

含油废水对秋茄幼苗的几个生理生态指标的影响

李 玫, 陈桂珠

(中山大学环境科学研究所, 广州 510275)

摘要:研究了 5 种不同浓度的含油废水对秋茄幼苗的叶片叶绿素含量、过氧化氢酶活性、游离脯氨酸含量、含水量、相对电导率与生物量、存活率、茎高生长量等生理生态指标的影响。结果表明, 50mg/L 和 100mg/L 浓度组不仅对植株无不良影响, 而且能促进生长; 200mg/L 组植株的某些生理生态指标受到影响, 但整体上生长正常; 400mg/L 和 800mg/L 组则对植株各项指标产生显著或极显著影响, 甚至引起个体死亡。因此, 在实验室条件下秋茄幼苗对含油废水有一定的耐受性和适应性, 但高浓度则造成伤害。

关键词: 含油废水; 秋茄幼苗; 生理生态指标; 影响

Effect of oil wastewater on some eco-physiological indexes of *Kandelia candel* seedlings

LI Mei, CHEN Gui-Zhu (Institute of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A simulative study with different concentration of oil wastewater showed no harmful effect on *Kandelia candel* seedlings exposed 50mg/L and 100mg/L oil wastewater, however, this concentration stimulated the growth of seedlings. Treated with 200mg/L oil wastewater, some physiological indexes were affected, but seedlings still maintained normal growth. While treated with 400mg/L and 800mg/L of oil wastewater, almost all the eco-physiological indexes were affected significantly or very significantly, and even caused some individuals died. The study indicated that *Kandelia candel* seedlings could adapt and tolerate a certain extent of oil wastewater.

Key words: oil wastewater; *Kandelia candel*; eco-physiological indexes; effect

文章编号: 1000-0933(2000)03-0528-05 中图分类号: Q142, X171 文献标识码: A

大规模海洋石油开采、运输以及沿海城市与工业的迅猛发展, 大量石油和含油废水进入海洋, 致使海洋石油污染日趋严重。石油污染恶化了水质, 影响海岸带的动植物区系的组成, 甚至危害海洋生物^[1]。

红树林生态系统是一个“红树林-细菌-藻类-浮游动物-鱼类等生物群落”构成的兼有厌氧-需氧的多级净化系统^[2]。关于红树林净化城市污水的效应及污水对红树植物的影响已有较多的报道^[3~8]。而石油污水对红树林的影响以及红树林及其湿地系统净化石油的系统研究, 国内尚未见报道。从保护和利用红树林的角度出发, 本文拟通过研究含油废水对广东红树林优势种之一的秋茄(*Kandelia candel*)幼苗的几个生理生态指标的影响来探讨红树植物幼苗对油污染的忍受程度。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用材料为红树科的秋茄 1 年生幼苗, 连同底泥皆由深圳福田红树林国家自然保护区运回中山大学校内的玻璃网室盆栽。试验用油为阿曼原油。

1.2 试验设计

基金项目: 国家自然科学基金(39470151)资助项目

收稿日期: 1999-09-08; 修订日期: 1999-11-16

作者简介: 李玫(1971~), 女, 硕士研究生。

万方数据

试验设 1 个对照组 (Ⅰ) 和 5 个不同浓度含油废水组即 50mg/L (Ⅱ)、100mg/L (Ⅲ)、200mg/L (Ⅳ)、400mg/L (Ⅴ) 和 800mg/L (Ⅵ)。每组 3 盆平行 (盆长×宽×高为 0.5m×0.38m×0.35m), 内盛 30kg 红树林底泥, 每盆均匀栽种 9 株秋茄幼苗。待秋茄幼苗移栽成活并生长正常后 (6 个月), 用阿曼原油配成的不同浓度含油废水进行灌溉 (对照组用盐度为 15% 的人工海水), 每周定期 2 次, 施放量为每次每盆 1L。

1.3 指标测定方法

①叶片叶绿素 a、b 及总量, 污灌前和污灌 3 个月、6 个月, 每盆取相应位置的幼苗成熟叶片, 用分光光度法^[9], 根据 Lambert-beer 定律计算含量。②叶片过氧化氢酶活性, 用 KMNO₄ 滴定法^[10]。③叶片游离脯氨酸含量, 用酸性茚三酮法^[11]。④叶片含水量及自由水、束缚水含量, 叶片含水量用鲜重干重法^[11]; 自由水含量用阿贝氏折射仪法^[9]; 计算束缚水含量=含水量-自由水含量。⑤叶片相对电导率, 用电导仪法^[11]。⑥植株高生长量测量与生物量统计, 试验前, 先选取 21 株秋茄幼苗作标准木, 测其茎高、茎径 (基径) 和生物量 (105℃ 烘干恒重)。按照植物生长的对数模型公式, 求出植株茎高 (*H*, cm)、茎径 (*D*, cm) 和总生物量 (*B*, g 干重) 之间存在以下关系: $\log_{10} B = 1.60134 + 0.06588 \log_{10} (D^2 H)$, 相关系数 $r = 0.9334 (p < 0.01)$ 。污灌开始后, 每月初定期测量每株的茎高与茎径 (基径), 以求得茎高、茎径增长量, 并作为原始数据统计每月生物量变化。

2 结果与分析

2.1 油污染对叶绿素 a、b 含量及总量的影响

由表 1 可知, 污灌 3 个月, 随着含油废水浓度的增大, 叶绿素 a、b 及总量呈下降趋势而叶绿素 a/b 依次上升, 可看出油处理不仅影响叶绿素 a、b 和总量而且影响到叶绿素 a、b 比值^[12]。100mg/L、200mg/L 和 400mg/L 组植株叶片的叶绿素 b 含量显著低于对照组, 叶绿素 a 含量下降不显著, 因而叶绿素 a/b 之值显著高于对照组。最高浓度组即 800mg/L 组叶绿素 a 和 b 显著低于对照组, 叶绿素 a/b 比值极显著高于对照给。由图 1 可知, 污灌 6 个月, 只有最高浓度组植株受油污染伤害严重, 其叶绿素 a、b 和总量显著低于对照组; 而其他各组与对照组相比差异不显著。值得注意的是, 50mg/L 和 100mg/L 组叶绿素 a 和总量高于对照组, 表明秋茄幼苗在低浓度油污染的情况下具有一定的适应能力。

表 1 污灌 3 个月叶绿素含量 (mg/g·FW)
Table 1 Contents of chlorophyll after three months of treatment

处理 Treatment	总量 Total	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	叶绿素 a/b Chl. a/b
I	0.595±0.007	0.418±0.007	0.177±0.005	2.366±0.089
Ⅱ	0.582±0.017	0.414±0.018	0.168±0.012	2.469±0.140
Ⅲ	0.576±0.024	0.416±0.016	0.160±0.009	2.595±0.083*
Ⅳ	0.558±0.021	0.403±0.013	0.155±0.009*	2.603±0.061*
Ⅴ	0.561±0.038	0.409±0.028	0.152±0.011*	2.694±0.126*
Ⅵ	0.519±0.031	0.382±0.020*	0.137±0.011*	2.796±0.071**

Mean±SD (n=3), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

2.2 油污染对叶片过氧化氢酶活性的影响

从表 2 可见, 无论是污灌 3 个月还是 6 个月, 仅 400mg/L 和 800mg/L 组过氧化氢酶活性显著或极显著低于对照组; 而其他浓度组与对照组相比无明显差异, 与污灌前相比差异也不大。过氧化氢酶普遍存在于植物组织中, 它可保护植物体免受过氧化氢积聚为害, 其活性的高低亦可反映植物抗性强弱, 酶活性降低是植物对逆境的一种适应性表现^[13]。从该项指标看, 秋茄幼苗能较快适应低浓度油污染。

2.3 油污染对叶片游离脯氨酸含量的影响

植物体内脯氨酸含量的增加是植物对逆境胁迫的一种生理反应, 可能具有双重意义, 其一细胞结构和功能遭受伤害的反应, 其二是植物在逆境下的适应表现, 系防护效应, 可作为鉴定植物相对抗性的指标^[14]。由表 3 可

见,无论是污灌 3 个月还是 6 个月,除最低浓度组外其他各组的游离脯氨酸均显著或极显著高于对照组,而且随着油浓度加大游离脯氨酸含量也增加。有研究认为脯氨酸在植物体内的累积受到碳氢化合物含量的影响^[12],这可解释本试验中在油污染条件下植株叶片游离脯氨酸含量明显增高的现象。

2.4 油污染对叶片含水量及自由水、束缚水含量的影响

植物体内自由水和束缚水含量及其比值与植物的生长和抗性密切相关。体内自由水较多时,代谢活动较强、生长速度快,但抗性降低,束缚水较多时情况则相反^[9]。污灌 3 个月和 6 个月 50mg/l 组叶片自由水含量和总含水量显著高于对照组,说明该组植株的代谢活动强(表 4,表 5);100mg/L 和 200mg/L 组植株叶片总含水量、自由水含量、束缚水含量以及束缚水与自由水之比与对照组相比无明显差异(除 3 个月时 200mg/L 组束缚水含量高于对照组),较低浓度油处理对叶片含水量影响不大;400mg/L 和 800mg/L 组自由水含量显著(或极显著)低于对照组,束缚水含量及束缚水与自由水之比显著高于对照组。说明当油处理浓度较大时,为适应油污染逆境,植株体内自由水含量减少以减慢代谢速度,并增加束缚水含量以增强抗性。

表 2 叶片过氧化氢酶活性(mg/g FW · min)				
Table 2 Catalase activities of <i>Kandelia candel</i>				
处理 Treat- ment	污灌 3 个月 After three months		污灌 6 个月 After six months	
	活性 Activity	%	活性 Activity	%
I	0.310±0.016	100	0.316±0.015	100
Ⅱ	0.307±0.014	99.03	0.308±0.023	97.47
Ⅲ	0.304±0.012	98.06	0.292±0.019	92.40
Ⅳ	0.302±0.021	97.42	0.289±0.016	91.46
V	0.273±0.017*	88.06	0.226±0.017**	71.52
Ⅵ	0.2450.013**	79.03	0.217±0.028**	68.67

污灌前活性 Activity of before treatment 0.317±0.026,
Mean±SD(n=3), * p<0.05, ** p<0.01

表 4 叶片含水量、自由水和束缚水百分含量(污灌 3 个月)								
Table 4 Percentages of water, free-water and bound-water of leaves after three months treatment								
处理 Treatment	总量 Total		自由水 Free-water		束缚水 Bound-water		束缚/自由 Bound/Free	
		%		%		%		%
I	70.11±1.30	100	25.53±1.01	100	44.58±0.94	100	1.749±0.10	100
Ⅱ	72.30±0.41*	103.12	27.54±0.40*	107.87	44.76±0.44	100.40	1.625±0.031	92.91
Ⅲ	71.60±0.59	102.12	25.27±0.49	98.90	46.33±0.84	103.92	1.833±0.025	104.80
Ⅳ	70.91±0.42	101.14	24.18±0.61	94.71	46.74±0.88*	104.84	1.935±0.076	110.63
V	69.15±0.20	98.63	22.88±1.01*	89.62	46.27±0.16*	103.79	2.026±0.124*	113.32
Ⅵ	68.14±0.52	97.19	20.97±1.39*	82.14	47.17±1.20*	105.81	2.258±0.208*	129.10

Mean±SD(n=3), * p<0.05

2.5 油污染对植株高生长量与生物量的影响

Proffitt 和 Diwan 等的研究表明,油污染会抑制红树植物的生物量、茎高生长等,甚至引起个体死亡^[16,17];但另一方面数据指出轻微的油污染不仅不会影响植物的正常生长而且可以刺激生长^[18,19]。

污灌 6 个月低浓度 50mg/L 和 100mg/L 油处理可刺激植株月均茎高与生物量的增长,200mg/L 组植

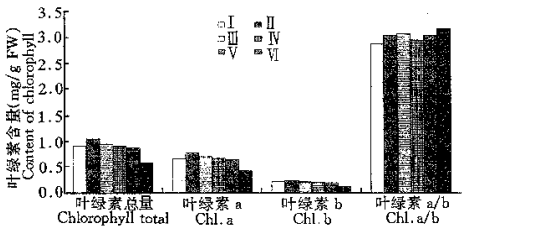


图 1 污灌 6 个月叶绿素含量
Fig. 1 Content of chlorophyll after six months of treatment(mg/g FW)

表 3 叶片游离脯氨酸含量(Mg/g)				
Table 3 Content of free proline of <i>K. candel</i> leaves				
处理 Treat- ment	污灌 3 个月 After three months		污灌 6 个月 After six months	
	活性 Activity	%	活性 Activity	%
I	35.521±0.757	100	37.466±1.972	100
Ⅱ	37.247±0.795	104.86	36.443±1.276	97.27
Ⅲ	38.696±1.162*	108.94	42.105±1.741*	112.38
Ⅳ	42.405±3.246*	119.38	48.456±2.463**	129.36
V	47.878±3.525*	134.79	61.183±0.991**	163.30
Ⅵ	49.921±4.306**	140.54	63.976±3.162**	170.76

污灌前活性 Activity of before treatment 0.317±0.026,
Mean±SD(n=3), * p<0.05, ** p<0.01

株茎高和生物量增量与对照组相近;而高浓度 400mg/L 和 800mg/L 则使植株生长受到抑制(表 6)。

表 5 叶片含水量、自由水和束缚水百分含量(污灌 6 个月)

Table 5 Percentages of water,free-water and bound-water of leaves after six months treatment								
处理	总量	%	自由水	%	束缚水	%	束缚/自由	%
Treatment	Total		Free-water		Bound-water		Bound/Free	
I	71.13±0.55	100	25.12±0.80	100	45.95±0.94	100	1.827±0.092	100
Ⅱ	74.33±1.11*	104.50	26.96±0.72*	107.32	47.37±0.52	103.09	1.758±0.039	96.22
Ⅲ	73.43±1.34	103.23	25.32±1.74	100.80	48.11±1.78	104.70	1.907±0.173	104.38
Ⅳ	71.28±0.74	100.21	25.41±0.99	101.15	45.87±0.24	99.82	1.807±0.080	98.90
V	70.91±0.59	99.69	22.89±0.32*	91.12	48.02±0.24*	104.50	2.089±0.059*	114.34
Ⅵ	70.12±0.28*	98.58	20.51±1.41**	81.65	49.61±1.18*	107.96	2.428±0.216*	132.89

Mean±SD(n=3), * p<0.05; ** p<0.01

表 6 污灌 6 个月后各试验组个体生物量、茎高以及茎径的月均增量

Table 6 Monthly increment of total biomass,stem height and stem diameter treated with oil for six months						
处理	生物量(g)	%	茎高(cm)	%	茎径(mm)	%
Treatment	Biomass increment		Stem height increment		stem diameter increment	
I	2.243±0.176	100	3.004±0.287	100	0.375±0.080	100
Ⅱ	2.372±0.180*	105.75	3.368±0.246**	112.12	0.482±0.163**	128.53
Ⅲ	2.304±0.109	102.72	3.224±0.661	107.32	0.435±0.148	116.00
Ⅳ	2.167±0.162	96.6	2.961±0.594	98.57	0.422±0.119	112.53
V	1.771±0.409**	78.96	2.591±0.530**	86.25	0.382±0.141	101.87
Ⅵ	1.502±0.425**	66.96	2.244±0.401**	74.70	0.324±0.170	86.40

Mean±SD(n=27), * p<0.05; ** p<0.01

2.6 油污染对叶片相对电导率的影响

细胞膜透性是评定植物对污染物反应的方法之一,细胞外渗液的电导度与污染物质含量呈正相关^[15]。Diwan 认为油进入植物体会增加细胞膜透性,致使细胞内含物外渗,Miller、Loisel 亦有相似看法^[16]。从图 2 中见,污灌 3 个月和 6 个月,细胞膜外渗液的电导率均随油浓度增大而提高,200mg/L、400mg/L 和 800mg/L 组的极显著高于对照组,而 50mg/L 和 100mg/L 与对照组间无显著性差异,说明较高浓度油处理对该项生理指标才有一定影响。

2.7 植株存活率

污灌 2 个月时,50mg/L 和 100mg/L 组植株均生长正常,未出现任何受害症状;而最高浓度组则首先有个别植株被观察到以下症状:叶尖卷曲、叶色失绿、叶面皱折和有红色斑点^[20],几天之后即开始萎蔫,大量叶片凋落并在 1 周内整株枯死。随后 400mg/L 和 200mg/L 组也有少量植株陆续萎蔫直至枯死。各组植株污灌 6 个月期间的存活率变化见图 3,对照组、50mg/L 和 100mg/L 组植株未出现个体死亡;200mg/L、400mg/L 组污灌第 17 周后不再出现个体死亡,而 800mg/L 组存活率曲线呈线形下降的趋势。污灌 6 个月时,200mg/L、400mg/L 和 800mg/L 组存活率分别为 95.92%、85.18%和 59.25%。以上结果表明,低浓度油处理下植株生长正常,而高浓度则对植株构成明显伤害甚至导致个体死亡。

3 结论

3.1 污灌 6 个月,50mg/L 和 100mg/L 组各项生理指标与对照组相比无显著差异,而茎高和生物量月均

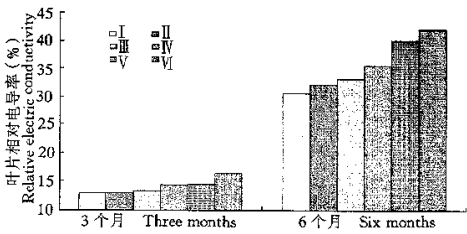


图 2 叶片相对电导率(%)

Fig. 2 Relative electric conductivity

万方数据

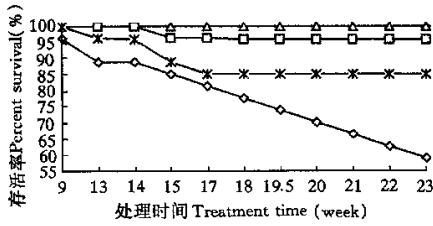


图3 各试验组植株的存活率(%)

Fig. 1 Percent survival of *K. candel* seedlings six months following oil treatment

—○— I 组; —□— II 组; —△— III 组; —◇— IV 组; —*— V 组

量均低于对照组,存活率明显下降,形态上也出现受害症状。说明高浓度油处理会对植物体造成生理伤害,致使生长受到抑制甚至个体死亡。

参考文献

- [1] 污染环境的工业有害物编译组编. 污染环境的工业有害物. 北京:石油化学工业出版社,1976. 325~335.
- [2] 陈桂珠. 研究保护和开发利用红树林生态系统. 生态科学,1991,11(1):116~119.
- [3] 陈桂珠, 缪绅裕, 谭凤仪, 等. 人工合成污水对秋茄幼苗几个生理生态学指标的影响初探. 应用生态学报,1994,5(2):221~224.
- [4] Chen G Z, et al. Effect of synthetic wastewater on young *Kandelia candel* plants growing under greenhouse conditions. *Hydrobiologia*,1995,295:263~273.
- [5] 陈桂珠, 马 骅, 黄玉山, 等. 人工污水对红树植物桐花树的生长影响. 中山大学学报(自然科学版),1998,37(增2):186~190.
- [6] 陈桂葵, 陈桂珠, 黄玉山, 等. 人工污水对红树植物白骨壤幼苗的几个生理生态特性的影响. 应用生态学报,1999,10(1):95~98.
- [7] 陈桂珠, 缪绅裕, 黄玉山, 等. 人工污水中 N 在秋茄模拟湿地系统中的分配循环及其净化效果. 环境科学学报,1996,16(1):44~50.
- [8] 陈桂珠, 缪绅裕, 黄玉山, 等. 重金属在模拟秋茄湿地生态系统分布迁移及其净化效应. 见:陆健健主编. 中国湿地研究和保护. 上海:华东师范大学出版社,1998. 279~285.
- [9] 华东师范大学生物系植物生理教研组编. 植物生理实验指导. 北京:人民教育出版社,1980. 5~8.
- [10] 黄学林, 陈润政主编. 种子生理学实验手册. 北京:农业出版社,1990. 122~124.
- [11] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴主编. 植物生理学实验. 北京:农业出版社,1990. 51~54.
- [12] Malallah G, et al. *Vicia faba* as a bioindicator of oil pollution. *Environmental Pollution*,1996,92(2):213~217.
- [13] 刘祖祺, 张石成主编. 植物抗性生理学. 北京:中国农业出版社,1994. 245.
- [14] 汤章诚. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义. 植物生理学通讯,1984,(1):15~21.
- [15] 王焕校主编. 污染生态学基础. 昆明:云南大学出版社,1990. 91~94.
- [16] Diwan A P & Arora D K ed. *Recent advances in environmental ecology*. Anmol Publications Pvt Ltd. 1995,5:241~252.
- [17] Proffitt C E, et al. Effects of oil on mangrove seedlings grown under different environmental conditions. *Marine Pollution Bulletin*,1995,30(12):788~795.
- [18] Getter C D, Ballou T G, & Koons C B. Effects of dispersed oil on mangrove synthesis of a seven-year study. *Marine Pollution Bulletin*,1985,16(8):318~324.
- [19] Rutzler K & Sterrer W. Oil pollution damage observed in tropical communities along the Atlantic seaboard of Panama. *Bio. sci.*,1970,20:222~224.
- [20] Wardrop J A, et al. A field study of toxicity of two oils and a dispersant to the mangrove *Avicennia marina*. *Mar. Bio.* 1981,62:155~156.

增量高于对照组,说明秋茄幼苗对含油废水具有一定的耐受性和适应性,低浓度油处理对植株没有不良影响,而且能刺激植株生长。

3.2 200mg/L 组的叶片相对电导率、叶绿素 a/b 比值和游离脯氨酸含量显著高于对照组,月均茎高和生物量增量稍低于对照组。表明随着油处理浓度增高,植株受到一些不利影响但大多数植株仍能维持正常生长。

3.3 400mg/L 和 800mg/L 组叶绿素含量、过氧化氢酶活性、自由水含量显著低于对照组,叶绿素 a/b 比值、游离脯氨酸含量、束缚水、束缚水/自由水以及叶片相对电导率显著(或极显著)高于对照组;月均茎高和生物量增