

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201404037

冯剑, 刘强, 王瑾, 等. 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗生长及生理生化的影响 [J]. 广西植物, 2016, 36(3):308-314

FENG J, LIU Q, WANG J, et al. Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on growth and physiological and biochemical characteristics of *Terminalia catappa* seedlings [J]. Guihaia, 2016, 36(3):308-314

木麻黄浸提液对榄仁树幼苗生长及生理生化的影响

冯 剑, 刘 强*, 王 瑾, 罗忻武, 阮长林, 张晓楠

(热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海南师范大学 生命科学学院, 海口 571158)

摘 要: 该研究试图将榄仁树引入木麻黄海防风林以期形成混交林型的防风林。以 15 d 榄仁树种子苗为材料, 分别采用浓度为 $125 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的木麻黄根、木麻黄凋落物和林下表层土壤的水浸提液胁迫处理榄仁树幼苗 60 d, 研究木麻黄化感作用对榄仁树幼苗生长、光合作用、膜系统伤害、抗氧化系统酶活性及游离 Pro 含量的影响。结果表明: 木麻黄根、木麻黄凋落物及林下表层土壤的水浸提液都能降低榄仁树幼苗的存活率, 影响幼苗株高、叶和根生物量, 可以推断不同浸提液中对影响植物生长成分的浓度有所不同。3 种浸提液均显著降低处理 15~45 d 期间幼苗的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (C_{cond})、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (T_r), 且显著增加幼苗水分利用率 (WUE)。第 60 天时 3 种木麻黄浸提液能显著增加幼苗叶片、根的 Pro 含量, 使得幼苗根系组织细胞膜通透性增加, 而木麻黄根浸提液能显著增加幼苗 C_{cond} 、 C_i 、叶 SOD、根 CAT 含量, 木麻黄凋落物浸提液能显著增加幼苗 C_{cond} 和 T_r , 同时凋落物浸提液会显著降低幼苗根 POD 含量。榄仁树幼苗通过调整自身的生理生化能适应木麻黄化感胁迫的影响, 为此可考虑榄仁树作为沿海防护林建设的树种之一。

关键词: 木麻黄浸提液, 榄仁树幼苗, 生长, 生理生化特征

中图分类号: Q948.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)03-0308-07

Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on growth and physiological and biochemical characteristics of *Terminalia catappa* seedlings

FENG Jian, LIU Qiang*, WANG Jin, LUO Xin-Wu, RUAN Chang-Lin, ZHANG Xiao-Nan

(Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology of State Education Ministry, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China)

Abstract: In this study, we tried to introduce *Terminalia catappa* into coastal *Casuarina equisetifolia* windbreak to form mixed forest as windbreak, so as to improve efficiency of wind sheltering and sand fixation and the regional ecological environment. We selected *Terminalia catappa* of seedling age of 15 d as experimental and irrigate allelochemicals of leachates of *Casuarina equisetifolia* of concentration of $125 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ from roots, rhizosphere soil and litter, and studied the effects of allelopathy of *C. equisetifolia* on growth, photosynthesis, the damage of membrane system, antioxidant enzyme activity system and proline content of *T. catappa* seedlings in growing period of 60 d. The results showed that the leachates of roots, litter and rhizosphere soil reduced the survival rates and damaged seedlings of the beginning of the treatment, and significantly af-

收稿日期: 2014-06-23 修回日期: 2014-09-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAC18B04) [Supported by National Key Technology Research and Development Program of China (2012BAC18B04)].

作者简介: 冯剑(1990-), 男, 甘肃陇南人, 硕士, 主要从事恢复生态学研究, (E-mail) jianfenghn@126.com。

* 通讯作者: 刘强, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事恢复生态学、生物地球化学和生态系统功能动态研究, (E-mail) hnsylq@163.com。

affected the plant height, leaves, roots biomass of *Terminalia catappa* seedlings. Therefore, we could deduce that influence plant growth by the composition of different leachates of *Casuarina equisetifolia*. All the three leachates significantly reduced the net photosynthesis (P_n), stomatal conductance (C_{cond}), inter cellular CO_2 concentration (C_i), transpiration rate (Tr), but significantly increased the water use efficiency (WUE) of the seedlings after 15–45 d since the treatment beginning. No significant effect of leachates from *C. equisetifolia* on the leaf chlorophyll contents of *Terminalia catappa* seedling of treatment beginning, with the prolong of growth period, but the roots leachates of *C. equisetifolia* significantly reduced chlorophyll content of seedling. The seedlings growth period of 60 d, all the three leachates significantly increased the cell membrane penetrability and proline content (Pro), but the roots leachate significantly increased the stomatal conductance, inter cellular CO_2 concentration, superoxide dismutase in leaves and catalase in roots of *T. catappa*. The litter leachates increased the stomatal conductance and transpiration rate, and they also reduced peroxidase content. Therefore, seedlings by adjusting its physiological and biochemical designed to the allelopathy stress of leachates of *Casuarina equisetifolia*, which could be used as one of tree species of the construction of the coastal shelter forest.

Key words: leachates from *Casuarina equisetifolia*, *Terminalia catappa* seedling, growth, biochemical characteristics

木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*) 是我国东南沿海营造防护林的主要树种之一 (叶功富等, 2007), 而目前, 我国海南岛沿海防护林树种主要以纯木麻黄 (*C. equisetifolia*) 海防林为主, 虽在防风固沙、区域生态环境改善方面具有重要意义, 但是木麻黄防护林存在树种单一、结构简单、存在老化现象 (Srivastava, 1995; 张水松等, 2002)。有研究报道海南保存良好的海岸防护林仅有文昌市椰子基干林带、临高县海防林、昌江县棋子湾海防林 (胡小婵和温春生, 2009) 及万宁石梅湾单优青皮林。木麻黄淋溶后释放的化感物质影响自身或其他幼苗生长, 也是自我更新困难的原因之一 (林武星等, 2005)。因此, 为提高防护林防护风固沙效益需要引入乡土树种建立成混交林型海防林。

榄仁树 (*Terminalia catappa*) 别名枇杷树、法国枇杷, 为使君子科 (Combretaceae) 榄仁树属 (*Terminalia mantaly*) 落叶乔木, 高 15 m 或更高, 5–6 月开花, 9 月果实成熟。其原产马达加斯加、印度东部和安达曼群岛及马来半岛, 我国海南、广东、广西、台湾、福建等地有栽培 (韦晓娟, 2001)。榄仁树喜光、能在湿热气候条件下生长茂盛, 且海南的许多地方已成为天然分布种。榄仁树可以生长在红树林林缘、高潮带沙滩或潮水可以影响到的地段, 具有较高的耐盐和抗风能力 (林晞等, 2004)。可以作为间植树种与木麻黄混交, 研究木麻黄化感物质对榄仁树的影响很有意义。探讨木麻黄化感物质大多集中在对自身幼苗的毒害作用 (林武星, 2009)。王春晴等 (2012) 研究了木麻黄浸提液对青皮幼苗的影响, 对其他可作为防护林潜力树种影响的研究很少报道。本试验以榄仁树幼苗为材料, 探讨在木麻黄化感物

质的胁迫下榄仁树幼苗生长及生理生化影响影响, 为沿海防护林混交造林提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材 料

所用榄仁树种子于 2013 年 9 月采自海南文昌市木兰港海岸带 (20°09′30.76″ N, 110°41′03.18″ E)。木麻黄根、木麻黄凋落物及木麻黄林下表层沙土采自海口市桂林洋滨海木麻黄林地 (20°00′01″ N, 110°31′18″ E), 并将其在室内阴干。以木麻黄根 (凋落物、土壤): 蒸馏水为 1 kg : 4 L 的比例各浸泡 24 h, 过滤得到浓度为 250 g · L⁻¹ 的浓缩液, 保存于 4 °C 冰箱中。

1.2 方 法

选取饱满的种子在沙质基质中萌发后挑选子叶期 (未完全展开) 幼苗移栽在以河沙为基质的育苗杯中, 将育苗杯放置在育苗盘上, 实验室常温下浇灌 1 次 1/2 的 hoagland 营养液培养至子叶完全展开 (15 d), 待用。

2013 年 10 月 30 日至 2013 年 12 月 30 日期间, 挑选生长一致的榄仁树幼苗每隔 2 d 分别浇灌 20 mL 上述 3 种稀释一倍的浸提液 (125 g · L⁻¹), 以蒸馏水为对照, 每个处理 7 株幼苗, 重复 3 次, 共计 84 株, 胁迫处理时间为 60 d。

1.3 测定方法

(1) 幼苗存活率。(2) 生长指标的测定: 用浸提液浇灌前测定幼苗的根长、茎长, 60 d 后随机选择 6 株测定根 (茎、叶) 的鲜重、干重; 期间每隔 15 d 测定幼苗的基茎、株高。(3) 生理指标的测定: ① 光合作

用相关指标:每个处理随机选择3株植株,每株2片叶子(成熟度相似),光合作用采用美国Gene公司生产的Li-6400xT光合仪于上午9:00-11:00测定,光合有效辐射(PAR)设置为 $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 CO_2 浓度为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,流速为 $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$;
②相对叶绿素含量采用SPAD相对叶绿素仪测定,每个处理随机选择3株,每株2片叶,且每片叶测3次;③膜系统伤害指标采用相对电导率法;④抗氧化系统的保护酶活性:SOD酶活性采用NBT法,CAT酶活性采用紫外吸收法,POD酶活性采用愈创木酚法;⑤游离Pro含量的测定采用酸性茚三酮法。其中③、④、⑤每个处理随机选择3株根、叶,重复3次测定(李合生,2000;王学奎,2006)。

1.4 数据处理

利用Excel和SPSS17.0软件对所得数据进行显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗存活率及生长的影响

2.1.1 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗存活率的影响

用木麻黄浸提液浇灌榄仁树幼苗60d后存活率如图1所示,根浸提液组(R)、凋落物浸提液组(L)、土壤浸提液组(S)及蒸馏水对照组(C)的幼苗存活率分别为80.9%、95.2%、90.5%及100%,经LSD检验根浸提液组幼苗存活率显著小于凋落物浸提液组和对照组,说明木麻黄浸提液能降低幼苗的存活率。在实验过程中发现根浸提液组幼苗死亡出现在第15天、第45天、第60天,凋落物浸提液组出现在第15天,土壤浸提液组出现在第15天、第30天,表明木麻黄浸提液能够伤害处理初期的幼苗。

2.1.2 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗株高、基茎增长变化的影响 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗的株高有一定影响,而对幼苗基茎没有显著影响,如表1所示,在第15天、第30天土壤浸提液组株高显著大于根浸提液和凋落物浸提液组,而在第45天、第60天土壤浸提液组显著大于根浸提液组,与对照组相比根浸提液、凋落物浸提液组幼苗株高都呈减小趋势,而土壤浸提液组呈增加趋势,说明不同浸提液中对影响植物生长成分的浓度可能有所不同。

2.1.3 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗生物量的影响

如表2所示,木麻黄浸提液能影响幼苗根、叶的生物量,经LSD分析根浸提液组、凋落物浸提液组幼苗

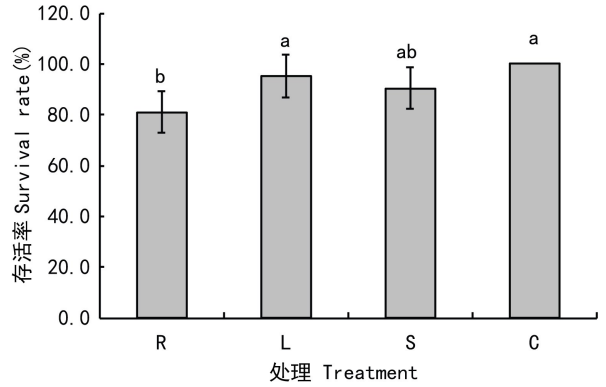


图1 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗存活率的影响

R. 木麻黄根浸提液组; L. 木麻黄凋落物浸提液组; S. 木麻黄林下表层土壤浸提液组; C. 蒸馏水对照组。不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

Fig. 1 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the survival rate of *Terminalia catappa* seedlings R. Root leachates; L. Litter leachates; S. Surface soil leachates; C. Control. Different letters mean significant differences ($P<0.05$), and same letters mean insignificant differences ($P>0.05$). The same below.

根鲜重显著小于土壤浸提液组和对照组,且比对照组分别减小了55%、42.5%,土壤浸提液组幼苗茎、叶鲜重分别显著大于凋落物浸提液组、根浸提液组;而土壤浸提液幼苗根、叶的干重显著大于根浸提液组、凋落物组,说明不同浸提液中对影响植物生长成分的浓度可能有所不同,与对照组相比根浸提液、凋落物浸提液幼苗叶、根生物量都有减少的趋势。

2.2 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗生理化的影响

2.2.1 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗叶片光合作用特性的影响 植物光合作用能够反映植物对光能的利用效率,如图2:a为榄仁树幼苗60d生长期 P_n 的变化,四个处理组的 P_n 均呈现倒“V”字型变化趋势。第15天幼苗 P_n 根浸提液组、凋落物浸提液组、土壤浸提液组显著小于对照组。第30天、第45天根浸提液组、凋落物浸提液组显著小于对照组,且在第45天时各处理组幼苗 P_n 达到了极大值,根浸液组、凋落物组及土浸液组与对照组相比分别降低了52%、27%和2.8%,而第60天幼苗的 P_n 各处理组没有显著差异。结果表明木麻黄浸提液可降低处理第15~45天幼苗幼叶的净光合速率,但随着幼苗生长期的延长,到处理后期幼苗可能适应了木麻黄浸提液这种环境条件,对净光合速率没有显著影响。

如图2:b所示,第15~45天期间实验组幼苗 C_{cond} 显著小于对照组。第60天实验组 C_{cond} 反而高于对照组,经LSD检验根浸液组、凋落物浸液组

表 1 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗株高、基茎增长的影响

Table 1 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the plant height and basal diameter growth of *Terminalia catappa* seedlings

项目 Item	处理 Treatment	R	L	S	C
株高 Plant height (mm)	15 d	91.63±23.24b	93.60±19.44b	109.15±24.18a	102.38±21.53ab
	30 d	100.63±23.70b	105.00±22.28b	123.84±27.99a	111.29±19.46ab
	45 d	105.28±23.49b	113.85±21.41ab	127.47±27.89a	116.52±18.48ab
	60 d	109.94±23.00b	117.00±21.18ab	129.79±27.99a	118.19±18.35ab
基茎 Basal diameter (mm)	15 d	3.29±0.55a	3.34±0.39a	3.19±0.21a	3.16±0.34a
	30 d	3.42±0.52a	3.48±0.40a	3.36±0.26a	3.27±0.33a
	45 d	3.49±0.54a	3.58±0.37a	3.41±0.27a	3.39±0.32a
	60 d	3.55±0.54a	3.63±0.39a	3.46±0.29a	3.42±0.32a

注: R 为木麻黄根浸提液组; L 为木麻黄凋落物浸提液组; S 为木麻黄林下表层土壤浸提液组; C 为蒸馏水对照组。表中值为平均值±标准差, 同行不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母则差异不显著 ($P > 0.05$)。下同。

Notes: R. Root leachates; L. Litter leachates; S. Surface soil leachates; C. Control. Data with $\bar{X} \pm Sd$ indicate in the table. Plant height and Basal diameter in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$) or same letters are insignificantly different ($P > 0.05$). The same below.

表 2 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗生物量的影响

Table 2 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the biomass of *Terminalia catappa* seedlings

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight (g)			干重 Dry weight (g)		
	根 Root	茎 Stalk	叶 Leaf	根 Root	茎 Stalk	叶 Leaf
R	0.18±0.07b	1.03±0.14ab	1.36±0.38b	0.06±0.02b	0.42±0.14a	0.32±0.10b
L	0.23±0.10b	0.87±0.20b	1.55±0.28ab	0.07±0.04b	0.31±0.19a	0.32±0.10b
S	0.48±0.09a	1.20±0.17a	1.93±0.61a	0.13±0.03a	0.42±0.12a	0.48±0.16a
C	0.40±0.13a	0.90±0.44ab	1.56±0.43ab	0.08±0.03b	0.34±0.13a	0.39±0.10ab

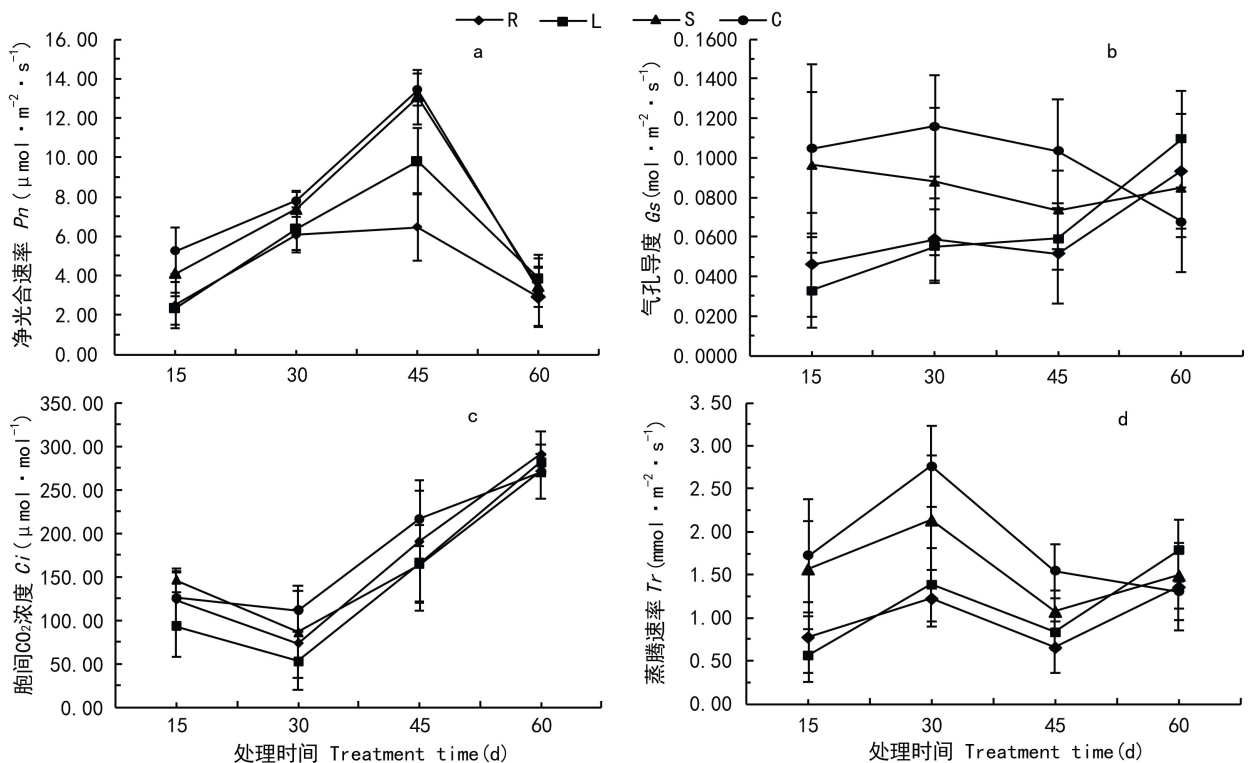


图 2 木麻黄水浸液对榄仁树幼苗光合参数的影响

Fig. 2 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the photosynthetic parameters of *Terminalia catappa* seedlings

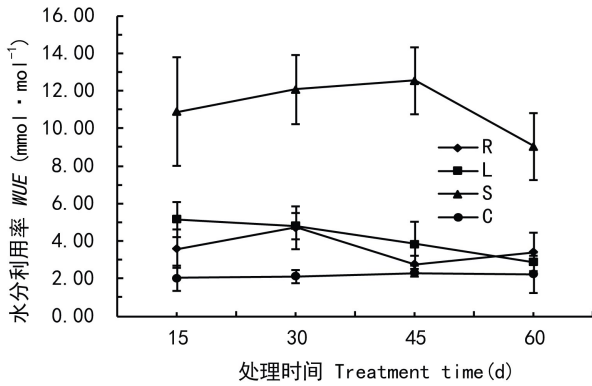


图3 木麻黄水浸液对榄仁树幼苗水分利用率的影响
Fig. 3 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the WUE of *Terminalia catappa* seedlings

与对照组差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明,木麻黄浸提液能降低处理 15~45 d 幼苗的气孔导度。

木麻黄浸提液对榄仁树幼苗叶片 C_i 的影响如图 2:c 所示,幼苗 C_i 呈“V”型变化趋势。第 15 天幼苗 C_i 凋落物浸提液组显著小于对照组、土壤浸提液组显著大于对照组,第 30 天根浸提液组、凋落物浸提液组、土壤浸提液组显著小于对照组,到第 60 天 C_i 实验组反而高于对照组,经 LSD 检验根浸液组与对照组差异显著 ($P < 0.05$),说明木麻黄浸提液可以降低处理 15~45 d 幼苗的胞间 CO_2 浓度,随生长期延长,处理后后期幼苗胞间 CO_2 浓度增大。

幼苗 T_r 变化如图 2:d 所示,第 15 天根浸提液组、凋落物浸提液组显著小于对照组,第 30 天、第 45 天根浸提液组、凋落物浸提液组、土壤浸提液组显著小于对照组,实验组内土浸提液组与根浸提液组、凋落物浸提液组也存在差异显著 ($P < 0.05$),到第 60 天凋落物组显著大于对照组。结果表明木麻黄水浸液可以降低处理 15~45 d 幼苗的蒸腾速率。

2.2.2 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗水分利用率 (WUE) 的影响 研究植物叶片水分利用效率可以揭示植物内在的耗水机制,能够反映出植物体单位摩尔水分消耗后所能固定的 CO_2 摩尔 (高丽等, 2009)。本研究的 WUE 即瞬时水分利用效率,采用 P_n/T_r 求的。如图 3 所示,榄仁树幼苗叶片 WUE,在第 15 天土壤浸提液组显著大于根浸提液组、凋落物浸液组及对照组,第 30 天和第 45 天实验组显著大于对照组,且实验组内根浸提液、凋落物与土壤浸提液组也差异显著 ($P < 0.05$),但到第 60 天各处理组间没有显著差异,结果表明,处理 15~45 d 木麻黄浸

提液能提高幼苗对水分利用率。

2.2.3 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗相对叶绿素含量的影响 叶绿素的含量在一定程度上能够反映植株的生长状况和叶片光合作用的能力,对胁迫条件最为敏感。如表 3 所示,在第 15 天、第 30 天、第 45 天榄仁树幼苗叶片叶绿素相对含量,实验组与对照组没有显著差异,到第 60 天根浸提液组显著小于凋落物浸提液组、土壤浸提液组及对照组,且根浸提液组幼苗叶片叶绿素相对含量与对照组相比减少了 9.6%,说明木麻黄浸提液对处理初期的幼苗的叶绿素含量没有显著影响,但随着生长期的延长,根浸液会降低幼苗的叶绿素含量。

表 3 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗叶片叶绿素的影响
Table 3 Effects of leachates from *Casuarina equisetifolia* on the leaf chlorophyll contents of *Terminalia catappa* seedlings

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content (SPAD)			
	15 d	30 d	45 d	60 d
R	40.9±9.7a	40.6±5.9a	41.4±5.6a	35.0±3.1b
L	40.0±7.1a	40.2±6.5a	40.6±5.1a	40.0±3.6a
S	39.2±4.5a	42.8±4.4a	39.5±4.7a	40.2±3.5a
C	38.6±7.3a	40.6±4.1a	39.1±4.7a	38.7±2.8a

2.2.4 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗细胞膜透性的影响

在植物处于逆境下,会使细胞膜的透性发生变化,胞内的离子有机物等会外渗,导致组织透性增大。相对电导率的变化可以反映出植物细胞膜的伤害程度。如图 4 所示,浇灌木麻黄浸提液 60 d 后,榄仁树幼苗叶片相对电导率,凋落物浸提液组、土壤浸提液组显著小于对照组,而实验组内也呈显著差异 ($P < 0.05$),且表现为 $R > L > S$; 幼苗根相对电导率,根浸提液组显著大于对照组,凋落物浸提液组、土壤浸提液组电导率有增大趋势,且都高于对照组。结果表明,木麻黄浸提液能增加幼苗根系组织细胞膜通透性,尤其是木麻黄根浸液对榄仁树幼苗根有显著伤害。

2.2.5 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗 SOD、CAT、POD 酶活性的影响 植物体内的 SOD、POD 及 CAT 对清除活性氧和减轻质膜伤害起到重要的作用。用木麻黄水浸液浇灌榄仁树幼苗 60 d 后,如图 5 所示,对榄仁树叶而言,根浸提液组 SOD 含量显著大于对照组,且凋落物浸提液组、土壤浸提液组 SOD 有增大趋势,都高于对照组,实验组 CAT、POD 与对照组无显著差异;对榄仁树根而言,根浸提液组 CAT 显著大于对照组,与对照相比其它组有增大趋势,而凋落物组 POD 显著小于对照组,与对照组相比其他组

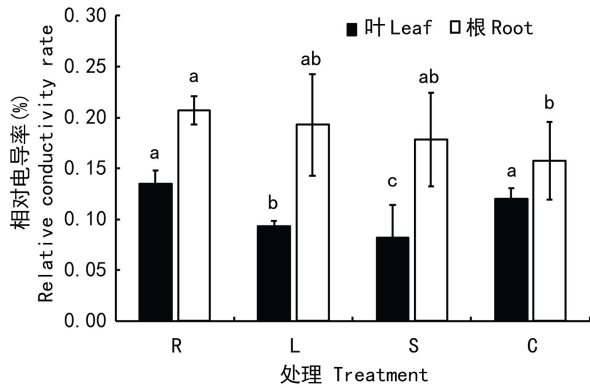


图 4 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗细胞膜透性的影响

Fig. 4 Effects of *Casuarina equisetifolia* leachates on the permeability of cell membrane of *Terminalia catappa* seedlings

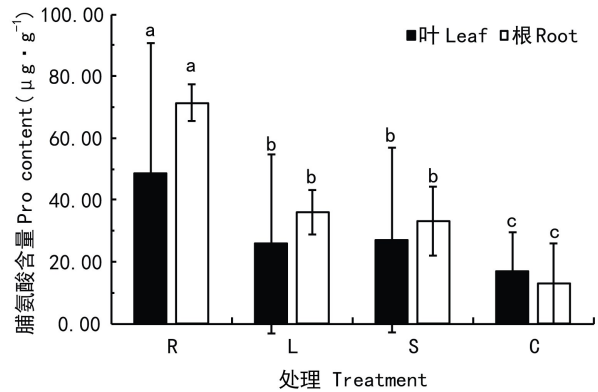


图 6 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗脯氨酸含量的影响

Fig. 6 Effects of *Casuarina equisetifolia* leachates on proline concentration of *Terminalia catappa* seedlings

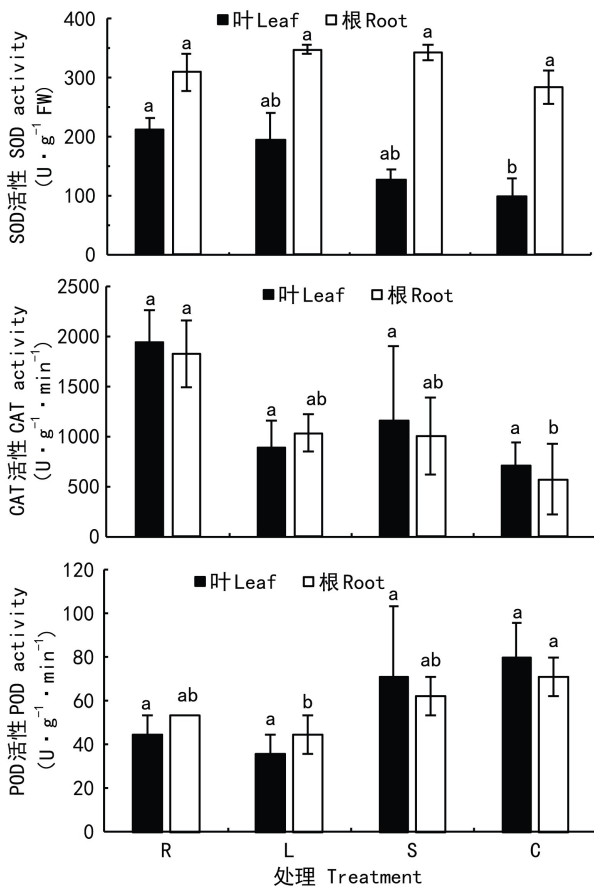


图 5 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗 SOD、CAT 及 POD 活性的影响

Fig. 5 Effects of *Casuarina equisetifolia* leachates on activity of SOD, CAT and POD of *Terminalia catappa* seedlings

呈降低趋势。结果表明木麻黄根浸提液可以增加榄仁树幼苗叶 SOD 和根 CAT 含量,凋落物浸提液会降低幼苗根 POD 含量,以便幼苗保护自身免受伤害。

2.2.6 木麻黄浸提液对榄仁树幼苗游离脯氨酸(Pro)

含量的影响 在逆境下条件下植物体内脯氨酸的含量会增加,可以提高植物的抗逆性。木麻黄浸提液对幼苗 Pro 有显著影响,如图 6 所示,榄仁树幼苗叶和根 Pro 含量,根浸提液组与凋落物浸提液组、土壤浸提液组及对对照组均差异显著 ($P < 0.05$),幼苗叶和根 Pro 含量与对照组相比分别增大了 189.5%、53.6%、60.7% 和 453.8%、180.4% 和 157.6%。结果表明,幼苗根、叶受木麻黄浸提液影响后会积累更多的 Pro,以便抵抗这种不良环境。

3 讨论与结论

存活率及生物量是植物对逆境胁迫的综合反应,也是评估逆境胁迫程度和植物抗性能力的重要依据。有研究表明,分离鉴定的木麻黄化感物质对自身幼苗的生长有显著的抑制作用(黄舒静等, 2009),而对乡土树种青皮幼苗根长、真叶数及叶面积同样也有明显的抑制作用(Li et al, 2012)。本研究发现,木麻黄浸提液能降低榄仁树幼苗的存活率,在实验过程中根浸提液、凋落物浸提液及土壤浸提液处理能够伤害初期的幼苗,且各组幼苗死亡时间出现在第 15 天。木麻黄浸提液能影响榄仁树幼苗株高、根和叶的生物量,其中根浸提液、凋落物浸提液幼苗叶、根生物量相对于对照组都有减少的趋势,而土壤浸提液组显著大于根浸提液组、凋落物组,可能是因为不同浸提液中对影响植物生长成分浓度可能有所不同,另外可能是因为木麻黄根、凋落物及土壤组分差异引起。与本研究不同,陈旭阳等(2013)研究发现木麻黄的小枝和根水浸液对潺槁

生长具有促进作用,随水浸液浓度的增大会加快潺槁生长,可能是与所试验植物本身的特性、立地条件及林带结构都有很大关系。

植物光合作用的强弱主要体现在净光合速率(P_n)和蒸腾速率(Tr),而气孔导度(C_{cond})是决定植物光合强度和水分蒸腾强度的重要因素(叶子飘等,2009)。化感物质能降低植物叶片的光合速率、气孔导度等生理指标而抑制植物生长(Einbhliling et al,1979),导致 P_n 降低的因素有非气孔和气孔限制两方面(Farquhar & Sharkey,1982)。本研究发现,3种木麻黄浸提液可不同程度降低处理15~45 d 幼苗叶的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度及蒸腾速率,可能是由于木麻黄浸提液处理引起幼苗气孔导度下降,导致胞间 CO_2 浓度及蒸腾速率减少,进而减小了净光合速率,榄仁树幼苗的光合速率降低则是由于气孔限制引起,并非对光的利用降低所致。3种木麻黄浸提液处理下幼苗水分利用率(WUE)与对照组比显著增大,可能原因是幼苗通过提高对木麻黄水浸液中水分的吸收,有利于其在不良环境下的生长。王春晴等(2012)和Li et al(2014)的研究发现,木麻黄水浸液能降低青皮苗气孔导度、蒸腾速率,与本文对榄仁树幼苗的研究结果有相似之处。

大多化感物质会使受体积累活性氧,影响受体保护酶的活性及对活性氧的清除,使受体膜系统的功能和结构遭到损伤,进而影响植株的生长(Mittler et al,2004)。本研究中3种木麻黄浸提液能增加幼苗根系组织细胞膜通透性,电解质外渗,导致细胞膜系统严重损伤。逆境下植物受到损伤,会引发体内抗氧化酶系统和渗透调节物质发生变化,以便保护细胞(李健等,2013)。本研究发现3种木麻黄浸提液均能显著增加幼苗叶和根Pro含量,Pro的积累能提高榄仁树幼苗渗透调节能力。木麻黄根浸液使幼苗叶SOD和根CAT含量显著增加,用于清除细胞内过多的活性氧,降低质膜的过氧化作用,但凋落物浸提液会降低幼苗根POD含量,可能是由于化感物质在幼苗组织中累积大量活性氧,过多POD酶转移参与清除,致使幼苗根部POD酶含量降低。植物处于逆境时不断地调整渗透调节物质和抗氧化物酶的活性和含量,这种保护机制使植物能够抵抗不良环境对自身的伤害。

参考文献:

BAI J, PAN CD, HU AH, et al, 2010. Comparison on chlorophyll

fluorescence characters of six *Walnut* varieties in Xinjiang [J]. J NW For Univ, 25(6): 13-18. [白杰, 潘存德, 胡安鸿, 等, 2010. 新疆6个核桃品种叶绿素荧光特征比较[J]. 西北林学院学报, 25(6): 13-18.]

CHEN XY, YANG M, 2013. Effect of *cauarina equisetifolia* extract on the growth of *Litsea glutinosa* seedlings [J]. Anhui Agric Sci Bull, 19(9): 39-41. [陈旭阳, 杨梅, 2013. 木麻黄水浸液对潺槁幼苗生长的影响[J]. 安徽农学通报, 19(9): 39-41.]

EINBHLILING FA, RASMUSSEN JA, SCHON MK, 1979. Effects of three phenolic acids on chlorophyll content and growth of soybean and grain sorghum seedlings [J]. J Chem Ecol, (5): 815-824

FARQUHAR GD, SHARKEY TD, 1982. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Plant Physiol, 33: 317-345.

GAO L, YANG J, LIU RX, 2009. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* [J]. Acta Ecol Sin, 29(11): 6 025-6 034. [高丽, 杨劫, 刘瑞香, 2009. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 生态学报, 29(11): 6 025-6 034.]

HU XC, WEN CS, 2009. Protection forest of Hainan Province [J]. Prot For Sci & Technol, (2): 63-64. [胡小婵, 温春生, 2009. 防护林科技, (2): 63-64.]

HUANG SJ, ZENG Q, ZHANG LH, et al, 2009. Effects of Tannin extracted from *Casuarina equisetifolia* branchlets on the growth and Tannin contents of its seedlings [J]. J Trop & Subtrop Bot, 17(5): 471-476. [黄舒静, 曾琦, 张立华, 等, 2009. 短枝木麻黄小枝单宁对其幼苗生长及单宁含量的效应[J]. 热带亚热带植物学报, 17(5): 471-476.]

KOOTEN OV, SNEL J, 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology [J]. Photosynth Res, (25): 147-150.

LI HS, SUN Q, ZHAO SJ, et al, 2000. Experiments theory and technology of plant physiology biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press; 164-261. [李合生, 孙群, 赵世杰, 等, 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社; 164-261.]

LI J, LIU Y, HONG T, et al, 2013. Physiological response of *Casuarina equisetifolia* seedlings by water culture to two allelochemicals stress [J]. J Fujian Coll For, 33(2): 113-118. [李健, 刘奕, 洪滔, 等, 2013. 木麻黄水培苗对2种化感物质胁迫的生理响应[J]. 福建林学院学报, 33(2): 113-118.]

LI L, ZHANG Y, WANG CQ, et al, 2012. Effects of *Casuarina equisetifolia* leachates on photosynthesis of *Vatica mangachapoi* Blanco seedlings [J]. Allelop J, 29(2): 231-240.

LI L, ZHANG Y, WANG CQ, et al, 2014. Effects of leachates of *Casuarina equisetifolia* on photosynthesis and antioxidant enzymes of *Vatica mangachapoi* seedlings [J]. Allelop J, 33(2): 189-200.

LIN WX, 2009. Effect of autotoxicity on endogenous hormones [J]. Chin Agric Sci Bull, 25(19): 100-103. [林武星, 2009. 木麻黄自毒作用物对其幼苗内源激素的影响[J]. 中国农学通报, 25(19): 100-103.]

LIN WX, HONG W, YE GF, 2005. Effect of water extract from *cauarina equisetifolia* on its seedling growth [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 27(1): 46-51. [林武星, 洪伟, 叶功富, 2005. 木麻黄水浸液对其幼苗生长的影响[J]. 江西农业大学学报, 27(1): 46-51.]

(下转第260页 Continue on page 260)