

DOI: 10.20103/j.stxb.202209282752

陈顺洋, 邢炳鹏, 薛志勇, 朱红晔, 陈彬, 俞炜炜, 安文硕, 陈光程. 红树林恢复初期莱氏锥滨螺分布动态. 生态学报, 2023, 43(19): 8099-8108.  
Chen S Y, Xing B P, Xue Z Y, Zhu H Y, Chen B, Yu W W, An W S, Chen G C. Distribution dynamics of the *Mainwaringia leithii* (Gastropoda, Littorinidae) in the mangroves at early stage of rehabilitation. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(19): 8099-8108.

## 红树林恢复初期莱氏锥滨螺分布动态

陈顺洋<sup>1,2,3</sup>, 邢炳鹏<sup>1</sup>, 薛志勇<sup>4</sup>, 朱红晔<sup>1,5</sup>, 陈彬<sup>1,2,3</sup>, 俞炜炜<sup>1,2,3</sup>, 安文硕<sup>1,2,3</sup>, 陈光程<sup>1,2,3,\*</sup>

1 自然资源部第三海洋研究所, 厦门 361005

2 自然资源部海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

3 福建省海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

4 漳州市龙海区林业局浮宫林业工作站, 漳州 363104

5 中国海洋大学海洋与大气学院, 青岛 266100

**摘要:** 树栖腹足类动物是红树林底栖动物的重要组成部分, 其组成和分布受到红树植被的影响。因此, 在红树林生态修复中, 腹足类动物的恢复依赖于植被的发育。滨螺科 (Littorinidae) 锥滨螺属 (*Mainwaringia*) 动物是亚洲红树林的广布种, 但针对其在红树林中的分布及种群特征的研究较少, 对红树林植被恢复过程中锥滨螺属动物的恢复动态更是鲜有研究。调查了厦门下潭尾湿地秋茄 (*Kandelia obovata*) 红树林恢复初期, 新记录种莱氏锥滨螺 (*Mainwaringia leithii*) 种群恢复的时间动态, 并分析其与植被参数的关系。研究发现, 红树林恢复初期, 秋茄植被生长迅速, 株高、冠幅、基径和覆盖度分别由 0.5 年生幼林的 41.3 cm、25.0 cm、1.04 cm 和 25% 增长为 8 年生样地的 179.2 cm、76.7 cm、5.96 cm 和 95%。在秋茄胚轴种植 6 个月左右开始记录到莱氏锥滨螺的个体, 其密度和生物量在 1.5 a 后达到最大 (分别为 136 个/m<sup>2</sup> 和 1.86 g/m<sup>2</sup>), 而后逐渐降低, 种植 3 a 后秋茄林内莱氏锥滨螺仅零星分布。除 8 年生的样地, 莱氏锥滨螺的个体大小随恢复时间的变化特征与其密度相反, 在 1.5 a 和 2 a 个体相对较小。结果表明, 莱氏锥滨螺是下潭尾秋茄红树林常见的树栖软体动物, 其种群快速响应红树林植被的恢复, 这种恢复动态可能与植被发育过程中栖息环境的变化有关。

**关键词:** 红树林; 恢复时间; 莱氏锥滨螺; 秋茄; 树栖

## Distribution dynamics of the *Mainwaringia leithii* (Gastropoda, Littorinidae) in the mangroves at early stage of rehabilitation

CHEN Shunyang<sup>1,2,3</sup>, XING Bingpeng<sup>1</sup>, XUE Zhiyong<sup>4</sup>, ZHU Hongye<sup>1,5</sup>, CHEN Bin<sup>1,2,3</sup>, YU Weiwei<sup>1,2,3</sup>, AN Wenshuo<sup>1,2,3</sup>, CHEN Guangcheng<sup>1,2,3,\*</sup>

1 Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China

2 Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China

3 Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China

4 Fugong Forestry Work Station, Longhai District Forestry Bureau, Zhangzhou 363104, China

5 College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

**Abstract:** Arboreal gastropods comprise an important component of the mangrove benthic faunal community, and their composition and distribution patterns are affected by the characteristics of mangrove vegetation. Therefore, following the mangrove rehabilitation, the dynamic of gastropod community is strongly related to the development of vegetation. As one of

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (42176171); 自然资源部专项业务费项目-海洋湿地资源调查监测与评估; 中国-东盟海洋保护地网络建设项目

**收稿日期:** 2022-09-28; **网络出版日期:** 2023-05-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gc.chen@tio.org.cn

the few gastropods highly associated with mangrove habitats, snail species of *Mainwaringia* genus belonging to the Littorinidae family are widespread in Asian mangroves. However, there are few studies on the distribution and population characteristics of *Mainwaringia* species in mangroves, and information of the dynamics of *Mainwaringia* population following mangrove rehabilitation is even scarce. In this study, we investigated the distribution and temporal dynamics of abundance of a newly recorded species, *Mainwaringia leithii*, in young *Kandelia obovata* stands in the early rehabilitation stage in Xiatanwei, Xiamen City, China. The density and abundance of *M. leithii* snails, and the vegetation characteristics were continuously measured since 0.5-a after plantation of *K. obovata* using propagules at the mudflat. The plant height, crown diameter, basal stem diameter and canopy coverage of *K. obovata* were 41.3 cm, 25.0 cm, 1.04 cm and 25%, respectively at the 0.5-a-old stand, and increased to 179.2 cm, 76.7 cm, 5.96 cm and 95%, respectively, at the 8-a-old stand. *M. leithii* individuals were found soon after the mangrove rehabilitation (i.e., 0.5 a), with respective density and biomass of 12 ind/m<sup>2</sup> and 0.29 g/m<sup>2</sup>. The *M. leithii* population reached a maximum abundance at the 1.5-a-old stand, and their density and biomass were 136 ind/m<sup>2</sup> and 1.86 g/m<sup>2</sup>, respectively. Nevertheless, the present study recorded a decrease in the abundance of *M. leithii* snails in the subsequent sampling campaigns, i.e., the density decreased to 61 ind/m<sup>2</sup> in the 2-a-old stand, while it was even more less, with no more than 10 ind/m<sup>2</sup> at the 8-a-old stand. The shell height of *M. leithii* samples collected in this study ranged from 1.90 to 8.14 mm, and 80% of the samples fell into a range between 3 mm and 7 mm. The shell height of snails presented a temporal change in association with the stand age and snail density. Small-sized *M. leithii* snails, with a shell height between 3—6 mm comprised a large proportion (~70%) of those collected at the 1.5-a and 2-a-old stands, wherein the snails occurred in large numbers. Contrarily, at mangrove stands with other age classes (except at the 8-a-old stand) where low snail densities were measured, the larger snails with shell height >6 mm dominated the *M. leithii* population. The present study found a quadratic increase in the individual weight with the shell height of snails. These results suggest that *M. leithii* can be a common and abundant arboreal gastropod species in the mangroves, and its recruitment occurs in rapid response to the establishment of mangrove vegetation. The temporal variation of its abundance with stand age in the early stage of rehabilitation may be partly attributed to the change in its habitat characteristics related to the development of mangrove vegetation. Regarding that the information of this species is still scarce, future studies should give more attention to the ecology of this species in mangrove forests.

**Key Words:** mangrove; rehabilitation time; *Mainwaringia leithii*; *Kandelia obovata*; arboreal

生态修复是恢复红树林资源及其生态系统质量的重要手段,生态系统层面恢复被认为是红树林生态修复的最终目标,其中底栖动物群落的恢复是一个不可缺少且需要充分考虑的内容<sup>[1]</sup>。腹足类动物是红树林底栖动物群落的重要组成部分,红树林生态修复会提高潮间带生境的复杂性和多样性,以及与其密切相关的底栖动物多样性<sup>[2]</sup>。在当前红树林生态修复,尤其是植被的恢复受到高度重视的背景下,认识红树林中腹足类动物的恢复动态,是了解红树林生态系统恢复特征和生物多样性维持功能的需要,也可为红树林生物多样性保护和功能提升提供重要科学依据。

滨螺科(Littorinidae)的锥滨螺属(*Mainwaringia*)与滨螺属(*Littoraria*)动物被认为是少数与红树林生境高度相关的腹足类动物<sup>[3]</sup>。滨螺属动物是红树林中较常见的树栖动物,通常也是红树林幼林中树栖动物的优势种<sup>[2]</sup>,其多样性、分布特征和生态学行为等受到广泛的关注<sup>[4-8]</sup>。相比下,关于锥滨螺属(*Mainwaringia*)的研究较少,目前全球也仅记录到3种锥滨螺属动物<sup>[3,9-11]</sup>。早期仅在我国香港地区记录有红带锥滨螺(*Mainwaringia rhizophila*)<sup>[9-10]</sup>,在近10 a来陆续报道了蛋挞锥滨螺(*M. dantaae*)的分布<sup>[11-15]</sup>。Chen等<sup>[16]</sup>在厦门下潭尾红树林报道了新记录种 *M. leithii*(本文将其命名为莱氏锥滨螺),并且对种植2 a后的秋茄(*Kandelia obovata*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)幼林中莱氏锥滨螺的种群进行了研究,发现该物种在种植2 a的红树林中就已经大量出现。在此基础上,本研究进一步调查红树林人工种植后莱氏锥滨螺在不同恢复

时间(以林龄表示)的幼林中的分布特征,以期进一步了解红树林定植后的发育过程中莱氏锥滨螺的种群恢复特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究样地

研究区域位于厦门市下潭尾湿地公园( $24^{\circ}38'39.85''\text{N}$ ,  $118^{\circ}12'5.20''\text{E}$ )。本地区属于亚热带季风气候,温和多雨,年平均气温  $21^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨量为  $1200\text{ mm}$  左右,潮汐为半日潮,平均潮差  $3.98\text{ m}$ <sup>[17]</sup>。下潭尾湿地公园的红树林以 2012 年和 2013 年种植的秋茄为主,采用秋茄胚轴进行插植,种植规格为  $0.5\text{ m}\times 0.4\text{ m}$ 。本研究选取于 2013 年 6 月完成种植的秋茄林样地,样地所处的滩涂高程为黄零  $1.8\text{ m}$ 。下潭尾湿地公园的沉积物为粉砂,海水盐度在  $17.5\text{—}29.4$  之间<sup>[18]</sup>。

### 1.2 研究方法

于 2013 年 6 月完成秋茄胚轴种植后至 2016 年 12 月(种植后 3.5 a),每间隔 6 个月开展 1 次调查,此外在 2021 年 8 月开展 1 次调查。每次调查于低潮期间在上述样地随机设置 9 个  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  样方,采集样方内秋茄植株上的莱氏锥滨螺个体,低温保存带回实验室后洗净擦干,记录每个样方内出现的个体数量、螺壳高度和质量,计算莱氏锥滨螺的密度和生物量。由于莱氏锥滨螺个体较小,调查时仔细检查红树植株基干、树皮缝隙及冠层枝叶(包括叶片背面)等部位(图 1),借助镊子等工具收集各样方内红树植株上出现的所有莱氏锥滨螺个体,包括碰落在地面上的个体。



图 1 研究样地莱氏锥滨螺的分布及形态

Fig.1 Distribution and morphology of *M. leithii* in the present study

每次调查时同步测量研究区域的植被参数。在研究样地中设置 9 个  $4\text{ m}\times 4\text{ m}$  植被样方,测定样方内所有秋茄植物的株高、冠幅、基径,基径以胚轴顶端以上  $1\text{ cm}$  处的直径表示。基于样方内植物的平均冠幅和密度计算各样方的植被覆盖度。

### 1.3 数据统计分析

用 SPSS 分析检验数据的正态分布和方差齐性情况,如数据呈非正态分布,用 Blom 比例估算公式对数据进行正态分布转化。样地植被株高、冠幅和莱氏锥滨螺生物量等数据符合方差齐性,用单因素方差分析检验恢复时间对上述参数的影响。植被覆盖度、莱氏锥滨螺密度和螺壳高度等数据不符合方差齐性,用非参数独立样本进行不同恢复时间两两比较 Mann-Whitney U 检验。所有数据统计分析使用 SPSS 16.0 (SPSS Inc. USA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 红树林植被特征

秋茄植株的株高、冠幅、基径和覆盖度均随着恢复时间的变化显著增加(图2,  $P < 0.001$ )。秋茄植物的平均株高在种植 0.5 a 后快速增加到 41.3 cm, 并在 1.5 年生样地达到 100 cm, 而后逐渐增高至 8 年生样地的 179.2 cm。植株基径在 0.5 年生样地为 1.04 cm, 稳步增加至 5.96 cm(8 年生样地)。与基径相似, 植株平均冠幅在 0.5 年生样地为 25.0 cm, 并稳步增加至 76.7 cm(8 年生样地)。植被覆盖度在种植后 1.5 a 内随着恢复时间的变化显著增加( $P < 0.001$ ), 在 1.5 年生样地中达到 80%, 但随后植被覆盖度趋于稳定, 在 83%—97% 间波动。

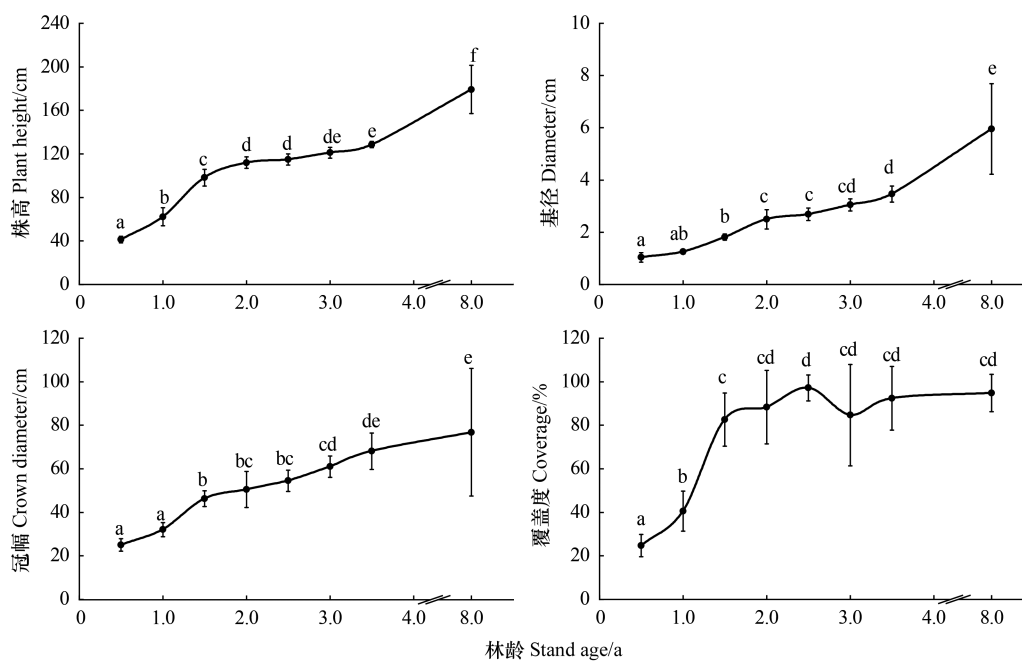


图2 秋茄样地植被特征

Fig.2 Vegetation characteristics of the *K. obovata* stands

不同字母表示不同林龄在 0.05 水平上差异显著

### 2.2 莱氏锥滨螺的密度和生物量

莱氏锥滨螺的个体密度随红树植被恢复时间的变化有明显差异(图3,  $P < 0.001$ )。在秋茄胚轴种植后 0.5 a 后即采集到莱氏锥滨螺个体, 但动物个体数量较少, 其密度和生物量仅分别为 12 个/ $\text{m}^2$  和 0.29 g/ $\text{m}^2$ ; 1 年生样地中, 莱氏锥滨螺的密度和生物量未发生显著性增加; 但在 1.5 年生秋茄林中莱氏锥滨螺的密度显著增加至 136 个/ $\text{m}^2$ , 对应的生物量为 1.86 g/ $\text{m}^2$ ; 随着恢复时间的增加, 样地中莱氏锥滨螺的个体数量出现显著性的减少, 在 2 年生样地中密度减少到 61 个/ $\text{m}^2$ , 而在其后的调查中莱氏锥滨螺的密度未超过 10 个/ $\text{m}^2$ , 生物量也仅为 0.001—0.15 g/ $\text{m}^2$ 。

### 2.3 莱氏锥滨螺个体大小

本调查中采集到的莱氏锥滨螺平均螺壳高度在 1.90—8.14 mm 之间, 对应的平均个体质量为 2—36 mg, 两者随恢复时间的变化差异显著(图4,  $P < 0.001$ )。其中, 8 年生样地中莱氏锥滨螺个体极少, 螺壳高度小于 3 mm, 个体质量小于 10 mg(图5), 其平均高度和质量显著小于其他样地; 而在种植后 0.5—3.5 a 期间采集到的动物个体, 螺壳平均高度介于 4.84—8.14 mm 之间, 个体平均质量介于 14—37 mm 之间。其中, 3.5 年生的样地中, 螺壳高度和个体质量最大。种群密度较大的 1.5 年生和 2.0 年生样地, 动物个体的螺壳高度在 3—



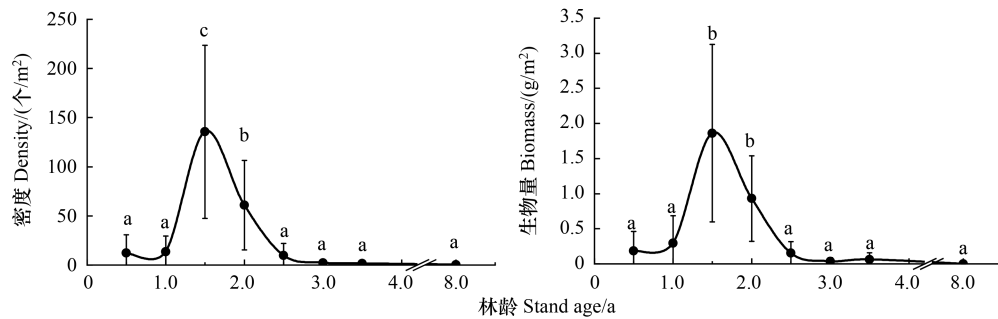


图3 不同林龄秋茄林中莱氏锥滨螺的密度和生物量

Fig.3 Density and biomass of *M. leithii* in *K. obovata* forests with different stand ages

不同字母表示不同林龄在 0.05 水平上差异显著

6 mm区间的个体比例较高,其次为 6—9 mm(图 5),个体质量以<20 mg 为主,平均螺壳高度整体上小于其他林龄的样地,呈现个体小型化的特征。

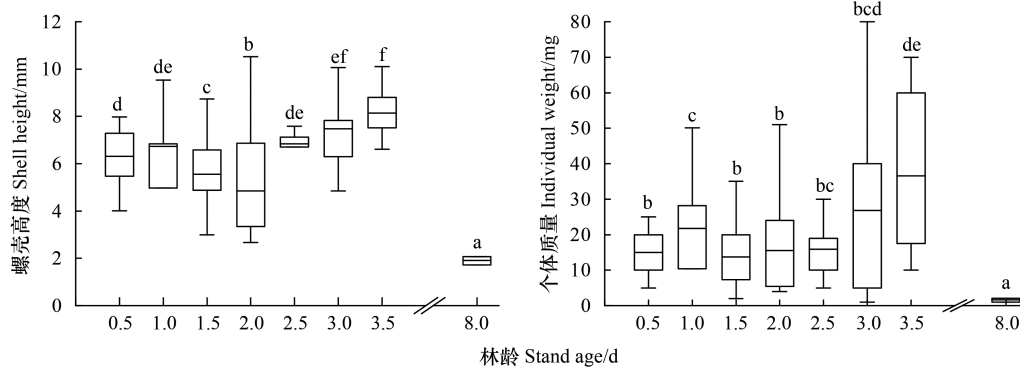


图4 不同林龄秋茄林中莱氏锥滨螺的螺壳高度和个体质量

Fig.4 The shell height and individual biomass of *M. leithii* in *K. obovata* forests with different stand ages

不同字母表示不同林龄在 0.05 水平上差异显著,箱子的上边为 75%分位数,下边为 25%分位数,箱体中的横线为平均数;箱子的上触线为数据的最大值,下触线为数据的最小值

本研究分析了采集到的莱氏锥滨螺样品的个体大小分布情况。莱氏锥滨螺的螺壳高度主要集中在 3—9 mm(图 6),占有个体总数的 98%,其中 3—4 mm、5—6 mm 和 7—8 mm 的个体数量较多;莱氏锥滨螺的个体质量主要集中在 5—25 mg,占有个体总数的 76%,5—10 mg、10—15 mg 和 20—25 mg 的个体数量较多。总体上,莱氏锥滨螺个体质量随螺壳高度呈二次方的关系增长(图 7)。

### 3 讨论

滨螺科的锥滨螺属与滨螺属动物被认为是少数与红树林生境高度相关的腹足类动物<sup>[3]</sup>。Reid<sup>[9]</sup>在上个世纪 80 年代梳理了亚洲红树林中锥滨螺属物种红带锥滨螺、莱氏锥滨螺的分布情况和分类学特征。红带锥滨螺主要分布于马来西亚、新加坡、越南南部和中国香港地区<sup>[9,20–21]</sup>,莱氏锥滨螺则主要分布在印度、马来半岛和越南<sup>[9,21–22]</sup>。而长期以来我国大陆沿海区域一直未见有锥滨螺属物种的记录<sup>[23]</sup>,直到 2012 年我国学者报道了锥滨螺属的一个新物种蛋挞锥滨螺,其样品采集于湛江高桥红树林<sup>[11–12]</sup>,全球报道的红树林锥滨螺属的物种达到 3 种。近年来,我国的海南西岸、广西珍珠湾和福建闽三角区域红树林都报道了蛋挞锥滨螺的分布(表 1),其主要分布于海湾泥质生境中能被海水淹没的红树植物叶、茎及树皮缝隙等部位,以秋茄、桐花树、

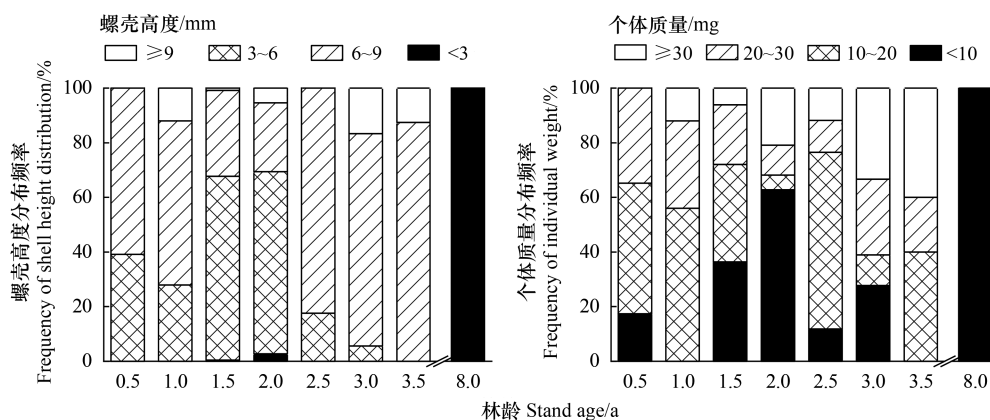


图5 不同林龄秋茄林中莱氏锥滨螺个体螺壳高度和质量分布频率

Fig.5 Frequency of individual shell height and biomass of *M. leithii* in *K. obovata* forests with different stand ages

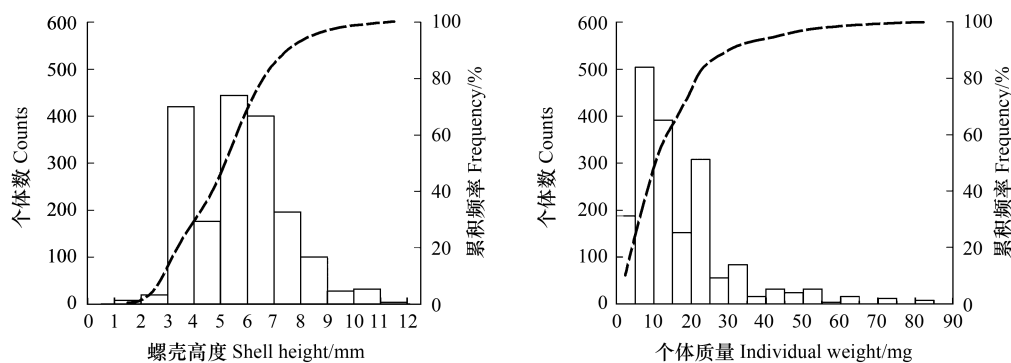


图6 莱氏锥滨螺个体螺壳高度和质量分布频率

Fig.6 Frequency of shell height and individual biomass of *M. leithii*

虚线表示小于对应横坐标螺壳高度个体数量的累计频率

白骨壤和红海欖等红树植物群落中较为常见,福建南部的河口红树林中也有发现。Chen 等<sup>[16]</sup>基于 DNA 条形码和形态学证据将下潭尾红树林采集的样品鉴定为莱氏锥滨螺,并发现其在秋茄幼林中的数量甚至超过黑口滨螺(*Littoraria melanostoma*)<sup>[8, 16]</sup>。其他学者在浙江乐清湾的红树林也报道了莱氏锥滨螺的分布<sup>[19]</sup>。这些研究表明,现有记录的 3 个锥滨螺属物种在我国均有分布,并且它们可能广泛地分布于我国红树林中,但目前关于这些物种的分布特征、种群数量、生态学行为和功能仍需要进一步研究。

红树林大型底栖动物群落结构受红树植被恢复的影响,并且随着恢复时间发生明显的变化<sup>[19, 24—25]</sup>。通常在幼林中,腹足类动物中滨螺科(Littorinidae)和拟沼螺科(Assimineidae)等密度较高,而成熟林或天然林中软体动物中蛳螺科(Neritidae)和耳螺科(Ellobiidae)动物密度高于幼林<sup>[2]</sup>。Chen 等<sup>[16]</sup>在下潭尾 2 年生的秋茄幼林中调查到莱氏锥滨螺,其密度可达到 100 个/m<sup>2</sup> 以上,但随恢复时间的增加其密度逐渐降低,到

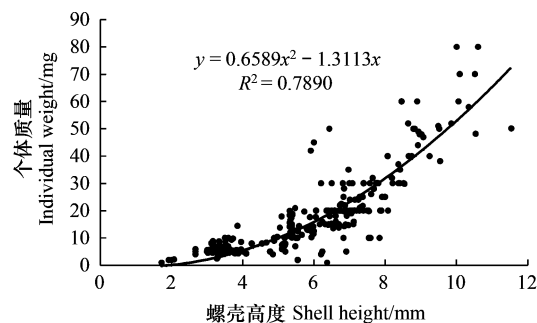


图7 莱氏锥滨螺个体质量与螺壳高度的关系

Fig.7 The relationship between the individual shell height and fresh weight of *M. leithii*

表 1 全球红树林锥滨螺属动物的分布情况  
Table 1 Distribution of *Mainwaringia* snails in different mangroves worldwide

| 地区<br>Region                                                                                | 植被<br>Vegetation                                     | 生境条件<br>Habitat<br>conditions | 物种<br>Species | 分布位置<br>Distribution<br>position          | 生物量<br>Biomass/<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 密度<br>Density/<br>(个/m <sup>2</sup> ) | 螺壳高度<br>Shell<br>height/mm | 参考文献<br>References |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 广东深圳<br>Shenzhen, Guangdong                                                                 | /                                                    | /                             | <i>Md</i>     |                                           | /                                      | /                                     | 7.6—11.2                   | [11]               |
| 广东廉江高桥<br>Lianjiang Gaoqiao, Guangdong                                                      | 桐花树、红海榄<br>( <i>Rhizophora stylosa</i> )             | 海湾, 泥质                        | <i>Md</i>     | 攀附于离地 30—40 cm<br>的桐花树树叶或茎上, 偶<br>见于红海榄茎上 | /                                      | 极其稀少                                  | 8.0—11.0                   | [12]               |
| 海南马袅湾<br>Majiao Bay, Hainan                                                                 | 桐花树                                                  | 海湾, 泥质                        | <i>Md</i>     | /                                         | /                                      | /                                     | /                          | [13]               |
| 海南花场湾<br>Huachang Bay, Hainan                                                               | 红海榄、桐花树及白骨壤<br>( <i>Avicennia marina</i> )           | 海湾, 泥质                        | <i>Md</i>     | /                                         | /                                      | /                                     | /                          |                    |
| 福建南部(漳州、九龙江口和泉州湾)<br>South Fujian (Zhangjiang Estuary,<br>Jiulong Estuary and Quanzhou Bay) | 秋茄                                                   | 河口/海湾, 泥质                     | <i>Md</i>     | /                                         | /                                      | /                                     | /                          | [15]               |
| 广西珍珠湾<br>Zhenzhu Bay, Guangxi                                                               | 桐花树、木榄( <i>Bruguiera<br/>gymnorhiza</i> )、秋茄、白<br>骨壤 | 海湾, 泥质                        | <i>Md</i>     | /                                         | /                                      | /                                     | /                          | [14]               |
| 香港尖鼻咀<br>Tsim Sim Tsui, Hong Kong                                                           | 秋茄、白骨壤                                               | 海湾                            | <i>Mr</i>     | 向海外滩幼苗叶子和茎                                | /                                      | /                                     | 5.9±1.5                    | [9]                |
| 马来西亚砂拉越州山都望<br>Sanduwang, Sarawak, Malaysia                                                 | /                                                    | /                             | <i>Mr</i>     | /                                         | /                                      | /                                     | 10.2±2.5                   |                    |
| 印度孟买港<br>Bombay Harbour, India                                                              | /                                                    | /                             | <i>Ml</i>     | 海水淹没的树干                                   | /                                      | /                                     | 5.8±1.3                    |                    |
| 福建厦门<br>Xiamen, Fujian                                                                      | 2—4.5 年生秋茄                                           | 河口/海湾, 泥质                     | <i>Ml</i>     | 攀附于树叶、茎及树皮<br>缝隙                          | 0.001—2.71                             | 1—115                                 | 3.2—9.5                    | [16]               |
|                                                                                             | 2—4.5 年生桐花树                                          | 河口/海湾, 泥质                     | <i>Ml</i>     | 攀附于树叶或茎上                                  | 0.03—1.75                              | 2—284                                 | 2.6—9.1                    |                    |
| 浙江乐清湾<br>Yueqing Bay, Zhejiang                                                              | 光滩                                                   | 海湾, 泥质                        | <i>Ml</i>     | /                                         |                                        |                                       | /                          |                    |
|                                                                                             | 6 年生秋茄                                               | 海湾, 泥质                        | <i>Ml</i>     | /                                         | 0.40                                   | 29                                    | /                          | [19]               |
|                                                                                             | 8 年生秋茄                                               | 海湾, 泥质                        | <i>Ml</i>     | /                                         | 0.54                                   | 62                                    | /                          |                    |
|                                                                                             | 11 年生秋茄                                              | 海湾, 泥质                        | <i>Ml</i>     | /                                         | 0.06                                   | 6                                     | /                          |                    |
|                                                                                             | 14 年生秋茄                                              | 海湾, 泥质                        | <i>Ml</i>     | /                                         | 0.12                                   | 7                                     | /                          |                    |
| 福建厦门<br>Xiamen, Fujian                                                                      | 0.5—3.5 年生秋茄                                         | 河口/海湾, 泥质                     | <i>Ml</i>     | 攀附于树叶、茎及<br>树皮缝隙                          | 0.04—1.86                              | 2—136                                 | 2.0—11.50                  | 本研究                |

“/”为无信息或无数据; *Md* 为蛋挞锥滨螺 *Mainwaringia dantatae*, *Mr* 为红带锥滨螺 *Mainwaringia rhizophila*, *Ml* 为莱氏锥滨螺 *Mainwaringia leithii*

3.5 年生的幼林中只收集到少量的个体。本研究自秋茄胚轴种植后开展莱氏锥滨螺的种群调查,发现在 0.5 年生的秋茄幼林中就有一定数量的莱氏锥滨螺出现,其密度和生物量在 1.5 年生的幼林中达到最大值,而后逐渐降低,整体变化趋势与 Chen 等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。这些研究表明,莱氏锥滨螺对于红树林植被的恢复具有明显的响应,在红树植物定植后其种群即可形成,但随着植被的恢复其种群可能出现衰退的趋势,其种群数量可反映出红树林植被的发育阶段。

红树林中软体动物寻找食物的策略、对潮汐的适应及面临的捕食压力等因素决定了其在潮间带的分布<sup>[26–27]</sup>。本文认为,人工种植的红树林中莱氏锥滨螺种群的恢复动态可能与植被发育过程中提供的栖息环境的变化有关。莱氏锥滨螺被认为对潮汐敏感,退潮时它会攀附在红树林的树干和地上根系,潮汐淹没时变得活跃<sup>[28]</sup>,因此,潮汐淹没的程度和水分条件可能是调控红树林中莱氏锥滨螺数量和分布的主要因素。本研究中,相比 1.5 年生的秋茄幼林,在种植 2.5 a 以后秋茄的植株较高,但莱氏锥滨螺的数量出现明显的下降,而下潭尾株高较低的桐花树幼林中莱氏锥滨螺的数量也高于同期种植的秋茄幼林<sup>[16]</sup>。因此,本文推测红树林植被在发育过程中浸淹程度的变化是莱氏锥滨螺种群数量变化的主要原因,随着红树植被的发育植株和冠层高度的增加降低了红树林叶片和树枝被潮水浸淹的机会,不利于莱氏锥滨螺的分布。我国广西珍珠湾红树林中蛋挞锥滨螺在雨季的平均分布高程和密度要高于旱季<sup>[14]</sup>。红树林中莱氏锥滨螺受潮汐淹没影响与其攀附位置的高度、地表高程和潮汐特征等有关,今后的研究还需考虑这些因素,进一步研究红树林植被发育过程中莱氏锥滨螺时空分布分布的驱动因素。

此外,随红树植被恢复时间的变化,林内捕食者的增多也可能是莱氏锥滨螺数量减少的原因。红树林中食肉性、杂食性的捕食者是影响滨螺科动物分布的重要因素<sup>[5,9,29]</sup>。例如相手蟹科(*Sesamidae*)动物作为红树林中最常见杂食性动物,会捕食其他无脊椎动物作为其氮营养的重要来源<sup>[24,30–31]</sup>。褶痕拟相手蟹(*Parasesarma plicatum*)是九龙江口区域红树林常见种<sup>[24]</sup>,在本调查样地中也较为常见,而它们在红树林恢复后会逐渐替代沙蟹科(*Ocypodidae*)动物成为甲壳类动物的优势种<sup>[32]</sup>。

莱氏锥滨螺种群数量在红树林中的恢复动态在不同的地区之间可能存在差异。在浙江乐清湾,莱氏锥滨螺的种群数量在 8 年生的秋茄林较高,在 11—14 年生的秋茄林中仍具有相当数量的个体<sup>[19]</sup>,其种群数量的动态变化较本研究缓慢。我们推测,这种差异与红树林的淹水条件和捕食者压力有关。乐清湾为我国红树引种北缘,相对低的气温条件使得红树植物在该区域生长缓慢,如该区域生长 5 a 秋茄株高仅有 73 cm<sup>[33]</sup>,小于本研究中 1.5 年生秋茄植物的株高;此外,该地区红树林大型底栖动物中也未记录到肉食性的捕食者<sup>[19]</sup>,这也利于莱氏锥滨螺的分布。

除莱氏锥滨螺个体极少的 8 年生样地外,下潭尾 1.5 年生和 2 年生秋茄幼林中采集的莱氏锥滨螺中小个体的比例高于其他恢复时间的秋茄林,表明其种群呈现个体小型化的特点。这种现象在下潭尾的桐花树幼林中也存在,桐花树幼林中莱氏锥滨螺的个体大小随恢复时间的变化趋势与种群数量的变化趋势相反<sup>[16]</sup>。在种群数量较大的情况下,种内对营养和空间存在竞争,个体小型化也可能是底栖动物对食物和空间限制的一种适应机制<sup>[34–35]</sup>。前人的研究也发现,滨螺属的黑口滨螺在桐花树幼林内的种群数量远大于相同恢复时间的秋茄幼林,但桐花树幼林中黑口滨螺的个体总体上小于秋茄幼林<sup>[7–8]</sup>。这种差异被归因于桐花树植株茂密、枝条细小繁多和冠幅低等形态特征可以减缓潮水对动物的冲击,相比秋茄植株可为较小个体或者幼体提供更适宜的附着介质<sup>[7]</sup>。但伴随着秋茄植被的发育和冠层的增高,有限的附着空间和不利的环境条件不适宜小个体莱氏锥滨螺的生存,在高温和干燥环境下滨螺科动物需要储存更多的水量来抵御不利环境,较大的个体具有较强的储水能力<sup>[36–38]</sup>。而植被恢复 8 a 后,莱氏锥滨螺种群个体极少,仅采集到个别小个体,可能是莱氏锥滨螺种群自身衰退和相手蟹科动物等捕食者共同作用的结果。

#### 4 结论

本研究对红树林种植后树栖动物莱氏锥滨螺的种群动态进行了连续调查,发现莱氏锥滨螺的种群在红树



植被恢复后(<0.5 a)即可快速形成,并且在 1.5 a 后达到 136 个/m<sup>2</sup>,但随着植被的发育莱氏锥滨螺的种群数量出现下降。同时,莱氏锥滨螺的个体大小组成与其分布密度之间也存在紧密的联系,总体表现出高种群密度伴随着个体小型化的现象。可见,莱氏锥滨螺的分布和种群结构受到红树林植被发育的影响,尤其在植被恢复的初期就表现出强烈的种群数量变化动态,该物种的种群动态(密度和个体大小)可指示红树林植被发育阶段及其生境条件(如高程和潮汐)的特征。做为红树林中的常见树栖动物广布物种,我国红树林中莱氏锥滨螺的生态学研究,如分布特征和影响因素等,还有待于进一步开展。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 叶勇, 翁劲, 卢昌义, 陈光程. 红树林生物多样性恢复. 生态学报, 2006, 26(4): 1243-1250.
- [ 2 ] 陈光程, 余丹, 叶勇, 陈彬. 红树林植被对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 327-336.
- [ 3 ] Reid D G, Dyal P, Williams S T. Global diversification of mangrove fauna: a molecular phylogeny of *Littoraria* (Gastropoda: Littorinidae). Molecular Phylogenetics and Evolution, 2010, 55(1): 185-201.
- [ 4 ] Reid D G. The systematic and ecology of the mangrove-dwelling Littoraria species (Gastropoda: Littorinidae) in the Indo-Pacific[D]. Queensland: James Cook University, 1984.
- [ 5 ] Lee O H K, Williams G A. Locomotor activity patterns of the mangrove littorinids, *Littoraria ardouiniana* and *L. melanostoma*, in Hong Kong. Journal of Molluscan Studies, 2002, 68(3): 235-241.
- [ 6 ] Lee O H K, Williams G A. Spatial distribution patterns of *Littoraria* species in Hong Kong mangroves. Hydrobiologia, 2002, 481(1): 137-145.
- [ 7 ] 陈光程, 叶勇, 卢昌义, 李蓉, 翁劲, 徐玉裕. 人工红树林中黑口滨螺和黑线蛳螺分布的差异性. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1721-1725.
- [ 8 ] 陈顺洋, 陈彬, 廖建基, 陈甘霖, 黄艳, 陈光程. 恢复初期红树林树栖滨螺科动物的组成与分布. 生态学杂志, 2017, 36(2): 460-467.
- [ 9 ] Reid D G. *Mainwaringia* Nevill, 1885, a littorinid genus from Asiatic mangrove forests, and a case of protandrous hermaphroditism. Journal of Molluscan Studies, 1986, 52(3): 225-242.
- [ 10 ] Reid D G, Dyal P, Williams S T. A global molecular phylogeny of 147 periwinkle species (Gastropoda, Littorininae). Zoologica Scripta, 2012, 41(2): 125-136.
- [ 11 ] Fang Y, Peng Y, Zhang G, He J. Description of a new species (Gastropoda: Littorinidae) from South China Sea. Shell Discoveries, 2012, 1(1): 34.
- [ 12 ] 刘毅. 基于典型红树植物群落的红树林软体动物生态研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [ 13 ] 马维, 王瑁, 王文卿, 刘毅, 罗柳青, 唐朝艺. 海南岛西海岸红树林软体动物多样性. 生物多样性, 2018, 26(7): 707-716.
- [ 14 ] Ma W, Wang W Q, Tang C Y, Chen G G, Wang M. Zonation of mangrove flora and fauna in a subtropical estuarine wetland based on surface elevation. Ecology and Evolution, 2020, 10(14): 7404-7418.
- [ 15 ] 陈国贵, 王文卿, 谷宣, 洪伟, 赵开远, 辛文镇, 林宇枫, 王瑁. 闽三角红树林底栖软体动物共存格局及机制. 湿地科学与管理, 2021, 17(1): 9-13.
- [ 16 ] Chen S Y, Xing B P, Yu W W, Chen B, Liao J J, An W S, Chen G C. Distribution of a newly recorded gastropod species, *Mainwaringia leithii* (Gastropoda, Littorinidae), in young, rehabilitated mangroves in China. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 770963.
- [ 17 ] 李文勇. 近三十年来厦门市气候的变化. 亚热带农业研究, 2008, 4(1): 50-53.
- [ 18 ] 颜露露. 同安湾下潭尾人工红树林湿地大型底栖动物群落恢复研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2016.
- [ 19 ] Wang Q X, Duarte C, Song L, Christakos G, Agusti S, Wu J P. Effects of ecological restoration using non-native mangrove *Kandelia obovata* to replace invasive *Spartina alterniflora* on intertidal macrobenthos community in Maoyan Island (Zhejiang, China). Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(8): 788.
- [ 20 ] Morton B, Morton J. The sea shore ecology of Hong Kong. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1983.
- [ 21 ] Morton B. Hong Kong's mangrove biodiversity and its conservation within the context of a southern Chinese megalopolis. A review and a proposal for Lai Chi Wo to be designated as a World Heritage Site. Regional Studies in Marine Science, 2016, 8: 382-399.
- [ 22 ] Williams S T, Reid D G, Littlewood D T J. A molecular phylogeny of the Littorininae (Gastropoda: Littorinidae): unequal evolutionary rates, morphological parallelism, and biogeography of the Southern Ocean. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2003, 28(1): 60-86.
- [ 23 ] 黄宗国. 中国海洋物种多样性. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [ 24 ] Chen G C, Ye Y, Lu C Y. Changes of macro-benthic faunal community with stand age of rehabilitated *Kandelia candel* mangrove in Jiulongjiang Estuary, China. Ecological Engineering, 2007, 31(3): 215-224.

- [25] Salmo III S G, Tibbetts I, Duke N C. Colonization and shift of mollusc assemblages as a restoration indicator in planted mangroves in the Philippines. *Biodiversity and Conservation*, 2017, 26(4): 865-881.
- [26] Vannini M, Rorandelli R, Lhteenoja O, Mrabu E, Fratini S. Tree-climbing behaviour of *Cerithidea decollata*, a western Indian Ocean mangrove gastropod (Mollusca: Potamididae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2006, 86(6): 1429-1436.
- [27] Reis A, Teixeira Alves A, Drea A, Beneli T M, Santos Freitas T S, Barros F. Distribution and movement of the mangrove gastropod *Littoraria angulifera*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 250: 107145.
- [28] Annandale N, Prashad B. Some gastropod molluscs from the Gangetic delta. *Records of the Indian Museum*, 1919, 16(3): 241-257.
- [29] Duncan R S, Szelistowski W A. Influence of puffer predation on vertical distribution of mangrove littorinids in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Oecologia*, 1998, 117(3): 433-442.
- [30] Macintosh D J, Ashton E C, Havanon S. Mangrove rehabilitation and intertidal biodiversity: a study in the ranong mangrove ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55(3): 331-345.
- [31] Wu Z Q, Xie L M, Chen B, Dhamawan I W E, Sastrosuwondo P, Chen S Y, Rianta P, Ernawati W, Chen G C. Carbon sources of sediment and epifaunal food sources in a tropical mangrove forest in north Sulawesi, Indonesia. *Journal of Ocean University of China*, 2020, 19(5): 1169-1176.
- [32] Chen G C, Ye Y. Restoration of *Aegiceras corniculatum* mangroves in Jiulongjiang Estuary changed macro-benthic faunal community. *Ecological Engineering*, 2011, 37(2): 224-228.
- [33] 金川, 王金旺, 郑坚, 陈秋夏, 李俊清, 卢翔. 异速生长法计算秋茄红树林生物量. *生态学报*, 2012, 32(11): 3414-3422.
- [34] Baur B. Population regulation in the land snail *Arianta arbustorum*: density effects on adult size, clutch size and incidence of egg cannibalism. *Oecologia*, 1988, 77(3): 390-394.
- [35] Baur A, Baur B. Responses in growth, reproduction and life span to reduced competition pressure in the land snail *Balea perversa*. *Oikos*, 1992, 63(2): 298.
- [36] Vermeij G J. Intraspecific shore-level size gradients in intertidal molluscs. *Ecology*, 1972, 53(4): 693-700.
- [37] Chapman M G. Relationships between shell shape, water reserves, survival and growth of highshore littorinids under experimental conditions in New South Wales, Australia. *Journal of Molluscan Studies*, 1997, 63(4): 511-529.
- [38] Tanaka M O, Maia R C. Shell morphological variation of *Littoraria angulifera* among and within mangroves in NE Brazil. *Hydrobiologia*, 2006, 559(1): 193-202.