

盐胁迫下木榄幼苗叶片的解剖学变化

刘睿¹, 孙伟¹, 巢牡香¹, 吉成均^{2*}, 王旻¹, 叶波平^{1*}

(1. 中国药科大学生命科学与技术学院, 南京 210009; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:对梯度盐度下木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)幼苗叶解剖特征进行观察,并分析木榄适应盐胁迫的形态学变化特点以及盐胁迫对植物生长的影响。在0‰~50‰盐度范围内,木榄胚轴均能正常萌发,但幼苗高度、鲜重以及叶面积与培养盐度之间存在着明显的负相关。随着盐度的增加,木榄叶的上(下)角质层和上(下)表皮层增厚,单宁细胞密度增大,上(下)内皮层变薄,叶肉细胞的胞间隙缩小;栅栏组织厚度因细胞的长度和宽度减小而变薄,而海绵组织厚度与培养盐度之间无明显的相关性,栅栏组织/海绵组织的比率下降。扫描电镜下栅栏组织细胞中的叶绿体数量和形态未见明显的变化,但叶绿体在细胞中的位置发生了改变。因此,盐胁迫下叶片栅栏组织厚度的下降、海绵组织中胞间隙的减少以及叶肉细胞中叶绿体的分布变化可能是导致植株光合效率下降和幼苗生长受阻的重要原因。

关键词: 木榄; 幼苗; 盐胁迫; 叶片; 解剖特征

中图分类号: Q944.56

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)02-0169-07

Leaf Anatomical Changes of *Bruguiera gymnorhiza* Seedlings under Salt Stress

LIU Rui¹, SUN Wei¹, CHAO Mu-xiang¹, JI Cheng-jun^{2*}, WANG Min¹, YE Bo-ping^{1*}

(1. School of Life Science and Technology, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The leaf anatomical changes of *Bruguiera gymnorhiza* seedling under gradient salinities were observed, and the effects of salt stress on plant growth were analysed. The hypocotyl of *B. gymnorhiza* could germinated under the salinities from 0‰ to 50‰. However, the plant height, fresh weight and leaf area had negative correlation with salinities. With increment of salinity, the thickness of upper and lower cuticle, upper and lower epidermis, and the densities of tannin cell increased, but the thickness of upper and lower endodermis, the intercellular spaces of spongy tissue of leaves decreased. The thickness of palisade tissue decreased, and that of spongy tissue had no relation with salinity, the ratio of the thickness of palisade tissue to spongy tissue decreased with increasing salinity. With increasing of salinity, there were no obvious difference in quantity and shape of chloroplast under SEM, but their location in palisade cells occurred change. All these changes made seedlings photosynthesis inhibited and growth stunted.

Key words: *Bruguiera gymnorhiza*; Seedling; Salt stress; Leaf; Anatomical characters

木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)广泛分布于热带和亚热带沿海潮间带,易遭受周期性海水浸淹,为中度耐盐植物,一般可在低于25‰盐度下正常生长^[1-2]。其无盐腺结构,不能将过多的盐份蓄积在盐腺中,只能通过自身的生理性调节来适应高盐环

境^[3-5]。一些无盐腺结构的耐盐植物(小花木榄 *B. parviflora*)能将过多的盐份排斥在木质部之外,而木榄却可将体内过多的盐份蓄积在木质部导管内以抵御高盐胁迫^[6],显示出其独特的结构和生理特点^[7-8]。有关木榄耐盐机理的研究有助于了解植物

收稿日期: 2008-06-20

接受日期: 2008-09-22

基金项目: 教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(130105);教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-05-0496)资助

* 通讯作者 Corresponding author

的逆境生理和对环境的适应性。

关于盐胁迫下木榄的生理生化特征^[6,9]、基因表达变化^[10-13]以及浸淹状态下的形态和生理生化研究已有不少报道^[14-15],但在梯度盐胁迫下叶片解剖学变化的研究尚未见报道。植物适应环境胁迫是一个渐变的过程,而木榄又是我国南部沿海海岸线生态造林的主要品种^[14],探讨木榄在梯度盐度胁迫下的解剖学变化,有助于揭示其适应盐生环境的结构特点。本研究对木榄幼苗在梯度盐度胁迫下的生长状态、叶片的结构特点以及叶肉细胞中叶绿体超微结构的变化进行观察,探讨植物随着盐胁迫程度的加剧其解剖学变化的特点,为木榄的引种驯化以及耐盐品系的选育提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 植物材料与培养条件

2007年4月上旬在广东省湛江市特呈岛(N21°09'11", E110°26'17")采集木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)成熟健康胚轴。大小均一的木榄胚轴采摘后用海水浸润的纱布包裹,装于透气的纸箱中在2d内运回实验室并种植于沙盆(30 cm × 20 cm)中。沙盆中的砂粒直径为1 mm左右,经大量的自来水冲洗除去粉末后,用不同浓度的海水浸润,滤去明水用于培养,每盆15株。海水盐度用海水晶盐(南京佳亚养殖用品开发部产)和去离子水调制成为1‰、5‰、10‰、25‰、35‰和50‰,以去离子水培养为对照。每个盐度设3组重复。

萌发和培养条件为:28±2℃,光暗周期为12 h/12 h,光照强度为种植期间的自然光,湿度控制在85%。每天用相应盐度的海水溶液浸润沙盆以保持沙盆中的含水量和盐度直至实验结束。

1.2 生长状态

120 d实验结束后,取出幼苗用相应盐度的海水冲去沙粒,测定木榄苗的高度(cm)、鲜重(g)以及叶片面积(cm²)。叶面积的测定方法:将第2对真叶叶片置于Microtek ScanMaker 3750i型扫描仪(中晶科技有限公司,上海)上按100%扫描成图像,利用Photoshop 6.0软件对叶面积进行积分,每个盐度取5个植株测量。

1.3 显微结构观察

参照Hwang等^[16]的方法并稍做修改。所有处理组均取第2对真叶,用手术刀从叶片中部切取1 cm²带中脉的小方块,室温下于FAA固定液中固

定12 h,经梯度乙醇脱水、二甲苯透明、石蜡包埋,用Leica-RM2235切片机(Leica公司,德国)切片,切片厚度为8 μm,番红-固绿染色,加拿大树胶封片, Motic-B5光学显微镜(麦克奥迪公司,厦门)下观察并测量上(下)角质层、上(下)表皮层、上(下)内皮层、栅栏组织和海绵组织的厚度以及栅栏组织细胞的大小,并利用Motic-B5光学显微镜中自带的软件系统分析叶肉组织的胞间隙大小。每个封片每个指标测量20~30组数据。

1.4 超微结构观察

参照Qiu等^[17]的方法并稍做修改。取第2对真叶中部带叶脉的小片(1 cm²),放入2.5%的戊二醛(0.05 mol/L磷酸缓冲液配制,pH 6.8)中固定48 h,0.05 mol/L磷酸缓冲液(pH 6.8)洗涤3次,1%锇酸(0.05 mol/L磷酸缓冲液配制,pH 6.8)固定4 h。丙酮脱水,Epon 812环氧树脂包埋,LKB-V超薄切片机(LKB公司,瑞典)切片,醋酸双氧铀和柠檬酸铅染色,JEM-1010透射电镜(日本电子株式会社,日本)观察并照相。

1.5 统计分析

所有测定的数据以“平均值±方差”表示。统计分析用SPSS 12.0软件完成。盐度和形态指标用双相关进行相关性分析以及One way-ANOVA分析, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 木榄的萌发及幼苗生长

木榄胚轴在不同盐度下培养15 d左右均能正常萌发,且萌发时间接近。萌发后105 d幼苗的高度、鲜重以及叶面积与培养盐度之间存在着极显著的负相关($P < 0.01$),相关系数分别为-0.960、-0.592和-0.961;叶片的厚度与培养盐度无显著相关性,随着培养盐度的升高,幼苗叶片厚度呈现出“U型”曲线的变化(表1)。

2.2 叶片解剖学变化

在不同盐度培养下的木榄幼苗叶片横截面上均未发现盐腺结构的存在(图版I)。除对照木榄幼苗叶片的上(下)表皮层厚度较高之外,叶片上(下)角质层和上(下)表皮细胞厚度与培养盐度之间呈极显著正相关($P < 0.001$),相关系数分别为0.531、0.718、0.376和0.388;叶片上(下)内皮层厚度则呈极显著负相关($P < 0.01$),相关系数分别为-0.494和-0.218(表2)。

表 1 盐胁迫下木榄幼苗的形态变化

Table 1 Morphological variations of *B. gymnorhiza* seedlings under salt stress

盐度 Salinity (‰)	高度 Seedling height (cm)	鲜重 Fresh weight (g)	叶面积 Leaf area (cm ²)	叶厚度 Leaf thickness (mm)
0	10.2 ± 0.70	19.26 ± 4.91	31.62 ± 2.41	479.26 ± 8.63
1	10.47 ± 0.18	17.20 ± 1.84	34.95 ± 3.24	403.95 ± 13.92
5	11.02 ± 0.51	17.68 ± 2.94	33.98 ± 1.24	370.00 ± 5.04
10	9.97 ± 0.39	16.07 ± 3.15	30.77 ± 2.38	398.92 ± 8.99
25	8.08 ± 0.26	17.66 ± 1.79	20.84 ± 1.66	436.02 ± 7.14
35	3.87 ± 0.57	16.00 ± 1.53	4.73 ± 0.79	397.65 ± 4.50
50	2.10 ± 0.25	10.60 ± 2.15	1.80 ± 0.25	456.77 ± 11.21
F-value	302.263***	3.734**	40.998***	54.173

*** : $P \leq 0.001$; ** : $P \leq 0.01$.

表 2 盐胁迫下木榄幼苗叶表皮的解剖特征

Table 2 Anatomical characters of leaf epidermis of *B. gymnorhiza* seedlings under salt stress

盐度 Salinity (‰)	角质层厚度 Cuticle thickness (μm)		内皮层厚度 Hypodermis thickness (μm)		表皮厚度 Epidermis thickness (μm)	
	上表皮 Upper	下表皮 Lower	上表皮 Upper	下表皮 Lower	上 Upper	下 Lower
0	3.60 ± 0.35	1.26 ± 0.47	19.37 ± 2.89	14.47 ± 1.39	32.16 ± 5.31	15.64 ± 2.58
1	3.82 ± 0.48	1.24 ± 0.19	14.98 ± 2.41	11.67 ± 1.20	27.41 ± 2.92	16.28 ± 2.27
5	3.23 ± 0.20	1.38 ± 0.21	15.38 ± 1.69	10.69 ± 1.05	25.53 ± 1.96	15.29 ± 2.60
10	3.48 ± 0.37	1.53 ± 0.19	15.09 ± 2.67	11.20 ± 1.18	24.83 ± 2.28	14.69 ± 1.93
25	3.83 ± 0.30	1.20 ± 0.15	17.14 ± 1.40	13.32 ± 1.08	22.90 ± 1.83	14.63 ± 1.76
35	4.01 ± 0.26	1.97 ± 0.25	18.08 ± 1.52	13.43 ± 1.11	23.94 ± 2.54	14.48 ± 1.81
50	4.21 ± 0.37	2.36 ± 0.30	19.60 ± 1.77	14.29 ± 1.80	23.61 ± 2.03	14.57 ± 1.85
F-value	13.451***	38.026***	26.407***	41.898***	35.484***	2.997***

*** : $P \leq 0.001$.

木榄幼苗叶片上(下)角质层下均能观察到一层富含单宁的细胞,其密度与培养盐度之间呈极显著的正相关(相关系数为 0.658, $P < 0.001$);栅栏组织厚度随盐度增加而显著下降(-0.619 , $P < 0.01$),但细胞层数无明显变化(图版 I: 1~6),细胞的长度和宽度随盐度增加而下降(相关系数分别为 -0.351 和 -0.244 , $P < 0.01$);对照和 50‰盐度培养下,海绵组织的厚度明显高于其它盐度培养的,但相关性分析表明海绵组织厚度与培养盐度之间无显著相关性。木榄幼苗叶片中栅栏组织/海绵组织之比与培养盐度呈极显著负相关(相关系数为 -0.546 , $P < 0.01$)(表 3)。

值得注意的是,0‰~10‰盐度培养下的木榄幼苗叶片海绵组织中细胞间隙较大,随着培养盐度的增加,细胞间隙逐渐下降,当培养盐度为 50‰时,细胞间隙几乎消失(表 3,图版 I: 6),说明随着盐胁迫的加剧,木榄叶片细胞间的通气状况受到明显抑制。

2.3 叶绿体和淀粉粒的变化

盐胁迫下,叶肉细胞中的叶绿体数目没有明显变化,但其在细胞中的分布发生明显的改变:1‰~25‰盐度下培养,叶绿体排列紧密,且几乎全部邻近于叶肉细胞的细胞膜区域(图版 II: 1~4);在 35‰和 50‰盐度培养时,叶绿体之间的间隙增大,明显与细胞膜分离(图版 II: 5~6)。在所有的观察中未见叶绿体结构因盐胁迫而出现明显溶胀现象(图版 II: 7~10)。同时,在较低的盐度(1‰~10‰)下,叶肉细胞中具有较多的淀粉粒(图版 II: 1~3),而当盐度大于 25‰时,淀粉粒几乎消失(图版 II: 4~6)。

3 讨论

在长期适应海洋滩涂高盐环境过程中,红树植物进化出多种适应盐生环境的特征,可以耐受一定范围的盐度,不同红树植物对盐度的耐受能力有所不同^[8]。作为中度耐盐植物,木榄的生长率以 125 mmol/L 的 NaCl 培养下最大(相当于 7.5‰盐度)^[6],

表 3 盐胁迫下木榄幼苗叶肉组织的解剖特征

Table 3 Anatomical characters of mesophyll tissue of *B. gymnorrhiza* seedlings under salt stress

盐度 Salinity (‰)	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness (μm)	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness (μm)	栅栏组织/ 海绵组织 P/ S	胞间隙/叶 片横截面积 Intercellular spaces / area of trans- verse section	单宁细胞数量 Number of tannin cells per mm ²	栅栏组织 细胞长度 Cell length in palisade tissue (μm)	栅栏组织 细胞宽度 Cellwidth in palisade tissue (μm)
0	113.20 ± 6.94	299.58 ± 17.61	0.38 ± 0.048	0.08 ± 0.01	20.80 ± 3.52	45.30 ± 5.93	20.77 ± 3.15
1	98.42 ± 0.54	245.75 ± 13.37	0.408 ± 0.028	0.09 ± 0.02	18.48 ± 4.72	47.62 ± 7.42	15.27 ± 2.51
5	104.71 ± 6.85	213.68 ± 3.74	0.498 ± 0.04	0.09 ± 0.02	20.98 ± 4.28	49.10 ± 6.49	15.61 ± 3.04
10	102.04 ± 6.87	241.19 ± 11.12	0.42 ± 0.05	0.07 ± 0.01	17.23 ± 0.47	48.03 ± 9.27	17.34 ± 2.83
25	96.38 ± 4.95	279.09 ± 13.80	0.35 ± 0.03	0.05 ± 0.01	19.26 ± 1.65	41.62 ± 7.67	17.58 ± 2.99
35	99.86 ± 5.01	238.21 ± 11.79	0.42 ± 0.04	0.04 ± 0.01	24.46 ± 2.19	41.86 ± 6.17	16.93 ± 2.64
50	88.21 ± 11.32	302.99 ± 8.45	0.29 ± 0.04	0.01 ± 0.00	28.40 ± 2.96	41.15 ± 4.80	14.40 ± 2.79
F-value	3.865*	23.676	7.868***	16.465***	4.498***	7.141***	15.996***

*** : $P \leq 0.001$; ** : $P \leq 0.01$; * : $P \leq 0.05$.

明显小于小花木榄和先锋物种—白骨壤(*Aricennia marina*)^[8,19]。在本研究中,在盐胁迫下木榄的生长与培养时的盐度呈极显著的负相关性,幼苗高度、叶面积以及鲜重随培养盐度的升高而明显下降。与此相应,叶片主要形态结构也发生了变化,栅栏组织厚度变小、表皮层和角质层增厚以及细胞间隙减小等,这与小花木榄^[8]以及木榄在水淹条件下^[15]的形态变化相似,它们对光合作用效率产生一定的消极影响^[8,20]。木榄与小花木榄的耐盐机制在形态结构上有所不同,小花木榄在高盐环境下,往往通过根细胞膜上的一种超滤机制将盐离子排除在木质部导管外^[21],而木榄则将过多的盐份蓄积在木质部导管中^[6]。

在周期性海水浸淹状态下,木榄中的栅栏组织和海绵组织随着海水浸淹时间的延长而明显变薄^[14]。我们的研究表明,海绵组织厚度与盐度的相关性不明显,但栅栏组织厚度以及栅栏组织/海绵组织比与盐度呈明显负相关。栅栏组织厚度下降并不是由于细胞数目减少,而是细胞长度减小引起的,这与小花木榄在盐胁迫下的变化有所不同。Parida 等认为,盐胁迫下栅栏组织叶肉细胞长度以及海绵组织中的细胞层数的减少是叶肉组织厚度变小的重要原因;但同时小花木榄在高盐环境下,叶片海绵组织细胞密度升高,这与本研究的结果类似。海绵组织中细胞密度升高导致细胞间隙减少,限制了 CO₂ 在细胞中的扩散^[22-23],最终导致光合效率下降^[8]。小花木榄和木榄在盐胁迫下叶片形态的差异可能与它们耐受盐度的范围不同^[8]有关,反

映了红树植物适应盐生环境的多样性特点。

盐胁迫下,栅栏组织中叶绿体之间的间隙增大(图版 II: 1~6)可能是木榄光合效率下降的另一个重要原因。Oguchi 等也观察到胁迫环境下植物栅栏组织细胞中叶绿体的分布发生变化的现象^[23]。光合效率的下降将导致细胞中干物质积累减少,作为临时干物质储存库的淀粉粒数目减少^[24-25]。在本研究中,植株高度以及鲜重在低的盐度(1‰~10‰)下相对较高,叶肉细胞中的淀粉粒数目较多;但在高盐下(>25‰),淀粉粒数量明显下降甚至消失。淀粉粒的形成与光合产物不能及时输出有关,推测低盐环境下木榄的光合作用效率要高于高盐胁迫下的。

木榄是一种耐盐植物,在相对较高的盐度胁迫下生长同样受到一定的抑制^[6],叶的解剖结构出现适应盐胁迫的特点。高盐环境下,叶片中栅栏组织厚度的降低、海绵组织中胞间隙的减少以及叶肉细胞中叶绿体的分布变化可能是导致其光合作用效率下降的根本原因。

参考文献

- [1] Macnae W. A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West-Pacific region [J]. *Adv Mar Biol*, 1968, 6: 73-270.
- [2] Kathiresan K, Bingham B L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems [J]. *Adv Mar Biol*, 2001, 40: 81-251.
- [3] Scholander P F, Hammel H T, Hemmingsen E, et al. Salt balance in mangroves [J]. *Plant Physiol*, 1962, 37: 722-729.
- [4] Paliyavuth C, Clough B, Patanaponpaiboon P. Salt uptake and shoot water relations in mangroves [J]. *Aquat Bot*, 2004, 78: 349-360.

- [5] Li N, Chen S, Zhou X, et al. Effect of NaCl on photosynthesis, salt accumulation and ion compartmentation in two mangrove species, *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza* [J]. *Aquat Bot*, 2008, 88: 303–310.
- [6] Takemura T, Hanagata N, Sugihara K, et al. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bruguiera gymnorhiza* [J]. *Aquat Bot*, 2000, 68: 15–28.
- [7] Nandy (Datta) P, Das S, Ghose M, et al. Effects of salinity on photosynthesis, leaf anatomy, ion accumulation and photosynthetic nitrogen use efficiency in five Indian mangroves [J]. *Wetlands Ecol Manage*, 2007, 15: 347–357.
- [8] Parida A K, Das A B, Mitra B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora* [J]. *Trees*, 2004, 18: 167–174.
- [9] Naidoo G. Effects of nitrate, ammonium and salinity on growth of the mangrove *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam [J]. *Aquat Bot*, 1990, 38: 209–219.
- [10] Miyama M, Shimizu H, Sugiyama M, et al. Sequencing and analysis of 14842 expressed sequence tags of Burma mangrove, *Bruguiera gymnorhiza* [J]. *Plant Sci*, 2006, 171: 234–241.
- [11] Miyama M, Hanagata N. Microarray analysis of 7029 gene expression patterns in Burma mangrove under high-salinity stress [J]. *Plant Sci*, 2007, 172: 948–957.
- [12] Takemura T, Hanagata N, Dubinsky Z, et al. Molecular characterization and response to salt stress of mRNAs encoding cytosolic Cu/Zn superoxide dismutase and catalase from *Bruguiera gymnorhiza* [J]. *Trees*, 2002, 16: 94–99.
- [13] Banzai T, Hershkovits G, Katcoff D J, et al. Identification and characterization of mRNA transcripts differentially expressed in response to high salinity by means of differential display in the mangrove, *Bruguiera gymnorhiza* [J]. *Plant Sci*, 2002, 162: 499–505.
- [14] Wang W, Xiao Y, Chen L, et al. Leaf anatomical responses to periodical water logging in simulated semidiurnal tides in mangrove *Bruguiera gymnorhiza* seedlings [J]. *Aquat Bot*, 2007, 86: 223–228.
- [15] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S, et al. Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging [J]. *Environ Exp Bot*, 2003, 49: 209–221.
- [16] Hwang Y H, Chen S C. Anatomical responses in *Kandelia candel* (L.) druce seedlings growing in the presence of different concentrations of NaCl [J]. *Bot Bull Acad Sin*, 1995, 36: 181–188.
- [17] Qiu D L, Lin P, Su J W. Relationship of leaf ultrastructure of mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce to salt tolerance [J]. *J For Sci*, 2005, 51: 476–480.
- [18] Ball M C, Pidsley S M. Growth responses to salinity in relation to distribution of two mangrove species, *Sonneratia alba* and *S. lanceolata*, in northern Australia [J]. *Funct Ecol*, 1995, 9: 77–85.
- [19] Yan Z, Wang W, Tang D. Effect of different time of salt stress on growth and some physiological processes of *Avicennia marina* seedlings [J]. *Mar Biol*, 2007, 152: 581–587.
- [20] Parida A K, Das A B, Mitra B. Effects of NaCl stress on the structure, pigment complex composition, and photosynthetic activity of mangrove *Bruguiera parviflora* chloroplasts [J]. *Photosynthetica*, 2003, 41: 191–200.
- [21] Scholander P F. How mangroves desalinate seawater [J]. *Physiol Plant*, 1968, 21: 251–261.
- [22] Delfine S, Alvino A, Villani M C, et al. Restrictions to carbon dioxide conductance and photosynthesis in spinach leaves recovering from salt stress [J]. *Plant Physiol*, 1999, 119: 1101–1106.
- [23] Oguchi R, Hikosaka K, Hirose T. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? [J] *Plant Cell Environ*, 2003, 26: 505–512.
- [24] Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency [J]. *J Exp Bot*, 1994, 45: 1245–1250.
- [25] Buchanan B B, Gruissem W, Jones R L. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants* [M]. Beijing: Science Press, 2002: 516–517.

图版说明

Cu:角质层 Cuticle; Ep:表皮 Epidermis; Hy:内皮层 Hypodermis; P:栅栏组织 Parenchyma tissue; S:海绵组织 Spongy tissue; Cr:单宁细胞 Tannin cell; I:胞间隙 Intercellular space; St:淀粉粒 Starch grain; Ch:叶绿体 Chloroplast; PL:细胞膜 Plasma membrane; CW:细胞壁 Cell wall.

图版 I

1~6. 分别生长在 1‰、5‰、10‰、25‰、35‰和 50‰盐度下的木榄叶片横截面, 示角质层和表皮层厚度随培养盐度的升高而增厚, 内皮层厚度以及胞间隙则随着培养盐度的升高而下降。Bar = 100 μm。

图版 II

1~6. 分别生长在 1‰、5‰、10‰、25‰、35‰和 50‰盐度下的叶肉细胞中叶绿体数目和位置的变化, 其中盐度为 35‰和 50‰时, 叶绿体与细胞膜明显分离, 而盐度为 1‰~10‰时, 叶肉细胞中具有淀粉粒结构。Bar = 10 μm

7~10. 分别在 1‰、10‰、35‰和 50‰盐度下生长的木榄叶绿体的超微结构, 未见明显的改变。Bar = 1 μm

Explanation of plates

plate I

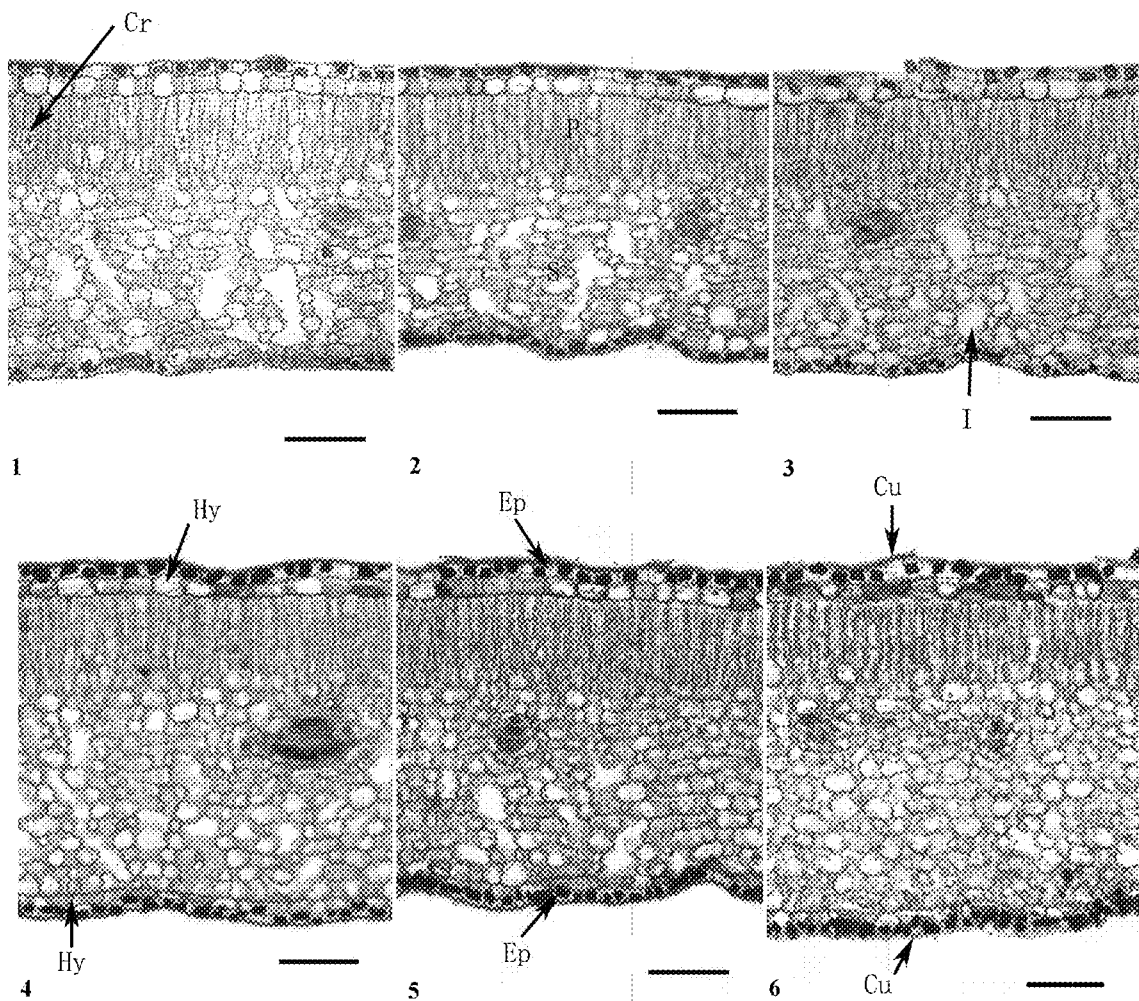
1~6. The transverse section of the leaves of *B. gymnorhiza* under 1‰, 5‰, 10‰, 25‰, 35‰ and 50‰ salinities, respectively, showing the thickness of cuticle and epidermis increased with the salinity raising, while the thickness of endodermis and the intercellular spaces of spongy tissue in leaves decreased. Bar = 100 μm.

Plate II

1~6. The number and distribution of chloroplasts in palisade cells under 1‰, 5‰, 10‰, 25‰, 35‰ and 50‰ salinities, respectively,

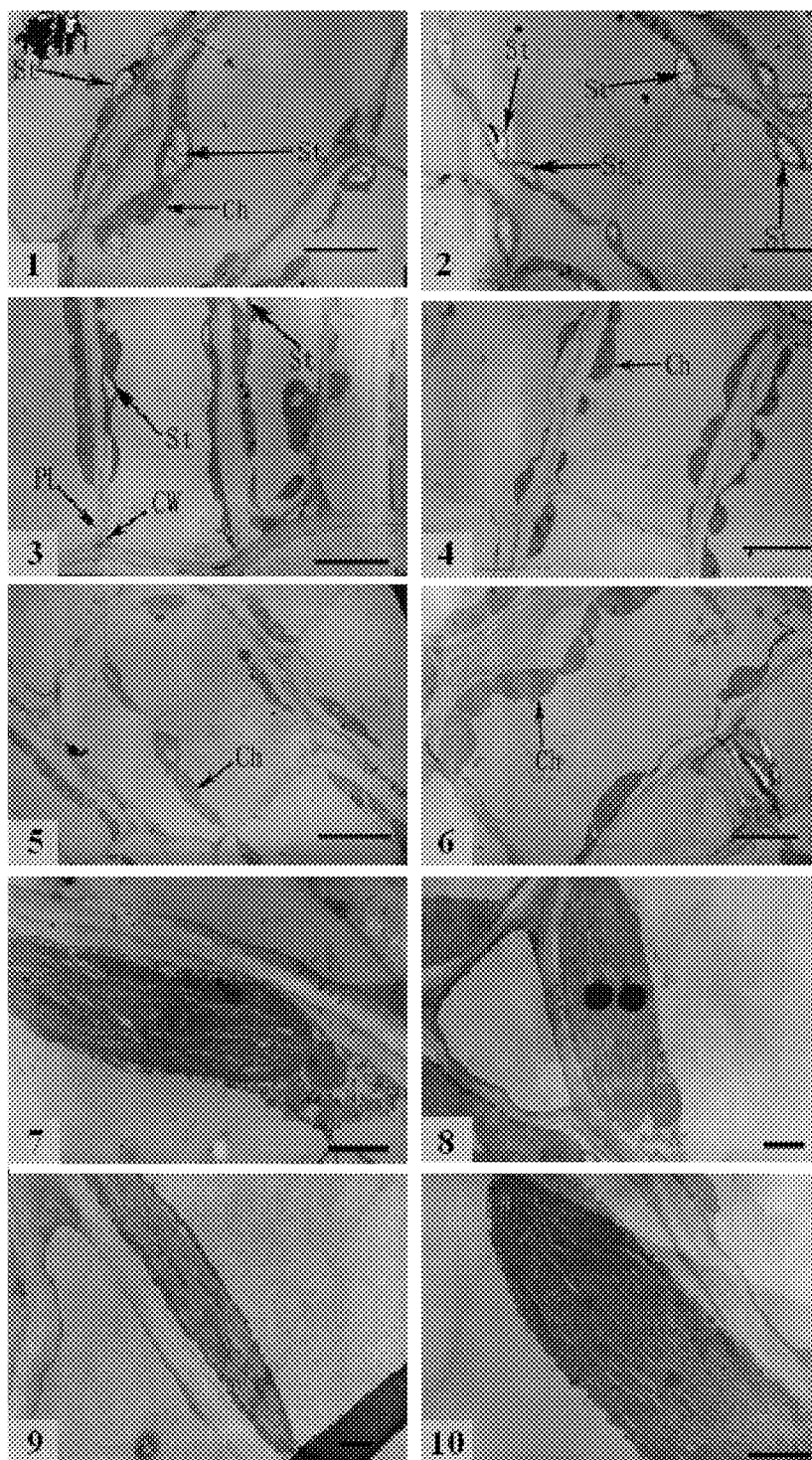
showing the chloroplasts obviously separated from the cell membrane cultured in 35‰ and 50‰ salinities, and the starch grains in palisade cells appeared under 1‰, 5‰, and 10‰ salinities. Bar = 10 μm.

7~10. The ultrastructure of chloroplast under 1‰, 10‰, 35‰, and 50‰ salinities, respectively, showing the shape of chloroplast had not affected with salinity raising. Bar = 1 μm.



刘睿等:图版 I

LIU Rui, et al.: Plate I



刘睿等：图版 II

LIU Rui et al.: Plate II