林业科学研究　1997, 10(2): 137～142
Forest Research

盐度与温度对红树植物无瓣海桑种子发芽的影响*

李　云　郑德璋　廖宝文　郑松发　宋湘豫

摘要　采用培养皿-培养箱法和花盆育苗法研究了不同盐度与温度梯度对无瓣海桑种子发芽的影响。结果表明: 不同盐度和温度梯度对种子发芽影响差异极显著。有利于种子发芽的温度为 25～35 ℃, 盐度为 10 g/L 以下。当盐度为2.5～5.0 g/L 时, 发芽率及胚根长度与淡水对照相一致, 但生长粗壮, 发芽条件最好; 盐度为 10.0～15.0 g/L 时, 种子发芽率(出苗率)和胚根长度(幼苗高度)显著降低; 盐度 15 g/L 以上时, 种子虽能部分发芽, 但胚根生长慢, 后期坏死, 在大田育苗时表现为不能出土萌发。以淡水浇苗床可以降低盐度, 促进种子萌发。在低盐度条件下, 胚根对 Na^+、Cl^- 的吸收随时间逐渐增加而后趋向动态平衡状态, 具主动富集的盐生特性。

关键词　红树植物　无瓣海桑　盐度　温度　种子发芽

盐可抑制陆生植物种子萌发, 并通过伤害根尖抑制根的生长, 严重减少植物 N 代谢和蛋白质合成[1,2]。郑文教等[3,4]以不同盐度海水砂培胚轴研究盐度对红树植物秋茄、海莲的影响, 它们的最适生长盐度在 5～15 g/L 之间。无瓣海桑(*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.)为种子繁殖的红树林乔木树种, 天然分布于印度、孟加拉国等盐度较低的泥质滩涂上。1985 年中国红树林考察团郑德璋等人[5]自孟加拉国引入海南东寨港红树林自然保护区试种, 三年后开花结果。"八五"期间北移引种到广东深圳湾等地, 长势良好, 部分植株已开花结果。同期间 3 次秋季在盐度较高的湛江红树林区(育苗地涨潮时海水盐度为 20～25 g/L)进行引种育苗试验, 均未成功, 表现为种子全部不萌发, 但种胚在 1～2 个月内仍有部分未腐烂。为了摸清其不萌发的原因和寻求解决办法, 以指导海滩育苗, 于 1994～1995 年秋冬季 2 次在实验室内做了盐度与温度对种子发芽影响试验, 在本所苗圃内采用花盆育苗研究了不同盐度对种子发芽出苗的差异, 取得了基本一致的结果, 并在海滩苗圃内于退潮后用淡水浇苗床促进种子发芽, 验证盐度影响获得成功, 现报道如下。

1　材料和方法

1.1　种子采集和处理

种子采自海南省东寨港红树林保护区。9～11 月果实大量成熟时采果。一周左右待果肉完全变软时除尽果肉, 清水中漂洗出种子, 放入纱网中滤去多余水后风干 1～2 d 再用薄膜袋包装贮存在 10～15 ℃人工气候箱内, 并不时翻动, 以防发热和霉变。

1.2　试验方法

1996—05—14 收稿。
李云助理研究员, 郑德璋, 廖宝文, 郑松发, 宋湘豫(中国林业科学研究院热带林业研究所　广州　510520)。
* 本文为"八五"攻关项目"红树林主要树种造林和经营技术研究"的部分内容。

1.2.1 培养皿-培养箱法 采用海滩盐场上新晒出的粗盐用自来水配成再造海水进行试验。盐度依次为0、2.5、5、7.5、10、12.5、15、20、25、30 g/L 和 35 g/L(其中35 g/L 为标准海水盐度),用海水盐度计调节检定后分装于培养皿内,每皿 20 mL,种子100粒,重复3次,分别置于20、25、30、35 ℃恒温培养箱内培养,前10 d 每天计发芽数,后10 d 每 2 d 一次,以胚根长度3 mm 作为发芽标准,并将已发芽的种子挑出到相同盐度的对应培养皿中,隔4 d 测量一次芽苗胚根长度(固定10株),每2天更换培养皿中盐水。

1.2.2 花盆育苗法 采用人工模拟海水涨落潮规律的方法研究海水盐度对种子发芽的影响。配制海水盐度依次为0、5、10、15、20、25 g/L,分装于口径为30 cm、高为28 cm 的大花盆内,每盆10 L,重复4次,备用。同时以60%红壤+ 30%河砂+ 5%火烧土+ 5%土杂肥作基质(pH 6.60)装入小花盆内(口径23 cm,高12 cm),平整后每盆播种100粒,以基质覆盖至不见种子,重复4次。然后每晚6点左右调节海水盐度后将小花盆放入相应的大花盆内浸泡一晚,次日8:00左右取出随机排列在本所苗圃内阳光充足的地方,一周更换一次盐水。定期观测出苗率和幼苗生长情况。

1.2.3 海滩育苗法 在湛江高桥天然桐花林内开辟苗圃。砍除树木及杂草,挖出树根后按苗床宽1.5 m、长6 m、高约5 cm,步道40 cm 左右作床,四周以鱼网围住。然后用呋喃丹和多菌灵在表面均匀地撒上薄薄一层以杀灭病虫、蟹等有害生物。将新鲜种子均匀地撒在苗床上。按裂区设计安排试验,主区为浇淡水和不浇淡水对照区,副区为盖土杂肥和不盖土杂肥(用手将种子拍进海泥里至不见种子为宜)。在各区内固定1 m^2 的地方均匀播种1 000粒,用竹片隔开,专人定期计出苗率和幼苗生长情况。每天于退潮后挑淡水浇淋苗床2～3次,对照区不浇水,连续1个月。

1.2.4 盐度与温度对发芽影响的评价指标 A.发芽率;B.发芽率超过或达到50%时所需天数(方差分析和多重比较时,等于或超过20 d 时以20 d 计算,从发芽趋势看不能达到50%发芽率的水平时以100 d 代替∞计算);C.胚根长度或幼苗高度;D.胚根完好率。

1.2.5 胚根吸收 Na^+、Cl^- 离子的动态 在研究盐度对种子发芽率影响的同时,测定了20 d 时盐度为0～7.5 g/L 之间(盐度10.0 g/L 以上时由于后期胚根坏死,故未测)和在5.0 g/L 盐度下不同天数内胚根对 Na^+、Cl^- 吸收的动态变化(T= 35 ℃),用火焰光度计测 Na^+,用 $AgNO_3$(0.01 mol/L)滴定法测 Cl^-。均以占胚根鲜重的千分比表示。

1.2.6 数据处理 百分率的数据首先进行反正弦变换 Y_{ij}= arcsin $\overline{X_{ij}}$,再同其它数据一起输入电脑运算。

2 结果分析

2.1 盐度对种子发芽的影响

不同海水盐度对发芽率、发芽率≥50%所需天数及胚根长度均存在极显著差异。多重比较分析表明,盐度梯度在0～35 g/L 区域内,随着盐度的增加,发芽率显著降低,只有盐度在7.5～12.5 g/L 时,出现轻微缓和现象,总趋势存在显著的负相关。发芽率≥50%的天数在盐度为20 g/L 以下时与发芽率的趋势一致,盐度为20 g/L 以上时,发芽率≥50%的天数趋向∞,即在这样高的盐度下种子发芽率必然低于50%。胚根长度在盐度0～2.5 g/L 间和25～30 g/L 之间差异 均不显著,其它各梯度间均存在显著差异。从平均胚根长度直观地看,盐度为0～7.

5 g/L 之间胚根长度差异较小, 生长速度较快, 其中以盐度为 2.5 g/L 时胚根生长最快, 效果最好, 同时盐度为 2.5～7.5 g/L 时胚根生长较淡水条件下粗壮。盐度 10～15 g/L 时胚根生长明显减慢, 20～35 g/L 盐度时胚根难生长, 一般几天内根尖受伤害, 变红褐色, 后期延续到整条胚根, 只剩子叶为绿色, 其它部分都软腐烂掉。从胚根受伤害率来看, 在温度 30 ℃以上时, 盐度为 0～5 g/L 时胚根生长正常, 侧根发达, 鲜白色。盐度在 7.5～10 g/L 时, 有半数以上胚根受伤害, 盐度 12.5 g/L 以上时在 20 d 内根尖全受盐害, 部分坏死, 部分胚根难以伸长。温度在 20～25 ℃时, 只有盐度在 2.5 g/L 以下时胚根才不受盐害, 5～7.5 g/L 盐度已不同程度地使胚根尖受到盐害, 10 g/L 以上盐度时胚根尖全部受盐害或整条坏死(表 1～3)。

表 **1**　盐度与温度对无瓣海桑种子发芽的影响

指标 ($\bar{X}\pm S$)	温度 (℃)	盐度 (g/L) 0	2.5	5	7.5	10
A(%)	35	97.0±1.0	95.3±3.0	94.7±0.6	93.7±2.1	95.3±0.6
	30	87.7±1.5	83.7±1.2	77.3±1.2	75.3±3.1	66.3±3.2
	25	87.3±1.5	81.3±4.2	76.3±3.2	62.0±3.5	66.3±0.6
	20	80.7±8.0	70.0±2.1	62.0±4.9	49.7±3.5	39.3±2.1
B(d)	35	2	2	2	2	2
	30	2	2	4	4	4
	25	4	4	4	6	6
	20	6	8	12	> 20	> 20
C(cm)	35	5.4±0.4	5.3±0.4	5.3±0.3	4.3±0.1	3.1±0.2
	30	4.7±0.2	5.2±0.2	4.7±0.3	4.0±0.3	2.7±0.2
	25	4.3±0.1	4.3±0.1	4.3±0	3.8±0.5	2.3±0.2
	20	3.0±0.3	2.9±0.1	2.3±0.3	1.8±0.2	1.3±0.1
D(%)	35	100	100	100	60	30
	30	100	100	100	50	20
	25	100	100	70	30	0
	20	100	100	55	30	0

指标 ($\bar{X}\pm S$)	温度 (℃)	盐度 (g/L) 12.5	15	20	25	30	35
A(%)	35	93.7±1.2	92.0±1.7	93.7±2.5	68.7±4.2	40.0±2.0	13.0±5.6
	30	71.7±0.6	70.3±4.5	57.0±1.7	40.3±2.5	12.7±1.2	6.7±1.2
	25	58.7±0.6	45.3±1.5	33.3±3.1	15.3±0.6	7.0±1.0	2.3±0.6
	20	38.0±0	26.7±1.5	20.0±0	13.7±0.6	3.3±0.6	2.3±0.6
B(d)	35	2	2	4	6	> 20	∞
	30	4	4	8	> 20	∞	∞
	25	6	> 20	∞	∞	∞	∞
	20	> 20	> 20	∞	∞	∞	∞
C(cm)	35	2.8±0.2	2.0±0.1	1.8±0.1	1.1±0.2	0.9±0.1	0.6±0.1
	30	2.5±0.2	2.0±0.1	1.5±0.1	0.8±0.1	0.7±0.1	0.4±0.1
	25	2.1±0	1.9±0.1	0.9±0.2	0.6±0.1	0.5±0	0.3±0
	20	0.7±0	0.5±0.1	0.5±0	0.4±0.1	0.3±0.1	0.3±0
D(%)	35	0	0	0	0	0	0
	30	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0

注: 盐度为 2.5～7.5 g/L 时, 胚根生长较对照粗壮; A= 发芽率, B= 发芽率≥50% 所需的时间, C= 胚根长度, D= 胚根完好率, 试验时间为 20 d。

表 2 盐度与温度对无瓣海桑种子发芽影响的方差分析

变差来源	自由度	F_A	F_B	F_C	F_α
盐 度	10	> 1 000**	> 1 000**	937.06**	$F_{0.01}(10, 88) = 2.55$
温 度	3	996.88**	> 1 000**	564.05**	$F_{0.01}(3, 88) = 4.04$
交互作用	30	23.37**	> 1 000**	17.33**	$F_{0.01}(30, 88) = 1.94$
剩 余	88				
总 和	131				

表 3 盐度对无瓣海桑种子发芽影响的多重比较

盐度(g/L)	发芽率(%)	发芽率≥50%所需时间(d)	胚根长度(cm)
35	6.1 a	100 a	0.38 a
30	15.8 b	80 b	0.60 b
25	34.5 c	56.5 c	0.71 b
20	51.0 d	53.0 d	1.20 c
15	58.6 e	11.5 e	1.59 d
12.5	65.5 f	8 f	2.02 e
10	66.8 fg	8 f	2.33 f
7.5	70.2 g	8 f	3.48 g
5	77.6 h	5.5 g	4.13 h
2.5	82.8 i	4.0 h	4.42 i
0	88.2 j	3.5 i	4.35 i

注: 表中字母相同者示差异不显著, 不同者示差异显著, 下表同。

花盆育苗法研究不同盐度梯度(气温约 25～35 ℃)对种子发芽的影响, 结果表明: 不同盐度梯度的种子发芽率和幼苗高度均存在极显著差异。播种 15 d 后, 盐度为 0 和 5 g/L 的花盆内平均发芽率为 15.3%和 12.8%, 差异不明显, 但淡水时发芽率较高; 盐度为 10～15 g/L 时只有零星发芽, 有些花盆内未发芽, 20～25 g/L 盐度时全部未发芽。30 d 时盐度为 5 g/L 时发芽率为 44.8%, 淡水发芽率为 55.3%, 虽然总体来说差异不显著, 但平均发芽率也以淡水为高, 10～15 g/L 盐度时发芽率各为 21.8% 和 15.8%, 盐度为 20～25 g/L 时基本不发芽。30 d 时幼苗高度表明: 0～5 g/L 盐度时差异不显著, 平均高各为 2.83 cm 和 2.65 cm, 与盐度为 10 g/L 以上时差异显著, 幼苗开始长出真叶(但后期很难生长, 叶变黄, 可能基质缺乏海泥松软的特性)。盐度为 15～20 g/L 时幼苗高度差异不明显, 还未长真叶。由此看出, 无论从发芽率还是幼苗生长来看, 均以 0～5 g/L 盐度下最好, 盐度为 10～15 g/L 时发芽率明显降低, 幼苗生长也较慢, 盐度 20 g/L 以上时种子难以发芽, 与培养皿中结果基本一致(表 4)。

表 4 盐度对无瓣海桑种子发芽的影响(花盆育苗) (广州热林所)

盐度(g/L)		0	5	10	15	20	25	F	F_α
发芽率(%)	15 d	15.3 a	12.8 a	0.5 b	1.5 b	0 b	0 b	24.24**	$F_{0.01}(5, 18) = 4.25$
	30 d	55.3 a	44.8 a	21.8 b	15.8 b	2.8 c	0 c	90.81**	$F_{0.01}(4, 15) = 4.89$
幼苗高(cm)	30 d	2.83 a	2.65 a	2.40 b	1.98 c	1.87 c	–	45.21**	

注: 试验时间为 1994—10—26～12—06。气温约 25～35℃。

为了验证和解决在盐度较高地区海滩育苗不发芽的问题, 进行了淋浇淡水以降低盐度促进种子发芽试验。结果表明: 在种子发芽期内, 每天退潮后用淡水冲洗苗床, 可以促进种子发芽, 发芽率达到 30.0%～38.7%, 2 个月后幼苗高为 3.9～4.1 cm。而对照苗床一粒种子也未发芽(海水盐度 15～25 g/L, 表 5)。幼苗长出真叶进入生长期后, 海水盐度高于 20 g/L, 也不会

使小苗受到盐害。深圳湾 1995 年 10 月 9 日也播种育无瓣海桑苗, 海水盐度为 10～12 g/L, 每天浇淡水一次, 6 d 后开始发芽, 连续浇水 1 个月, 发芽及幼苗生长良好。12 月 8 日调查时海水盐度已高达 25 g/L, 但幼苗高 3～5 cm, 4～8 片叶, 也无盐害现象发生。

表 **5**　浇淡水对海滩育苗发芽率的影响　(湛江高桥)

项　目	处　理	播种量(粒)	发芽数(粒)	发芽率(%)	幼苗高(cm)
浇淡水区	表面盖土	1 000	387	38.7	4.1±1.1
	表面不盖土	1 000	300	30.0	3.9±0.7
对照区	表面盖土	1 000	0	0	
	表面不盖土	1 000	0	0	

注: 播种时间 1995—09—29, 海水盐度 15～25 g/L, 气温约 25～35℃。幼苗高为 2 月龄苗高。

2.2　温度对种子发芽的影响

不同温度条件下种子发芽力指标均存在显著差异, 温度越高, 发芽率越高, 越整齐, 胚根生长越快, 当盐度较低时受盐害的影响较小。20 ℃时, 只有盐度为 5.0 g/L 以下时发芽率才超过 50%, 且所需时间达 6～12 d, 盐度 7.5 g/L 以上发芽率显著降低, 胚根难伸长, 后期遭受盐害坏死。25 ℃时也不太适宜种子发芽, 发芽较慢, 不整齐, 胚根生长也较缓慢。30～35 ℃时发芽率高, 发芽快而整齐, 胚根生长明显加快, 在盐度 10.0 g/L 以下时受盐害影响较小, 在 5.0 g/L 盐度以下不遭受盐害(表 1、2、6)。

表 **6**　盐度对无瓣海桑种子发芽影响的多重比较(α= **0.05**)

温度(℃)	发芽率(%)	发芽率≥50% 所需时间(d)	胚根长度(cm)
20	37.3 a	46.0 a	1.27a
25	48.3 b	40.9 b	2.30 b
30	59.0 c	22.9 c	2.64 c
35	79.7 d	13.1 d	2.95 d

2.3　无瓣海桑胚根吸收 Na^+、Cl^- 的动态变化

对在盐度为0～7.5 g/L 条件下35 ℃培养箱中培养20 d 后胚根吸收 Na^+、Cl^- 含量分析结果表明: 盐度为2.5 g/L 时吸收量最大, 分别为1.90 g/L 和0.79 g/L, NaCl 吸收总量为2.69 g/L, 超过了溶液本身的浓度, 表现出主动富集的盐生特性。盐度为5.0 g/L 和7.5 g/L 时 Na^+、Cl^- 吸收量反而较少, 可能根尖吸收组织部分受到盐害的缘故。淡水对照中胚根也吸收了一定的 Na^+、Cl^-, 分别为0.41 g/L 和0.22 g/L。用5.0 g/L 盐度水溶液35 ℃下培养的芽苗观测随着时间变化胚根吸收 Na^+、Cl^- 量的变化, 结果表明随着天数的增加, Na^+、Cl^- 吸收量都逐渐增加, 到20 d 时增加量变小, 趋近动态平衡, NaCl 吸收总量为2.47 g/L, 接近溶液5 g/L 盐度的1/2(表7)。

表**7**　无瓣海桑胚根吸收 Na^+、Cl^- 离子的动态变化　(单位: g/L)

项　目	天　数①(d)					盐　度②(g/L)			
	4	8	12	16	20	0	2.5	5	7.5
Na+	0.46(6.7)	0.79(11.5)	1.18(17.2)	1.66(24.2)	1.68(24.5)	0.41(6.0)	1.90(27.7)	1.68(24.5)	1.63(23.7)
Cl^-	0.23(3.4)	0.48(7.0)	0.55(8.0)	0.78(11.4)	0.79(11.5)	0.22(3.2)	0.79(11.5)	0.79(11.5)	0.74(10.8)
NaCl	0.69(10.1)	1.27(18.5)	1.73(25.2)	2.44(35.6)	2.47(36.0)	0.63(9.2)	2.69(39.2)	2.47(36.0)	2.37(34.5)

注: ①盐度为 5.0 g/L; ②时间为 20d; 括号内为胚根鲜重换算成干重后的比值。

3　结论和讨论

不同盐度和温度梯度对无瓣海桑种子发芽影响均产生极显著差异, 而且它们的交互作用

影响差异也显著。有利于种子发芽的一般条件是温度为25～35 ℃,盐度为10 g/L以下,而当温度为35 ℃时,盐度为0～7.5 g/L时发芽效果最好。其中盐度为2.5～5.0 g/L时,发芽率及胚根长度与淡水对照几乎一致,但生长粗壮,表明适当的盐度对芽苗生长有利;盐度为7.5 g/L时,胚根生长也较对照粗壮,但部分胚根已受到盐害,显示出盐生特性与盐害的对立统一关系。盐度为10～15 g/L时,种子发芽率(出苗率)和胚根长度(幼苗高度)显著降低。盐度15 g/L以上时,种子虽能部分发芽,但胚根难伸长,后期坏死,在大田育苗时表现为不能出土萌发。在出苗期前后每天以淡水浇苗床以降低盐度,可以促进种子萌发。在低盐度条件下,胚根对Na^+、Cl^-的吸收逐渐增加,20 d时达到动态平衡状态。2.5～7.5 g/L盐度之间胚根吸收Na^+、Cl^-量基本相等,但2.5 g/L盐度下胚根吸收NaCl总量超过溶液本身的浓度,表现出主动富集的盐生特性。

参 考 文 献

1 Pessarakli M, Huber J T, Jackson T C. Protein synthesis in green beens under salt stress conditions. J. Plant Nutr., 1989, (12): 1115～1121.

2 Pessarakli M, Huber J T, Tucker T C. Protein synthesis in green beans under salt stress with two nitrogen sources. J. Plant Nutr., 1989, (12): 1361～1377.

3 郑文教, 林鹏. 盐度对秋茄幼苗的生长和水分代谢的效应. 厦门大学学报(自然科学版), 1990, 29(5): 575～579.

4 郑文教, 林鹏. 盐度对红树植物海莲幼苗的生长和某些生理生态特性的影响. 应用生态学报, 1992, 3(1): 9～14.

5 李云, 郑德璋, 廖宝文, 等. 无瓣海桑引种育苗试验. 林业科技通讯, 1995, (5): 21～22.

Effect of Salinity and Temperature on Seed Germination of Mangrove *Sonneratia apetala* Buch. Ham.

Li Yun Zheng Dezhang Liao Baowen Zheng Songfa Song Xiangyu

Abstract Effect of different gradients of seawater salinity (0～35 g/L) and temperature (20～35℃) on seed germination of mangrove tree species, *Sonneratia apetala* Buch. Ham. was reported in the paper and the results showed that the discrepancy among them was remarkable. Generally benefitial conditions for seed germination were temperature higher than 25℃, salinity below 10.0 g/L. The best condition for seed germination was salinity gradient from 2.5 g/L to 5.0 g/L and temperature 30～35℃. When salinity was among 10～15 g/L, seed germination and young seedlings growth apparently declined; when salinity was higher than 15 g/L, only a few seeds could germinate and young seedlings grew far slowly and afterwards gradually died with salinity damage in culture dish but no seeds could germinate in mudflat field nursery. Spraying freshwater on mudflat field nursery could improve seed germinating percentage to a great degree. Under low seawater salinity such as 2.5～7.5 g/L, the content of Na^+ and Cl^- assimilated by young seedlings gradually increased with time and then reached dynamic balance in 20 days.

Key words mangrove *Sonneratia apetala* salinity temperature seed germination

Li Yun, Assistant Professor, Zheng Dezhang, Liao Baowen, Zheng Songfa, Song Xiangyu (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).