

人工红树林中黑口滨螺和黑线蜒螺分布的差异性^{*}

陈光程 叶勇^{**} 卢昌义 李蓉 翁劲 徐玉裕

(厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361005)

【摘要】 研究了福建九龙江河口不同林龄、不同红树种类的人工林中黑口滨螺 (*Littoraja melanostoma*) 和黑线蜒螺 (*Nerita lineata*) 的分布情况。结果表明, 黑线蜒螺主要分布于秋茄林内, 且其生物量随林龄增加而增加; 桐花树林内黑口滨螺的生物量和密度均大于林龄相近的秋茄林, 但个体大小则小于秋茄林。黑口滨螺的生物量在桐花树林内随林龄增加呈现先增加后减少的趋势, 而在秋茄林内则随林龄增加而减少。这种差异性反映了人工红树林植物种类及其演替过程对腹足类动物分布的影响。

关键词 红树林 秋茄 桐花树 黑口滨螺 黑线蜒螺

文章编号 1001-9332(2006)09-1721-05 中图分类号 Q145.2 文献标识码 A

Distribution of *Littoraja melanostoma* Gray (Littorinidae) and *Nerita lineata* Gmelin (Neritidae) in rehabilitated mangroves. CHEN Guangcheng YE Yong LU Changyi LI Rong WENG Jin XU Yuyu (State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006 17(9): 1721 ~ 1725.

An investigation was made in April and July 2005 on the abundance and biomass of *Littoraja melanostoma* (Littorinidae) and *Nerita lineata* (Neritidae) in the rehabilitated mangrove forests with different mangrove species and stand ages at the Jiulongjiang Estuary of Fujian Province. The results showed that *Nerita lineata* was more abundant in mature stands and had greater biomass and density in *Kandelia candel* stand than in *Aegiceras comiculatum* stand. A *comiculatum* stand had greater density and biomass of *L. melanostoma* than *K. candel* stand when the two stands had similar ages. In *A. comiculatum* stands the biomass of *L. melanostoma* increased with the age of younger stands while in *K. candel* stands it decreased with the development of the forests. Different habitation patterns of the two snails in different mangrove stands indicated that *N. lineata* had a strong habitation preference for mature *K. candel* forest while *L. melanostoma* was apt to inhabit in younger *A. comiculatum* forests.

Key words Mangrove *Kandelia candel* *Aegiceras comiculatum* *Littoraja melanostoma* *Nerita lineata*

1 引言

红树林是地球上生产力最高的生态系统之一。作为整个生态系统的初级生产力, 红树植物构成了底栖生物生境的基础, 林区丰富的饵料和适宜的环境吸引了许多海洋生物栖息^[7], 其输出的有机质和营养物质在很大程度上构成海洋底栖生物的营养来源^[8]。作为潮滩湿地的动态中心^[34] 和红树林生态系统的重要组成部分, 底栖动物群落在潮滩生态系统的物质循环和能量流动中扮演着消费者和转移者的作用^[22]。我国学者从 20 世纪 80 年代起, 陆续对红树林的底栖动物展开研究^[4 14 37 38], 摸清了我国沿海红树林底栖动物的种类组成、数量变化和季节变化, 为红树林生态系统的开发利用以及保护提供了科学依据。但对当前人工恢复红树林的底栖动物变化, 尤其是对红树林内一些常见种类的研究却鲜有报道。滨螺 (*Littorinidae*) 和蜒螺 (*Neritidae*) 为潮间带常见的两类软体动物, 广泛分布于加勒比海西部、

哥伦比亚、泰国、中国和香港等地^[5 9 11]。对人工恢复的红树林生态系统的动物进行调查并与邻近的天然红树林进行比较是生态系统监测的一项新的内容^[10], 且国内外关于这方面的研究相对不足^[16]。本文以两个科中较常见的黑口滨螺 (*Littoraja melanostoma*) 和黑线蜒螺 (*Nerita lineata*) 为对象, 研究其在人工恢复红树林中分布的差异, 旨在为红树林管理、恢复工程和潮间带动物保护提供科学依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

青礁-白礁红树林位于福建九龙江河口的厦门海沧和漳州龙海交接处, 该红树林区曾经被天然红树林覆盖, 后因修筑海堤等原因被人为破坏, 导致红树林面积逐渐减少。自 20 世纪末以来, 当地政府陆续进行了红树林人工修复工程,

^{*} 国家自然科学基金基金项目 (40476040) 和福建省自然科学基金资助项目 (D0410006)。

^{**} 通讯联系人。E-mail: yeyong@564.com.cn

2005-09-07 收稿, 2006-06-16 接受。

取得了较好的效果. 本研究共选择具有代表性的 6 个红树林样地, 分别为 4 年生人工秋茄 (*Kandelia candel*) 林、7 年生人工秋茄林、天然秋茄成熟林、4 年生人工桐花树 (*Aegiceras comiculatum*) 林、7 年生人工桐花树林和天然桐花树成熟林. 两片人工秋茄林地种植密度均为 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 生长良好. 由于桐花树为灌木型植物, 两片人工桐花树林的密度较大. 与上述 4 片林地相比, 两片成熟林为天然林, 密度较小. 由于种植树种及种植时间的差异, 各个样地的植被特性也存在一定的差异 (表 1). 所选的 6 个样地均处于相近潮位, 水文条件相似, 土壤均为壤质粘土. 由于恢复时间不同, 各样地表层底质性质有少许差异.

表 1 青礁-白礁红树林样地特性
Table 1 Characteristics of mangrove stands in Qingjiao-Baijiao mangrove

样地 Stand	高度 Height (m)	胸径 Diameter (cm)	有机质含量 Organic matter content (%)	PH
4 年生秋茄林 (人工林) 4-Year old <i>Kc</i> stand (artificial)	1.41	7.26	1.99	7.79
7 年生秋茄林 (人工林) 7-Year old <i>Kc</i> stand (artificial)	2.21	10.56	2.19	7.69
秋茄成熟林 (天然林) Mature <i>Kc</i> stand (natural)	3.05	14.40	2.63	7.37
4 年生桐花树林 (人工林) 4-Year old <i>Ac</i> stand (artificial)	0.82	1.71	1.62	8.03
7 年生桐花树林 (人工林) 7-Year old <i>Ac</i> stand (artificial)	1.45	2.67	2.03	7.93
桐花树成熟林 (天然林) Mature <i>Ac</i> stand (natural)	2.11	3.64	2.58	7.75

Kc 秋茄 *Kandelia candel*; Ac 桐花树 *Aegiceras comiculatum* 下同 The same below

2.2 研究方法

采样在 2005 年 4 月和 7 月进行. 各样地均随机设置 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 采样样方. 收集各样方内红树植物上出现的黑口滨螺和黑线蛭螺, 包括碰落在地面上的个体. 由于黑线蛭螺白天多栖息在红树植物根系的缝隙中, 因此采集时仔细检查秋茄的根隙部分, 并适当借助镊子等工具.

采集的动物个体全部按样方装瓶并标记, 带回实验室后, 立即洗净螺壳, 用吸水纸吸干螺壳表面的水分, 统计每个样方内出现的黑口滨螺和黑线蛭螺的个体数量、大小 (以螺壳的高度计) 及鲜重. 取 3 个样方的平均值代表各样地两种螺的密度、生物量和个体大小.

表 2 红树林中黑口滨螺 (A) 和黑线蛭螺 (B) 的分布
Table 2 Distribution of *L. melanostoma* (A) and *N. lineata* (B) in mangroves

月份 Month	林龄 Stand age	生物量 Biomass ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)		种群密度 Density ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)		个体大小 Size (mm)	
		Kc	Ac	Kc	Ac	Kc	Ac
A	4 成熟 Mature	0.66 ± 0.43^a	3.13 ± 1.38^a	0.78 ± 0.51^a	8.33 ± 2.52^a	13.61 ± 2.49^a	15.34 ± 3.04^{cd}
	7 年生 7-Year old	2.61 ± 2.01^{ab}	9.18 ± 2.46^b	4.00 ± 2.65^{bc}	29.33 ± 5.69^b	17.78 ± 2.75^{bc}	13.17 ± 3.33^b
	4 年生 4-Year old	5.35 ± 1.10^c	7.11 ± 3.76^b	7.00 ± 1.00^c	21.00 ± 9.64^{ab}	18.39 ± 3.88^c	14.65 ± 2.45^c
	7 成熟 Mature	1.01 ± 0.66^a	8.03 ± 3.62^b	1.53 ± 0.69^{ab}	15.33 ± 1.68^{ab}	17.59 ± 2.99^{bc}	16.34 ± 3.31^d
	7 年生 7-Year old	2.23 ± 1.04^{bc}	15.08 ± 0.49^c	5.00 ± 1.73^c	46.00 ± 7.00^c	14.93 ± 3.06^{ab}	13.64 ± 2.49^{bc}
	4 年生 4-Year old	6.28 ± 1.59^c	7.49 ± 2.64^b	10.67 ± 4.93^d	38.00 ± 22.91^{bc}	16.44 ± 4.70^{abc}	10.71 ± 4.16^a
B	4 成熟 Mature	16.83 ± 8.97^b	0.70 ± 1.22^a	6.33 ± 3.79^b	0.33 ± 0.58^a	20.87 ± 5.07^a	22.04 ± 0.00
	7 年生 7-Year old	4.26 ± 3.91^{12a}	0.00 ± 0.00^a	1.67 ± 0.58^a	0.00 ± 0.00^a	19.53 ± 6.50^a	—
	4 年生 4-Year old	3.73 ± 1.39^a	0.00 ± 0.00^a	1.00 ± 1.00^a	0.00 ± 0.00^a	22.93 ± 2.90^a	—
	7 成熟 Mature	4.87 ± 0.70^a	3.72 ± 0.35^b	1.33 ± 0.58^a	1.33 ± 0.58^b	26.14 ± 1.59^a	23.94 ± 1.38
	7 年生 7-Year old	0.00 ± 0.00^a	0.00 ± 0.00^a	0.00 ± 0.00^a	0.00 ± 0.00^a	—	—
	4 年生 4-Year old	1.25 ± 2.17^a	0.00 ± 0.00^a	0.33 ± 0.58^a	0.00 ± 0.00^a	24.01 ± 0.00^a	—

同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level “—” 未采到个体 No sampled individuals

2.3 数据处理

采用 SPSS 软件对数据进行单因素和双因素方差分析, 检验红树植物种类和恢复时间是否对黑口滨螺和黑线蛭螺的分布情况存在显著影响.

3 结果与分析

3.1 不同采样时间黑口滨螺和黑线蛭螺的分布

两次采样秋茄和桐花树红树林样地内均有黑口滨螺分布 (表 2A), 表明黑口滨螺是福建九龙江河口红树林中的常见种. 7 月份秋茄林样地黑口滨螺的种群密度和生物量均值略大于 4 月份, 但除 4 年生秋茄林外, 其他两片秋茄林样地两个月份的种群密度均无显著差异, 且 3 个样地黑口滨螺的生物量也无明显差异. 3 个桐花树林 7 月黑口滨螺的种群密度平均值大于 4 月, 但差异不显著. 7 月桐花树成熟林和 7 年生桐花树林黑口滨螺的生物量显著大于 4 月. 在个体大小方面两种红树林均无明显变化规律.

黑线蛭螺在秋茄林内均有分布, 与黑口滨螺不同, 其 4 月总体生物量和种群密度大于 7 月 (表 2B), 而桐花树林内只在成熟林样地采集到黑线蛭螺. 且不同采样月份间差异显著: 秋茄成熟林 4 月的种群密度和生物量均大于 7 月, 桐花树成熟林则 7 月大于 4 月. 黑线蛭螺的个体大小无明显变化.

植物的种类和林龄 (恢复时间) 对研究样地内黑口滨螺的生物量、种群密度以及个体大小都存在显著影响 (表 3A), 植物种类和恢复时间对黑线蛭螺的种群密度和生物量均有显著影响, 但对个体大小无显著影响 (表 3B), 表明各个样地内黑线蛭螺的个体大小分布较均匀. 7 月份, 植物种类和恢复时间对黑线蛭螺密度和生物量无明显的交互作用. 在两次调查中, 由于桐花树林样地内基本未采集到黑线蛭螺个体, 导致部分统计结果无效.

表 3 红树林恢复种类和恢复时间对黑口滨螺 (A) 和黑线蛭螺 (B) 分布影响的双因素方差分析
Table 3 Two-way ANOVA on distribution variables of *L. melanostoma* (A) and *N. lineata* (B)

因素 Factor	种群密度 Density		生物量 Biomass		个体大小 Size	
	4月 April	7月 July	4月 April	7月 July	4月 April	7月 July
A 植物种类 Plant species (S)	86.70***	77.16***	26.61***	67.06***	16.59***	28.89***
林龄 Stand age (A)	18.99***	12.47***	16.30***	12.92***	5.49**	15.42***
S×A	9.21**	6.36*	3.99*	13.50***	9.49***	9.88***
B 植物种类 Plant species (S)	14.08**	6.69*	14.91**	12.05**	0.03	4.37
种植时间 Stand age (A)	5.40*	26.98***	4.92*	46.44**	3.37	1.64
S×A	4.15*	0.00	4.72*	1.00	—	—

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ *** $P < 0.001$. “—” 由于未采到个体而无统计结果 No statistical results due to no sampled individuals

3.2 两种红树林内黑口滨螺和黑线蛭螺的分布

黑口滨螺和黑线蛭螺在秋茄林和桐花树林的分布表现出较大差异, 体现在黑口滨螺的种群密度、生物量和个体大小等方面。从总体上看, 3个秋茄林样地黑口滨螺的种群密度和生物量均小于相应林龄的桐花树样地, 这种差异在7年生样地内尤为明显。两个成熟林中黑口滨螺的个体大小较接近 ($P > 0.05$), 但是其余两个秋茄幼林样地内的个体则明显大于相应林龄的桐花树林样地 ($P < 0.001$)。虽然4年生桐花树样地的生物量稍大于4年生秋茄林, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

在3个秋茄林样地内均采集到黑线蛭螺个体, 在桐花树林样地内则只在成熟林内采集到黑线蛭螺个体, 且秋茄成熟林内黑线蛭螺的生物量和种群密度均大于桐花树成熟林, 各样地黑线蛭螺大小无显著差异。虽然3个秋茄林样地内黑线蛭螺的种群密度小于黑口滨螺, 但其个体较大, 个体质量可达4 g, 故其生物量大于样地内黑口滨螺。

3.3 不同林龄红树林内黑口滨螺和黑线蛭螺的分布

在所有样地中, 黑口滨螺的分布整体是不均匀的。4年生秋茄林样地的密度和生物量均大于其余两个秋茄林样地 ($P < 0.05$)。3个样地的密度均为4年生秋茄林 $>$ 7年生秋茄林 $>$ 秋茄成熟林, 4月的生物量为4年生秋茄林 $>$ 7年生秋茄林 $>$ 秋茄成熟林, 但由于7月7年生秋茄林样地中黑口滨螺个体较小, 导致其生物量略小于成熟林的生物量。黑口滨螺在秋茄林整体分布情况呈现出随着种植时间的增长种群密度和生物量下降的趋势。桐花树林则呈现出生物量随林龄的增加先增加后降低的趋势, 生物量和种群密度均为7年生桐花树林 $>$ 4年生桐花树林 $>$ 成熟桐花树林 ($P < 0.05$)。个体大小上, 成熟林则显著大于新种植的两个林分 ($P < 0.05$)。

从4月的采样结果看, 黑线蛭螺的生物量和种群密度为秋茄成熟林 $>$ 7年生秋茄林 $>$ 4年生秋茄林 ($P < 0.05$)。7月成熟林内黑线蛭螺种群密度和

生物量虽然较小, 但仍然大于其它两个样地。在桐花树林样地中, 除成熟林外, 其余两个年份较晚的桐花树林样地内均未采集到黑线蛭螺个体。虽然7月7年生的秋茄林样地未采集到黑线蛭螺个体, 但总体上, 随秋茄林恢复年份的增加, 黑线蛭螺的种群密度和生物量增大。

4 讨 论

尽管九龙江河口红树林底栖软体动物总体的数量在春季和夏季的差异不大^[19], 但各个物种的生物量随季节变化的趋势不同^[3]。黑口滨螺为九龙江口红树林高潮区的特征种, 其数量在春季和夏季较高^[37]。易建生等^[35]研究了福建九龙江河口区域硬相潮间带滨螺的分布特性, 发现滨螺的密度在夏季最低。这可能是由于夏季硬相潮间带高温等环境因子对滨螺的压力造成的。红树林在夏季则可以为滨螺等底栖动物提供适宜的栖息环境。在本次调查中, 秋茄林和桐花树林黑口滨螺的生物量和密度在夏季均明显大于春季, 但个体大小无明显变化规律。据Lee等^[24]报道, 香港红树林内的黑口滨螺的密度在冬季和夏季无显著差异, 与本调查结果明显不同, 这可能是由于调查方法不同引起的。Lee等是以5 m²内采集的个体数量来代表该样方内的滨螺个体数量。与黑口滨螺相反, 夏季秋茄林内黑线蛭螺的生物量和种群密度明显小于春季。在7月的调查过程中, 在秋茄板状根的缝隙中发现大量的相手蟹 (*Sesaminae* sp.)。这两种生物在空间上的竞争可能是导致黑线蛭螺个体减少的原因。类似的竞争关系也存在于两种以红树凋落叶片为食的粗壮新涨蟹 (*Neosarmatium smithi*) 和拟蟹守螺 (*Terebralia palustris*) 之间, 螃蟹将叶片拖入洞中以减少这种摄食竞争, 甚至可以将叶片上正在进食的螺推下叶片^[12]。

植被类型的不同将导致大型底栖动物群落的明显差异^[32], 刘满强等^[25]发现不同的植被恢复方式对底栖蚯蚓种群的分布具有显著影响, 导致这种差

异的原因之一是不同红树林种植方式对底栖动物栖息环境的改造作用不同,而环境因素又影响着底栖动物的生物量、密度和丰富度^[25-29]。红树林不仅对土壤底质的化学性质如盐度、总氮、硫化物和酸性有不同程度的改造作用^[15-18,20],还可以改变林内的物理结构和营养特点^[21-23],进而影响到底栖生物的分布。例如,红树林种植后,树荫可以减轻潮间带的高温以及由高温带来的水分高蒸发率给底栖生物造成的压力^[28],因此退潮后螺通常聚集在红树林树荫下或者根部等阴凉湿润处^[13]。Slim等^[31]也证实,林内的湿度是以红树叶片为食的螺的摄食量的决定性因素。

在一个种群中,大个体的减少会对种群的繁殖量造成影响,引起该群落个体数量和个体平均大小的相应减小^[26-29],因为大个体的繁殖能力要强于小个体^[30]。在本研究中,桐花树林样地内黑口滨螺的种群密度较大,但种群个体却趋于小型化。其原因尚不明确,可能是由于对营养和空间的竞争引起的,而动物对栖息环境的选择也可能导致这种差异。树栖软体动物的栖息高度一般不超过 2 m^[7],在香港的红树林中,黑口滨螺的栖息高度则低于 1.5 m^[24],通常栖息于红树植物的嫩枝和树叶上^[33]。桐花树为灌木型生长,植株较茂密,并且树冠也低于秋茄^[1-33]。这种形态可以减缓潮水对树栖黑口滨螺的冲击作用,特别是对那些较小的个体。与秋茄相比,桐花树的枝条较细,不适合较大个体的黑口滨螺附着,因此,分布于秋茄林内的黑口滨螺在个体大小上普遍大于树龄较小的桐花树林样地。而这种形态上的差异也导致了黑线蜒螺分布的差异,因为黑线蜒螺通常栖息于红树植物的根部和树干的缝隙中^[33],这与我们在调查过程中的观察结果一致。秋茄具有板状根,这些板状根的缝隙部分为黑线蜒螺提供了适宜的栖息环境。随着秋茄树龄的增大,其植株树干和基部板状根的缝隙也随之明显,因此,成熟秋茄林内黑线蜒螺的种群密度和生物量明显大于其它秋茄林样地。相比之下,桐花树的基部光滑无缝,不能为黑线蜒螺提供隐蔽,导致一些桐花树林样地无黑线蜒螺分布。

Macintosh等^[27]调查了印度境内人工恢复红树林中大型底栖动物的分布情况,发现蜒螺为成熟林中最常见的腹足类动物,而滨螺则为树龄较小的红树林中的优势种。这也从一个方面反映出红树林种植后其演替过程对底栖动物分布的影响。他们指出,在林龄较小的红树林中,红树种类、种植密度和基部

面积不会对林内底栖动物群落的结构产生影响^[27]。但本次调查显示,两种螺的分布不仅在不同年龄的红树林之间存在差异,在不同种类的红树林样地内也存在明显差异,表明在红树林恢复初期,秋茄幼林和桐花树林之间的底栖动物分布无明显差异,但是随着恢复时间延长,底栖动物的分布则呈现不同特征,黑线蜒螺较多地分布于秋茄成熟林中,而黑口滨螺则更多地分布于桐花树林林内。说明红树林恢复方式的不同对底栖动物群落结构的影响不同,导致这些分布差异的机理还需进一步研究。

参考文献

- 1 Boneka FB 1994. Coexistence of *Littoraria scabra* and *Littoraria pallidissima* (Gastropoda: Littorinidae) in northern Sulawesi Indonesia. *Phuket Marine Biological Center Special Publication* **13**: 147 ~ 151
- 2 Branch GM 1975. Mechanisms reducing intraspecific competition in *Pavona* spp.: Migration differentiation and territorial behaviour. *J Anim Ecol* **44**: 575 ~ 600
- 3 Cai L-Z (蔡立哲), Huang Y-S (黄玉山), Tan F-Y (谭凤仪). 1997. Ecological studies of mollusca in mangrove stands in Hong Kong. *Stud Mar Sin (海洋科学集刊)*, **39**: 103 ~ 114 (in Chinese)
- 4 Cai L-Z (蔡立哲), Tan F-Y (谭凤仪), Huang Y-S (黄玉山). 1998. Characteristics of quantitative distribution and species composition of macrozoobenthos in mangrove stands in Eastern Hong Kong. *J Xiamen Univ (Nat Sci) (厦门大学学报·自然科学版)* **37** (1): 115 ~ 121 (in Chinese)
- 5 Cantera KJR, Thomassin BA, Amaud PM 1999. Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves. *Hydrobiologia* **413**: 17 ~ 33
- 6 Castilla JC, Bustamante RH 1989. Human exclusion from rocky intertidal of Las Cruces central Chile. Effects on *Durvillea antarctica* (Phaeophyta: Durvilliales). *Mar Ecol Prog Ser* **50**: 203 ~ 214
- 7 Chen Y-X (陈映霞). 1995. Ecological effect of the mangrove on environment. *Mar Environ Sci (海洋环境科学)*, **14** (4): 51 ~ 56 (in Chinese)
- 8 Das P, Basak UC, Das AB 1997. Restoration of the mangrove vegetation in the Mahanadi delta Orissa India. *Mangr Salt Marsh* **1**: 155 ~ 161
- 9 Fan H-Q (范航清), He B-Y (何斌源), Wei S-Q (韦受庆). 2000. Influence of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos in situ. *Acta Ecol Sin (生态学报)* **20** (5): 722 ~ 727 (in Chinese)
- 10 Field CD 1998. Rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Mar Pollut Bull* **37** (8-12): 383 ~ 392
- 11 Fondo EN, Martens EE 1998. Effects of mangrove deforestation on macrofaunal densities. *Gazi Bay Kenya Mangr Salt Marsh* **2**: 75 ~ 83
- 12 Fratini S, Cannicci S, Vanni M 2000. Competition and intertion between *Nesommatium snihi* (Gastropoda: Gracilidae) and *Terebralia palustris* (Mollusca: Gastropoda) in Kenyan mangrove. *Mar Biol* **137**: 309 ~ 316
- 13 Fratini S, Cannicci S, Vanni M 2001. Feeding clusters and olfaction in the mangrove snail *Terebralia palustris* (Linnæus) (Pommatidae: Gastropoda). *J Exp Mar Biol Ecol* **261**: 173 ~ 183
- 14 Gao SH (高世和), Li F-X (李复雪). 1985. Community ecology of ground-dwelling macrofauna of mangrove in the Jiulongjiang Estuary Fujian. *J Oceanogr Taiwan Strait (台湾海峡)* **4** (2): 179 ~ 191 (in Chinese)
- 15 Gleason SM, Ewel KC, Hue N 2003. Soil redox conditions and

- Plant-soil relationships in a mangrove forest. *Estuar Coast Shelf Sci* **56**: 1065 ~ 1074
- 16 Haltiner J, Zedler JB, Boyer KE et al. 1997. Influence of physical processes on the design, functioning and evolution of restored tidal wetlands in California (USA). *Wetland Ecol Manage* **4** (2): 73 ~ 91
- 17 Han W-D (韩维栋), Liu J-K (刘劲科), Cai Y-Y (蔡英亚), et al. 2004. Biodiversity and biomass of molluscs in mangrove area of Leizhou Peninsula. *For Sci Technol (林业科技)*, **29** (1): 17 ~ 21 (in Chinese)
- 18 He B (何斌), Wen Y-G (温远光), Liu S-R (刘世荣). 2001. Soil chemical properties at succession stages of mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi. *Guangxi Sci (广西科学)*, **8** (2): 148 ~ 151, 160 (in Chinese)
- 19 He M-H (何明海), Cai E-X (蔡尔西), Xu H-Z (徐惠州), et al. 1993. Studies on benthic ecology in mangrove in Jiulong River Estuary Fujian. *J Oceanogr Taiwan Strait (台湾海峡)*, **12** (1): 61 ~ 68 (in Chinese)
- 20 Kryger L, Lee SK. 1995. Effect of soil ageing on the accumulation of hydrogen sulphide and metallic sulphides in mangrove area in Singapore. *Environ Int* **21**: 85 ~ 92
- 21 Kwok KW, Lee SY. 1995. Growth performances of two mangrove sesamid crabs *Chironanthes bidens* and *Parasesama affinis* under different diets. *Hydrobiologia* **295**: 141 ~ 148
- 22 Lai T-H (赖廷和), He B-Y (何斌源). 1998. Studies on the macrobenthos species diversity for Guangxi mangrove areas. *Guangxi Sci (广西科学)*, **5** (3): 166 ~ 172 (in Chinese)
- 23 Lee HY, Shih SS. 2004. Impacts of vegetation changes on the hydraulic and sediment transport characteristics in Guandu mangrove wetland. *Ecol Eng* **23**: 85 ~ 94
- 24 Lee OHK, Williams GA. 2002. Spatial distribution patterns of Littoraria species in Hong Kong mangroves. *Hydrobiologia* **481**: 137 ~ 145
- 25 Liu M-Q (刘满强), Hu F (胡峰), Chen X-Y (陈小云), et al. 2004. Effect of different vegetation restoration of degraded red soil on earthworm population dynamics. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15** (11): 2152 ~ 2156 (in Chinese)
- 26 Liu TH, Lee SY, Sadovy Y. 2002. Macrobenthos of a tidal impoundment at the Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong. *Hydrobiologia* **468**: 193 ~ 212
- 27 Macintosh DJ, Ashton EC, Havanon S. 2002. Mangrove rehabilitation and intertidal biodiversity: A study in the Ranong Mangrove Ecosystem Thailand. *Estuar Coast Shelf Sci* **55**: 331 ~ 345
- 28 McGuinness KA. 1990. Effects of oil spills on macro invertebrates of saltmarshes and mangrove forests in Botany Bay, New South Wales, Australia. *J Exp Mar Biol Ecol* **143**: 121 ~ 135
- 29 Moreno DA, Sutherland JP, Jora FH. 1984. Man as a predator in the intertidal zone of central Chile. *Oikos* **42**: 155 ~ 160
- 30 Sharpe AK, Keough MJ. 1998. An investigation of the indirect effect of intertidal shellfish collection. *J Exp Mar Biol Ecol* **223**: 19 ~ 38
- 31 Slinn FJ, Hemming MA, Ochieng C et al. 1997. Leaf litter removal by the snail *Terebralia palustris* (Linnaeus) and sesamid crab in an East African mangrove forest (Gazi Bay, Kenya). *J Exp Mar Biol Ecol* **215**: 35 ~ 48
- 32 Snelgrove PVR, Buman CA. 1994. Animal sediment relationships revisited: Cause versus effect. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* **32**: 111 ~ 177
- 33 Tam NFY, Wong YS. 2000. *Hong Kong Mangroves*. Hong Kong City University of Hong Kong Press: 95 ~ 103
- 34 Vilard S, Poljan J. 2002. Mollusc fauna of the mangrove root fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence. *Wetlands Ecol Manage* **10**: 273 ~ 282
- 35 Yi J-S (易建生), Li F-X (李复雪). 1988. Studies of distribution and variety of in Jiulongjiang Estuary Fujian. *Acta Oceanol Sin (海洋学报)*, **10** (4): 492 ~ 500 (in Chinese)
- 36 Yuan X-Z (袁兴中), Lu J-J (陆健健). 2002. Ecological characteristics of macrozoobenthic community of tidal flat wetland in the Changjiang Estuary. *Resour Environ Yangtze Basin (长江流域资源与环境)*, **11** (5): 414 ~ 420 (in Chinese)
- 37 Zhou S-Q (周时强), Li F-X (李复雪). 1986. Community ecology of benthic macrofauna dwelling on mangrove trees in the Jiulongjiang Estuary Fujian. *J Oceanogr Taiwan Strait (台湾海峡)*, **5** (1): 78 ~ 85 (in Chinese)
- 38 Zou F-S (邹发生), Song X-J (宋晓军), Chen W (陈伟), et al. 1999. The diversity of benthic macrofauna on mud flat in Dongzha Jiang Mangrove Reserve Hainan. *Chin Biodivers (生物多样性)*, **7** (3): 175 ~ 180 (in Chinese)

作者简介 陈光程 男, 1982年生, 博士研究生, 主要从事红树林生态恢复与环境生态学研究, 发表文章数篇, E-mail: urden@163.com

责任编辑 肖红