

木榄胚轴萌发及幼苗生长与生理对 水渍和底质条件的响应*

叶勇¹ 刘美龄¹ 卢昌义¹ 谭凤仪²

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室 厦门大学 厦门 361005;

2. 香港城市大学生物及化学系 香港)

提要 采用模拟半日潮系统研究了水渍和底质条件对红树植物木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*) 的影响。水位上升和淹水时间延长导致红树林底质的酸化,且壤质底质的酸化比沙质底质严重;对木榄的萌苗速度无显著影响;促进木榄的早期生长,尤其是导致最初2个月茎高生长的增加,但后2个月木榄的相对生长率受抑制;地下部/地上部生物量比值下降,沙质底质中尤为如此;粗根比例明显增加;叶绿素含量增加,叶绿素 a/b 比值无显著影响;叶面积减少;壤质底质上生长植株的叶片气孔密度增加,沙质底质无显著变化;根 N 含量无显著变化,P 含量显著增加。

关键词 水渍,木榄,红树林,底质

中图分类号 Q948.11

红树林底质的土壤质地范围很广,红树林对海平面上升导致的水渍条件改变的反应可能因底质类型的不同而有差异,但未见相关文献报道。

有关模拟海平面上升对红树林幼苗影响的实验报道仅见于 Ellison 等(1997)对大红树的研究,但其试验中,不同水位处理的植物具有相同淹浸时间,这与海平面上升导致的水渍变化情况不同。红树植物秋茄 (*Kandelia candel*) 和木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*) 对淹水时间延长的反应可从作者以前的报道得知 (Ye *et al.*, 2003),但试验中这些幼苗用相同水位处理。水位上升和淹水时间延长对红树林的联合效应还不清楚。

木榄是我国东南沿海重要的显胎生红树植物,本文中报道不同水渍和底质条件下木榄胚轴的萌发、幼苗生长和生理等方面的影响,以期对未来海平面上升条件下红树林的管理以及生态恢复提供一些科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源与试验设计

试验用土壤采集于香港米埔和西贡红树林,

前者为壤质底质(沙粒、泥粒、粘粒含量分别为 11.87%、58.78%、29.35%),后者为沙质底质(沙粒、泥粒、粘粒含量分别为 73.11%、15.93%、10.96%)。每个塑料盆(内径为 18cm,高 20cm)盛土 4kg。每 3 个盆放入 1 个无顶盖塑料箱(长、宽、高分别为 85、64、50cm),共 4 个箱:一个为高水位沙质底质(HC),一个为高水位壤质底质(HF),一个为低水位沙质底质(LC),一个为低水位壤质底质(LF)。每个箱配一个贮水桶。将盐度 15 的人工海水通过水泵抽进、出塑料箱,形成每天两个涨潮期和两个退潮期的模拟半日潮。高水位箱(HC和HF)每天 0:00—8:00 和 12:00—20:00 淹水,8:00—12:00 和 20:00—0:00 不淹水;低水位箱(LC和LF)每天 0:00—2:00 和 12:00—14:00 淹水,2:00—12:00 和 14:00—0:00 不淹水,即高水位处理(HC和HF)和低水位处理(LC和LF)每日的淹水时间分别为 16h 和 4h。HC 和 HF 淹水时的水位高出土面 30cm,LC 和 LF 的水位为刚好淹没土表。涨、落潮模拟不是正弦曲线式渐变水位变化,而是突变式淹没-暴露的变化,高水位处理和低水位处理分别约为 10min 和 5min,

* 国家自然科学基金资助项目,40276036 和 40476040 号;福建省自然科学基金项目,D0410006 号和香港环境保护基金资助项目,9210007 号。叶勇,博士,教授,Email:yeyong5564@tom.com

收稿日期:2003-12-26,收修改稿日期:2006-06-08

与野外实际情况不同,但由于本文中作者研究的是幼苗,野外 20—30cm 高的幼苗涨(落)潮过程中从土表(苗顶部)淹水到苗顶部(土表)淹水尽管为渐变式,但时间也不长。将盆放入箱的第一天,具相同底质的盆底质理化特性无显著差别。

选取大小一致采集于西贡红树林的木榄成熟胚轴 60 根用于试验,每 5 根种植于 1 个盆内(胚轴 2/3 插入土壤),每个处理设 3 个重复,即 1 个箱内有 3 盆。胚轴种植 4 个月后结束处理,收获植物。

1.2 底质理化分析

试验开始和结束时,将铂电极插入盆内土壤 5cm 测定底质氧化还原电位,平衡 30min 后读数。

试验开始时,从野外采土后即从中随机取土壤子样品,试验结束时从每盆约 5cm 处取土,用于 N、P 含量和 pH 的测定。风干土壤子样品经浓硫酸消化后用流动注射分析仪(QuikChem 8000)分析 N、P 含量(Allen *et al.*, 1974)。

1.3 胚轴萌苗和幼苗生长

记录胚轴萌苗参数,包括萌芽和第一对真叶展开的时间。

种植 2 个月和 4 个月后,测量茎高、基径、叶片数和叶面积等生长参数。试验结束时(4 个月),收获植物,洗净后分成叶、茎、根,65℃ 烘干至恒重测定生物量。由于试验期间胚轴重量无变化,地上部和地下部生物量均不包括胚轴部分。测定根生物量时,分成粗根(直径 > 2mm)和细根(直径 < 2mm)。

后 2 个月的相对生长率(RGR)采用下述方法估测。通过试验结束时同一处理每株植物的总生物量(B_2)、基径(D_2)和茎高(H_2)得出非损耗性方程 [$\log B = a + b \log(D^2 H)$] (Cintrón *et al.*, 1984)。第二个月末的生物量(B_1)通过第二个月

末实测的基径(D_1)和茎高(H_1)用该方程估算得出。后 2 个月($t_2 - t_1$)的相对生长率由下式计算(Hunt, 1978):

$$RGR = (\ln B_2 - \ln B_1) / (t_2 - t_1)$$

1.4 生理分析

试验的最后 1 周内分析植物生理参数。

气孔密度测定采用 50d 龄叶片,用环境扫描电镜(Environmental Scanning Electron Microscope, Philip XL 30 Esem-FEG)进行下表皮气孔的计数。

称取约 0.1g 第二对叶的新鲜组织用 10ml 80% 丙酮于冰浴研磨,匀浆液 10000 × g 离心 3min,测定叶绿素 a、叶绿素 b、总胡萝卜素含量(Lichtenthaler *et al.*, 1983)。

根系 N、P 含量测定方法与土样类似。

1.5 统计分析

计算各处理平均值和标准误差,以底质类型和水位为因素用双因素方差分析(2-Way ANOVA)检验两种底质间和两个水位间的差异及底质和水位的相互作用,采用 Student-Newman-Keuls 多项比较法检验差异显著性。两种水位下底质参数的差异用 *t*-检验分析。

2 结果

2.1 底质参数

就相同底质而言,试验开始时的各项土壤参数(数据未展示)均与低水位处理组处理 4 个月后的值(表 1)类似。处理 4 个月后,两种底质理化参数随水位的变化情况类似,低水位处理的底质参数与处理前无显著差异($P > 0.2$)。高水位处理底质的氧化还原电位显著低于低水位处理(表 1)。高水位处理导致壤质底质 pH 值下降 0.42,沙质底质下降 0.26。两种水位处理底质 N、P 含量差异不显著。

表 1 不同水渍条件对两种红树林底质理化参数的影响

Tab. 1 The soil parameters in different tidal inundations

参 数	处 理			
	HC	HF	LC	LF
E_h/mV	-127 ± 10^a	-134 ± 11^a	-86 ± 15^c	-106 ± 7^b
pH	7.29 ± 0.16^b	5.85 ± 0.07^d	7.55 ± 0.25^a	6.27 ± 0.12^c
N(mg/g)	0.30 ± 0.04^b	0.90 ± 0.21^a	0.29 ± 0.05^b	1.08 ± 0.18^a
P(mg/g)	0.23 ± 0.03^b	0.77 ± 0.07^a	0.25 ± 0.03^b	0.82 ± 0.03^a

注:同一行的数据上标若无相同字母,表示在 0.05 的水平上差异显著,若有相同字母则为无显著差异。表 2、4、6 同

2.2 胚轴萌发

所有木榄胚轴在 1 周内萌根,最终萌苗率为 100%。所有处理中,萌芽时间约为 16—18d,展叶时间约为 26—28d(表 2)。高水位处理的萌芽

($F=4.57, P>0.05$)和展叶($F=0.98, P>0.05$)速度与低水位处理无显著差异。木榄的萌苗速度也不受底质类型影响(萌芽 $F=0.20, P>0.05$;展叶 $F=0.45, P>0.05$)。

表 2 不同水渍和底质条件下木榄的繁殖体萌苗

Tab. 2 Propagule establishments of *B. gymnorrhiza* under different tidal inundations and sediments

参 数	处 理			
	HC	HF	LC	LF
萌芽时间(d)	15.7 ± 1.1 ^a	15.3 ± 0.6 ^a	17.1 ± 0.9 ^a	17.9 ± 0.1 ^a
展叶时间(d)	25.9 ± 2.0 ^a	26.2 ± 0.5 ^a	26.5 ± 0.8 ^a	27.7 ± 2.8 ^a

2.3 幼苗生长

木榄幼苗生长参数见表 3。头 2 个月高水位下的茎高(约 23cm)显著高于低水位的值(约 15cm),与萌苗速度的情况不同。两种底质间的茎高生长无显著差异。就基径和叶片数而言,水位间和底质间的差异均不显著。高水位的叶面积显著低于低水位。与头 2 个月相比,后 2 个月的茎高生长值较小,处理 HC、HF、LC、LF 分别为

7.7、5.5、3.5、3.7cm。后 2 个月水位间茎高生长的差值与头 2 个月类似,沙质底质和壤质底质分别约为 9 和 7cm。4 个月后,低水位处理下壤质底质的基径显著大于高水位处理,但沙质底质中不存在这种差异。高水位叶面积低于低水位。壤质底质幼苗的叶片数和叶面积与沙质底质类似。后 2 个月叶面积增加值高水位处理和低水位处理分别为 96 和 112cm²,约为头 2 个月的 2 倍。

表 3 不同水渍和底质条件下木榄幼苗的生长

Tab. 3 Growth of *B. gymnorrhiza* seedlings under different tidal inundations and sediments

处 理	茎高(cm)		基径(mm)		叶片数		叶面积(cm ²)	
	2 个月	4 个月	2 个月	4 个月	2 个月	4 个月	2 个月	4 个月
HC	24.0 ± 1.4 ^a	27.7 ± 1.2 ^a	6.32 ± 0.27 ^a	6.87 ± 0.29 ^b	6.1 ± 0.1 ^a	8.3 ± 0.5 ^b	28.4 ± 5.0 ^b	124.5 ± 20.2 ^b
HF	22.7 ± 2.9 ^a	26.2 ± 0.8 ^a	6.30 ± 0.47 ^a	6.86 ± 0.23 ^b	6.3 ± 0.9 ^a	8.5 ± 0.2 ^b	40.6 ± 11.2 ^b	137.3 ± 13.5 ^b
LC	15.1 ± 1.6 ^b	18.6 ± 0.4 ^b	5.86 ± 0.44 ^a	7.02 ± 0.18 ^{ab}	5.9 ± 0.5 ^a	9.2 ± 0.3 ^a	61.0 ± 5.3 ^a	172.0 ± 15.0 ^a
LF	15.8 ± 1.8 ^b	19.5 ± 0.7 ^b	6.35 ± 0.62 ^a	7.24 ± 0.08 ^a	5.9 ± 0.8 ^a	9.1 ± 0.9 ^{ab}	64.0 ± 7.5 ^a	178.9 ± 30.7 ^a

注:同一列的数据上标若无相同字母,表示在 0.05 的水平上差异显著,若有相同字母则为无显著差异

2.4 生物量分配和相对生长率

低水位下叶生物量高于高水位处理的值,而底质间的差异不显著;相反,高水位处理下,木榄具

有较高的茎生物量,但底质间无显著差异;两种底质条件下,高水位处理的幼苗根生物量高于低水位的值,但底质间的差异不显著(表 4、表 5)。

表 4 不同水渍和底质条件下木榄幼苗的生物量分配和相对生长率

Tab. 4 Biomass partitioning and relative growth rate of *B. gymnorrhiza* seedlings under different tidal inundations

参 数	处 理			
	HC	HF	LC	LF
叶生物量(g)	1.23 ± 0.22 ^b	1.48 ± 0.19 ^{ab}	1.84 ± 0.16 ^a	1.82 ± 0.30 ^a
茎生物量(g)	1.32 ± 0.19 ^a	1.32 ± 0.13 ^a	0.87 ± 0.07 ^b	1.05 ± 0.07 ^b
根生物量(g)	0.74 ± 0.09 ^b	1.00 ± 0.07 ^{ab}	1.14 ± 0.14 ^a	1.29 ± 0.16 ^a
地下部/地上部生物量比	0.29 ± 0.04 ^b	0.36 ± 0.02 ^{ab}	0.42 ± 0.04 ^a	0.45 ± 0.05 ^a
粗根生物量百分比(%)	76.5 ± 1.2 ^a	63.4 ± 3.9 ^b	61.8 ± 3.2 ^b	52.9 ± 2.3 ^c
相对生长率[mg/(g·d ⁻¹)]	2.36 ± 0.12 ^b	2.09 ± 0.26 ^c	3.80 ± 0.67 ^a	3.13 ± 0.50 ^{ab}

表 5 木榄幼苗生物量分配和相对生长率的双因素方差分析 F 值结果Tab. 5 F values of two-way ANOVA on biomass partitioning and relative growth rate of *B. gymnorrhiza* seedlings

因 素	F 值					
	叶生物量	茎生物量	根生物量	地下部/地上部生物量比	粗根生物量百分比	相对生长率
水位(L)	13.21**	25.33**	23.38**	26.56***	81.04***	14.79**
底质(S)	0.83NS	1.61NS	7.99*	4.78NS	64.25***	18.92**
L × S	0.98NS	1.61NS	0.67NS	0.88NS	2.12NS	43.25***

注: NS: 差异不显著, $P > 0.05$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。表 7 同

高水位处理导致木榄地下部/地上部生物量比值下降, 即水位上升导致更少的生物量分配到地下部; 高水位导致地下部/地上部生物量比值减少量多于壤质底质, 沙质和壤质底质分别减少 30.3% 和 20.2% (表 4、表 5)。

高水位处理下木榄幼苗的粗根生物量百分比高于低水位的值; 在两种底质中, 高水位导致木榄粗根生物量百分比的增加量相当, 沙质底质和壤质底质分别增加 14.7% 和 10.5% (表 4、表 5)。

高水位处理下, 木榄后 2 个月的相对生长率显著低于低水位处理的值, 水位和底质存在显著

相互作用, 高水位处理导致沙质底质和壤质底质相对生长率分别减少 37.8% 和 33.3% (表 4、表 5)。

2.5 生理参数

高水位处理导致木榄叶片叶绿素含量升高但底质类型间的差异不显著; 水位间叶绿素 a/b 比值无明显差异; 胡萝卜素含量因水位上升而增加 (表 6、表 7)。

高水位处理下沙质底质木榄叶片气孔密度略有增加 (提高 6.0%), 壤质底质的值显著高于低水位的值 (提高 54.6%, 表 6、表 7)。

表 6 不同水渍和底质条件下木榄幼苗的生理参数

Tab. 6 Physiological parameters of *B. gymnorrhiza* seedlings under different tidal inundations and sediments

参 数	处 理			
	HC	HF	LC	LF
叶绿素 a 含量 (mg/g)	3.77 ± 0.59 ^a	3.38 ± 0.17 ^a	2.47 ± 0.20 ^b	2.54 ± 0.17 ^b
叶绿素 a/b 比	3.65 ± 0.20 ^a	3.85 ± 0.06 ^a	3.83 ± 0.28 ^a	3.97 ± 0.16 ^a
胡萝卜素含量 (mg/g)	0.60 ± 0.05 ^a	0.56 ± 0.04 ^a	0.42 ± 0.04 ^b	0.46 ± 0.00 ^b
气孔密度 (ind/mm ²)	270 ± 34 ^{ab}	315 ± 54 ^a	255 ± 51 ^{ab}	204 ± 27 ^b
根 N 含量 (mg/g)	5.78 ± 0.04 ^a	5.80 ± 0.14 ^a	5.34 ± 0.33 ^a	5.97 ± 0.00 ^a
根 P 含量 (mg/g)	0.30 ± 0.04 ^c	4.26 ± 0.27 ^a	0.22 ± 0.03 ^c	1.72 ± 0.11 ^b

表 7 木榄幼苗一些生理参数影响的双因素方差分析 F 值结果Tab. 7 F values of two-way ANOVA on physiological parameters of *B. gymnorrhiza* seedlings

因 素	F 值					
	叶绿素含量	叶绿素 a/b 比	胡萝卜素含量	气孔密度	根 N 含量	根 P 含量
水位(L)	32.45***	1.96NS	49.76***	13.08**	0.99NS	151.37***
底质(S)	0.71NS	2.25NS	0.09NS	0.03NS	6.35NS	656.29***
L × S	0.90NS	0.07NS	2.33NS	7.56*	5.59NS	134.50***

水位上升不导致木榄 N 含量的显著变化;不同底质条件下,根 P 含量对水位上升的反应不同:壤质底质中高水位处理导致根 P 含量的显著增加,但沙质底质中 P 含量对水位的变化反应不明显(表 6、表 7)。

3 讨论

3.1 水渍条件对木榄胚轴萌苗的影响

红树植物繁殖体的萌苗速度受环境因素如盐度和淹水影响。低盐度加快木榄和红海榄的萌苗(莫竹承等,2001)。假红树(*Laguncularia racemosa*)和亮叶白骨壤(*Avicennia germinans*)的繁殖体在正常潮汐条件下的萌苗速度比不淹水处理慢(Delgado *et al.*,2001)。本研究结果表明,海平面上升 30cm(水位上升、淹水时间延长)对木榄繁殖体(胚轴)的萌苗速度影响不大(表 2)。

3.2 木榄幼苗对水渍条件的生长反应

不同红树植物在高生长上对潮位的反应不同。模拟海平面上升导致大红树幼苗高生长的增加(Ellison *et al.*,1997),这与野外所得的结果一致:移栽的大红树幼苗早期茎生长在最低潮区最大(Ellison *et al.*,1993;Farnsworth *et al.*,1996)。正常潮汐淹水条件下假红树幼苗的茎高生长大于不淹水条件下的值,而亮叶白骨壤两种淹水条件下的茎高生长无显著差异(Delgado *et al.*,2001)。野外条件下,正红树(*R. apiculata*)的茎高生长随高程增加而减小(Kitaya *et al.*,2002)。

本研究结果清楚表明,水位上升及延长的淹水时间对木榄最初 2 个月的高生长有明显的促进作用(表 3)。然而,随后 2 个月的相对增长率因水位的上升而下降(表 4)。这些结果表明,海平面上升将促进早期生长,但随后又将抑制其生长,与 Ellison 等(1997)对另一种红树植物大红树的研究结果一致:模拟的海平面上升 16cm 促进大红树早期生长但随后抑制其生长。

植物地下部/地上部生物量比值随环境变化而变化,且这种变化是很多植物对胁迫的适应特点(Koler *et al.*,1992)。生物量从根向茎的移动是耐水渍红树植物对水渍时间延长的一种适应性反应(Ye *et al.*,2003)。高水位处理下木榄的地下部/地上部生物量比值明显低于低水位处理,尤其是在沙质底质中更是如此(表 4),说明海平面上升导致生物量分配从根系向茎的移动。淹水时间延长对植物的影响有两方面:(1)增加可利用水分,这将对植物生长有益;(2)导致氧供应的

缺乏,这将抑制植物的生长。相对减少的根生物量无疑将减少对根组织的氧需求、缩短向根茎的氧扩散路径、减少根围氧化的氧需求量。McKee (1996)也指出,根区厌氧导致亮叶白骨壤、假红树和大红树根系呼吸率降低。

与成年树木不同,红树植物幼苗期间并未形成通气根来适应还原性底质条件,但它们对淹水有一种解剖上的适应对策:增加根系孔隙度以增加根内氧贮量,因而植物对淹水的耐受性与根系孔隙度成正比(Youssef *et al.*,1996)。根直径的增大增加了孔隙度、减少了氧损失并进而促进氧向根系的扩散(Huang,2000)。随淹水水位的上升以及潮水淹浸时间的延长,木榄幼苗的粗根生物量百分比增加(表 4)。这说明,更大孔隙度根的形成是这种红树植物对海平面的上升的一种解剖上的适应策略。

3.3 对水渍条件的生理反应

叶绿素 *a/b* 比值可指示叶绿素的采光能力(Anderson *et al.*,1988)。对一些红树植物及红树林伴生植物的研究表明,叶片碳固定速率与叶绿素 *a/b* 比值呈极显著正相关(Das *et al.*,2002)。木榄叶绿素 *a/b* 比值不因水位变化而显著变化。在淹水水位上升和潮水淹浸时间延长的条件下,木榄相对生长率减少,是由于叶面积的减少以及气孔密度增加而导致的呼吸率的升高造成的(表 6)。

由上可见,淹水水位上升和潮水淹浸时间延长时木榄的生物量分配由根部向茎转移(表 4)。然而,这是否会减少根部从土壤吸收营养?Rubio 等(1997)认为,淹水增加耐水淹植物单位根生物量的营养吸收。这与本研究结果类似,淹水水位上升和潮水淹浸时间延长条件下,木榄 P 含量显著增加(表 6)。

3.4 不同底质条件下红树植物幼苗对水渍状况的反应

有关不同底质条件下水渍状况对红树植物幼苗影响的差异研究未见文献报道。本研究结果表明,水位上升导致壤质底质壤的酸化比沙质底质壤严重(表 1)。Ellison 等(1997)指出,因海平面上升导致的底质酸化抑制大红树幼苗的生长。然而,两种底质条件下木榄相对生长率在淹水水位上升和潮水淹浸时间延长时减少的情况类似(表 4、表 5)。酸化更严重的壤质底质中相对生长率减少量不比沙质底质多的原因是根 P 含量的增加,因为酸性底质条件下有效性无机 P

离子的量增加(Noble *et al*,1994)。这说明水位上升时植物的生物能(ATP)更多。

参 考 文 献

- 莫竹承,范航清,何斌源,2001. 海水盐度对两种红树植物胚轴萌发的影响. 植物生态学报,25:235—239
- Allen S E, Grimshaw H W, Parkinson J A *et al*, 1974. Chemical Analysis of Ecological Materials. Oxford: Blackwell Scientific publications, 10—342
- Anderson J M, Chow W S, Goodchild D C, 1988. Thylakoid membrane organization in sun/shade acclimation. Aust J Plant Physiol, 15: 11—26
- Cintrón G, Novelli Y S, 1984. Methods for studying mangrove structure. In: Snedaker S C, Snedaker J G ed. The Mangrove Ecosystem: Research Methods. London: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Publisher, 91—113
- Das A B, Parida A, Basak U C *et al*, 2002. Studies on pigments, proteins and photosynthetic rates in some mangroves and mangrove associates from Bhitarkanika, Orissa. Mar Biol, 141: 415—422
- Delgado P, Hensel P F, Jiménez J A *et al*, 2001. The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. Aquat Bot, 71: 157—178
- Ellison A M, Farnsworth E J, 1993. Seedling survivorship, growth, and response to disturbance in Belizean mangal. Am J Bot, 80: 1137—1145
- Ellison A M, Farnsworth E J, 1997. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). Oecologia, 112: 435—446
- Farnsworth E J, Ellison A M, 1996. Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels of biological organization. Am J Bot, 83: 1131—1143
- Huang B, 2000. Waterlogging responses and interaction with temperature, salinity, and nutrients. In: Wilkinson R E ed. *Plant-Environment Interactions*. New York: Marcel Dekker, 173—204
- Hunt R, 1978. Plant Growth Analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 96. London: Edward Arnold, 48—62
- Kitaya Y, Jintana V, Piriyaoytha S *et al*, 2002. Early growth of seven mangrove species planted at different elevations in a Thai estuary. Trees, 16: 150—154
- Koler J, Kozinka V, 1992. Physiology of the Plant Root System. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1—361
- Lichtenthaler H K, Wellburn A R, 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Trans Biochem Soc, 11: 591—592
- McKee K L, 1996. Growth and physiological responses of neotropical mangrove seedlings to root zone hypoxia. Tree Physiol, 16: 883—889
- Noble C L, Rogers M J E, 1994. Responses of temperate forage legumes to waterlogging and salinity. In: Pessarakli M ed. Handbook of Plant and Crop Stress. New York: Marcel Dekker, 473—496
- Rubio G, Oosterheld M, Alvarez C R *et al*, 1997. Mechanisms for the increase in phosphorus uptake of waterlogged plants: Soil phosphorus availability, root morphology and uptake kinetics. Oecologia, 112: 150—155
- Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S *et al*, 2003. Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. Environ Exp Bot, 49: 209—221
- Youssef T, Saenger P, 1996. Anatomical adaptive strategies and rhizosphere oxidation in mangrove seedlings. Aust J Bot, 44: 297—313

PROPAGULE DEVELOPMENT OF *BRUGUIERA GYMNORRHIZA* UNDER DIFFERENT TIDAL AND SEDIMENTAL CONDITIONS

YE Yong¹, LIU Mei-Ling¹, LU Chang-Yi¹, TAM Nora-Fung-Yee²

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science(Xiamen University), Xiamen, 361005;

2. Department of Biology and Chemistry, City University of Hong Kong, Hong Kong)

Abstract Due to their special habitats in intertidal zones along tropical and subtropical coastlines, mangroves are influenced by the conditions of water depth, duration and sediment types. To investigate responses in early development of *Bruguiera gymnorrhiza* including propagule establishment and seedling growth to tidal and sedimentary conditions of simulated semi-diurnal tidal systems, a 4-month experiment was set up. Mature propagules of *B. gymnorrhiza* were planted respectively in pots containing silty and loamy-sandy soils collected from Mai Po and Sai Kung mangrove forests in Hong Kong. Four plastic tanks (85 cm in length, 64 cm in width and 50 cm in height) were used in this experiment mimicking 4 combinational conditions, i. e. high water level with coarse soil(HC), high water level with fine soil(HF), low water level with coarse soil(LC), and low water level with fine soil(LF). Artificial seawater in salinity of 15 was pumped into and out of the tanks in designed intervals to simulate daily semidiurnal tidal phases including two floods and two ebbs. Daily inundation time of high and low water treatments was 16 h and 4 h, respectively. Water level of HC and HF was 30 cm above soil surface, and 0 cm for LC and LF. Each treatment was triplicate.

Under both high and low water levels, all propagules established and grew well in the experiment. As water level and inundation time increased, the acidity increased, which is higher in fine sediment than that in coarse ones. High acidity would not favor the plant growth. The establishment of *B. gymnorrhiza* propagules was not significantly influenced by the condition change. Early growth especially the stem height increments was stimulated by the increases in water level and inundation time in the first two months then relative growth rates slowed down in the second two months. In addition, as water level and inundation time increased, the ratio in biomass below-ground/above-ground significantly decreased, especially in coarse sediment and the percentages of coarse roots, P contents in roots and chlorophyll contents in leaves tended to increase. Other physiological parameters such as carotene and stoma density were also analyzed, along with detail discussions on the relationship of water depth, inundation length and sediment type to the plant development.

Key words Tidal inundation, Mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza*, Sediment