

海南三亚河红树凋落物产量与季节变化研究

张乔民¹, 陈永福²

(1. 中国科学院南海海洋研究所与广州地球化学研究所 边缘海地质重点实验室, 广州 510301; 2. 中国科学院海南热带海洋生物实验站, 海南三亚 572000)

摘要:在海南三亚河红树(*Rhizophora apiculata*)纯林区设置 4 个 1m² 凋落物收集网于 1999 年全年逐旬收集, 4 个网的平均年凋落物总产量为 1388.24g/(m²·a), 其中叶 79.9%, 枝 8.8%, 花 6.4%, 果 4.9%。与国内外有关资料对比, 三亚河红树纯林凋落物产量是很高的, 主要与树较高、低纬度、河流型和林带窄有关。凋落物总产量有多峰值的季节变化, 峰月依次为 10~11 月份、4 月份和 8 月份, 谷月依次为 12 月份、5 月份和 9 月份。叶的产量的峰谷变化与总产量相一致。枝的产量 77% 的网次为 0, 仅 2、8、9、10、11 月份形成 5 个峰值, 其中后两个最大的峰值对总产量峰值的贡献达占 31.7% 和 31.2%。花的产量在 3~5 月份略显平坦的峰值, 8~12 月份维持较低的产量。果的产量在 6~7 月份有一个较宽的峰, 10 和 11 月份有两个窄峰, 12 月份至来年 4 月份基本上没有产量。花和果的凋落物产量变化明显与植物物候期有关。取 1999 年逐旬平均气温、降水量和平均风速资料与相应的凋落物产量进行相关分析显示, 平均气温宏观控制叶凋落物产量和凋落物总产量, 枝凋落物产量主要受平均风速影响。估算整个三亚河 14hm² 红树林区可年产凋落物 194t, 大部分输送到三亚湾并成为三亚湾海洋生物资源有机碎屑食物链的物质和能量的重要来源。

关键词:红树林; 凋落物; 红树(*Rhizophora apiculata*); 海南三亚

Production and seasonal change pattern of litter fall of *Rhizophora apiculata* in Sanya River mangroves, Hainan Island

ZHANG Qiao-Min¹, CHEN Yong-Fu² (1. Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology & Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Tropical Marine Biological Research Station in Hainan, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 1977~1983.

Abstract: Sanya River mangroves (18°15.3'N, 109°30.8'E), distributing along the shore of the estuary or lagoon of downstream Sanya River which passes through Sanya City of Hainan Island in China and impours into the top of Sanya Bay, are one of the southernmost mangroves in China. Among of them a thermophilic eurytopic species *Rhizophora apiculata* can form a pure species forest, which is the most typical tropical mangrove community in China.

The litter fall of *Rhizophora apiculata* forest of Sanya River mangroves was collected with 4 trap nets

基金项目:中国科学院资助重点资助项目; 广东省自然科学基金资助项目(20001007)

野外工作得到三亚市自然保护区管理处协助, 谨致衷心感谢。

收稿日期: 2002-04-16; 修订日期: 2002-08-08

作者简介:张乔民(1942~), 男, 江苏姜堰市人, 研究员, 主要从事海岸河口动力地貌学、热带生物海岸现代过程研究。E-mail: qmzhang@scsio.ac.cn

Foundation item: Guangdong Natural Science Foundation (No. 20001007) and Key Project B Supported by Chinese Academy of Sciences

Received date: 2002-04-16; **Accepted date:** 2002-08-00

Biography: ZHANG Qiao-Min, Professor, be engaged in coastal dynamic geomorphology and modern process of tropical biological coasts. E-mail: qmzhang@scsio.ac.cn

every 10 days for the whole year of 1999. The mean annual litter production for the 4 trap nets was $1388.24\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, with litter productions of leaf, branch, flower and fruit up to 79.9%, 8.8%, 6.4% and 4.9% respectively. This total production was quite high in comparison with the related external research data and the internal data on 5 other sites. This high production was mainly related to the geographic location of low latitude, the riverine community type and the community structure feature of tall tree and narrow mangrove belt. Sanya City in southern Hainan Island has a tropical marine monsoon climate, with obvious wet and dry seasons. The annual temperature and rainfall in 1999 were a little higher than usual, but there was no typhoon influence, so this high litter production could not be induced by meteorological factors.

The total litter production had a seasonal change pattern of multiple peak values, with production peaks in months of Oct. ~ Nov. (taking up 26.25% of the annual production), April, and Aug., and production valleys in months of Dec. ~ Feb. (taking up 10.56% of the annual production), May, and Sep. in the order from high to low. The leaf litter production, as the main body of the total, had the same peak-valley change pattern with the total litter production. The branch litter production was of sparse pulse pattern, with zero production in 77% of the total nets and 5 production peaks respectively in Feb., Aug., Sep., Oct., and Nov., the latter two peaks made contributions of 31.7% and 31.2% respectively to the total production. The flower litter production had a flat peak in March ~ May and a low level in Aug. ~ Dec. The fruit litter production had a wide peak in June ~ July and two narrow peaks in Oct. and Nov. There was basically no production during Dec. ~ April. Taking the values of the mean air temperature, rainfall and mean wind speed of Sanya City every 10 days for the whole year of 1999 to conduct a correlation analysis between the litter fall productions and the above meteorological factors. The results showed no strong relationship between any litter fall production and any meteorological factor in general. Only the total litter production and the leaf litter production had relationships to the mean air temperature, with quite high correlation coefficients and a significance level of $\alpha=0.05$, showing that the total and the leaf litter productions were generally affected by mean air temperature. The relationship between the branch litter production and the mean wind speed had a little high correlation coefficient, and they had the same main peaks, which meant that mean wind speed was a main factor for branch litter production. The litter productions of flower and fruit were related obviously to plant phenological phase. The complicated seasonal change patterns of mangrove litter fall production are affected by many factors, of which temperature, wind speed and phenological phase are main.

Litter fall of mangroves is an important component of their primary production and a key link of mangrove matter and energy flow. It was estimated that the total annual litter fall production of 14hm^2 mangroves over the whole Sanya River was up to 194t. Little accumulated litter fall on the mangrove flat and low organic matter contents of mangrove soil over Sanya River mangroves showed that most of the mangrove litter fall had been transported into Sanya Bay and become important matter and energy sources of organic detritus food chain for marine biological resources of Sanya Bay. This is the feature of matter and energy flows in a riverine mangrove community.

Key words: mangroves; litter fall; *Rhizophora apiculata*; Sanya City of Hainan Island

文章编号: 1000-0933(2003)10-1977-07 中图分类号: Q148, Q178.531, Q948, S718.45 文献标识码: A

红树林凋落物是其初级生产力的重要组成部分,是生态系统物流和能流的关键环节^[1]。国内外对红树林凋落物开展了广泛的研究,包括不同地区和不同树种的凋落物的产量、季节变化、生态意义等^[1~14]。国内的研究包括福建九龙江口的秋茄(*Kandelia candel*)^[1,2]、广西英罗湾的红海欏(*Rhizophora stylosa*)^[3,4]、海

南东寨港的海莲(*Bruguiera sexangula*)^[5,6]、香港米埔的秋茄^[7]和深圳福田的桐花树(*Aegiceras corniculatum*)与秋茄^[8,9]等。本文研究海南三亚河红树(*Rhizophora apiculata*)纯林的凋落物产量及其季节变化规律,并探讨其对维持三亚湾海洋生物资源的生态意义。

1 研究地区和研究方法

海南三亚市三亚河红树林区位于穿越三亚市区注入三亚湾湾顶的三亚河下游(或称为沙坝泻湖型潮汐汊道港湾^[15])沿岸,是我国分布最南和热带特性最典型的红树林区。红树林总面积 14hm²,占三亚河水域面积的 3%^[16]。其中位于三亚市区东侧的东河 9.8hm²,穿越三亚市区的西河 4.2hm²,主要为窄条带状盐田护堤林和河岸林。红树(*Rhizophora apiculata*)和白骨壤(*Avicennia marina*)是群落的优势树种,其中具典型热带特色的嗜热窄布种红树常形成纯林和成为我国最典型的的热带红树群落^[6]。1990 年建立三亚河红树林市级自然保护区,作为三亚市热带滨海旅游城市独特的自然风景资源而受到保护^[16~18]。本次调查的凋落物收集样地在三亚市东河临春桥南侧西岸的三亚市老干活动中心河岸段(18°15.3'N,109°30.8'E),为一片窄条带状高大茂密红树纯林,高度 8~9m,林带宽约 10m,覆盖度 90%,支柱根高 2~3m。1m 高度以下支柱根纵横交错,必须攀缘支柱根才能在林内通行。位于海南岛南岸的三亚市属于干湿季明显的热带海洋性季风气候^[15],年平均气温 25.4℃,年平均降水量 1279.3mm,其中 90.71%集中于湿季(5~10 月份),干季(11~翌年 4 月份)仅占 9.29%。东北季风盛行于 10~3 月份,西南季风盛行于 5~8 月份,通常前者强于后者。7~10 月份有热带气旋影响,平均每年 5 个。

凋落物收集方法参考文献^[2,13,19]。凋落物收集网的布设要考虑既能捕获全部凋落物,又不会被潮水冲走或被螃蟹吃掉,选择林内约 2.5m 的高度随机布设 4 个凋落物收集网,涂塑玻璃纤维窗纱网布孔径 1.5mm,网口面积 1m²。在 1999 年全年期间,每 10d 收集一次凋落物并及时风干或晒干,防止凋落物腐烂失重。分别叶、枝、花、果(胚轴)称重,再进行 105℃烘干校正至干重,得到逐旬红树凋落物各组分产量资料。其中有 15 个网次(占总观测网次的 10.4%)因网丢失缺测,利用同一网站相邻时段或同一时段其他网站的材料插补。从三亚市气象局取得 1999 年逐旬平均气温、降水量和平均风速资料,进行三亚河红树凋落物逐旬产量与逐旬气象因素之间的相关分析,分析影响逐旬凋落物产量变化的主要气象因素。

2 研究结果与讨论

2.1 海南三亚河红树凋落物总产量及其影响因素分析

海南三亚河红树凋落物 4 个网站年总产量平均值为 1388.24g/(m²·a),其中叶的产量接近 80%,枝、花和果的产量均小于 10%(表 1)。从平均值的标准差看出,不同的网站叶的产量变化较小,枝、花和果的产量变化较大。

表 1 海南三亚河红树林 1999 年 4 个收集网站红树年凋落物产量(g/(m²·a))观测结果*

Table 1 Annual litter fall productions (g/(m²·a)) of *Rhizophora apiculata* for 4 trap net stations in Sanya River mangroves, Hainan Island

网号 Net No.	叶 Leaf	枝 Branch	花 Flower	果 Fruit	总计 Total
1 号网 Net 1	1357.33	97.74	129.57	88.95	1673.59
2 号网 Net 2	1041.90	72.09	82.86	85.38	1282.23
3 号网 Net 3	1044.06	129.24	90.50	45.11	1308.91
4 号网 Net 4	996.18	186.93	50.48	54.66	1288.25
4 个网平均 Mean	1109.87	121.50	88.35	68.52	1388.24
平均值的标准差	±144.1	±42.9	±28.1	±19.0	±165.0
Standard error	(±13.0%)	(±35.3%)	(±31.9%)	(±27.7%)	(±11.9%)
占百分比 Percentage (%)	79.95	8.75	6.36	4.94	100

* 观测时间 Observation period: 1999-01-01~1999-12-31

与陆地森林相比,红树林具有高生产率、高归还率(凋落物)和高分解率的三高特性^[20]。据林鹏等华南三处红树林群落资料统计,红树林凋落物产量可占净初级生产力的 36.3%~41.1%,占现有生物量的 2.17%~5.24%^[21]。根据国内外研究资料,红树林凋落物产量一般为 670~970g/(m²·a)^[6],或 400~1300

$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[8]}$, 或 $600 \sim 1200 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[9]}$, 或 $500 \sim 1500 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[13]}$ 。红树科红树植物凋落物一般为 $480 \sim 1280 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[1,3]}$ 。我国 5 个地点共 23a 红树林凋落物产量范围为 $631.3 \sim 1387.0 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[1-9]}$ (表 2)。与上述数据相比, 海南三亚河红树凋落物总产量($1388.24 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)是最高的。红树林凋落物中叶、枝、花和果的组成各地不一, 但均以叶为主要组分。影响不同地区红树林凋落物总产量大小的主要因素有多种看法。Saenger 和 Snedarker 认为主要因素是树高和纬度, 较高树和较低纬度者凋落物产量较高^[11,12]。Dawes 认为主要因素之一是红树林类型, 即河流型 > 边缘型 > 盆地型 > 灌丛型, 河流型红树林的潮汐水流交换强度最大, 红树林生长条件最好, 凋落物产量最高。他认为纬度的影响比较复杂, 有时较高纬区凋落物产量更高, 可能与树木的冬季低温损伤和生物量损失有关^[14]。Hogarth 也强调凋落物和生物量随纬度变低而增大但不是以同样的比例, 凋落物和生物量的比值随纬度的增加而增加, 随树木尺寸的增大而减小。较高纬度较小的树可生产相对较多的凋落物(其中叶占最大比重)^[13]。海南三亚河红树凋落物的高产量主要与树木较高, 纬度最低, 河流型红树林等群落特性有关。也可能与林带窄, 易于遭受风力作用有关^[6], 因为风力作用与当年凋落物产量有很大关系。如福建九龙江口秋茄林有连续 11a 的凋落物资料, 年凋落物产量呈逐年上下波动, 最大值与最小值之比为 1.70, 最高峰的 2 个年份均发生多年不遇的强台风, 当月凋落物产量占全年 30% 左右^[1]。海南三亚市 1999 年全年气温偏高 0.7°C , 降水量偏多 612mm, 无台风影响, 凋落物高产量受当年气象异常影响的可能性不大。

表 2 中国 6 个红树林地点凋落物研究资料表

Table 2 Research data of litter fall production at 6 mangrove sites of China

地点 Location	福建 九龙江口 Jiulongjiang estuary, Fujian	香港 米埔虾塘 Mai Po, Hong Kong	深圳福田 Futian, Shenzhen	广西英罗湾 Yingluo Bay, Guangxi	海南东寨港 河港村 Dongzaigang Habor, Hainan	海南三亚 Sanya, Hainan
纬度 Latitude	24°24'N	22°30'N	22°32'N	21°28'N	19°58'N	18°15'N
红树林类型 Type of mangroves	河流型	边缘型	边缘型	边缘型	边缘型	河流型
树种和树高 Species & height (m)	秋茄 5~6	秋茄 6~7	桐花树+ 秋茄 4~5	红海榄 6	海莲 14	红树 8~9
时间 Period(a)	11 (1982~1992)	2 (1985-12~ 1988-01)	1 (1991-10~ 1992-10)	3 (1989~1991)	6 (1984~1989)	1 (1999)
凋落物产量 Litter amount (平均值 Mean, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)	651.2~1108.6 (862.9)	910.4~1303.7 (1107.0)	1149.1	631.3~859.6 (771.9)	1024.1~1385.9 (1197.7)	1388.2
叶 Leaf (%)	63.3	53.9	73.6	80.8	61.8	79.9
枝 Branch (%)	15.9	6.2	15.3	3.5	7.4	8.8
花 Flower (%)	5.5		3.5	2.1	7.9	6.4
果 Fruit (%)	15.3	39.9	7.6	13.5	22.9	4.9
季节变化 Seasonal change 峰/谷 Peak/Valley (月 Month)	单峰, 双峰 或多峰 6~8/1~2		单峰 8/1	双峰 8,5/1,6	双峰 9,3/12~2,4	多峰 10~11,4,8 /12,5,9
季节变化影响因素 Factors of seasonal change	气温、台风、物候		气温、台风、	气温、台风、 物候	气温、台风、 其他	气温、台风、 物候
资料来源 Source	[1,2]	[7]	[8,9]	[3,4]	[5,6]	本文

2.2 三亚河红树凋落物产量的季节变化及其影响因素分析

三亚河红树凋落物总产量及其组分有多峰值的锯齿形的季节变化(图 1)。10~11 月份为全年最高, 占全年总产量的 26.25%, 其中包含 11 月上旬的全年第一高峰($109.45 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$), 与 10 月上旬的全年第二高峰($81.68 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$)。12~2 月份为全年最低, 占全年总产量的 10.56%, 其中 2 月份略有上升。4 月份和 8 月份为全年两个较高产量期, 其中包含 3 月中旬、4 月中旬、6 月下旬、7 月下旬和 8 月中旬 5 个峰值相近的峰, 峰值范围 $54.21 \sim 59.49 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$ 。5 月份和 9 月份为全年两个较低产量期。叶的产量的峰

谷变化基本上与总产量相一致,与总产量峰值对应的 7 个峰值范围为 $45.36 \sim 64.79 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$,峰值之间的差异较小。枝的产量完全是脉动式的,77%的网次为 0,仅 2 月中旬、8 月上旬、9 月上旬、10 月上旬和 11 月上旬形成 5 个峰值,其中后两个最大的峰值对总产量峰值有较大贡献(占 31.7%和 31.2%)。枝的最高单网产量为 10 月上旬 4 号网的 $103.5 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$,已接近于全年枝的平均产量 $121.5 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。花的产量比较均匀,3 月中旬至 5 月下旬略显平坦的峰值(范围为 $4.30 \sim 6.64 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$),8~12 月份维持较低的产量。果的产量也带有脉动特征,三分之二的网次为 0。6 月中旬至 7 月下旬有一个较宽的峰,10 月中旬和 11 月上旬有两个窄峰,峰值范围为 $4.94 \sim 9.26 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$ 。12~4 月份基本上没有产量。

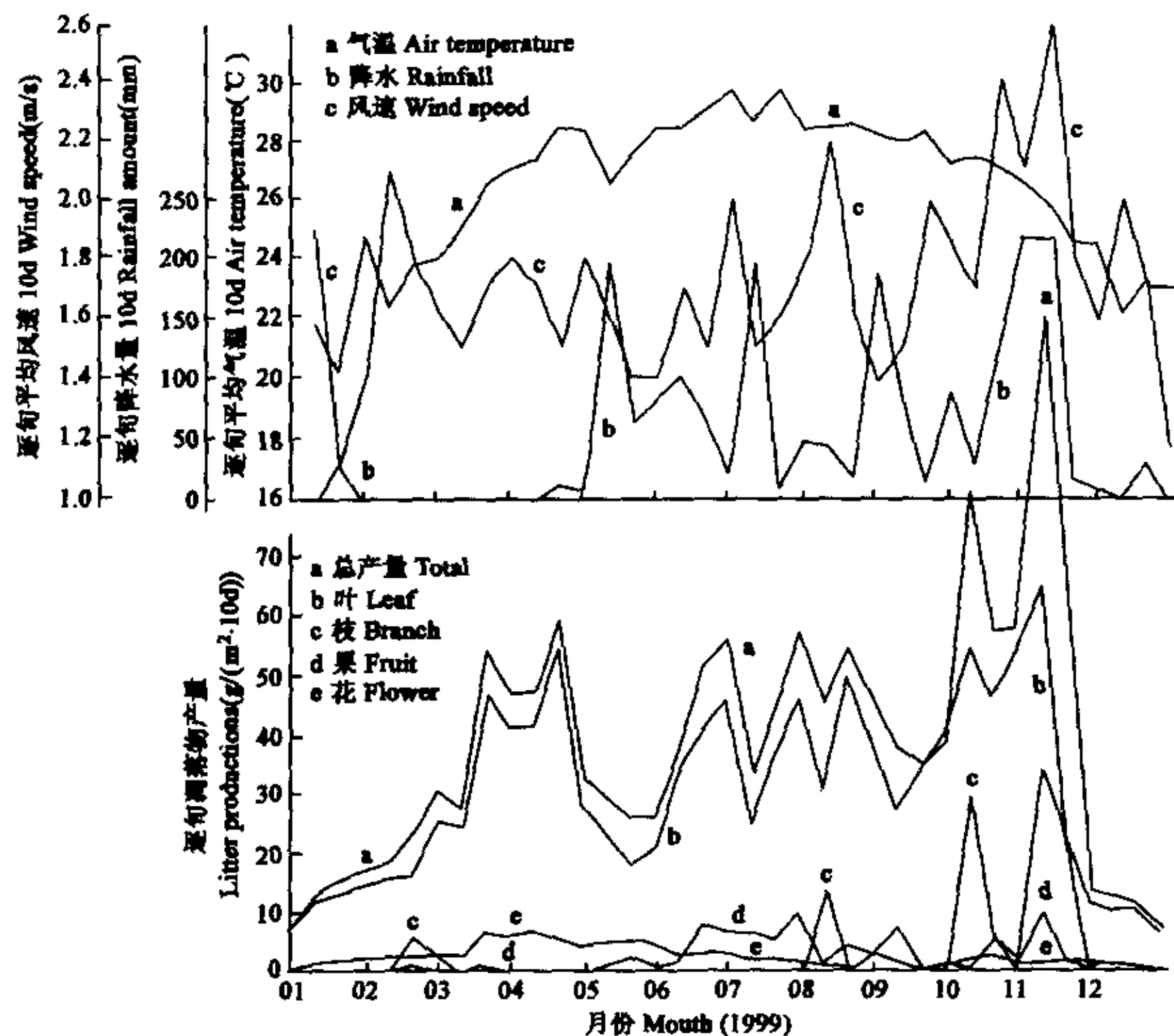


图 1 海南三亚河红树(*Rhizophora apiculata*)1999 年逐旬凋落物产量($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$)、平均气温($^{\circ}\text{C}$)、降水量(mm)和平均风速(m/s)变化曲线

Fig. 1 Dynamics of mean litter productions ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$) of *Rhizophora apiculata*, mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$), amount of precipitation (mm) and mean wind speed (m/s) for each ten days in 1999 in Sanya River mangroves, Hainan Island

为深入分析三亚河红树林凋落物产量与有关气候因素的关系,取 1999 年逐旬平均气温、降水量和平均风速资料与相应的凋落物产量共同作过程线图(图 1)并进行相关分析(表 3)。总体上看,任何一项气候因素对任何一项凋落物产量之间的相关关系都不是很强,除了花凋落物产量与降水量及平均风速为弱的负相关,其余均为弱或中等的正相关。相关系数较高并达到置信度 $\alpha=0.05$ 时相关显著的仅 0.64(叶凋落物产量与平均气温)、0.56(凋落物总产量与平均气温)。平均气温过程线是相对较平滑的上凸曲线。从 2 月下旬到 11 月下旬,平均气温大于 24°C ,叶凋落物产量和凋落物总产量通常大于 $30 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{d})$,显示一定的宏观影响,但与凋落物产量次一级的峰谷对应不明显。12 月下旬的年最低气温也对应于叶和凋落物总量的年最低值。降水量和平均风速过程线均为锯齿状。11 月上旬出现平均风速和降水量全年最大的峰值,相应出现枝、叶、果、总凋落物产量的全年最大峰值。8 月上旬出现平均风速全年第三峰值,相应出现枝凋落物

产量全年第三峰值。其余峰谷对应关系不明显。总体上看,三亚河红树叶凋落物产量主要受气温影响,枝凋落物产量主要受风速影响,花和果的凋落物产量变化明显与植物物候期有关。

表 3 海南三亚河红树逐旬凋落物产量与相应气候因子之间的相关系数表

Table 3 Correlation coefficients between 10d litter fall productions of Sanya River mangroves, Hainan Island, and related meteorological factors

项目 Item	凋落物总产量 Total litter	叶凋落物产量 Leaf litter	枝凋落物产量 Branch litter	花凋落物产量 Flower litter	果凋落物产量 Fruit litter
平均气温 Air temperature	0.56 *	0.64 *	0.04	0.29	0.43
降水量 Rainfall amount	0.39	0.34	0.27	-0.16	0.41
平均风速 Wind speed	0.41	0.31	0.44	-0.17	0.25

* Significance level $\alpha=0.05$

红树林凋落物产量通常存在复杂的季节变化,尤其在亚热带地区^[13]。许多研究对季节变化描述多而解释少,对其主要影响因素有多种看法。Wafar 等归纳许多研究成果后指出,凋落物产量最大值常出现在干旱少雨的夏天,对应于植物因缺水而必须疏枝;或潮湿多雨的季节,对应于植物淡水营养供给增加;或较少程度上因辐射和大风的影响,通常风暴后的凋落物产量会显著增加^[12]。我国 6 个地点红树林凋落物总产量的季节变化可以是单峰、双峰或多峰(表 2)。凋落物的夏高冬低的总体格局受温度的宏观影响,而大风(如台风影响)则往往使枝凋落物增加而形成叠加的峰。海南三亚红树林凋落物的逐旬统计而不是通常的逐月统计也使得其多峰特点更显著。红树林凋落物产量往往受多种气象因素的综合影响,难以仅用单个气象因素解释。一般认为温度、风速和季候是影响凋落物产量的 3 个主要因素(表 2)。

2.3 红树林凋落物的生态功能

红树林每年以凋落物的形式向河口海岸输送大量的营养物质,成为次级生产者物质和能量的重要来源,对河口海岸水产渔业的发展起重大作用^[10]。按照本次测量的三亚河红树林凋落物产量粗略估算整个三亚河 14hm² 红树林区可年产凋落物 194t。红树林凋落物或被螃蟹吃掉,或原地堆积和被微生物逐步分解,或被潮水带出林外^[13]。三亚河红树林区地面残留凋落物不多,林区土壤有机质含量偏低(三亚河西河 2 个断面 4 个沉积物样品分析结果为 0.7%~0.9%,远低于通常的 4%~9%^[21]),说明大部分凋落物被水流带出林外,主要是被径流和落潮流带出河口进入三亚湾,成为三亚湾海洋生物资源有机碎屑食物链的主要能量来源。这也是河流型红树林物质和能量流动的特点。

References:

- [1] Zheng F Z, Lin P, Lu C Y, et al. Interannual dynamic of litter fall of *Kandelia candel* mangrove and energy flow through the litter in Jiulongjiang estuary, Fujian Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 113~118.
- [2] Lu C Y, Zheng F Z, Lin P. Study on litter fall production of *Kandelia candel* mangrove community in estuary. *Journal of Xiamen University (Natural Sciences)*, 1988, 27(4): 459~463.
- [3] Zheng F Z, Lin P, Lu C Y, et al. Litter fall production and energy flow through the litter of *Rhizophora stylosa* Griff. mangrove community in Yingluo Bay of Guangxi, China. *Journal of Xiamen University (Natural Sciences)*, 1996, 35(3): 417~423.
- [4] Yin Y, Lin P. Study on the litter fall of *Rhizophora stylosa* community in Yinluo Bay, Guangxi. *Guihaia*, 1992, 12(4): 359~363.
- [5] Lin P, Lu C Y, Wang G L, et al. Study on litter fall of *Bruguiera sexangula* mangrove in Hainan Island, China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1990, 14(1): 69~74.
- [6] Lin P. *Mangrove Ecosystem in China*. Beijing: Science Press, 1997. 184~212.
- [7] Lee S Y. Litter production and turnover of the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce in a Hong Kong shrimp pond. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1989, 29: 75~87.
- [8] Zhang H D, Chen G Z, Liu Z P, et al. *Studies on Futian Mangrove Wetland Ecosystem, Shenzhen*. Guangzhou: Guangdong Scientific and Technological Press, 1998. 38~40.
- [9] Li M S, Lan C Y, Chen G Z, et al. Litter production and return of nutrient elements in Futian mangrove swamp.

- Shenzhen, China. In: Lee S Y, ed. *The Mangrove Ecosystem of Deep Bay and the Mai Po Marshes, Hong Kong*. Proceedings of the International Workshop on the Mangrove Ecosystem of Deep Bay and the Mai Po Marshes, Hong Kong, 3~20 September 1993. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1999. 165~177.
- [10] Lin P, Chen R H. Role of organic detritus of mangrove forest in estuarine ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1991, 10(2): 45~48.
- [11] Saenger P, Snedaker S C. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*, 1993, 96: 293~299.
- [12] Wafar S, Untawale A G, Wafar M. litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 44: 111~124.
- [13] Hogarth P J. *The Biology of Mangroves*. Oxford: Oxford University Press, 1999. 116~132.
- [14] Dawes C J. *Marine Botany. Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 267~302.
- [15] Wang Y, et al. *Tidal Inlet Embayment Coasts of Hainan Island*. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1998. 30~168.
- [16] Yan G Y, Zhou X F, Li J, et al. Current situation and protection of Sanya River mangroves. *Sanya Environment and Resources*, 1998, (1~2): 21~23.
- [17] Fu G A, Li J. Ancient and pristine Sanya mangroves of Hainan Island. *Tropical Forestry*, 1999, 27(1): 12~18, 11.
- [18] Zhou X F, Li J. Existing states of protection and countermeasure of Sanya River Mangrove Reserve. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2000, 6(2): 26~27, 8.
- [19] Zheng D Z, Zheng S F, Liao B W, Translators. *Research Methods of Mangrove Ecosystem*. Guangzhou: Guangdong Scientific & Technological Press, 1994. 382~394.
- [20] Lin P. A review on the mangrove research in China. *Journal of Xiamen University (Natural Sciences)*, 2001, 40(2): 592~603.
- [21] Zhang Q M, Zhang Y C. Study on biogeomorphologic process of mangrove coasts in south China. *Quaternary Sciences*, 1997, (4): 344~353.

参考文献:

- [1] 郑逢中, 林鹏, 卢昌义, 等. 福建九龙江口秋茄红树林凋落物年际动态及其能量流的研究. *生态学报*, 1998, 18(2): 113~118.
- [2] 卢昌义, 郑逢中, 林鹏. 九龙江口秋茄红树林群落的凋落物量研究. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1988, 27(4): 459~463.
- [3] 郑逢中, 林鹏, 卢昌义, 等. 广西英罗湾红海榄林凋落物动态及其能流. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1996, 35(3): 417~423.
- [4] 尹毅, 林鹏. 广西英罗湾红海榄群落凋落物研究. *广西植物*, 1992, 12(4): 359~363.
- [5] 林鹏, 卢昌义, 王恭礼, 等. 海南岛河港海莲红树林凋落物动态的研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14(1): 69~74.
- [6] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997. 184~212.
- [8] 张宏达, 陈桂珠, 刘治平, 等主编. 深圳福田红树林湿地生态系统研究. 广州: 广东科技出版社, 1998. 38~40.
- [10] 林鹏, 陈荣华. 红树林有机碎屑在河口生态系统中的作用. *生态学杂志*, 1991, 10(2): 45~48.
- [15] 王颖, 等著. 海南潮沙汉道港湾海岸. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 30~168.
- [16] 晏光勇, 周小飞, 黎军, 等. 三亚河红树林现状及保护. *三亚环境资源*, 1998, (1~2): 21~23.
- [17] 符国璠, 黎军. 海南岛古老与原生的三亚红树林. *热带林业*, 1999, 27(1): 12~18, 11.
- [18] 周小飞, 黎军. 三亚河自然保护区红树林的保护现状及对策. *华南热带农业大学学报*, 2000, 6(2): 26~27, 8.
- [19] Brown M S. 红树林凋落物的产量及动态. 见: Snedaker S C 和 Snedaker J G 编. 郑德璋, 郑松发, 廖宝文译校. *红树林生态系统研究方法*. 广州: 广东科技出版社, 1994. 382~394.
- [20] 林鹏. 中国红树林研究进展. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(2): 592~603.
- [21] 张乔民, 张叶春. 华南红树林海岸生物地貌过程研究. *第四纪研究*, 1997, (4): 344~353.