

植物学报 1996 38(2): 142-149

Acta Botanica Sinica

红树植物秋茄落叶分解碎屑的有效能研究*

范航清

(广西红树林研究中心, 北海 536000)

林 鹏

(厦门大学生物系, 厦门 361005)

摘要 测定了福建红树植物秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce) 各季节落叶分解碎屑中水解有效能 (HAC)、无丹宁水解有效能 (TFHAC) 和化学有效能 (CAC) 的绝对含量和相对含量。测定结果表明: 落叶中有效能的绝对含量和它占总能量的百分含量的季均值是: HAC 4.06 kJ/g DW, 20.85%; TFHAC 3.32 kJ/g DW, 16.68%。在半分解 (失重率为 50%) 的碎屑中它们降为 HAC 1.75 kJ/g DW, 9.23%; TFHAC 1.64 kJ/g DW, 8.20%。HAC 与 TFHAC 之间的差异随着落叶的分解而减小。碎屑中 CAC 的含量在分解过程中趋于提高, 而且数值总是大于 HAC 和 TFHAC, 表明碎屑中有些蛋白和脂肪的能量因难被稀酸水解, 对食碎屑动物而言是无效的。HAC 的热值在初始干重损失百分率小于 23% 的碎屑中波动于 16.16~17.41 kJ/g AFDW (去灰分干重), 在进一步分解的碎屑中迅速提高, 最大值 (24.05 kJ/g AFDW) 出现在初始干重损失百分率为 49.44% 的碎屑中。与其它海洋植物的碎屑相比, 红树植物落叶分解碎屑中有效能含量低, 有效能热值居中。最后讨论了 HAC、TFHAC 和 CAC 之间的关系, 提出了上述指标在应用时应注意的问题。

关键词 红树林; 秋茄; 落叶; 分解碎屑; 有效能

STUDIES ON AVAILABLE CALORIC CONTENT OF DETRITUS DURING THE DECOMPOSITION OF MANGROVE *KANDELIA CANDEL* LEAF LITTER

Fan Hang-qing

(Guangxi Mangrove Research Center, Beihai 536000)

Lin Peng

(Biology Department of Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract The absolute and relative contents of hydrolysis available calories (HAC), tannin-free HAC (TFHAC) and chemical available calories (CAC) of the detritus during the seasonal decomposition of mangrove (*Kandelia candel* (L.) Druce) leaf litter in Fujian, China was determined. Defined arbitrarily as the portion of total caloric content in detritus hydrolyzed with 1 mol/L HCl for 6 h at 20°C, HAC is presumed to be a rough index of potential energy readily utilized by marine detritivores. TFHAC is the remaining calories of HAC devoid of tannin-attributed calories and CAC is defined as the total caloric content derived from raw protein, raw fat and soluble sugar. The results showed that in leaf litter, the seasonal mean caloric contents were 4.06 kJ/g DW or 20.85% of the total caloric content for

收稿日期: 1994-08-05 接受日期: 1994-10-12

广西红树林研究中心的葛文标、莫竹承同志提供了计算机帮助, 协助有效能量的测定工作, 谨此致谢。

* 国家自然科学基金资助项目。

HAC and 3 23 kJ/g DW or 16 68% of the total caloric content for TFHAC, which decreased to 1 75 kJ/g DW or 9 25% for HAC, and 1 64 kJ/g DW or 8 20% for TFHAC in the detritus at half-life of decomposition. The difference in contents between HAC and TFHAC diminished as decomposition was progressed. The contents of CAC generally increased during decomposition, always higher than those of HAC and TFHAC, suggesting that some protein and fat in detritus are nonavailable to detritivores since they are hydrolyzed by weak acid. The value of detritus HAC per unit ash-free dry weight (AFDW), as determined at the time when the detritus lost 23% of its initial weight, ranged from 16 16 to 17 41 kJ/g AFDW and increased rapidly to a maximum of 24 00 kJ/g AFDW at 49% dry weight loss of detritus during decomposition. The detritus derived from mangrove fallen leaves had a low available caloric content and an moderate caloric value of HAC as compared with detritus of other marine plants. Finally, the relationship between HAC, TFHAC and CAC was discussed and some points of attention relevant to the application of those indices were given in relation.

Key words Mangrove; *Kandelia candel*; Leaf litter; Decomposed detritus; Available caloric content

国内海岸红树林的能量研究仅限于初级生产者热值、能量生产和群落能量结构等方面^[1-7],未讨论这些能量被海洋动物利用的可能性问题。国外迄今也没有红树林分解过程中有效能变化的报道。笔者虽探讨了秋茄落叶分解碎屑热值和富能有机化合物的变化^[8],但碎屑中有大量的能量是以纤维等大分子有机化合物的形式存在,难以被海洋食碎屑动物直接利用;碎屑中以蛋白质和脂肪形式存在的能量也不是都能被海洋食碎屑动物同化利用^[9-10]。因此,在探讨海洋动植物的能量关系时有必要研究植物能量中容易被食碎屑动物利用的那部分能量的潜在大小,即有效能(available calories)。碎屑在 1 mol/L HCl 20 °C 条件下水解 6 h 后,被水解的那部分能量可作为有效能的近似指标^[11]。由于水解环境接近于食碎屑动物的消化道,所以水解有效能较总能量更客观地揭示出生产者跟消费者之间可能的能量关系。本文在已有工作的基础上^[8],进一步测定和探讨秋茄落叶分解碎屑中水解有效能、无丹宁水解有效能和化学有效能的问题,为这类研究提供基础数据和方法。

1 材料和方法

1.1 样地和林地滩涂分解实验

秋茄(*Kandelia candel* (L.) Durce)林地滩涂分解工作在福建省九龙江口龙海红树林自然保护区内完成。该地的气候条件、群落概况和季节分解实验方法详见前文^[8]。落叶和碎屑样品均 60 °C 烘干,称重,再取部分样品于 105 °C 烘干以求干重;其余 60 °C 烘干的样品研磨后过 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碎屑的干重计算得到落叶初始干重的损失百分率(失重率),作为分解程度的量度。

1.2 能量测定

准确称取样品约 3 5 g 于 250 mL 三角瓶中加 150 mL 1 mol/L HCl 摇匀,置于 20 °C 培养箱内水解 6 h(每隔 1 h 摇匀 1 次),过滤。残渣于 105 °C 烘至恒重,称重,研磨均匀后用于水解后热值测定。水解前样品的热值测定应用 GR3500 型氧弹式微电脑热量仪进行^[8]。水解后残渣热值测定应用 WGR-1E 型电脑热量仪进行,重复相对误差 < 0 4%。两

种型号热量计的水当量均以标准苯甲酸标定,故不存在两机型之间的系统误差。灰分含量在 510℃ 马福炉灰化 4 h 后测得。碎屑的水解有效能 (hydrolysis available calories HAC) 的绝对含量及其占总能量 (碎屑的热值) 的相对百分含量和 HAC 的热值由碎屑水解前后实测的干重变化、热值和灰分含量的差值推算得到^[11]。粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖和丹宁在碎屑中的能量,以上述各成分的物质含量乘以相应的热值常数计算。热值常数分别是粗蛋白 22 990 kJ/g、粗脂肪 38 87 kJ/g、可溶性糖 15 988 kJ/g (蔗糖和葡萄糖热值常数的平均值)^[12]、丹宁 16 313 kJ/g (实测值)。粗蛋白含量由 6.25 × 含 N 量估算。N 的分析采用意大利 1106 型元素分析仪进行。粗脂肪、丹宁和可溶性糖的测定分别采用石油醚索氏提取法^[13]、钼酸-钨酸钠比色法^[13]和蒽酮比色法^[13]。无丹宁水解有效能 (tannins-free hydrolysis available calories TFHAC) 为 HAC 减除碎屑中丹宁能量后的余值。化学有效能 (chemical available calories CAC) 为碎屑中粗蛋白、粗脂肪和可溶性糖所含能量的总和。为了便于讨论问题,文中的热值均以干重热值 (gross caloric value GCV, 单位 kJ/g DW) 和去灰分干重热值 (ash-free dry weight caloric value AFCV, 单位 kJ/g AFDW) 两种表示方式同时给出。

2 实 验 结 果

2.1 不同季节落叶和分解碎屑中 HAC 含量的变化

各季节落叶和分解碎屑中 HAC 的绝对含量及其占碎屑总能量 (表 3 中水解前碎屑的干重热值) 的百分率变化见表 1。结果表明,落叶 (未分解, 0 d) 中 HAC 平均为 4.26 kJ/g DW, 占总能量的 22.01%。分解 56 d 的碎屑中 HAC 平均为 1.66 kJ/g DW, 占总能量的 7.81%。可见 HAC 绝对含量和相对含量都随分解时间的延长而趋于下降,且冬季分解最初 14 d、春夏秋季分解的最初 7 d 下降幅度最大。可溶性有机化合物是可被稀酸水解物质的重要组成部分。红树植物落叶在分解的前期阶段可溶性物质会被海水迅速淋溶^[14], 导致碎屑中可供水解的可溶性有机化合物的量明显减少。这是本文中未分解前落叶的 HAC 含量高,而分解后的碎屑中 HAC 含量低的重要原因。

2.2 不同季节落叶和分解碎屑中 TFHAC 含量的变化

丹宁具有很强的极性,易溶于水,可被稀盐酸水解^[15],在分解中会迅速淋溶失去^[14, 16]。经初步分解的碎屑中仍含有丹宁,碎屑的 HAC 中显然包括了丹宁的能量。可丹宁具有涩味,会抑制食碎屑动物的摄食^[17]。对食碎屑动物而言,丹宁的能量一般而言是无效的。为了更切合实际地估算秋茄落叶分解碎屑中有效能的含量,应从 HAC 中扣除丹宁的能量,校正 HAC 后得到 TFHAC (表 1)。数据表明,4 个季节碎屑中丹宁能量含量的大小总的表现为冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季,而且分解前期的碎屑中含有较大的丹宁能量,后期少。各季节落叶中 TFHAC 的含量平均为 3.23 kJ/g DW, 占总能量的 16.68%; 分解 56 d 的碎屑中 TFHAC 平均为 1.60 kJ/g DW, 占总能量的 7.34%。

2.3 不同季节落叶和分解碎屑中 CAC 含量的变化

相对于纤维、木质素等化合物而言,碎屑中的蛋白质、脂肪和可溶性糖较易被海洋动物利用^[18]。在此,将三者能量含量的总和定义为化学有效能 (CAC), 数据见表 1。数据显示,冬季碎屑的 CAC 含量随分解逐渐增加,春秋夏 3 个季节碎屑的 CAC 含量在分解的前

期上升,后期稍降,但数值仍大于未分解前落叶的 CAC 含量。落叶中 CAC 含量的季均值为 3.77 kJ/g DW, 占总能量的 18.93%, 56 d 碎屑的 CAC 含量为 4.77 kJ/g DW, 占总能

表 1 各季节落叶与分解碎屑中水解有效能 (HAC)、单宁水解有效能 (TFHAC) 和化学有效能 (CAC) 绝对和相对含量的变化

Table 1 Variations in absolute and relative contents of hydrolysis available carbries (HAC), tannin-free hydrolysis available carbries (TFHAC) and chemical available carbries (CAC) in the seasonal fallen leaves and decomposed detritus

季节 Season	分解 天数 Days	HAC		单宁能量 Tannin carbrie content	TFHAC		CAC	
		kJ/g DW	% of total	kJ/g DW	kJ/g DW	% of total	kJ/g DW	% of total
冬 Winter 1986~ 1987	0	4.63	24.05	1.04	3.59	18.65	3.91	20.31
	7	3.67	18.98	0.95	2.72	14.06	4.29	22.18
	14	3.15	16.16	0.64	2.51	12.88	4.49	23.04
	21	2.19	10.69	0.40	1.79	8.74	5.06	24.71
	28	1.89	9.08	0.30	1.59	7.64	5.25	25.23
	42	1.71	7.79	0.22	1.49	6.79	5.41	24.66
	56	2.24	10.03	0.11	2.13	9.53	5.75	25.74
春 Spring 1987	0	4.39	22.76	1.09	3.30	17.12	3.92	20.33
	7	2.72	13.61	0.48	2.24	11.21	3.74	18.71
	14	2.22	10.12	0.22	2.00	9.16	4.28	19.51
	21	2.06	9.44	0.25	1.81	8.29	4.99	22.87
	28	1.97	9.12	0.14	1.83	8.48	4.20	19.45
	42	2.09	9.25	0.21	1.88	8.32	5.28	23.36
	56	1.91	8.37	0.19	1.72	7.54	5.13	22.48
夏 Summer 1987	0	3.96	20.39	0.77	3.19	16.43	3.49	17.97
	7	2.00	8.82	0.21	1.79	7.89	4.94	21.78
	14	1.75	7.73	0.07	1.68	7.42	4.54	20.06
	21	1.95	8.53	0.07	1.88	8.22	4.03	17.63
	28	1.93	8.71	0.09	1.84	8.30	4.44	20.04
	42	1.31	6.22	0.07	1.24	5.89	4.35	20.65
	56	1.09	5.44	0.05	1.04	5.19	3.86	19.25
秋 Autumn 1987	0	4.06	28.85	1.23	2.83	14.53	3.33	17.10
	7	2.27	10.92	0.42	1.85	8.90	4.14	19.91
	14	1.98	9.39	0.23	1.75	8.30	4.14	19.64
	21	1.81	7.84	0.25	1.56	6.76	4.18	18.11
	28	1.62	7.33	0.17	1.45	6.56	4.15	18.78
	42	1.35	6.43	0.10	1.25	5.95	3.82	18.18
	56	1.57	7.41	0.06	1.51	7.12	4.35	20.52
平均 Mean	0	4.26	22.01	1.03	3.23	16.68	3.77	18.93
	7	2.66	13.08	0.51	2.15	10.51	4.28	20.64
	14	2.27	10.85	0.29	1.98	9.44	4.36	20.56
	21	1.90	9.12	0.24	1.76	8.00	4.56	20.38
	28	1.85	8.56	0.17	1.68	7.74	4.51	20.87
	42	1.61	7.42	0.15	1.46	6.74	4.71	21.71
	56	1.66	7.81	0.10	1.56	7.34	4.77	22.00

量的 22.00%。可溶性糖易被稀酸水解,它既是构成 HAC 的能量物质也是构成 CAC 的能量物质。因此, CAC 与 HAC 数值的差主要反应出样品中难被水解的粗蛋白和粗脂肪所含能量的大小。表 1 的均值显示,分解后的碎屑中 CAC 的绝对含量是 HAC 绝对含量的 1.61 倍(7 d)~ 2.87 倍(56 d)。这说明随着分解,碎屑的粗蛋白和粗脂肪的能量中有越来越多的能量不能被稀酸水解,亦即这部分能量不易被食碎屑动物直接利用。

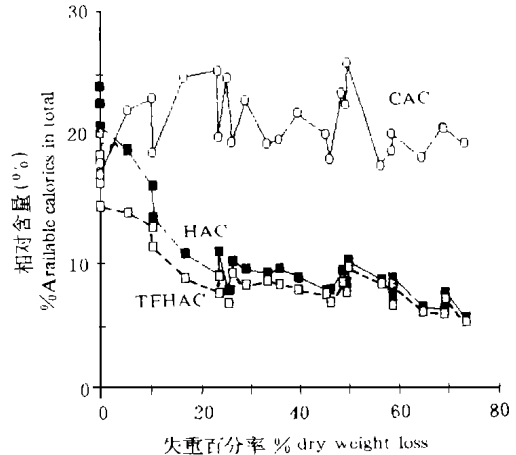
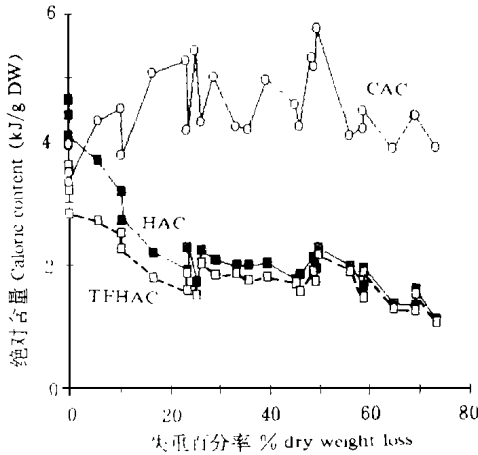


图 1 不同分解程度(以初始干重损失百分率表示)的季节落叶和分解碎屑 HAC、TFHAC 和 CAC 能量绝对含量的变化

Fig. 1 Changes in absolute caloric content of HAC, TFHAC and CAC for the seasonal fallen leaves and decomposed detritus at different decomposition degree expressed as percent age of loss of the initial dry weight

图 2 不同分解程度(以初始干重损失百分率表示)的季节落叶和分解碎屑 HAC、TFHAC 和 CAC 能量相对含量的变化

Fig. 2 Changes in relative caloric content of HAC, TFHAC and CAC for the seasonal fallen leaves and decomposed detritus at different decomposition degree expressed as percent age of loss of the initial dry weight

表 2 各季节落叶与分解碎屑中 HAC、TFHAC 绝对和相对含量 (Y) 跟分解程度 (失重率, X) 之间关系的回归

Table 2 Regression of the relationship between absolute relative contents of HAC, TFHAC (Y) and decomposition status (expressed as a % loss of the initial dry weight, X) for seasonal fallen leaves and decomposed detritus

项目 Item	含量 Content	单位 Unit	方程 Equation	r	n	P
HAC	绝对 Absolute	kJ/g DW	$Y = 1/(0.27 + 0.006X)$	0.8856	28	< 0.01
	相对 Relative	% of total	$Y = 1/(0.055 + 0.001X)$	0.9146	28	< 0.01
TFHAC	绝对 Absolute	kJ/g DW	$Y = 1/(0.358 + 0.005X)$	0.8256	28	< 0.01
	相对 Relative	% of total	$Y = 1/(0.072 + 0.001X)$	0.8681	28	< 0.01

2.4 各季节落叶和分解碎屑中 HAC、TFHAC 和 CAC 含量的变化与落叶分解程度的关系

秋茄落叶在不同季节等同时分解以后各自的分解程度相差甚大^[19]。在此以落叶初始干重损失百分率(失重率)来衡量分解程度,探讨 HAC、TFHAC 和 CAC 绝对含量(图 1)和相对含量(图 2)变化与分解程度的关系。图 1、图 2 表明同类有效能的绝对含量和相对含量随分解程度的变化模式十分相近。不同分解程度的碎屑中 CAC 含量波动较大,规

表 3 各季节落叶和分解碎屑水解前后各部分的热值和灰分含量 (季均值± SD, n= 4)

Table 3 Caloric value, ash content for different parts of the seasonal fallen leaves and decomposed detritus before and after hydrolysis (seasonal mean± SD, n= 4)

分解天数 Days	0	7	14	21	28	42	56
水解前 Before hydrolysis							
热值 Caloric value (kJ/g DW)	19.36±0.11	20.70±1.45	21.29±1.35	22.06±1.19	21.67±0.62	21.65±0.76	21.60±1.24
热值 Caloric value (kJ/g AFDW)	21.55±0.25	22.83±0.96	23.22±0.78	23.89±0.99	23.67±0.68	23.88±0.42	24.14±0.47
灰分 Ash (% DW)	10.17±0.63	9.40±2.77	8.40±3.16	7.69±1.95	8.48±1.03	9.35±2.28	10.53±3.74
水解后 After hydrolysis							
热值 Caloric value (kJ/g DW)	23.38±0.43	23.50±0.44	23.27±0.36	23.69±0.59	23.17±0.16	23.14±1.07	22.92±1.28
热值 Caloric value (kJ/g AFDW)	23.56±0.43	23.74±0.48	23.70±0.49	24.18±0.83	23.94±0.55	23.17±0.56	24.37±0.32
灰分 Ash (% DW)	0.76±0.49	1.02±0.34	1.82±0.93	2.02±1.17	3.20±2.23	4.25±2.91	5.93±4.22
被水解 Hydrolyzed							
热值 Caloric value (kJ/g DW)	12.0±0.59	11.69±1.49	13.04±2.10	13.55±2.41	13.19±2.30	12.22±2.30	12.89±2.53
热值 Caloric value (kJ/g AFDW)	16.53±0.38	18.56±2.06	20.56±2.26	21.83±2.90	21.48±2.78	20.9±1.97	21.48±2.33
灰分 Ash (% DW)	27.35±2.16	37.0±5.89	36.56±6.57	37.92±3.21	38.60±4.12	41.54±5.99	40.0±6.06

AFDW. Ash-free dry weight

律不甚明显;而 HAC和 TFHAC的含量均随着分解程度的提高而下降,与分解程度有极显著的相关性。它们的回归方程见表 2。由回归方程可计算出半分解(失重率 50%)的碎屑中 HAC 含量为 1.75 kJ/g DW, 占总能量的 9.25%; TFHAC 含量为 1.64 kJ/g DW, 占总能量的 8.20%。HAC 曲线跟 TFHAC 曲线之差为丹宁的能量含量。可见,失重率小于 25%左右的碎屑中丹宁能量含量较高,之后越来越低,HAC 和 TFHAC 的值越来越接近。

2.5 各季节落叶和分解碎屑中 HAC 的热值

HAC 的热值是被水解有机化合物的组

成及其含量的综合反映。不同季节落叶和分解碎屑水解前后的各部分热值和灰分含量见表 3。表 3 显示,被水解部分(HAC)的热值 < 水解前热值 < 水解后残余物热值,灰分含量的排

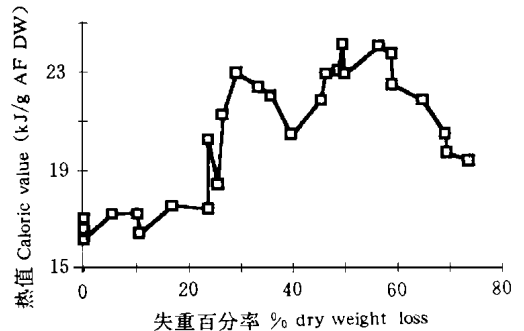


图 3 不同分解程度(以初始干重损失百分率表示)的季节落叶和分解碎屑中有效能(HAC)热值的变化

Fig. 3 Changes in caloric value of hydrolysis available calories (HAC) of the seasonal fallen leaves and decomposed detritus at different decomposition degree expressed as a percent loss of the initial dry weight

序正相反。这说明热值较低的有机化合物易被水解,易被食碎屑动物同化利用。

不同分解程度碎屑中 HAC 的去灰分干重热值变化见图 3。图 3 显示,失重率小于 23% 的碎屑中 HAC 的热值波动于 16.16~17.14 kJ/g AFDW 之间,此后热值明显上升,在失重 49.44% 时出现的最高值为 24.05 kJ/g AFDW。失重率超过 57% 以后, HAC 的去灰分干重热值又逐渐下降,但仍明显高于落叶的去灰分干重热值。可见,分解初期,碎屑被水解的有机化合物中低热值的物质占主要部分;继续分解的碎屑中,具有较高热值的有机化合物在碎屑水解物中所占的比例都高于未分解前落叶的水解物,从而提高了碎屑被食碎屑动物利用的能量营养价值。

HAC 的去灰分干重热值 (Y) 与水解前碎屑的去灰分干重热值 (X) 之间存在极显著的相关关系: $Y = 2.139X - 29.678$ ($r^2 = 0.8330$, $P < 0.001$)。这说明 HAC 热值的高低取决于碎屑热值的高低,即碎屑中具有高热值的有机化合物含量越高,水解物中这类有机化合物的含量也越高,反之亦然。

3 讨 论

HAC 占总能量的百分率在红树属 (*Rhizophora*) 植物碎屑中为 9%^[20],在本文的秋茄落叶半分解碎屑中为 8.2%,两者平均为 8.6%。其它类型海洋植物碎屑中 HAC 占总能量的百分率分别是:底栖硅藻 78%^[20],盐沼草 23.2%^[20],海草 23%^[21],海藻 41.9%^[20]。可见各类海洋植物碎屑中 HAC 占总能量的比例有如下关系:底栖硅藻 > 海藻 > 盐沼草 > 海草 > 红树植物。这种关系与它们在碎屑热值上的关系 (海草 > 红树植物 > 底栖硅藻 > 盐沼草 > 海藻)^[8] 有所不同。维管植物碎屑的含 N 量和有效能含量都很低。对这类碎屑而言,有效能含量的高低对食碎屑动物有着重要的营养意义。例如, Tenore 研究了食碎屑多毛类动物小头虫 (*Capitella capitata*) 利用盐沼植物碎屑的问题,发现在碎屑含 N 量低 (< 1% DW) 的情况下,碎屑有效能含量的提高会极显著地提高小头虫对碎屑的同化利用率^[11]。

本文研究的碎屑属初步分解的大型碎屑 (macrodetritus) 与高度分解形成的颗粒碎屑 (particle detritus) 的一个重要区别是:后者已经过充分的海水淋溶,丹宁含量极低,可不考虑 HAC 中丹宁的能量^[20,21],而前者在失重率小于 < 25% 之前含有相当部分的丹宁能量 (图 1.2)。因此,今后在研究分解初期 (失重率 < 25%) 的红树植物碎屑的有效能量问题时,宜以 TFHAC 为指标。

用 CAC 来评估植物碎屑的有效能问题时需测定蛋白质、脂肪和可溶性糖的含量。这种方法一方面分析步骤繁杂,另一方面准确性欠佳。因为利用 6.25% 含 N 量来推算碎屑中粗蛋白的含量往往会比真实值偏高 30%~50%^[22]。这是由于碎屑总 N 中包括蛋白 N 和非蛋白 N。非蛋白 N 存在的化合物可为蛋白-木质素、酚-蛋白、蛋白-几丁质和含 N 腐质酸等^[22]。这些化合物性质稳定,抗化学降解,大分子不易被食碎屑动物利用。即使通过蛋白 N 的分析,精确地计算出碎屑中蛋白质的真实含量,可这些蛋白质并非都能被水解成为食碎屑动物可利用的能量^[9,10]。因此,在探讨植物碎屑的有效能时,CAC 宜作为一种辅助指标。而 HAC 由于测定方便,处理过程近似于动物消化道的消化过程,所以在动植物能量关系研究上具有较大的意义。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 林鹏, 范航清. 九龙江口秋茄热值月变化的初步研究. 科学通报, 1990 **34** 298~ 300
- 3 林鹏, 林光辉. 海莲、秋茄两种红树群落掉落物能量的研究. 海洋学报, 1990, **12** 523~ 528
- 4 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** 114~ 120
- 5 林光辉, 林鹏. 红树植物秋茄热值及其变化的研究. 生态学报, 1991 **11** 44~ 48
- 6 尹毅, 林鹏. 广西红海榄红树群落的能量研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1993 **32** 100~ 103
- 7 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
- 8 范航清, 林鹏. 秋茄红树植物落叶分解的碎屑能量研究. 植物学报, 1994 **36** 305~ 311
- 9 Harrison P G. Detrital processing in seagrass systems: A review of factors affecting decay rates, mineralization and detritivory. *Aquat Bot*, 1989 **23** 263~ 288
- 10 Tenore K R., Cammen L., Findlay S E G *et al*. Perspectives of research on detritus: Do factors controlling the availability of detritus to macroconsumers depend on its source? *J Mar Res*. 1982 **40** 473~ 490
- 11 Tenore K R. What controls the availability to animals of detritus derived from vascular plants? Organic nitrogen enrichment or carbon availability? *Mar Ecol-Prog Ser*; 1983 **10** 307~ 309
- 12 Lieh 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法. 北京: 科学出版社, 1983 257~ 271
- 14 Camilleri J C., Ribi G. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) from dead leaves: formation of flakes from DOC, and feeding on flakes by crustaceans in mangrove. *Mar Biol*, 1986 **91** 337~ 344
- 15 孙达旺. 植物单宁化学. 北京: 中国林业出版社, 1992 1~ 12
- 16 范航清, 吴汉阳, 林鹏. 淋溶在秋茄落叶碎屑形成中的化学和能量效应. 生态学报, 1992 **12** 387~ 388
- 17 Cameron G N., LaPoint T W. Effects of tannins on the decomposition of Chinese tallow leaves by terrestrial and aquatic invertebrates. *Oecologia*, 1978 **32** 349~ 366
- 18 Cowey C B., Sargent J R. Fish nutrition. In Russell S F S., Yonge S M. eds., *Adv Mar Biol*. Vol. 10. New York: Academic Press, 1978 383~ 492
- 19 林鹏, 范航清. 九龙江口秋茄落叶分解速率的季节模式. 厦门大学学报(自然科学版), 1992 **31** 428~ 434
- 20 Tenore K R. Organic nitrogen and carbon content of detritus III. Effect on growth of a deposit-feeding polychaete *Capitella capitata*. *Estuar Coast Shelf Sci*. 1983. **17** 733~ 742
- 21 Tenore K R. Organic nitrogen and carbon content of detritus I. Utilization by the deposit-feeding polychaete *Capitella capitata*. *Estuar Coast Mar Sci*. 1981 **12** 39~ 47
- 22 Odum W E., Kirk P W., Ziemann J C. Non-protein nitrogen compounds associated with particles of vascular plant detritus. *Oikos*, 1979 **32** 363~ 367