doi:10.6043/j.issn.0438-0479. 201611048

**外来红树植物拉关木对木榄的化感作用**

王秀丽1，卢昌义1,2\*，周 亮1,2，陈锦钗2，傅 蓉2，

许诗琳2，陈 浩2，刘毅伟2

(1.厦门大学环境与生态学院 福建 厦门 361102；2.厦门大学嘉庚学院环境科学与工程学院福建 漳州 363105)[[1]](#footnote-3)

**摘要**：探讨外来速生红树植物拉关木（*Laguncularia racemosa*）扩张过程中潜在的化感作用，为其入侵风险评估提供参考。通过室内栽培实验测定拉关木根、枝、叶、果的水浸液不同质量浓度（即0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 g/mL）对木榄（*Bruguiera gymnorhiza*）幼苗生长的化感作用。结果表明，各器官水浸液对木榄幼苗生长的影响均表现为“低促高抑”，浓度为0.5 g/mL时，抑制作用最强。各器官水浸液对木榄幼苗生长的抑制作用为: 枝＞果＞根＞叶。各器官水浸液对木榄幼苗叶绿素含量均表现为“低促高抑”；木榄幼苗根系活力随拉关木根、叶、果的水浸液浓度的升高呈先升后降的变化趋势，而在枝的水浸液各浓度处理下，木榄幼苗的根系活力呈下降的变化趋势；丙二醛含量、游离脯氨酸含量和相对电导率大小均随各器官水浸液浓度的增加呈先降后升的变化趋势。

**关键词**：拉关木；木榄；幼苗生长；生理；生化；化感作用

**中图分类号**：Q 945.79 **文献标识码**：A

拉关木(*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F.)，属于使君子科（Combretaceae），是真红树植物的一种，广泛分布于南美、西印度群岛、百慕大群岛、西非、以及佛罗里达沿岸[1]，1999年从墨西哥拉巴斯市引入海南东寨港红树林区[2]。拉关木具有生长速度快、树高茎粗、适应能力强等特性，广泛用作我国河口海岸带红树林造林的先锋树种[3]。近年来，在广东、福建等地也陆续引进该种造林[4]。由于拉关木的速生快长特性，其引进是否会造成入侵值得关注。在外来植物入侵机制中，化感作用被认为外来入侵植物成功入侵新自然生境的潜在机制之一，近年越来越受到重视[5]。

目前国内外对拉关木的研究主要集中在生物学特征[6-7]、引种[3]、抗性[8]、化学物质成分[9-10]及污水净化[11]等方面，关于拉关木各器官水浸液在化感作用方面的研究尚未见报道。本文研究了拉关木各器官水浸液对我国乡土红树植物木榄幼苗生长及生理生化的影响，探索拉关木对受体红树植物木榄幼苗的化感作用效应，有助于了解该外来种对生态环境的影响,为今后合理推广利用该树种以及红树林生态系统的保护管理提供参考。

1. **材料与方法**

**1.1 材料**

实验于2015年8—12月进行。供体植物拉关木采自福建漳州龙海红树林区，受体材料木榄胚轴也采自邻近的红树林区。

**1.2水浸液的制备**

水浸液的制备参照李玫等[12]的无瓣海桑水浸液的制备方法，略加改动：采集拉关木新鲜根、枝、叶和果样品，将采回的样品带回室内洗净、称重量，将各器官剪碎（＜2 cm），分别放入塑料桶中，按比例加蒸馏水配置成质量浓度为0.5 g/mL的溶液，浸泡期间，每隔12 h搅拌10 min，3 d后用双层纱布过滤2次制成母液，置于带盖的塑料瓶中4 ℃冰箱保存备用。

待处理实验苗时，从冰箱取出拉关木的根、枝、叶、果的母液，分别按比例加入蒸馏水配置成质量浓度为0.1，0.2，0.3，0.4，0.5 g/mL的水浸液。使用前取出放置一段时间，避免骤冷对受体幼苗的影响。

**1.3试验设计**

木榄幼苗培育：所用的试验花盆为高17 cm，直径21 cm，盆内基质为漳州龙海红树林区采集的海沙，每盆种植8支胚轴，共63盆，每3 d浇适量水，待苗生长15 d时，对每盆幼苗浇500 mL的红树林营养液，营养液的配置参照李春强等[13]的“红树林营养液”配方，略加改动（配方：1000 mL蒸馏水中加入以下成分：Ca(NO3)2 1.0 g，NaH2PO4 0.25 g，FeCl 0.005 g，MgSO4 0.25 g，KCl 0.12 g）。本实验中木榄幼苗的培育主要在实验室走廊的空间，温度、光照均较稳定，条件接近自然，雨水不会淋到培育的苗。待木榄幼苗定植1个月后，对其进行化感处理。

受体植物化感处理参照李玫等[12]的受体植物白骨壤的处理方法，略加改动。将供体拉关木的根、枝、叶、果的水浸液分别设置 5个不同质量浓度处理组（0.1，0.2，0.3，0.4，0.5 g/mL）和1个对照组。每组3盆，每隔10 d每盆加入相应质量浓度的水浸液50 mL，对照组加入清水，试验时间持续2个月。

**1.4生长和产量指标**

化感处理2各月后，各器官各浓度处理每盆随机拔出3株幼苗，带回实验室洗净，用直尺测量木榄苗高和根长；用电子天平称取木榄植株的鲜重。

**1.5 生理生化指标测定**

处理2个月后，取生长一致的幼苗成熟叶片（从植株顶部往下第2对叶片）测定各生理指标。叶绿素含量测定参照李得孝[14]的混合液浸提法；根系活力的测定参照张志良[15]描述的方法并略作改进；游离脯氨酸含量测定用酸性茚三酮比色法[16]；采用赵世杰等[17]的硫代巴比妥酸（TBA）比色法测定木榄幼苗叶片的丙二醛（MDA）含量；质膜透性的测度采用相对电导率法。

**1.5 数据统计分析**

采用Williamson[18]的方法分析化感效应指数。*RI*＝1-*C*/*T*。式中，*C* 为对照值，*T*为处理值,*RI*为化感效应指数。其中，*RI*＞0 为促进作用，*RI*＜0 为抑制作用，其绝对值的大小与强度一致（绝对值的大小代表化感效应的强弱）。最后对所有受体所受的化感作用的生长指标进行综合评价，综合效应指数(SE)为供体对同一受体所测的几个生长指标的*RI*值的算数平均值[19]。采用SPSS 17.0软件进行数据统计进行单因素方差分析。

1. **结果与分析**

**2.1拉关木水浸液对木榄幼苗生长的影响**

拉关木各器官水浸液对木榄幼苗根长的影响存在一定的差异（图1）。各浓度枝的水浸液均对木榄根长存在显著抑制作用（*p*＜0.5），随着浓度的升高，抑制作用增强。木榄根长在根、叶水浸液浓度为0.1～0.4 g/mL时均呈先升后降趋势，与对照均无显著差异（*p*＞0.5）, 0.5 g/mL时，对木榄幼苗根长有显著抑制作用（*p*＜0.5）。木榄根长在果的水浸液浓度为0.1～0.3 g/mL时呈先升后降趋势，与对照均无显著差异（*p*＞0.5），0.4～0.5 g/mL时显著抑制根长生长（*p*＜0.5）。

根、枝、叶水浸液对木榄苗高的影响均表现为“低促高抑”，而果的水浸液对木榄苗高的影响则表现为持续抑制作用。在果的水浸液浓度为0.5 g/mL时，显著抑制木榄苗高生长（*p*＜0.5）。在根的水浸液浓度为0.1～0.2 g/mL时，显著促进木榄苗高生长（*p*＜0.5），在0.3 g/mL，促进作用不显著，而在0.4～0.5 g/mL时，抑制木榄苗高生长，与对照差异不显著。在枝的水浸液浓度为0.1 g/mL时，显著促进木榄苗高生长（*p*＜0.5），在0.2～0.4 g/mL时，促进作用不显著，而在0.5 g/mL时，抑制木榄苗高生长，与对照差异不显著。所有浓度叶水浸液对木榄苗高的影响与对照差异不显著。

拉关木各器官水浸液对木榄幼苗鲜重均具有“低促高抑”效应。0.1～0.3 g/mL各器官水浸液对木榄幼苗鲜重具有不同程度促进作用，其中0.1 g/mL的根、枝、叶水浸液对木榄幼苗鲜重具有显著促进作用（*p*＜0.5），而0.2 g/mL的果水浸液对木榄幼苗鲜重具有显著促进作用（*p*＜0.5）。0.4～0.5 g/mL的各器官水浸液对木榄幼苗鲜重具有不同程度的抑制作用，其中0.5 g/mL的根和果水浸液对木榄鲜重的抑制作用显著（*p*＜0.5）。



同种条纹柱子为同一器官水浸液不同小写字母表示处理间差异达显著水平（*p*＜0.05），下同。

图1 拉关木水浸液对木榄幼苗生长的影响

Fig.1 Effects of aqueous extracts of *L. racemosa* on seedling growth of *B. gymnorhiza*

从表1可知，拉关木各器官水浸液对木榄幼苗的根长、苗高、鲜重均具有不同程度化感效应，根、枝、叶水浸液对木榄根长的化感作用效应强于苗高和鲜重，而果的水浸液对木榄苗高的化感效应强于根长和鲜重。根的水浸液浓度为0.1 g/mL时，对木榄幼苗生长的促进作用最强，SE1达0.139。从SE2绝对值可知，拉关木根、枝、叶、果的水浸液对木榄幼苗生长的抑制效果为枝＞果＞根＞叶。

表1拉关木水浸液对木榄幼苗生长的化感效应指数比较

Tab.1 Compared results of aqueous extracts of *L. racemosa* on allelopathic effects ofseedling growth of *B. gymnorhiza*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 器官 | 质量浓度/(g·mL-1) | 化感效应指数*RI* | 化感综合效应SE |
| 根长/(cm) | 苗高/(cm) | 鲜重/(g) | SE1 | SE2 |
| 根 | 0.0 |  0.000 |  0.000 |  0.000 |  0.000 | -0.023 |
| 0.1 |  0.120 |  0.124 |  0.174 |  0.139 |
| 0.2 | -0.009 |  0.199 |  0.101 |  0.097 |
| 0.3 | -0.066 |  0.095 |  0.054 |  0.028 |
| 0.4 | -0.203 | -0.034 | -0.164 | -0.134 |
| 0.5 | -0.334 | -0.109 | -0.358 | -0.267 |
| 枝 | 0.0 |  0.000 |  0.000 |  0.000 |  0.000 | -0.126 |
| 0.1 | -0.100 |  0.132 |  0.191 |  0.074 |
| 0.2 | -0.361 |  0.096 |  0.150 | -0.038 |
| 0.3 | -0.483 |  0.076 |  0.008 | -0.133 |
| 0.4 | -0.704 |  0.038 | -0.105 | -0.257 |
| 0.5 | -0.979 | -0.107 | -0.117 | -0.401 |
| 叶 | 0.0 |  0.000 |  0.000 |  0.000 |  0.000 | -0.006 |
| 0.1 |  0.058 |  0.062 |  0.294 |  0.138 |
| 0.2 | -0.057 |  0.069 |  0.195 |  0.069 |
| 0.3 | -0.145 |  0.005 |  0.100 | -0.013 |
| 0.4 | -0.173 | -0.082 |  0.039 | -0.072 |
| 0.5 | -0.348 | -0.095 | -0.034 | -0.159 |
| 果 | 0.0 |  0.000 |  0.000 |  0.000 |  0.000 | -0.117 |
| 0.1 |  0.018 | -0.006 |  0.048 |  0.020 |
| 0.2 |  0.105 | -0.044 |  0.145 |  0.069 |
| 0.3 | -0.331 | -0.043 |  0.049 | -0.108 |
| 0.4 | -0.353 | -0.066 | -0.189 | -0.204 |
| 0.5 | -0.535 | -0.221 | -0.680 | -0.479 |

注：SE1为同一器官同一浓度根长、苗高、鲜重*RI*值的算数平均值，SE2为同一器官不同浓度SE1的算数平均值。

**2.2拉关木水浸液对木榄幼苗生理生化的影响**

**2.2.1拉关木水浸液对木榄幼苗叶片叶绿素含量的影响**

由表2可知，木榄幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量随拉关木各器官水浸液浓度的升高，呈“低促高抑”的变化趋势。根、枝、果的水浸液浓度为0.2 g/mL时，木榄叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量均有显著促进作用（*p*＜0.5），叶的水浸液浓度为0.1 g/mL时，木榄叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量均有显著促进作用（*p*＜0.5）。在0.4～0.5 g/mL的各器官水浸液对木榄幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量的抑制作用显著（*p*＜0.5）。

表2 拉关木水浸液对木榄幼苗叶片叶绿素含量的影响

Tab.2 Effect of extracts from *L. racemosa* on leaf chlorophyll content of *B. gymnorhiza*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 器官 | 水浸液/(g∙mL-1) | 叶绿素a含量/(mg∙g-1) | 叶绿素b含量/(mg∙g-1) | 总叶绿素含量/(mg∙g-1) |
| 根 | 0.0 | 0.576 5±0.005 7 c | 0.219 4±0.006 2 b | 0.795 9±0.012 1 c |
| 0.1 | 0.638 9±0.006 1 e | 0.258 7±0.009 6 c | 0.897 5±0.013 4 e |
| 0.2 | 0.658 5±0.022 0 e | 0.263 1±0.017 6 c | 0.921 6±0.038 8 e |
| 0.3 | 0.609 5±0.006 9 d | 0.250 8±0.004 1 c | 0.860 3±0.010 9 d |
| 0.4 | 0.444 4±0.015 9 b | 0.150 7±0.007 9 a | 0.595 1±0.023 6 b |
| 0.5 | 0.393 1±0.005 6 a | 0.146 9±0.002 3 a | 0.539 9±0.006 4 a |
| 枝 | 0.0 | 0.576 5±0.005 7 a | 0.219 4±0.006 2 a | 0.795 9±0.012 1 a |
| 0.1 | 0.685 9±0.003 9 b | 0.255 6±0.001 1 b | 0.941 5±0.004 2 b |
| 0.2 | 0.814 5±0.012 9 c | 0.308 5±0.007 5 c | 1.123 0±0.020 0 c |
| 0.3 | 0.567 5±0.113 5 a | 0.200 5±0.047 9 a | 0.767 9±0.161 0 a |
| 0.4 | 0.555 4±0.005 8 a | 0.196 1±0.001 3 a | 0.751 5±0.004 6 a |
| 0.5 | 0.491 9±0.011 8 a | 0.184 7±0.001 4 a | 0.676 7±0.013 1 a |
| 叶 | 0.0 | 0.576 5±0.005 7 b | 0.219 4±0.006 2 c | 0.795 9±0.012 1 b |
| 0.1 | 0.617 9±0.004 4 c | 0.268 2±0.005 2 d | 0.886 1±0.000 8 c |
| 0.2 | 0.572 6±0.005 6 b | 0.202 2±0.000 6 b | 0.774 8±0.005 8 b |
| 0.3 | 0.518 5±0.007 9 a | 0.183 4±0.003 7 a | 0.701 8±0.011 5 a |
| 0.4 | 0.510 5±0.019 1 a | 0.190 7±0.005 7 a | 0.701 2±0.024 7 a |
| 0.5 | 0.506 9±0.012 9 a | 0.192 4±0.010 0 ab | 0.699 3±0.022 9 a |
| 果 | 0.0 | 0.576 5±0.005 7 b | 0.219 4±0.006 2 c | 0.795 9±0.0121 b |
| 0.1 | 0.659 4±0.002 0 c | 0.239 1±0.003 3 d | 0.898 4±0.0052 c |
| 0.2 | 0.747 5±0.003 1 d | 0.305 4±0.006 6 e | 1.052 8±0.0096 d |
| 0.3 | 0.597 7±0.016 3 b | 0.225 9±0.006 3 c | 0.823 6±0.0237 b |
| 0.4 | 0.541 8±0.020 3 a | 0.201 9±0.006 7 b | 0.743 6±0.0289 a |
| 0.5 | 0.541 1±0.006 2 a | 0.182 7±0.001 4 a | 0.723 8±0.0083 a |

注:同列数据同一器官水浸液不同小写字母表示处理间差异达显著水平（*p*＜0.05）。

**2.2.2拉关木水浸液对木榄幼苗根系活力的影响**

木榄幼苗根系活力随拉关木不同器官水浸液浓度的增大表现不同（图2）。随着拉关木根、叶、果的水浸液浓度的增大，木榄幼苗根系活力呈先升后降的变化趋势，在根、叶、果的水浸液浓度为0.4～0.5 g/mL时，木榄幼苗根系活力均比对照弱，且与对照比差异显著（*p*＜0.5）；在叶的水浸液浓度为0.1～0.2 g/mL时，木榄幼苗根系活力均比对照强，分别比对照升高了26.0%和15.4%；在果的水浸液浓度为0.1～0.2 g/mL时，木榄幼苗根系活力均比对照强，分别比对照升高了25.0%和24.1%。随着拉关木枝的水浸液浓度的增大，木榄幼苗根系活力呈下降的变化趋势，在拉关木枝的水浸液浓度为0.1～0.5 g/mL时，木榄幼苗根系活力均比对照弱，且与对照比差异显著（*p*＜0.5）。

图2拉关木水浸液对木榄幼苗根系活力的影响

Fig. 2 Effect of extracts from *L. racemosa* on root activity of *B. gymnorhiza*

**2.2.3拉关木水浸液对木榄幼苗叶片电导率的影响**

随着拉关木各器官水浸液浓度的升高，木榄幼苗叶片的相对电导率均呈上升的变化趋势，不同器官水浸液对木榄幼苗叶片相对电导率的化感作用强度不同（图3）。在根、枝和叶的水浸液浓度为0.5 g/mL时，木榄幼苗叶片相对电导率值与对照组相比差异显著（*p*＜0.5），相对电导率达最大值，分别比对照组升高了142.5%、169.8%和65.5%。果的水浸液各处理浓度下的木榄叶片相对电导率与对照差异不显著（*p*＞0.5）。

图3拉关木水浸液对木榄幼苗叶片相对电导率的影响

Fig. 3 Effect of extracts from *L. racemosa* on leaf relative conductivity of *B. gymnorhiza*

**2.2.4拉关木水浸液对木榄幼苗叶片MDA及游离脯氨酸含量的影响**

木榄幼苗叶片的MDA含量随拉关木不同器官水浸液浓度的增大表现不同（图4）。随着根、枝、果的水浸液浓度的增大，木榄幼苗叶片的MDA含量呈先降后升的变化趋势，在根、枝和果的水浸液浓度为0.5 g/mL时，木榄幼苗叶片的MDA含量与对照差异显著（*p*＜0.5），比对照组升高了50.8%、30.9%和24.7%。随着叶水浸液浓度的增大，木榄幼苗叶片的MDA含量呈上升的变化趋势，在叶水浸液浓度为0.5 g/mL时，木榄幼苗叶片的MDA含量与对照差异显著（*p*＜0.5），比对照组升高了31.2%。木榄幼苗叶片的游离脯氨酸含量随拉关木各器官水浸液浓度的增大呈先降后升的变化趋势（图5）。在各器官水浸液浓度为0.1～0.3 g/mL时，木榄幼苗叶片的游离脯氨酸含量与对照组相比差异不显著。在根、枝、叶、果水浸液浓度为0.5 g/mL时，木榄幼苗叶片的游离脯氨酸含量与对照组相比差异显著，分别比对照组升高了29.6%、14.1%、23.8%和26.4%。

图4拉关木水浸液对木榄幼苗叶片MDA含量的影响

Fig.4 Effect of extracts from *L. racemosa* on leaf MDA content of *B. gymnorhiza*

图5 拉关木水浸液对木榄幼苗叶片游离脯氨酸含量的影响

Fig. 5 Effect of extracts from *L. racemosa* on leaf free proline content of *B. gymnorhiza*

1. **讨 论**

植物化感作用的影响主要体现在对受体植物幼苗生长及生理生化的改变等方面[20]。化感作用强度与水浸液提取方式、化感物质来源、化感物质浓度以及受体植物的敏感性有关[21]。在自然状态下，水是植物的天然溶剂将植物中的化学物质淋溶出来[22]，因此本研究采用水浸提的方法来提取拉关木各器官的化感物质。研究表明，拉关木各器官水浸液对木榄幼苗的生长的影响基本表现为“低促高抑”。罗通等[23]研究发现，化感物质对早期植物幼苗生长的抑制作用将导致植株矮小，使植物根系变小，直接影响植株未来的生长发育。本研究结果验证了上述研究发现，拉关木各器官水浸液浓度≥0.4 g/mL时,木榄幼苗根长、苗高、鲜重均表现出化感抑制作用，且随水浸液浓度的增加抑制作用增强。前人[12,24]研究发现同一供体植物不同器官水浸液对受体植物幼苗生长的化感作用强度不同。本试验发现，相同浓度处理下，木榄幼苗根长的生长受拉关木枝的水浸液的影响明显大于根、叶、果的水浸液。而木榄幼苗苗高的生长受果水浸液的影响明显大于根、枝、叶的水浸液。从木榄幼苗生长的化感综合效应可知，拉关木化感作用的特征之一是具有“低促高抑”的双重浓度效应，拉关木不同器官水浸液对木榄幼苗化感作用大小依次为枝＞果＞根＞叶。

“低促高抑”是植物化感作用中经常观察到的现象[25-26]。有研究认为低浓度条件下的促进作用和光合效率提高有关[27]。叶绿素是植物吸收、转换光能的主要色素[28]。本文结果也发现，拉关木各器官水浸液对木榄幼苗叶绿素含量的化感效应表现为“低促高抑”的规律。当拉关木各器官水浸液浓度为0.1～0.2 g/mL时，木榄幼苗叶片叶绿素含量高于对照，与上述拉关木各器官水浸液低浓度下促进木榄幼苗生长的结果相一致。当拉关木各器官水浸液浓度≥0.4 g/mL时，木榄幼苗叶片叶绿素含量迅速下降，表明拉关木各器官水浸液通过降低木榄幼苗叶绿素含量，降低其净同化量。

正常情况下, 植物细胞内活性氧自由基的产生和清除处于动态平衡,但当植物遭受逆境胁迫时，活性氧自由基在细胞内大量积累，导致细胞内膜脂过氧化作用，影响植物的正常生长[29]。MDA和游离脯氨酸是细胞膜脂过氧化的主要产物，通常以其含量的高低来判断细胞膜脂过氧化的主要指标[30]。本试验中，木榄幼苗叶片MDA和游离脯氨酸含量在拉关木各器官水浸液低浓度（0.1 g/mL）处理下均有所下降，而在拉关木各器官水浸液浓度达0.5 g/mL时，MDA含量和游离脯氨酸含量呈显著升高，这可能是木榄幼苗体内过氧化物增多而启动的一种应激机制。随着各器官水浸液处理浓度的升高，木榄幼苗的叶片相对电导率呈上升趋势，这与易自成等[31]对麦冬不同部位水浸液对5种植物的化感作用研究相似。

作物根系具有吸收水分、无机盐、以及物质合成和转换等功能，因此，根系活力的强弱对整个植株的生长发育具有重要影响，同时也是衡量根系逆境伤害程度的重要参数[32]。前人[33-34]研究表明，植物化感物质对受体植物的根系活力产生影响。本试验中，木榄幼苗在拉关木根、叶、果水浸液低浓度（0.1 g/mL）处理时，其根系活力增强，在高浓度（0.4～0.5 g/mL）处理时，根系活力均低于对照，而拉关木枝的水浸液各浓度处理下的木榄幼苗根系活力均低于对照，表明拉关木枝水浸液对木榄幼苗根长生长的影响最大。这与上述拉关木各器官水浸液对木榄幼苗根长生长的影响结果一致。说明木榄幼苗根长受到抑制与根系活力的变化有关。

“低促高抑”现象的存在表明自然环境中化感物质的浓度是决定其作用的关键因素，因此确定化感物质在野外自然条件下的实际浓度对研究植物化感作用具有重要的生态学意义[24]。本研究仅表明拉关木对木榄幼苗具有潜在的化感作用，是在实验室条件下以水浸液处理对木榄幼苗生长，叶片生理生化的影响，还不能完全反映其在自然条件下的化感作用规律。但野外自然状态下植物化感作用相当复杂。因此，拉关木化感作用仍有待更深入研究，以进一步明确其化感物质和作用机理等，以期为引进红树植物种拉关木的风险评估提供参考。

**参考文献：**

[1] Nellis D W. Seashore plants of South Florida and the Caribbean [M]. Sarasota: Pineapple Press, 1994: 164.

[2] 廖宝文,郑松发,陈玉军,等.海南东寨港几种国外红树植物引种初报[J].中南林学院学报,2006,26 (3):63- 67.

[3] 林文欢,詹潮安,郑道序,等.粤东沙质滩涂6种红树林树种造林试验研究[J].广东林业科技,2014,30(2):69- 71.

[4] 钟才荣,李诗川,杨宇晨,等. 红树植物拉关木的引种效果调查研究[J].福建林业科技,2011,(38)3:96- 99.

[5] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions[J].Science, 2003, 301:1377-1380.

[6] Landry C L, Rathcke B J. Insect visitation rates and foraging patterns differ in androdioecious and hermaphrodite-only populations of *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) in Florida. Journal of Tropical Ecology, 2012, 28: 343-351.

[7] Hiulana P A, Iara S, Walter L O C. Functional traits of selected mangrove species in Brazil as biological indicators of different environmental conditions[J]. Science of the Total Environment, 2014, 476: 496-504.

[8] 卢昌义,林 松.盐度对拉贡木种子发芽的影响[J].厦门大学学报(自然科学版),2008,47(6):887- 890.

[9] 姚贻烈,郑 华,陆小峰,等. 广西北海拉关木挥发物的ATD- GC/MS 分析及安全性评价[J].广西植物, 2016,36(6):758- 762.

[10] Shi C, Xu M J, Mirko B, et al. Phenolic compounds and their anti-oxidative properties and protein kinase inhibition from the Chinese mangrove plant *Laguncularia racemosa*. Phytochemistry, 2010, 71: 435- 442.

[11] Vanessa S, Vanessa S C, Renata M R, et al. Physiological aspects of mangrove (*Laguncularia racemosa*) grown in microcosms with oil-degrading bacteria and oil contaminated sediment. Environmental Pollution, 2013, 172: 243-249.

[12] 李玫,廖宝文,郑松发,等.无瓣海桑对乡土红树植物的化感作用[J].林业科学研究,2004, 17(5):641- 645.

[13] 李春强,刘志昕,黎娟华,等.红树植物化感作用对中肋骨条藻生长的影响[J].热带作物学报,2009,30 (6):862- 867.

[14] 李得孝,员海燕.混合液浸提法测定玉米叶绿素含量的研究[J].玉米科学,2006,14(1):117- 119.

[15] 张志良.植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,1990.59-62.

[16] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.

[17] 赵世杰,刘华山,董新纯.植物生理学实验指导[M].中国农业科技出版社,1998:161- 163.

[18] 余婷.白三叶(*Trifolium repens*)根系分泌物的化感作用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013**.**

[19] 董红云,李 亚,汪 庆,等.外来入侵植物牛膝菊和野茼蒿水浸提液化感作用的生物测定[J]．植物

资源与环境学报,2010,19(2):48- 53．

[20] 胡元彬, 陈俊, 肖天昊, 等. 劲直黄芪水浸提液化感作用研究. 草业学报, 2013,22(6):136-142.

[21] 林娟, 殷全玉, 杨丙钊, 等. 植物化感作用研究进展. 中国农学通报,2007,(1):68-72.

[22] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题. 应用生态学报, 1998,(3):109-113.

[23] 罗通,黄鹤平,李凤姣. 麻疯树叶水浸提液对 4 种农作物的化感作用[J]. 四川大学学报（自然科学版）,2014,51(6):1325- 1329.

[24] 叶小齐,吴明,邵学新,等. 芦苇(*Phragmites australis*)抑制四种植物扩散的化感潜力研究[J].生态科学,2015,34(6):48- 55.

[25] 周志红,骆世明,牟子平.番茄(*Lycopersicon*)的化感作用研究[J].应用生态学报,1997,8(4):445–449.

[26] 王蓓,蔡靖,姜在民,等.核桃叶水浸液对四种作物的化感作用[J].干旱地区农业研究,2011,29(4):47- 52.

[27] Cedergreen N, Olesen C F. Can glyphosate stimulate photosynthesis?[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2010, 96(3): 140–148.

[28] Walter L.植物生态生理学[M].翟志席,郭玉海,马永泽,等译.北京:化学工出版社,2004.

[29] Liu Q, Yang J L, He L S, et al. Effect of aluminum on cell wall, plasma membrane, antioxidants and root elongation in triticale[J]. Biology Plant, 2008, 52(1):87-92.

[30] Ding J, Sun Y, Xiao C L, et al. Physiological basis of different allelopathic reaction of cucumber and fig leaf gourd plants to cinnamic acid[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58 (13): 3765-3773.

[31] 黄建国. 黄花蒿的化感效应[J]. 山地农业生物学报, 2015,34(4):001- 008.

[32] 黄益宗,张文强,招礼军,等. Si对盐胁迫下水稻根系活力、丙二醛和营养元素含量的影响[J].生态毒理学报,2009,4(6):860- 866.

[33] 张冬雨,金燕,吕波,等. 加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)水浸提液对小麦的化感作用及机制[J].南京农业大学学报 2014,37(5):87- 92.

[34] 杨莉,朱艳,崔秀明,等. 三七植株残体降解物对小麦根系活力及生理生化指标的影响[J].西南农业学报,2015,28(5):1961- 1964.

**Allelopathic Effects of Aqueous Extracts from Exotic Mangrove Species of *Laguncularia racemosa* on**

***Bruguiera gymnorhiza***

WANG Xiuli1, LU Changyi1, 2, ZHOU Liang1, 2，CHENG Jinchai2,

 FU Rong2, XU Shilin2, CHEN Hao2, LIU Yiwei2

(1.College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2.Department of Environmental Science and Engineering, Tan Kah Kee College, Xiamen University, Zhangzhou 363105, China )

**Abstract**: In order to provide reference for the invasion risk assessment of fast-growing alien mangrove species of *Laguncularia racemosa*, the aqueous extracts from *L. racemosa* was used to search the allelopathic effects on seedling growth of *Bruguiera gymnorhiza*. The seedlings of *B. gymnorhiza* were investigated in a cultivation with five concentrations (i.e. 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 g/mL) of aqueous extracts from different organs of *L. racemosa*. Results showed that the aqueous extracts from *L. racemosa* had significant allelopathic effects on *B. gymnorhiza*. The extracts promoted at the lower concentrations and inhibited at the higher ones the seedling growth of *B. gymnorhiza*. The inhibition was the most intensive by treatment with 0.5 g/mL of the aqueous extracts．The order of inhibitory effects of different organs of *L. racemosa* was: stem> fruit > root >leaves. The extracts also promoted at the lower concentrations and inhibited at the higher ones the chlorophyll content of *B. gymnorhiza*. With the increase concentration of aqueous extracts of root, leaves, and fruits of *L. racemosa*, the root activity of *B. gymnorhiza* showed the trend of first rise and then decrease. While, with the increase concentration of aqueous extract of stem of *L. racemosa*, the root activity of *B. gymnorhiza* showed the trend of decrease. With the increase concentration of aqueous extract of *L. racemosa*, the MDA content, the free proline content and the relative conductivity of the leaves of *B. gymnorhiza* showed the trend of first decrease and then rise. The structures of the chloroplasts and mitochondria were basically destroyed in high concentration treatments.

**Key words**: *Laguncularia racemosa*; *Bruguiera gymnorhiza*; seedling growth; physiology; biochemistry; allelopathy

1. **收稿日期：**2016-11-22 **录用日期：**2017-02-13

**基金项目**：国家自然科学基金（41376115）；国家级大学生创新创业训练计划项目（201513469002，201613469011）

\***通信作者**：lucy@xmu.edu.cn [↑](#footnote-ref-3)