

秋茄红树植物落叶分解的碎屑能量研究*

范航清** 林 鹏

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

摘 要

测定了红树植物秋茄(*Kandelia candel* (L.) Druce) 落叶在不同季节分解过程中碎屑的热值和富能有机化合物的变化。结果表明, 季节间落叶的热值差别不大, 平均为 19.63 kJ/g 干重或 21.55 kJ/g 去灰分干重。各季节的落叶在其分解后的碎屑的热值均明显提高, 且夏秋季快于冬春季, 但它们与分解程度有相应的相关关系: 分解初期上升, 后期稍降, 最大值出现在半分解期(失重 50%)附近。碎屑的最大热值平均比落叶的热值提高 17.67% (干重热值) 或 14.35% (失灰分干重热值)。分解中总能量的耗散稍慢于干物质的损失。随分解的进行, 碎屑中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的能量增大, 而无氮浸出物的能量减少。

关键词 红树林; 秋茄; 落叶; 分解; 碎屑; 能量

STUDIES ON DETRITUS ENERGY DURING THE DECOMPOSITION OF *KANDELIA CANDEL* LEAF LITTER

Fan Hang-qing and Lin Peng

(Biology Department of Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract

Changes of caloric values and energy-rich organic compounds were studied in the detritus derived from mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce leaf litter during the various *in situ* seasonal decomposition in Jiulong River Estuary, Fujian, China. The results showed that the caloric values varied little among the seasonal fallen leaves being a mean of 19.63 kJ/g dry wt or 21.55 kJ/g AF dry wt, the caloric values of detritus increased remarkably after decomposition but they more rapidly in summer and autumn than in winter and spring. The

收稿日期: 1992-12-07 接受日期: 1993-03-02

* 国家自然科学基金资助项目。

** 现在广西红树林研究中心工作, 北海 536000。

change was well in agreement with the degree of decomposition, being increased in the early decomposition period and slightly decreased in the later, with a peak at about the half-time of decomposition (50% weight loss). The maximum was averagely 17.67% of dry weight and 14.35% of ash-free dry weight basis over the initial values. The dissipation of total energy was somewhat slower than the loss of dry matter. As decomposition proceeds the energy of detritus was more and more contributed by raw protein, raw fat, raw fibers rather than by N-free extract. Therefore it is suggested that detritus at half-time of decomposition should be more important to marine detritivores from the viewpoint of energy supplement.

Key words Mangrove; *Kandelia candel*; Leaf litter; Decomposition; Detritus; Energy

分解作用是海洋高等植物物质转化为消费者食物的关键环节。海洋植物碎屑的能量特征对食碎屑动物具有独特的营养意义^[1]。然而,关于植物死体分解,即碎屑形成过程中能量变化的研究并不多见^[2-4],国内迄今未见专题报道。红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落。红树植物秋茄(*Kandelia candel* (L.) Druce)在福建、浙江、广东、台湾和香港沿海的红树林中多是优势种,其群落凋落物年生产量高达9.21—11.07吨/每公顷,其中落叶占53.94%—70%^[5,6]。落叶分解中形成的大量有机碎屑是红树林海岸高生产力的重要原因之一。本文在已有的秋茄群落能量结构^[7]、活叶热值^[8]、凋落物能流量^[9]和热值与灰分关系^[10]等的研究基础上,进一步探讨落叶在不同季节分解中碎屑热值和富能有机化合物的变化特征,为红树林生态系统碎屑食物链的能流研究和红树林沼泽的开发提供科学依据。

材 料 和 方 法

(一) 样地

实验基地为福建省九龙江口龙海红树林自然保护区。分解试验地设在龙海市浮宫镇草埔头村(24°54'N, 117°23'E)附近的秋茄林内。该地属于南亚热带海岸气候,年平均气温21℃,年较差16.7℃,最低月均温12.2℃,年均降雨量1365.1mm,相对湿度81%。样地群落沿九龙江南岸成带状分布,主要位于中、高潮带,林缘伴生少量白骨壤(*Avicennia marina*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)。林带中部滩涂的月潮浸频度为15.2天。

(二) 林地滩涂分解实验

将3—5月、6—8月、9—11月和12—2月划分为春夏秋冬4季。从1986年冬至1987年秋,每季分解实验开始时模拟自然风摇取刚脱落的衰老黄叶以作落叶样。落叶分解采用尼龙网袋法^[11],每袋盛鲜落叶50g,网眼为5mm,面积为30cm×26cm。网袋随机平置于林下滩涂进行分解,并用尼龙绳拴于树基部,以防潮水冲失。定时收回分解网袋,洗净袋中碎屑上附着的淤泥和可见动物。落叶和碎屑样品均于60℃下烘干称重,再取部分样品置于105℃烘至恒重,求得干重;其余60℃烘干样品研磨后过60号筛、装瓶干燥存放,供理化分析用。由分解网袋中落叶初始干重和分解后的碎屑干重,计算得到落叶初始干重的损失百分率(失重率)和剩余百分率(剩利率)。

(三) 能量分析

热值测定应用 GR3500 型氧弹式微电脑热量仪在室温 25 ± 1 条件下进行^[12]。灰分含量在 510 马福炉灰化 4 小时后测得。热值以干重热值(GCV, 单位 kJ/g dry wt)和去灰分干重热值(AFCV, 单位 kJ/g AF dry wt)的两种表示方法同时给出, 以资比较。各种分解样品总能量是以叶片样品实测残存量乘以该样品实测热值的积计算的。粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物在碎屑中的能量大小, 以上述各成分的物质含量乘以相应的热值常数计算。热值常数为: 粗蛋白 22.990 kJ/g, 粗脂肪 38.874 kJ/g, 粗纤维 17.556 kJ/g, 无氮浸出物 17.135 kJ/g^[12]。粗蛋白含量由 $6.25 \times$ 氮的百分含量估算。氮的分析采用意大利 1106 型元素分析仪进行。粗脂肪和粗纤维的含量分别采用石油醚索氏提取法^[13]和 CTAB-H₂SO₄ 洗涤剂法^[13]测定。无氮浸出物含量为样品总量扣除灰分、粗蛋白、粗脂肪和粗纤维后的剩余量^[13]。

结 果

(一) 不同季节分解中碎屑的热值变化

4 个季节秋茄落叶热值和分解中碎屑热值的变化如表 1。不同季节刚落叶(未分解, 零天)的热值较一致, 波动于 19.25—19.47 kJ/g dry wt (平均 19.36 kJ/g dry wt) 或 21.22—21.80 kJ/g AF dry wt (平均 21.55 kJ/g AF dry wt) 之间。各季节分解前期碎屑

表 1 各季节落叶和分解中碎屑的热值和灰分含量

Table 1 Caloric values and ash contents of seasonal fallen leaves and detritus during decomposition

| 分解 天数 Days | 冬 Winter(1986—1987) | | 春 Spring(1987) | | 夏 Summer(1987) | | 秋 Autumn(1987) | | 平均 Mean | |
|------------------|------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ | kJ |
| | g dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt | g AF dry wt |
| 0 | 19.25 (9.27) | 21.22 | 19.28 (10.44) | 21.53 | 19.42 (10.27) | 21.65 | 19.47 (10.71) | 21.80 | 19.36 | 21.55 |
| 7 | 19.34 (12.10) | 22.01 | 19.99 (9.48) | 22.08 | 22.68 (5.58) | 24.02 | 20.79 (10.44) | 23.21 | 20.70 | 22.83 |
| 14 | 19.49 (12.57) | 22.29 | 21.94 (5.49) | 23.22 | 22.63 (6.49) | 24.20 | 21.08 (9.05) | 23.18 | 21.29 | 23.22 |
| 21 | 20.48 (10.43) | 22.87 | 21.82 (5.98) | 23.21 | 22.86 (7.68) | 24.76 | 23.08 (6.69) | 24.73 | 22.06 | 23.89 |
| 28 | 20.81 (9.35) | 22.96 | 21.59 (7.12) | 23.24 | 22.16 (9.22) | 24.41 | 22.10 (8.23) | 24.08 | 21.67 | 21.67 |
| 42 | 21.94 (8.72) | 24.04 | 22.60 (6.74) | 24.23 | 21.06 (12.23) | 23.09 | 21.01 (9.72) | 23.27 | 21.65 | 23.88 |
| 56 | 22.34 (8.70) | 24.47 | 22.82 (7.22) | 24.60 | 20.05 (15.77) | 23.81 | 21.20 (10.45) | 23.67 | 21.60 | 24.14 |
| 70 | a | a | 21.45 (8.69) | 23.49 | a | a | a | a | 21.45 | 23.49 |
| 84 | a | a | 21.49 (9.48) | 23.74 | a | a | a | a | 21.49 | 23.74 |

括号内的数据为灰分含量(% dry wt), a. 表示缺样。

The data enclosed in parentheses are ash contents (% dry wt), a. Expresses the absence of sample. AF. Ash-free.

的热值均明显增大, 到一个最大值之后又趋于下降(冬季 56 天后缺样除外)。分解期间, 碎屑干重热值和去灰分干重热值出现最大值的时间均是冬春季 56 天, 夏秋季 21 天, 夏秋季明显快于冬春季。各季节分解中碎屑干重热值的最大值分别较落叶提高了 16.05% (冬)、18.36% (春)、17.71% (夏) 和 18.84% (秋), 平均 17.67%; 去灰分干重热值的最大值分别较落叶提高了 15.32% (冬)、14.26% (春)、14.37% (夏) 和 13.44% (秋), 平均 14.35%。

(二) 碎屑热值变化与分解程度的关系

秋茄落叶在不同季节等同时间分解后, 各自的分解程度相差甚大(图 2)。以失重率来衡量分解程度, 经计算拟合, 4 个季节碎屑热值的变化与分解程度的最佳关系为抛物线相关(图 1)。对所得方程求导结果, 失重率为 46.20% 时, 碎屑的干重热值有极大值 22.44 kJ/g dry wt; 失重率为 50.64% 时, 碎屑去灰分干重热值有极大值 24.11 kJ/g AF dry wt。碎屑热值的极大值出现在半分解期附近(失重率为 50% 左右)。

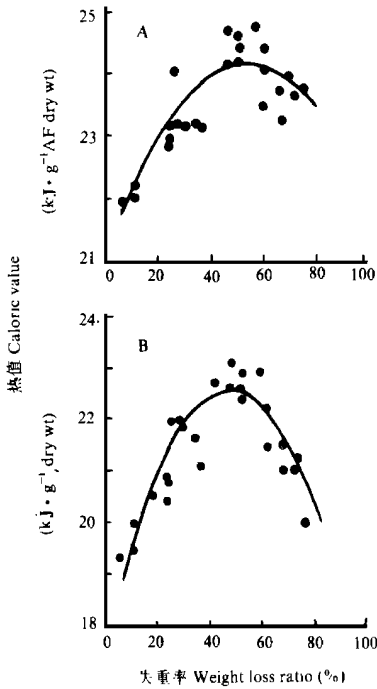


图 1 分解中碎屑热值与分解程度(失重率)关系的回归
A. 去灰分干重热值 B. 干重热值

Fig. 1 Regression of the relationship between calorific value and degree of decomposition (expressed as a % loss of initial dry weight) for detritus during decomposition
A. Caloric value on ash-free dry weight basis
B. Caloric value on dry weight basis

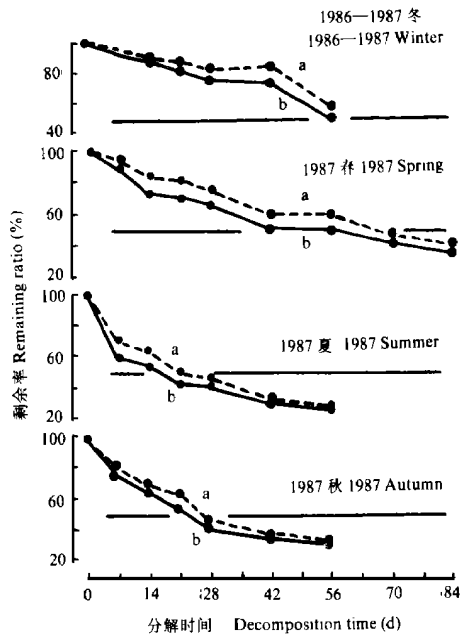


图 2 各季节分解过程中干物质的损失和能量的耗散
a. 能量 b. 干物质

Fig. 2 The loss of dry matter and dissipation of energy during the seasonal decomposition
a. Energy b. Dry matter

(三) 碎屑形成过程中能量的耗散

分解过程中网袋内落叶的干重和总能量的剩余率由图 2 给出。虽然分解中碎屑的热值高于落叶热值(表 1), 可是由于分解过程中物质不断散失, 分解网袋中碎屑的总能量仍

趋于减少。能量耗散的变化趋势跟干重损失相似,但能量耗散的速率稍慢于干重的损失速率,两者间的差别在半分解状态(剩余率 50%)时较为明显。

(四) 碎屑中富能有机化合物能量的变化

粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物是生态学能量研究中重要的富能有机化合物^[12],它们在秋茄落叶和碎屑中的能量变化见表 2。

表 2 4 个季节分解中富能有机化合物对碎屑去灰分干重热值能量贡献的季均值(kJ/g AF dry wt)
Table 2 The seasonal mean energy quantities contributed to ash-free caloric value of detritus by energy-rich organic compounds during decomposition in the four seasons (kJ/g AF dry wt)

| 分解天数 Days | 粗蛋白 Raw protein | 粗脂肪 Raw fat | 粗纤维 Raw fiber | 无 N 浸出物 N-free extract | 合计 Total |
|--------------|--------------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------|
| 0 | 0.85 | 2.65 | 5.61 | 9.86 | 18.97 |
| 7 | 1.04 | 3.40 | 8.35 | 6.71 | 19.50 |
| 14 | 1.05 | 3.46 | 9.84 | 5.18 | 19.53 |
| 21 | 1.16 | 3.73 | 10.84 | 4.04 | 19.77 |
| 28 | 1.19 | 3.64 | 11.37 | 3.55 | 19.75 |
| 42 | 1.29 | 3.72 | 12.13 | 2.62 | 19.76 |
| 56 | 1.59 | 3.63 | 12.48 | 2.17 | 19.87 |
| 70 | 1.62 | 3.21 | 13.15 | 1.86 | 19.84 |
| 84 | 1.68 | 2.94 | 13.66 | 1.43 | 19.71 |

AF. Ash-free.

从表 2 可看出,随着分解碎屑中粗蛋白、粗纤维的能量渐升,无氮浸出物能量渐降。粗脂肪能量在分解 7 天后不断上升,在分解 42 天后又不断下降。能量增大的幅度是粗纤维 > 粗蛋白 > 粗脂肪。4 种富能有机化合物的总能量表现为:分解初期上升,后期稍降,与采用干物质残存量实测的热值的变化规律(表 1)相同。可见,此 4 种富能有机化合物的含量基本上决定了碎屑热值的变化,也是碎屑热值变化的根本原因。

讨 论

秋茄落叶的热值(平均 19.36 kJ/g dry wt 或 21.55 kJ/g AF dry wt)稍大于其活叶的热值(平均 19.12 kJ/g dry wt 或 21.28 kJ/g AF dry wt)^[8],说明叶片衰老过程中从叶片转移再分配的有机物是具有较低热值部分,从而相对提高了落叶的热值。

分解过程中热值的提高其它植物也有报道。如陆生植物 *Fraxinus excelsior* 落叶分解 1 年后,热值从 20.33 kJ/g AF dry wt 上升为 21.74—21.90 kJ/g AF dry wt,提高了 7.46%—8.26%^[2]。盐沼植物黑灯心草(*Juncus roemerianus*)叶热值为 19.35 kJ/g AF dry wt,由它分解形成的颗粒状碎屑热值为 20.53 kJ/g AF dry wt,热值提高了 6.10%^[3]。大红树(*Rhizophora mangle*)黄叶在海水中分解 70 天后热值从 21.74 kJ/g AF dry wt 升为 22.69 kJ/g AF dry wt,提高了 4.37%^[4]。Malone 等^[4]认为:在一定范围内热值的上升跟分解程度的正相关系是不同植物分解过程中的共性。虽然秋茄落叶分解初期碎屑热值的提高与他人的研究结果一致,但秋茄碎屑热值提高幅度(干重热值 17.67%,去灰分干重热值 14.35%)明显大于上述的其它植物。看来热值的大幅度提高是秋茄落叶分解中能量变化的重要特征。这种现象表明:秋茄落叶分解中能量转化特征对海洋食碎屑动物具有重

要的营养意义。

不同海洋植物的碎屑热值相差甚大(表 3),总的看来是:海草>红树植物>底栖硅藻>盐沼草>海藻。可见红树植物的碎屑具有较高的热值。上述 5 种类型中只有红树植物是木本植物,总生物量最大,因而它对河口海洋的贡献是巨大的。

表 3 不同海洋植物碎屑热值的比较

Table 3 Comparisons of caloric values of detritus derived from different marine plants

| 碎屑来源 Detritus source | 种 名 Species | 热值 Caloric value (kJ/g AF dry wt) | 文献 Reference |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| 底栖硅藻 Benthic diatoms | | 21.67 | [15] |
| 红藻 Red seaweed | <i>Gracilaria follifera</i> | 18.89 | [16] |
| | <i>Heogardhiella</i> sp. | 17.93 | [16] |
| | <i>Chondria</i> sp. | 18.69 | [16] |
| | <i>Ceramium</i> sp. | 16.74 | [16] |
| | <i>Euclima nudum</i> | 16.39 | [16] |
| | <i>Hypnea musciformis</i> | 16.08 | [16] |
| 褐藻 Brown seaweed | <i>Fucus vesiculosus</i> | 22.01 | [16] |
| | <i>Dictyota indica</i> | 15.96 | [16] |
| | <i>Ascophyllum nodosum</i> | 16.98 | [16] |
| | <i>Sargassum filipendula</i> | 19.80 | [16] |
| 绿藻 Green seaweed | <i>Ulva lactuca</i> | 16.96 | [16] |
| 海草 Seagrass | <i>Zostera marina</i> | 29.57 | [16] |
| 盐沼草 Marshgrass | <i>Spartina alterniflora</i> | 18.57 | [16] |
| | <i>Juncus roemerianus</i> | 20.53 | [3] |
| 红树植物 Mangrove | <i>Rhizophora mangle</i> | 22.69 | [4] |
| | <i>Kandelia candel</i> | 22.83—24.14 | 本文 This study |

AF. Ash-free.

样品热值的变化本质上是样品有机化合物的组成及其含量的综合反映^[12]。灰分含量的增加会降低干重热值^[10]。去灰分热值免除了灰分的干扰,更直接地体现出能量与有机化合物间的内在联系,因此在探讨碎屑中的富能化合物能量变化(表 2)和比较不同海洋植物碎屑热值(表 3)时,宜以去灰分干重热值进行才具有可比性。干重热值与去灰分干重热值的这一区别,是本文中两者理论极大值对应的失重率(图 1)不完全统一的原因之一,但两者的变化均表明:半分解状态的碎屑具有较大的热值。这一规律对发展红树林沼泽的生态养殖的实践具有一定的指导意义。

蛋白质和脂类是海洋动物最重要的能量来源。秋茄落叶分解后,碎屑中粗蛋白和粗脂肪能量的增加(表 2)表明:分解作用提高了秋茄落叶被海洋动物利用的营养价值。

参 考 文 献

- 1 Tenore K R. What controls the availability to animals of detritus derived from vascular plants: Organic nitrogen enrichment or caloric availability. *Mar Ecol-Prog Ser*, 1983. **10**: 307—309
- 2 Bock K L. Changes in the amounts of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposing woodland leaf litter in relation to the activities of the soil fauna. *J Ecol*, 1964. **52**: 273—284
- 3 Cruz A A dela, Gabriel B C. Caloric, elemental, and nutritive changes in decomposing *Juncus roemerianus* leaves. *Ecology*, 1974. **55**: 882—886
- 4 Cundell A M, Brown M S, Stanford R et al. Microbial degradation of *Rhizophora mangle* leaves immersed in the sea. *Estuar Coast Shelf Sci*, 1979. **9**: 281—286

- 5 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**: 459—463
- 6 Lee S Y. Litter production and turnover of the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce in a Hong Kong tidal shrimp pond. *Estuar Coast Shelf Sci.* 1989. **29**: 75—87
- 7 林光辉, 林鹏. 海莲、秋茄两种红树群落能量的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1988. **12**: 31—39
- 8 林鹏, 范航清. 九龙江口秋茄叶热值月变化的初步研究. 科学通报, 1989. **34**: 298—300
- 9 林鹏, 林光辉. 海莲、秋茄两种红树群落掉落物能流的研究. 海洋学报, 1990. **12**: 523—528
- 10 林鹏, 林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991. **15**: 1114—1120
- 11 Fell J W, Master I M, Wiegert R G. Litter decomposition and nutrient enrichment. In: Snedaker S C, Snedaker J G eds., *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1984. 239—251
- 12 Lieth H, Whittaker R. *Primary Productivity of the Biosphere*. New York: Springer-Verlag, 1975. 119—129
- 13 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 257—271
- 14 Malone C R, Swartout M B. Size, mass and caloric content of particulate organic matter in old-field and forest soils. *Ecology*, 1969. **50**: 395—399
- 15 Tenore K R. Organic nitrogen and caloric content of detritus . Effect on growth of a deposit-feeding polychaete, *Capitella capitata*. *Estuar Coast Shelf Sci.* 1983. **17**: 733—742
- 16 Tenore K R. Organic nitrogen and caloric nitrogen and caloric content of detritus I. Utilization by the deposit-feeding polychaete, *Capitella capitata*. *Estuar Coast Mar Sci.* 1981. **12**: 39—47