

福建九龙江口秋茄红树林凋落物年际 动态及其能流量的研究*

郑逢中 林 鹏^① 卢昌义 郑文教
(厦门大学环境科学研究中心 ^①厦门大学生物系 厦门 361005)

摘要 福建九龙江口红树林生态系统研究的一个主要部分。通过对秋茄红树群落凋落物进行为期 11a(1982~1992年)逐月连续测定。结果表明:凋落物产量年际波动在 651.2~1108.6g/m² a, 11a 平均为 862.9g/m² a, 其中, 叶占总量的 63.3%, 枝 15.9%, 果 15.3%, 花 5.5%。不同年份凋落物量变化率(R)为 1.7。年中凋落物量以夏季>秋季>春季>冬季。凋落物能流量达 12 702~21 664kJ/m² a, 年际均值为 16 832kJ/m² a, 其中春季 3 847, 夏季 6 557, 秋季 4 214, 冬季 2 214(kJ/m²)。各组分能流量分别为:落叶 10 756, 落枝 2 683, 落花 930, 落果 2 453(kJ/m² a)。大量凋落物可为近海河口海洋生物提供可持续利用的有机物质和能量来源。

关键词: 红树林, 秋茄, 凋落物, 能流

INTERANNUAL DYNAMIC OF LITTER FALL OF *Kandelia Candel* MANGROVE AND ENERGY FLOW THROUGH THE LITTER IN JIULONGJIANG ESTUARY, FUJIAN PROVINCE, CHINA

Zheng Fengzhong Lin Peng^① Lu Changyi Zheng Wenjiao
(Environmental Science Research Center, ^① Department of Biology, Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

Abstract This paper is a part of the studies on the mangrove ecosystem in the estuary of Jiulongjiang River in Fujian Province. The litterfall of *Kandelia candel* mangrove community was collected for a period of 11 years from 1982 to 1992. The results showed that the annual litter production ranged from 651.2 to 1108.6 g dw/m² a. The mean value was 862.9 g/m² a of which litter leaf comprised 63.3%, branch 15.9%, fruit 15.3% and flower 5.5% respectively. The yearly litterfall fluctuation rate was 1.70. Seasonal trends in total litterfall was in the order of summer> autumn> spring> winter, which coincided with increasing temperatures. The energy flow through the litterfall was estimated at 16 832 kJ/m² a of which 3847 kJ/m² were in spring, 6557 kJ/m² in summer, 4214 kJ/m² in autumn and 2214 kJ/m² in winter. In the four litter fractions, leaf contributed the largest proportion with 10 756 kJ/m² a, branch 2683 kJ/m² a, fruit 2453 kJ/m² a and flower 930 kJ/m² a.

* 国家自然科学基金资助项目。本项野外工作得到龙海县浮宫乡政府及草埔头村委会大力支持和帮助, 深表谢忱
收稿日期: 1996-01-10, 修改稿收到日期: 1996-08-20

This is an important energy source available to the food chains of marine organisms in the mangrove region of the estuary.

Key words mangrove, *Kandelia candel*, litter fall, energy flow.

福建九龙江口红树林自然保护区的秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce) 红树群落是我国纬度分布最广的抗低温代表类型。红树群落凋落物是红树林生态系统初级生产力的主要部分,是研究物流、能流的关键环节。为了深入研究红树林资源的作用与价值,世界许多红树林地区都着重从生态系统角度开展对红树林的研究,其中对不同类型红树群落凋落物产量进行不少研究^[1-6],但受到客观条件和时间上的限制,其连续测定时间大多为3~4a。从凋落物的年际波动性和准确反映群落生产力来看,时间长度尚显不足,为了全面揭示秋茄红树群落凋落物生产力的年际动态、季节变化及影响因素,本工作从1982年1月至1999年12月在九龙江口红树林自然保护区内的定位研究基地进行长达11a的逐月连续测定,此项研究对确定秋茄林凋落物生产力,了解我国亚热带海滩植被初级生产者红树林对海岸河口生态系统的贡献,为保护、发展和利用红树林资源,发展水产渔业提供科学依据。

1 自然条件及群落概况

实验基地设在福建省九龙江口龙海红树林保护区的浮宫镇草埔头村(24°24'N, 117°55'E)附近的秋茄林内。该地区属南亚热带海岸气候,年平均气温21℃,最低月均温12.2℃,年较差16.7℃,年均降雨量1365.1mm,相对湿度81%。夏秋季偶有台风。河口区南北两岸海滩分布着红树林,优势种为秋茄,伴生有桐花树(*Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco.),白骨壤(*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.),部分地段有少量老鼠(*Acanthus illicifolius* Linn.)

样地位于九龙江口南岸秋茄纯林中,林龄20~30a,因有专人护林,人为影响较少,能较好地反映自然群落生产力,且潮汐可经常到达林地,植株高6m左右,树冠郁闭度为90%,叶面积指数为1.7,生长密度为208株/100m²,样地土壤为较深厚沉积淤泥。第3层表土(20~40cm)含盐量为13.2‰。

2 材料与方法

在秋茄林样地中,随机设置10个凋落物收集网。收集网用孔径1.5mm涂塑玻璃纤维制成,每个收集网网口为圆形,面积1m²,外形呈倒三角锥形,固定于离地面约2m高的植株丛间,除滩面少数小苗外,其树冠均处于收集网之上,收集网下端设开口,紧扎,每5d取出凋落物1次,及时风干保存,每月集中1次,按叶、枝、花(包括花序轴)、果(包括胚轴体)4个组分分开,各组分抽样于105℃烘干至恒重,以计算当月凋落物各组分干重值。

热值测定 凋落物各组分样品经烘干、磨碎,用B₁-GR350型微机电脑氧弹式热量计测定其干重热值。

3 结果与讨论

3.1 秋茄林凋落物产量及组成

秋茄群落1982~1999年凋落物逐年测定结果列于表1。年凋落物量11a变化幅度为651.2~1108.6g/m²,平均为862.9g/m²。其中年落叶为546.2g/m²,占总量63.3%;枝137.5g/m²,占15.9%;果131.6g/m²,占15.3%;花47.1g/m²,占5.5%。在这些组分中,叶占比例最大,叶和花合计占总量的69%,这两组分由于在海滩上经潮汐作用易于分解,能迅速进入食物链或生物循环,是凋落物中比较重要的部分。

不同地域、不同类型群落凋落物产量差别较大,表2列出一些主要红树林和非红树林凋落物产量。可以看出,红树科植物年凋落物量大约为480~1280g/m²·a,本亚热带30龄秋茄林处于中上水平。与我国所处不同纬度和林龄的其它红树林相比,秋茄林低于北纬19°的热带海南岛5龄海莲林(1104~1255g/m²·a)^[7-8],而高于北纬21°北热带广西7龄红海榄林(772g/m²·a)^[9]。这说明不同群落凋落物产量与所处不同地理环境、种类、林龄等都有关系。

与陆生森林比较,秋茄凋落物产量不仅高于同一气候带的福建南靖和溪(24°56'N)亚热带雨林凋落物量(755g/m²·a)^[10],而且略高于广东鼎湖山(23°08'N)亚热带季风常绿阔叶林(815g/m²·a)^[11]和海南岛尖

表 1 1982~ 1992年秋茄群落凋落物量* ($\text{g dw}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)Table 1 Annual litter fall production of *Kandelia candel* community from 1982 to 1992

年份 Year	叶 Leaf	枝 Branch	花 Flower	果 Fruit	总量 Total
1982	566.8(66.5)	122.4(14.4)	67.9(8.0)	94.5(11.1)	851.7
1983	738.6(66.6)	225.1(20.3)	23.6(2.1)	121.3(11.0)	1108.6
1984	628.3(78.3)	79.1(9.9)	20.8(2.6)	73.9(9.2)	802.1
1985	593.9(63.3)	125.0(13.3)	42.9(4.6)	176.0(18.8)	937.8
1986	442.1(67.9)	79.9(12.3)	24.8(3.8)	104.4(16.0)	651.2
1987	580.5(60.0)	140.8(14.6)	67.9(7.0)	177.5(18.4)	966.7
1988	411.2(51.8)	141.2(17.8)	53.5(6.7)	188.4(23.7)	794.3
1989	496.1(64.6)	104.0(13.6)	54.5(7.1)	113.2(14.7)	767.8
1990	641.9(59.8)	252.1(23.5)	60.5(5.6)	119.1(11.1)	1073.6
1991	395.4(53.2)	111.5(15.0)	46.8(6.3)	189.6(25.5)	743.3
1992	518.3(65.2)	131.6(16.6)	55.4(6.9)	89.5(11.3)	794.8
平均 Average	546.6(63.3)	137.5(15.9)	47.2(5.5)	131.6(15.3)	862.9

* 括号内数据为占总量的百分比。Numbers in the brackets are percentage of each fraction to the total amount.

表 2 世界各地红树林与非红树林凋落物量

Table 2 Litter fall productions for mangrove forests and non-mangrove forests in the world

种类/类型 Species/Types	凋落物量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$) Litter fall production	地区 Region
红树 (<i>Rhizophora apiculata</i>)	670	Thailand ^[1]
	971	Matang, Malaysia ^[2]
大红树 (<i>R. mangle</i>)	480	Puerto Rico ^[3]
	1280	Florida, USA ^[4]
木榄 (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)	880	Missionary Bay, Australia ^[5]
红海榄 (<i>R. stylosa</i>)	777	Tuvalu, South Pacific ^[6] , China
	772	中国广西英罗湾 ^[9] Yingluo Bay, Guangxi, China
海莲 (<i>B. sexangula</i>)	1255	中国海南岛河港 ^[7] He-Gang Bay, Hainan Island, China
	1104	中国海南岛演丰 ^[8] Ynafeng, Hainan Island, China
秋茄 (<i>Kandelia candel</i>)	863	中国福建九龙江口(本文) Jiulongjiang Estuary, China
亚热带雨林 Subtropical rain forest	755	福建南靖和溪 ^[10] Hexi, Nanjiang, Fujian
南亚热带季风常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaf monsoon forest	815	广东鼎湖山 ^[11] Dinghushan, Guangdong
热带山地雨林 Tropical mountain rain forest	820	海南岛尖峰岭 ^[12] Jianfengling, Hainan

峰岭 ($18^{\circ}23' \sim 52' \text{N}$) 热带山地雨林 ($820 \text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)^[12]。反映了海岸红树林具有高生产力和高归还率的特点。

3.2 凋落物产量月变化及影响因素

通过对 11a 逐月凋落物量数据绘制成图 1 可以清楚看出, 每年凋落物量的逐月动态具有明显季节波动: 每年 1 2月最低, 3~ 5月逐月增多, 至 6 7 8月达高峰, 9月后呈逐月下降的趋势。观察几种气候因子的季节变化, 发现这一趋势与所处环境气温变化的总体趋势基本相符, 波动以年为周期。将 11a 逐月凋落物量 ($Y, g/m^2$) 与对应月均气温 ($x, ^\circ C$) 数值进行回归分析, 表明两者呈线性相关, 回归方程 $y = 4.797x - 29.140$ ($r = 0.621^*$, $df = 130$), 经 t 检验 ($t = 9.03, t_{0.01, 130} = 2.61$), $P < 0.01$, 故相关极显著。说明气温是影响秋茄凋落物量季节动态的重要因子。春季开始, 随着气温回升, 植物生长进入旺盛期, 新陈代谢加强, 不仅促进生长, 同时也加速营养器官的衰老进程。

此外, 某些年份夏季强台风过境造成了凋落物异常增加, 图 1 箭号表示 1983 年 7 月和 1990 年 6 月均发生 1 级左右的强台风, 当月凋落物量剧增, 分别达 $337.6g/m^2$ 和 $309.8g/m^2$, 分别大于相应正常月份平均值的 3.6 和 3.58 倍, 台风的侵袭造成许多枯枝叶和一些鲜嫩枝叶折落, 产生超过正常月份数倍的非正常凋落量。由此可见台风可以显著地增加某些月份凋落物量。

图 2 绘出了 11a 中同一组分相同月份凋落物量平均值的月变化曲线, 可以看出, 不同组分月变化规律各异。叶是主要组分, 其季节变化可以显著地影响凋落物总量相应变化, 受气温和台风两大因素的影响, 叶凋落量以夏季 (6~ 8 月) > 秋季 (9~ 11 月) > 春季 (3~ 5 月) > 冬季 (12~ 2 月); 枝的凋落主要受风力影响, 在夏秋季节遇有台风, 落枝量显著增加, 其余季节落枝量较少; 花果凋落物受其物候节律制约, 如盛花期在 7~ 9 月, 以 8 月落花量最多; 果 (胚轴体) 成熟期在 4~ 6 月, 最大落果量出现在 5 月, 其余月份果量极少或收集不到。

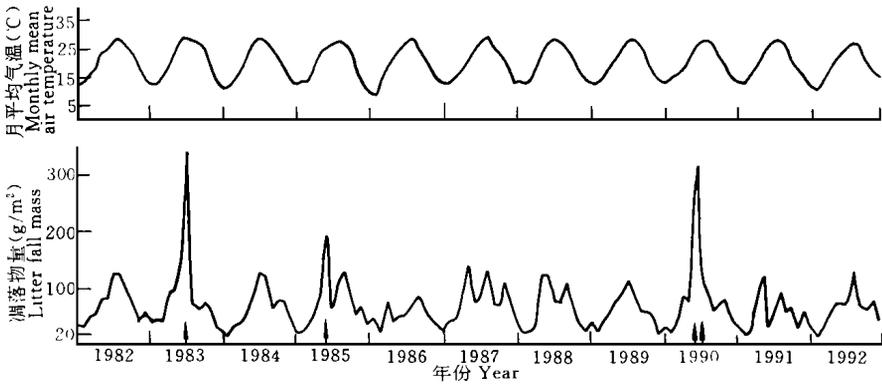


图 1 秋茄凋落物及相应气温动态

Fig. 1 Annual dynamics of litter fall and relative air temperature

箭号表示该月有台风影响 Arrow indicates there was typhoon influence on the month.

3.3 秋茄凋落物年际动态

根据 11a 凋落物产量测定结果表明, 其年际凋落量一般呈现逐年上下波动 (除 1989 年外), 平均值 $863 g/m^2$ 。其高峰年份分别出现在 1983 年和 1990 年, 最低年份 1986 年, 两波峰相距 7a (图 3)。

凋落物量高峰年份 1983 年和 1990 年均发生多年不遇的强台风, 台风发生当月 (1983 年 7 月和 1990 年 6 月和 7 月) 凋落物量占全年凋落量的 30.4% (1983 年) 和 28.9% (1990 年), 造成当年凋落量显著增加, 其后第 2 年相应减少, 形成了相邻两年的起伏波动。因此秋茄凋落物量年际波动主要受年际气候特别是台风强度与频度差异的影响。

台风对各组分年凋落量的影响程度不同, 枝受影响最大, 1983 年和 1990 年枝凋落量分别比正常年份平均值高 95.6% 和 119.1%; 其次是叶, 分别比正常年份平均值高 43.6% 和 24.8%; 而台风对全年花果凋落量的影响不显著。

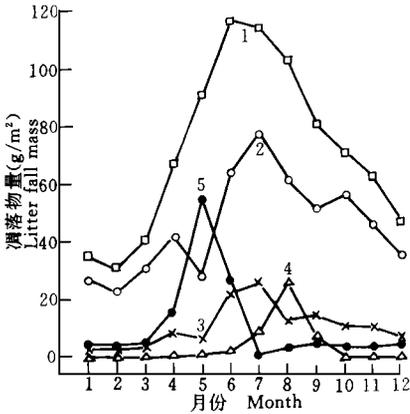


图2 凋落物各组分月变化 (1982~ 1992)

Fig. 2 Monthly dynamics of the different components of litter fall

1 总量 Total litter fall; 2 叶 Leaf;
3 枝 Branch; 4 花 Flower; 5 果 Fruit

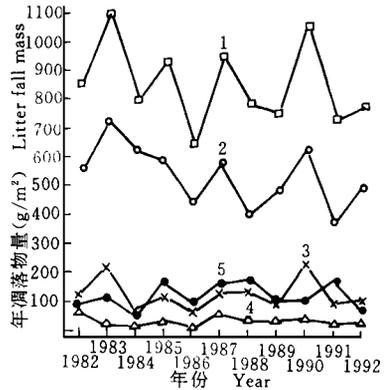


图3 凋落物各组分年际动态 (1982~ 1992)

Fig. 3 Interannual dynamics of the different components of litter fall from 1982 to 1992

图例同图2 Legend see Fig. 2

秋茄群落逐年凋落物量的差异和波动是群落的季相变化和其中植物种群的物候学特性以及不同年份所处环境多种因子差异的综合反映。根据龙海县气象局资料,图 4 绘出一些主要气象因子的年际变化。可以看出,这些因子年际波动与凋落物量年际波动并不吻合,说明这些因子一般不是单独起作用,而是许多因子复合影响的结果。衡量凋落物量年际变化幅度,通常采用“年变化率”表示,即数年内凋落物产量波动的最大值与最小值之比 ($R = \text{Max} / \text{Min}$)。Bray 等人总结了世界上许多群落的 R 值,其值多在 1.1~ 3.2 之间^[13]。本文秋茄群落 $R = 1.70$,表明年际间不同环境变化对秋茄群落的影响较为显著,其凋落物量波动属正常范围。

3.4 秋茄群落年凋落物能流量

凋落物能流量 (Energy flow through litter)是指通过凋落物而提供给其它子系统的能量^[14]。以凋落物各组分干重生物量和相应组分热值乘积之和求得。通过对 1985、1988、1991 年的凋落物样品进行热值测定 (表 3),其各组分干重热值: 叶 19.693kJ/g,枝 19.511kJ/g,花 19.720kJ/g,果 18.645kJ/g。测定结果显示,不同年份间,同一组分干重热值变动很小,相差小于 1%,说明同一组分其所含能量较为稳定。根据这一特点,采用 3 年平均值,结合每年凋落物各组分产量可以推算出各年份通过凋落物的能流量 (表 4)。其年际波动在 12 702~ 21 664kJ/m² a,平均为 16 832kJ/m² a,其中落叶 10 756,落枝 2 683,落花 930,落果 2 453(kJ/m² a)。能流在各季节的分布: 春季 3 847,夏季 6 557,秋季 4 214,冬季 2 214(kJ/m²)。由此可以看出,秋茄红树林每年凋落物为邻近海域提供大量可持续利用的物质和能量。

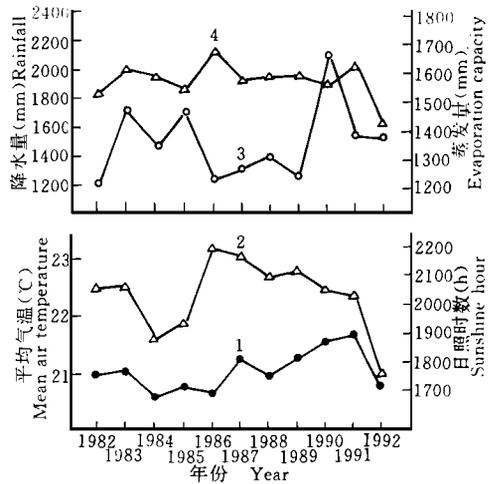


图4 主要气候因子的年际变化 (1982~ 1992)

Fig. 4 Interannual changes of main meteorological factors from 1982 to 1992

1 气温 Air temp; 2 日照时数 Sunshine hour;
3 降水量 Rainfall; 4 蒸发量 Evaporation capacity

红树林是全球自然森林群落中凋落物产量较高的类型之一。由于地处海陆交界湿地环境,其凋落物在海水浸渍和波浪的作用下可迅速分解为有机碎屑^[15]。随着每日潮汐运动向邻近滩涂和海域输出,是该地区海洋生物生存和发展的物质及能量来源。因此红树林凋落物对促进该区域水产渔业,维持河口生态系统的稳定和发展具有重要作用。

表3 秋茄凋落物各组分热值(kJ/g)

Table 3 Caloric values of different components of the litterfall

组分 Fractions	年份 Year			平均 Average
	1985	1988	1991	
叶 Leaf	19.741	19.654	19.694	19.693
枝 Branch	19.435	19.613	19.486	19.511
花 Flower	19.732	19.735	19.693	19.720
果 Fruit	18.535	18.641	18.760	18.645

表4 秋茄群落通过凋落物的能流量(kJ/m²·a)

Table 4 Energy flow through litterfall of *Kandelia candel* community

年份 Year	能流量 Energy flow	年份 Year	能流量 Energy flow
1983	21 664	1989	14 984
1984	15 705	1990	20 974
1985	18 262	1991	14 419
1986	12 702	1992	15 536
1987	18 828	年平均 Average	16 832

参 考 文 献

- Christensen B. Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* BL. in a mangrove in southern Thailand. *Aquat Bot.*, 1978, 4: 43- 52
- Gong W K *et al.* Productivity of mangrove trees and its significance in a managed mangrove ecosystem in Malaysia. In: *Proceedings of the Asian Symposium on Mangrove Environment Research and Management* (eds. by E Soepadmo), Kuala Lumpur, UNESCO, 1984, 216- 225
- Goulter P F E and Allaway W G. Litter fall and decomposition in a mangrove stand, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., in Middle Harbour, Sydney. *Aust J Mar Freshwater Res*, 1979, 30: 541- 546
- Twilley R R *et al.* Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology*, 1986, 67(3): 670- 683
- Duke N C *et al.* Mangrove litter fall in north-eastern Australia. I. Annual totals by component in selected species. *Aust J Bot*, 1981, 29: 547- 553
- Woodroffe C D *et al.* Litter fall beneath *Rhizophora stylosa* Griff., Vaitupu, Tuvalu, South Pacific. *Aquat Bot.*, 1984, 18: 249- 255
- 林鹏等. 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
- Lu C Y and Lin P. Studies on litter fall and decomposition of *Bruguiera sexangula* (Lour.) Poir. community on Hainan island, China. *Bulletin of Marine Science*, 1990, 47(1): 139- 148
- 郑逢中等. 广西英罗湾红海榄林凋落物动态及其能流量. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(3): 417- 423
- 王良睦等. 福建和溪亚热带雨林凋落物及残留物研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(5): 795- 800
- 屠梦照. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量. 热带亚热带森林生态系统研究(2). 广州: 科学普及出版社广州分社, 1984: 18- 21
- 吴仲民等. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与量. 植物生态学报, 1994, 18(4): 306- 313
- Bray J R and Gorham E. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, 1964, (2): 101- 157
- Haines B and Foster R B. Energy flow through litter in a Panamanian forest. *J Ecol*, 1977, 65: 147- 155
- 卢昌义, 林鹏. 两种红树植物落叶分解速率的研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1988, 27(6): 679- 683