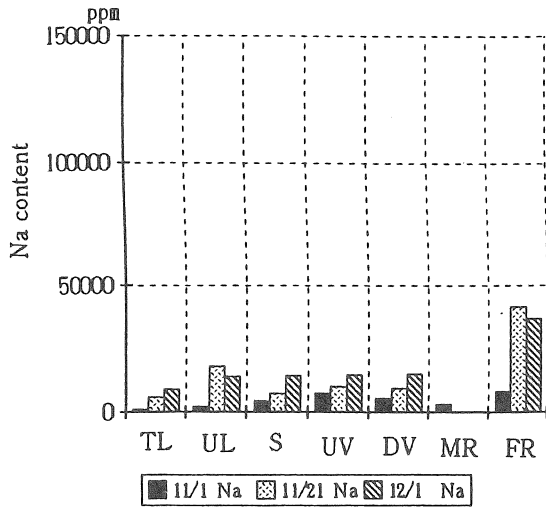


Fig.7 Sodium content in each part of *K.candel* seedling grown under 0% salt concentration of the soil Nov.1 before high salt water treatment Nov.21 at 4 days after high salt water treatment Dec.1 at 14 days after high salt water treatment  
TL: Leaves on upper part  
UL: Leaves on under part S: Shoot  
UV: Upper part of Viviparous  
DV: Under part of Viviparous  
MR: Medium root FR: Fine root

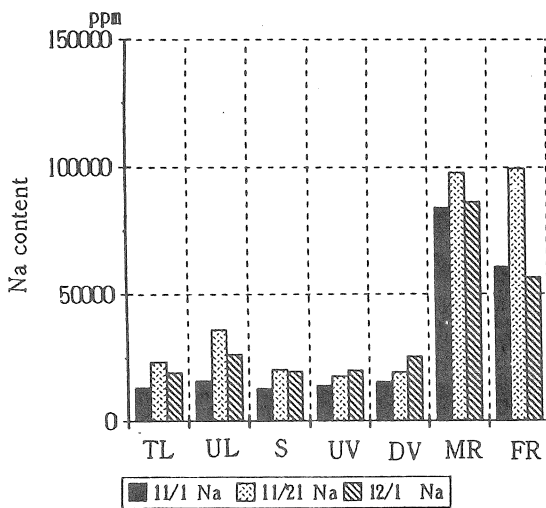


Fig.8 Sodium content in each part of *K.candel* seedling grown under 1.8% salt concentration of the soil. The day of measurement and symbols showed in Fig.7

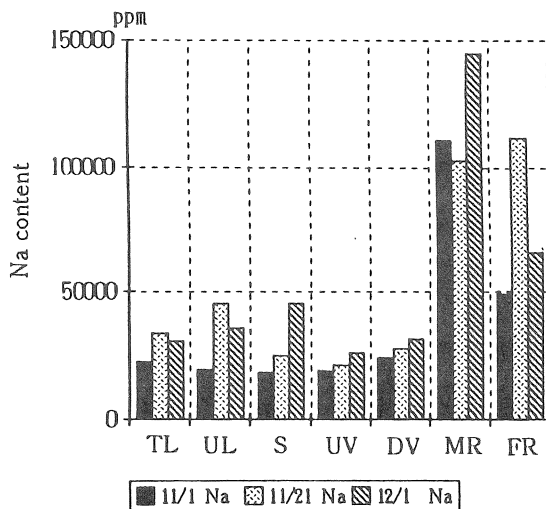


Fig.9 Sodium content in each part of *K.candel* seedling grown under 3.6% salt concentration of the soil. The day of measurement and symbols showed in Fig.7

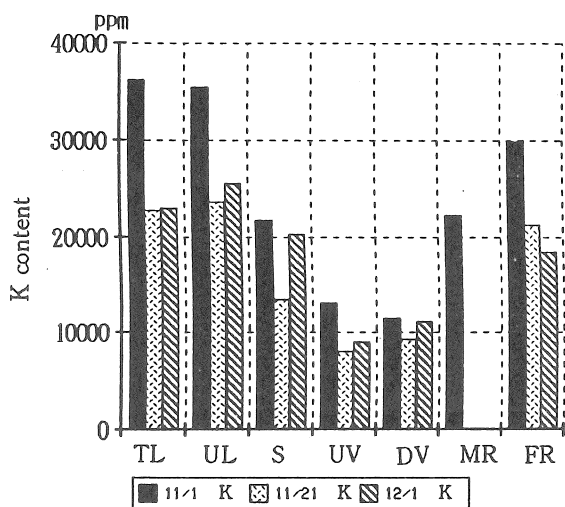


Fig.10 Potassium content in each part of *K.candel* seedling grown under 0% salt concentration of the soil. The day of measurement and symbols showed in Fig.7

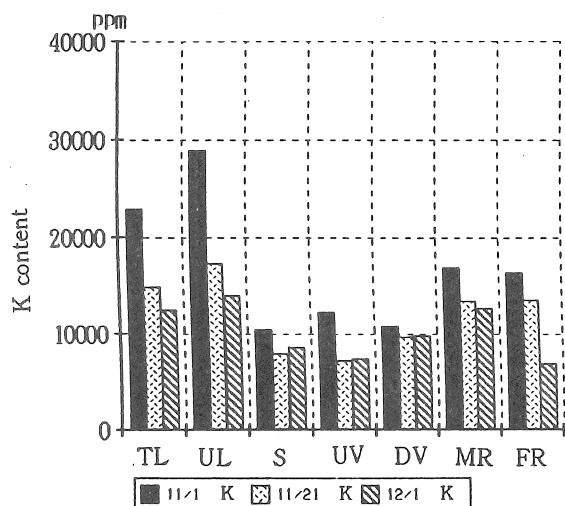


Fig.11 Potassium content in each part of *K.candel* seedling grown under 1.8% salt concentration of the soil. The day of measurement and symbols showed in Fig.7

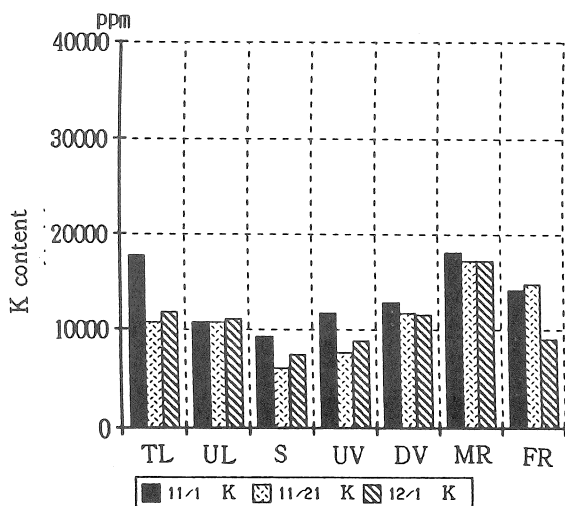


Fig.12 Potassium content in each part of *K.candel* seedling grown under 3.6% salt concentration of the soil. The day of measurement and symbols showed in Fig.7

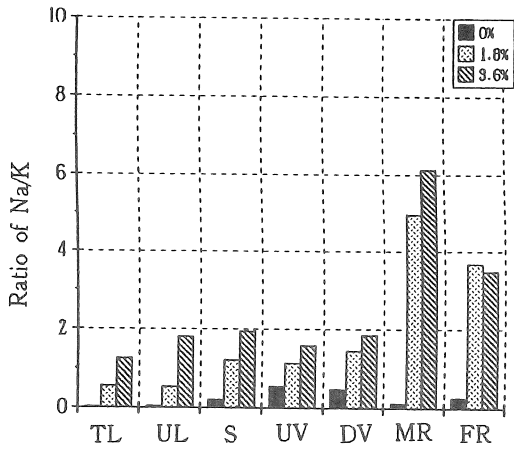


Fig.13 Ratio of Na/K in each part of *K.candel* seedling at the before high salt water treatment. The symbols showed in Fig.7

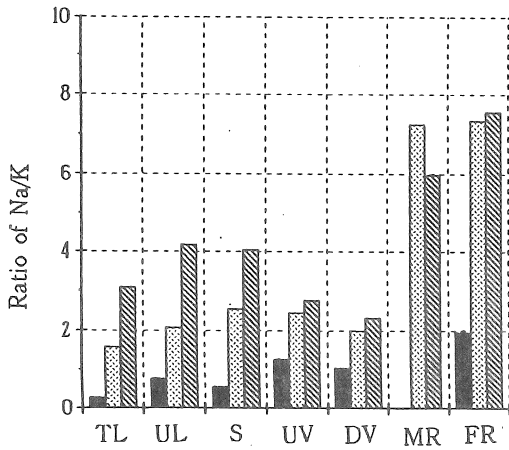


Fig.14 Ratio of Na/K in each part of *K.candel* seedling at 4 days after high salt water treatment. The symbols showed in Fig.7

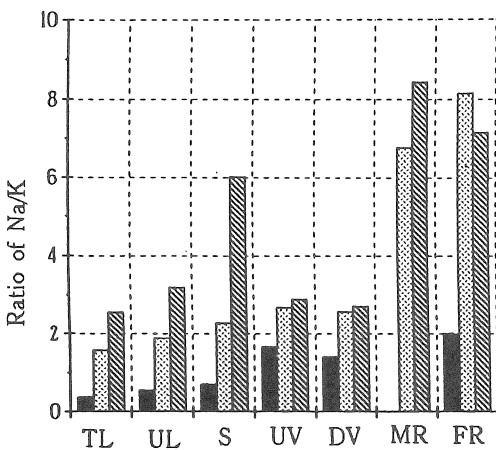


Fig.15 Ratio of Na/K in each part of *K.candel* seedling at 14 days after high salt water treatment. The symbols showed in Fig.7

## The effect of sodium chloride on the growth of mangrove tree species

Tsuneo Nakasuga(Faculty of Agriculture,  
University of the Ryukyus)

Tsukasa Kishimoto(Okinawa International  
Association for Mangroves)

Masatoshi Shiotsuki(Faculty of Agriculture,  
University of the Ryukyus)

### Summary

The mangrove forest is decreasing rapidly on the both stands of distribution area and recourses in the world. The forest of mangrove is the important ecosystem called "ecotone" which occupied the coastal and river month area. The conservation and reforestation of the mangrove forest is an important problem for the environmental tasks in the world, especially in the tropical and subtropical zone. In this study, the effect of sodium chloride on the growth of mangrove tree species, *Kandelia candel* was examined under the greenhouse condition.

The viviparous seedling of *K. candel* sprouted under fresh water condition, and after one month it was controlled under three salt concentration, 0%, 1.8% and 3.6% of the soil. After 110 days growing period, *K.candel* seedlings in each salt condition were dig up and were measured the weight, after that sample seedlings were used for the analysis of inorganic matters. Photosynthesis of *K.candel* seedling in each salt condition was measured at before and after the treatment by high concetration salt water.

The growth of *K.candel* seedling was the best in 1.8% salt concentration of the soil. The result of this experiment was supported by the former reports, but, in another report, the growth of *K.candel* seedling which were sprouted under salt water condition showed different patterns under the salt concentration of the soil. The decreasing rate of photosynthesis at before and after the acute treatment of high concentration of salt water was increased with in creases in salt concentration of the soil. However, the survival rate were increased with increases in salt concentration of the soil. The content of sodium and potassium of *K.candel* seedling changed by the salt concentration of the soil. From the patterns of absorption and diffusion of Na and K in each part of *K.candel* seedling, it estimated that medium root which has spongy aerenchyma has an important role for the salt tolerance.