

两种相手蟹对不同红树植物叶片取食的偏好性

李旭林^{1,2}, 彭逸生^{1,2}, 万 如¹, 伍卡兰^{1,2}, 陈桂珠^{1,2,*}

(1. 中山大学环境科学与工程学院/广东省污染控制与修复技术重点实验室, 广州 510275; 2. 中山大学湿地研究中心, 广州 510275)

摘要:大型底栖动物是红树林生态系统中重要的消费者,在红树林的营养物质转化和能量传递过程中具有重要作用。通过设置室内模拟饲喂实验,研究了华南沿海红树林大型底栖动物的常见种——无齿相手蟹(*Sesarma dehaani*)和双齿相手蟹(*S. bidens*)对外来红树植物无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和乡土红树植物秋茄(*Kandelia obovata*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)凋落叶片的取食特性。结果表明,随着淋溶作用的进行,各树种叶片中单宁含量和 C/N 均逐渐降低,两个数值的变化幅度以秋茄叶片最大,分别达 $(45.85 \pm 7.74) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 11.24%,无瓣海桑为 $(45.15 \pm 11.14) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 2.43%,桐花树则为 $(18.75 \pm 15.15) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 -1.36%。随着叶片中单宁含量和 C/N 的降低,两种相手蟹的取食量相应地呈逐渐上升的趋势,双齿相手蟹从 3.097 g 到 10.079 g 和无齿相手蟹则从 2.480 g 到 8.723 g。两种相手蟹种间的取食特性差异不显著($P > 0.05$),但对不同树种的取食上却存在显著差异,其中对桐花树的取食偏好性显著差于无瓣海桑和秋茄($P < 0.01$),这主要与桐花树叶片的高单宁含量和低营养价值有关。研究结论说明大面积引种外来物种无瓣海桑将可能对华南沿海红树林生态系统的食物链结构产生潜在影响,并为红树林的生态恢复和科学造林提供了参考。

关键词:相手蟹;红树植物;凋落叶;取食偏好性;单宁;C/N

Food preference of two sesarmid crabs to different mangrove leaves

LI Xulin^{1,2}, PENG Yisheng^{1,2}, WAN Ru¹, WU Kalan^{1,2}, CHEN Guizhu^{1,2,*}

1 School of Environmental Science and Engineering / Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 Research Center of Wetland Science, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: The macrobenthos are the primary consumers in the mangrove ecosystem and play an important role on nutrient transformation and energy transportation. By conducting the indoor feeding experiment, the feeding characteristics of two common macrobenthos in the Southern China coastal region mangroves, *Sesarma dehaani* and *S. bidens*, to the leaf litter of the exotic mangrove species *Sonneratia apetala*, and two native species, *Kandelia obovata* and *Aegiceras corniculatum* were studied. The results showed that the leaf litter of *Kandelia obovata* had the greatest changes in Tannin content and C/N value during the leaching process, which decreased $(45.85 \pm 7.74) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 11.24%. Meanwhile, the decreasing rates of Tannin content and C/N value are $(45.15 \pm 11.14) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 2.43%, $(18.75 \pm 15.15) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and -1.36% respectively for *Sonneratia apetala* and *Aegiceras corniculatum*. With the decrease of Tannin content and C/N value, the two Sesarmid crabs' predation of leaves presented a slightly rising trend accordingly, which risen from 3.097 g to 10.079 g and 2.480 g to 8.723 g for *Sesarma dehaani* and *S. bidens*, respectively. In addition, there was no significant difference with the food preference between the two crabs ($P < 0.05$), but there was significant difference between the three mangrove species. Both of the crabs were significantly prefer to *Sonneratia apetala* and *Kandel obovata* rather than *Aegiceras corniculatum* due to the high Tannin content and low nutritive value in the litter's leaves ($P < 0.01$). The results proved that introducing the exotic species *Sonneratia. apetala* at a large scale would incur the potential impact on the food chain structure in the Southern China coastal regeion mangroves, and also provided the reference for mangrove ecological

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40901278);联合国环境规划署/全球环境基金“南中国海”资助项目(GF/3010-07-03);国家 863 计划资助项目(2007AA091703)

收稿日期:2009-06-03; 修订日期:2009-10-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenguizhu@yeah.net

restoration and reasonable afforestation.

Key Words: sesamid crabs; mangroves; leaf litter; food preference; tannin; C/N

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带的特殊植被,处于海陆交界的敏感带,是重要的海岸湿地类型^[1]。自 20 世纪 70 年代后期以来,红树林恢复在世界范围内兴起。然而,无论在国内还是国外,当前红树林恢复大都采用单一树种,并停留在植被恢复水平上,即以植被覆盖为唯一目标,而未系统地考虑红树林恢复后对整个生态系统功能,尤其是对底栖动物亚系统的影响^[2]。作为红树林生态系统的重要组成部分,底栖动物是该系统内物质循环、能量流动中积极的消费者和转移者^[3],对红树林生态系统的生态功能具有十分重要的意义^[4-6]。因此针对底栖动物的研究是当今红树林生态系统研究的一个热点。

底栖动物,尤其是大型底栖动物,如蟹类,以直接取食和消费红树林凋落物作为其食物来源^[7-10]。除了环境因子影响外,不同的红树林植被类型也是造成底栖动物亚系统的数量组成和空间分布上存在差异的原因^[11-14]。不同的红树植物、不同年龄叶片中的营养物质水平,以及影响其适口性的单宁物质含量存在一定的差异^[15-16],必然导致底栖动物对不同红树植物凋落物,如凋落叶片的啃食作用强度、频次的不同,由此产生了对红树植物叶片取食的选择性。关于大型底栖动物对红树植物取食偏好性的研究,国外已开展了一些相关的研究^[17-19];我国华南沿海地区近年来大面积开展人工种植红树林的工程,然而对于红树林造林的评价仅仅局限于植物群落演替、造林成功率、种植技术等方面,关于人工红树林对大型底栖动物带来食物链方面的影响则较少报道^[20-21]。因此,开展大型底栖动物对天然和人工红树林植物凋落物的取食偏好性研究,可以更充分地考虑滨海植被恢复对生态系统中其它子系统的影响,为实现红树林的生态恢复,选择适当的植被恢复和搭配方式,提供科学的指导。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究供试对象为华南沿海红树林大型底栖动物的优势种——无齿相手蟹(*Sesarma dehaani*)和双齿相手蟹(*S. bidens*)。2 种蟹均采自珠海市淇澳岛红树林自然保护区,地理位置 22°23'40"—22°27'38" N, 113°36'40"—113°39'15" E, 总面积 5093.0 hm²。该处为一自然海湾,海滩后缘天然分布着以秋茄(*Kandelia obovata*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)为建群种的天然红树林,海滩中段则为人工种植的无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)单优群落,海滩前缘为光滩。在小潮日低潮平潮期,于不同的红树林下,随机徒手捕捉个体大小较为一致的 2 种相手蟹个体各 30 只,经鉴定后分别独立存放,带回实验室备用。供试叶片于取食实验开始时在淇澳岛红树林两种相手蟹分布的林地内,采用轻摇树干落叶、采摘发黄叶片的方法,采集即将凋落的 3 种红树植物老熟叶片,带回实验室备用。

1.2 实验设计

由于淇澳岛红树林的主要植物建群种为无瓣海桑、秋茄和桐花树 3 个树种,大型底栖动物群落优势种为 2 种相手蟹,因此试验针对它们之间的相互关系开展,旨在研究相手蟹对不同红树植物叶片的取食特性,同时分析测定叶片淋溶分解过程中,物质元素含量的变化,以揭示影响相手蟹取食特性的内在因素。

实验设置 实验用相手蟹为成年相手蟹,其中双齿相手蟹胸甲长为(25.3 ± 4.1) mm,宽(28.3 ± 3.9) mm;无齿相手蟹胸甲长(32.5 ± 5.0) mm,宽(39.0 ± 4.5) mm。每种相手蟹以 10 只为一个平行,设 3 个平行。在野外收集相手蟹后,将其分别置于以塑料板分割为 60 个独立空间的可排水交换塑料箱内,经 10 d 的饥饿处理,使其胃排空,同时每日以盐度 10 的人工海水(粗海盐 + 曝气自来水调制,盐度依据野外现场实测数据确定)进行人工模拟潮汐冲刷。试验过程中待用叶片置于每天模拟涨、退潮的水箱中,以盐度 10 的人工海水每天进行淹浸——排干冲刷,模拟野外潮汐环境下的叶片浸洗淋溶过程。

饲喂 前期预备实验表明,在实验周期内日平均气温约 25℃ 的环境下,饲喂间隔太短相手蟹取食量变化

并不明显,饲喂间隔太长则叶片基本取食完,无法采样;故本研究以 3 d 为一个饲喂间隔周期,每 3 d 将 3 种红树植物的叶片从淋溶箱中取出,吸去表面水分称重后,取一半,约 2.0 g,投喂至每只蟹的栖居空间中,同时取另一半测定含水率并分析其营养元素总碳、总氮、总磷、碳氮比和次生化合物单宁的含量。3 d 后收回,称重并测定含水率后,装入密封袋冷冻待测。有文献研究表明^[22-23],红树植物叶片营养元素的释放以及物质干重的净损失通常在前两周,即 15 d 左右达到峰值,此后的变化动态较为平缓,因此实验选择 21 d 作为实验终止时间。

1.3 分析方法

含水率测定 称重干燥前样品,然后将样品置于冷冻干燥机中冷冻干燥 48 h 后取出再称重,期初重量减去干燥后重量的差与期初重量的比值即为植物含水率。

次生化合物单宁提取^[24] 每个样品准确称取 0.050 g,分别放入研钵,标号;置于通风橱内,分别加入 5 mL 70% 的丙醇(即丙醇与水体积比为 7:3),常温下将样品研磨破碎 30 min,混合液转移至离心管,室温下 5000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 8 min;将离心后上清液转移到 50 mL 容量瓶,残渣加入 5 mL 提取剂,再次进行研磨提取;总共提取 3 次,在提取完毕后,将 3 次的提取液合并,定容至 50 mL,并转移至试剂瓶中保存,待测。

次生化合物单宁的测定 采用普鲁士蓝法(Prussian Blue 法)^[25]

总磷(TP)测定 用浓硫酸和过氧化氢消煮,在 700 nm 的波长下用比色法测定^[26]

总碳(TC)和总氮(TN) 德国 Elementar 公司生产的仪器型号为 Vario EL 元素分析仪(CHNS Elemental Analyzer)测定

碳氮比(C/N) 总碳与总氮的比值

1.4 统计分析方法

利用 SPSS for windows 13.0 软件的 ANOVA 方差分析对 2 种相手蟹的取食量、对不同树种的取食偏好性和各树种叶片中不同元素及次生化合物单宁含量变化的差异进行显著性检验,同时检验两者间的相关性。作图在 origin 7.0 软件下完成。

2 结果与分析

2.1 相手蟹取食量的变化特征

图 1 显示,随着实验的进行,2 种相手蟹对叶片的取食总量均呈缓慢上升的趋势。双齿相手蟹的取食量虽略高于无齿相手蟹,但两者之间差异不显著($P > 0.05$)。其中无齿相手蟹第 1 个饲喂周期中对秋茄的取食量非常少,仅为 0.038 g。

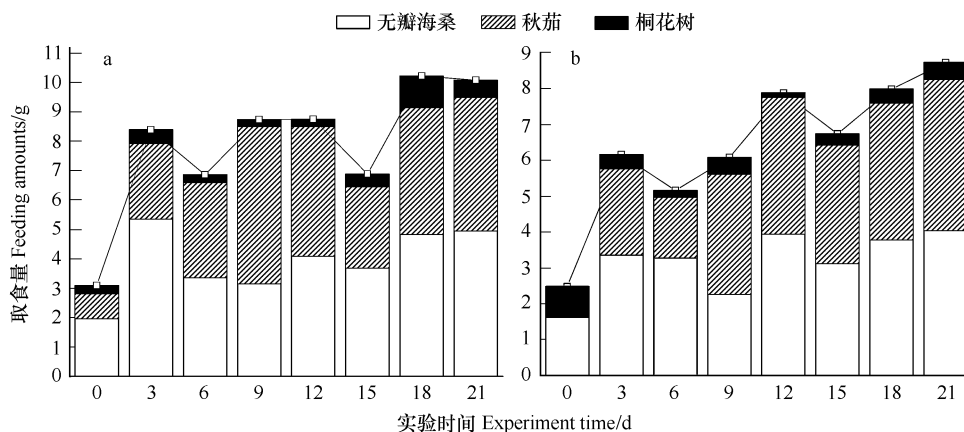


图 1 双齿相手蟹(a)和无齿相手蟹(b)对 3 种红树植物叶片的取食量变化动态

Fig. 1 The weight dynamics of the three mangroves' leaves preyed by *S. bidens* (a) and *S. dehaani* (b) crabs

在 2 种相手蟹的食物组成中,均以无瓣海桑和秋茄为主,随着实验进行这 2 种红树植物叶片的取食量也

逐渐上升;相比之下,桐花树的取食量则未表现出明显的规律,除无齿相手蟹的第一个饲喂周期外,其在两种相手蟹食物中的比例一直较低。2 种相手蟹的取食量的增加主要表现为对无瓣海桑和秋茄取食量的增加,它们对 3 种红树植物叶片的取食存在一定的选择和偏好性:2 种相手蟹都相应的偏好于取食秋茄和无瓣海桑,对桐花树取食较少。

图 2 更直观的反应 2 种相手蟹的取食偏好程度:2 种相手蟹对无瓣海桑和秋茄的取食量基本占据了取食总量的 90% 以上,而对桐花树的取食量则在 10% 的平均水平以下。经统计分析发现,2 种相手蟹种间的整体取食特性并无显著差异($P > 0.05$);但是 2 种相手蟹对取食对象,即不同树种则存在极显著差异($P < 0.01$),它们都显著偏好于取食秋茄和无瓣海桑,不喜好桐花树;而对秋茄和无瓣海桑则不存在选择的偏好性($P > 0.05$)。

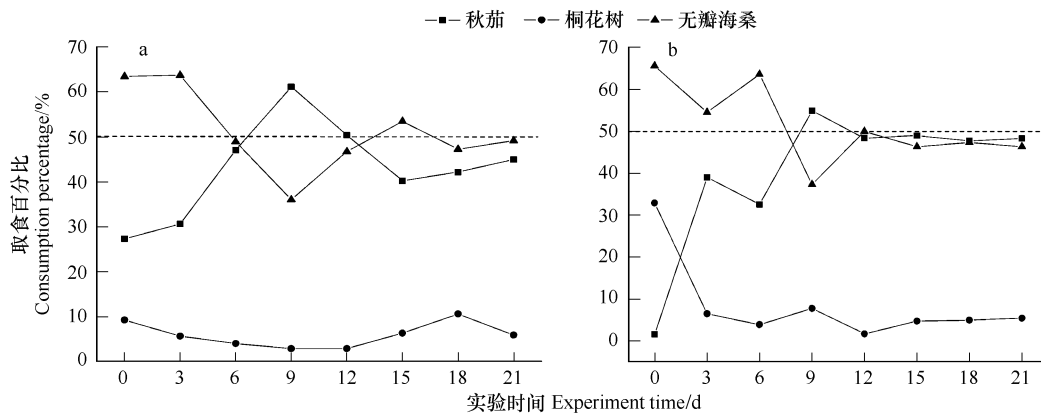


图 2 3 种红树植物叶片在双齿相手蟹(a)和无齿相手蟹(b)取食总量中的质量比例

Fig. 2 The weight proportion of the three mangroves' leaves among the preyed amount of *S. bidens* (a) and *S. dehaani* (b) crabs

随着取食实验的进行,2 种相手蟹对秋茄和无瓣海桑的取食量均逐渐趋于稳定,约占取食总量的 50%。且自始至终相手蟹对秋茄和无瓣海桑的取食都表现出此消彼长的特征,即在取食总量一定的前提下,秋茄吃得更多,无瓣海桑则相应地吃得少,反之亦然。这进一步说明了 2 种相手蟹对秋茄和无瓣海桑的取食并不存在选择的偏好性。

相手蟹的取食量说明了它们对不同红树植物叶片取食存在的选择偏好性,进一步分析各时期不同红树植物叶片中的物质含量的变化特征,则可揭示影响相手蟹取食选择的内在因素。

2.2 叶片分解过程中物质动态变化过程

2.2.1 叶片中营养元素的变化特征

图 3(a)显示 3 种红树植物叶片 C 含量都随着淋溶时间的增加而表现出上升趋势,且其增加趋势基本相似,表现为 $Ac > Ko > Sa$ 。这可能因为在红树植物叶片淋溶分解过程中,较难淋溶分解的成分如纤维素、木质素等含碳量高的物质一直保持较稳定的水平,而富含可溶性灰分及有机氮等可水解成分的组织随淋溶进行不断减少,因此 C 含量百分比持续上升。其中,两种乡土树种叶片中的碳含量比较接近,并且都高于外来树种无瓣海桑叶片中的碳含量。

图 3(b)显示 3 种红树植物叶片在淋溶过程中 N 含量的变化特征与前人的研究结果基本一致^[23,27-28]:随着淋溶作用的进行,植物叶片中的 N 含量会呈现出上升的趋势。环境中许多因素可以使叶片中 N 含量升高,其中细菌和微生物可以通过吸附、吸收和固定作用使环境中的 N 流向腐叶库^[29]。秋茄和无瓣海桑叶片中的 N 含量随淋溶进行有明显的增加,桐花树的 N 含量略有增加但变化不明显。这可能与叶片的物质结构和微生物作用强度有关。同时,桐花树叶片的 N 含量显著的低于($P < 0.01$)秋茄和无瓣海桑叶片中的 N 含量,而秋茄和无瓣海桑叶片中的 N 含量相对比较接近,无显著差异($P > 0.05$);总体而言,3 种红树植物叶片的 N 含量以无瓣海桑和秋茄表现出较高的均值水平,桐花树的含量相对较低。

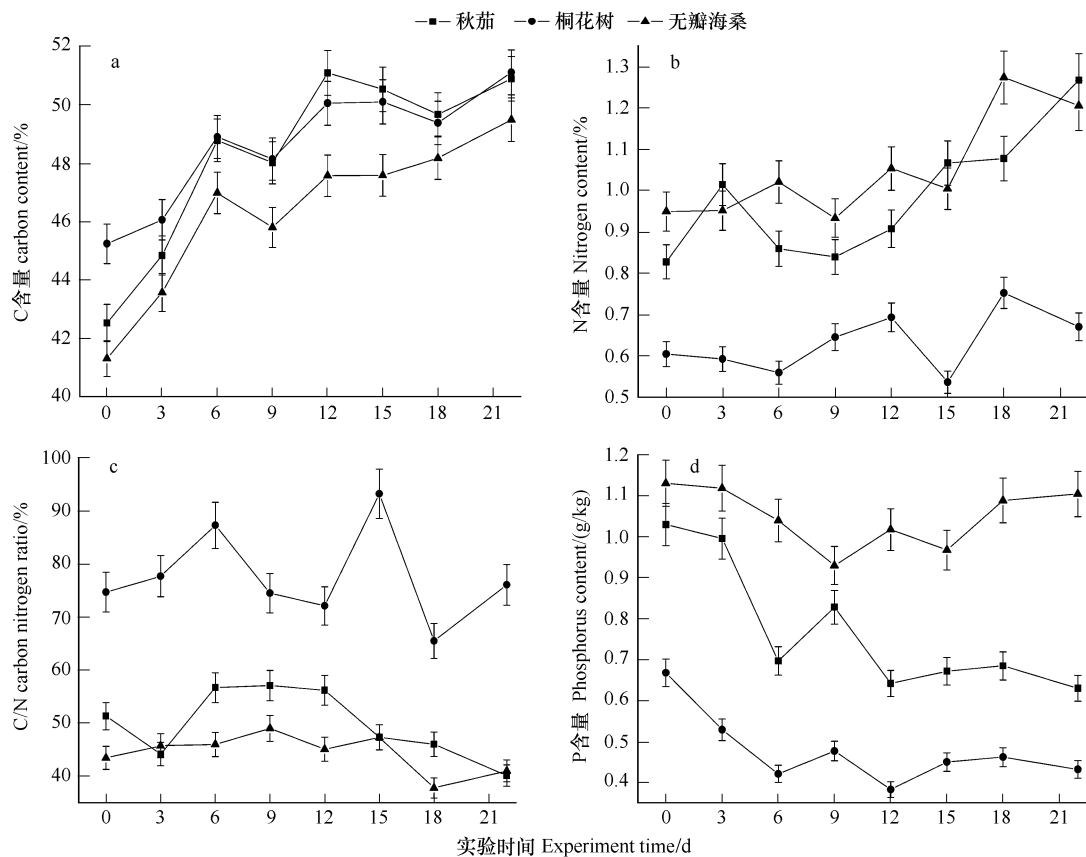


图3 3种红树植物叶片淋溶分解过程中营养元素含量的变化特征

Fig. 3 The nutrient dynamics of the three mangroves' leaves during leaching decomposition process

图3(c)中可以明显看出,桐花树的C/N极显著($P < 0.01$)高于秋茄和无瓣海桑,而秋茄和无瓣海桑的C/N相对比较接近,表现为秋茄的C/N略高于无瓣海桑,但相互之间差异不显著($P > 0.05$)。

在整个实验中,P是唯一一个在淋溶过程中含量相对减少的营养元素。如图3(d),除无瓣海桑外,两种乡土树种秋茄和桐花树叶片中P含量都显著的减少,而无瓣海桑则表现出先减少后增加的趋势。这与黄立南等人^[27]的研究结果一致,其给出解释是分解初期叶片P含量下降(而N含量上升)以及总P量的迅速下降,主要是因为P可以被迅速淋溶,而淋溶对N的损失却没有那么重要。图中还可以看到,3种树种的P含量水平都体现出极显著差异($P < 0.01$),表现为 $Sa > Ko > Ac$ 。

2.2.2 叶片中单宁含量的变化特征

图4显示3种红树植物叶片在淋溶过程中次生化合物单宁含量的变化特征。3种植物叶片的单宁含量随着实验天数的推移均逐渐减少,其中秋茄减小的幅度最大,从 $(80.47 \pm 7.39) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 $(34.62 \pm 2.30) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;其次是无瓣海桑,从 $(108.32 \pm 9.31) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 $(63.17 \pm 6.11) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;而桐花树则一直保持较高的单宁水平,从实验开始至结束,其含量仅减少 $(18.23 \pm 15.15) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,从原来的 $(108.73 \pm 10.00) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 $(89.98 \pm 11.38) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。实验初始阶段,凋落叶中单宁含量为: $Ko > Sa > Ac$;随着淋溶作用的进行,无瓣海桑和秋茄叶片的单宁含量迅速降低,尤其是无瓣海桑,在淋溶初期其单宁含量经过淋溶作用降低较为显著,到后期则趋于平稳水平;对于秋茄,淋溶初期单宁含量减少并不明显,然而淋溶后期却出现显著减少,淋溶实验后期秋茄叶片机械组织基本被破坏,叶表皮脱落、叶肉离散的现象可能是导致其单宁含量迅速减少的原因之一。

就秋茄和桐花树2种乡土树种单宁含量变化规律而言,具有一定的相似性,然而,具体含量大小变化却存在极显著差异($P < 0.01$)。桐花树叶片中的高单宁含量可能与其叶片结构有关,因为单宁易溶于水,其叶片

上下表面覆盖有一层角质层,会妨碍水分和降解有机体的进入^[27];也可能与桐花树叶片中单宁赋存的形态有关。比较而言,3种叶片单宁含量大小趋势为 $Ac > Sa > Ko$ 。

3 讨论

植物叶片随淋溶分解过程中,其物质含量的变化会影响其分解速率及动物的取食作用^[16],而这些物质主要指叶片中的单宁及营养价值。单宁是一种具有收敛性、味涩、略带酸性的无定性芳香族化合物,当单宁含量较高时,会相应地降低植物的适口性^[30]。因此,作为植物次生化合物的单宁对植食性动物的采食具有抵御性,同时也会限制微生物的活性^[10,15]。植物叶片的营养价值主要是指叶片的碳氮比(C/N),低碳氮比说明植物含氮量较高,则其具有的营养价值也相应较高。植物中氮含量的高低及其营养价值的水平是植食性蟹类取食的限制因素^[16]。

无齿相手蟹和双齿相手蟹是华南沿海红树林大型底栖动物的常见种,经常生活在一起,无论形态、生理和取食特征都十分相近,因而它们在取食无瓣海桑、秋茄和桐花树3种红树植物叶片时都表现出相似的选择偏好性。对不同红树植物叶片的营养水平及单宁含量分析表明,3种红树植物叶片中单宁含量的均值水平与双齿相手蟹取食总量变化呈显著负相关($n=8, r=-0.756, P<0.05$),而与无齿相手蟹取食总量变化则呈极显著负相关($n=8, r=-0.870, P<0.01$),即随着3种红树植物叶片中单宁含量的不断流失,2种相手蟹的取食量也不断增加。这与人^[10,15]的研究结论一致,说明单宁的确会阻碍蟹类对红树植物的进食。而植物叶片的营养价值则与相手蟹取食量呈正相关,随着3种红树植物叶片氮含量均值水平的提高,碳氮比的降低,其取食量也相应的提高,且植物叶片中营养元素氮的含量与相手蟹的取食量存在显著正相关($n=8, r_{\text{双齿相手蟹}}=0.715$ 和 $r_{\text{无齿相手蟹}}=0.789, P<0.05$)。然而,作为甲壳动物必须营养元素的磷对相手蟹的取食作用却没有产生太大的影响,随着植物叶片中磷含量的不断淋溶损失,两种相手蟹相手蟹的取食量却未发生减少,说明影响其取食作用的主要因素是叶片中的单宁含量和反映叶片营养水平的碳氮比。

3种红树植物叶片中,秋茄具有较低的初始单宁含量,然而在第1个饲喂周期中,双齿相手蟹和无齿相手蟹对秋茄的取食量仅为0.850 g和0.038 g,分析其原因可能是因为相手蟹经过10d的饥饿处理后需要一段时间来恢复正常取食活动。当相手蟹恢复正常取食活动后,其取食量与单宁含量的变化规律就十分明显,表现为随着植物叶片中单宁含量淋溶流失,其取食量相应增加。这种规律同样反映在相手蟹对秋茄、无瓣海桑和桐花树3种植物叶片的取食选择性上。相对于桐花树,秋茄和无瓣海桑的单宁含量较低,其淋溶流失速率也较快,变得更加“可口”而适于食用,所以相手蟹对秋茄和无瓣海桑的取食量显著高于桐花树。除了较低的单宁含量,秋茄和无瓣海桑的高营养价值也是相手蟹偏好于其的另一原因。秋茄和无瓣海桑的单宁含量随着淋溶作用进行而不断减少,不但有利于蟹类的取食,同时也有利于细菌和微生物的作用,加速叶片分解并通过吸附、吸收和固定作用使环境中的氮流向腐叶库提高叶片中氮素含量,进而提高其营养价值,最终提高相手蟹对其取食的偏好性。另外,有研究者认为植物叶片的机械组织或物理结构对蟹的取食活动也有一定的影响^[20,31],桐花树叶片上下表面覆盖着一层角质层,叶片质地较硬,粗纤维含量较高,叶片含水率较低,这些因素都有可能阻碍蟹的取食作用。

综上所述,无论从适口性还是营养价值考虑,桐花树均逊于秋茄和无瓣海桑,所以导致相手蟹的取食极显著偏好于后两者($P<0.01$)。而秋茄和无瓣海桑叶片之间,无论在单宁含量还是营养价值都差异均不显著

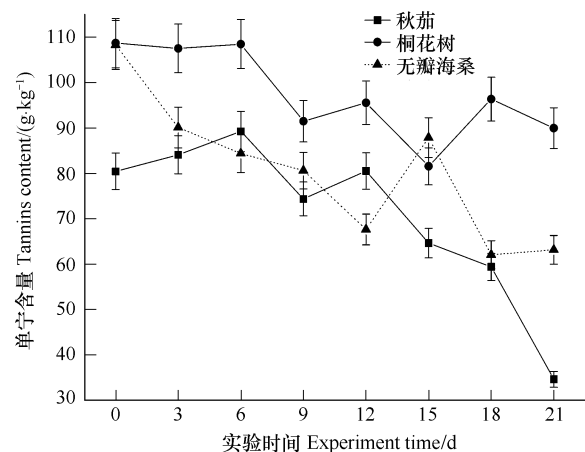


图4 3种红树植物叶片淋溶过程中单宁含量变化特征

Fig. 4 The content of tannins of the three mangroves' leaves during leaching decomposition process

($P > 0.05$), 这可以解释为什么在实验周期内, 相手蟹对秋茄和无瓣海桑的取食都不断趋于 50% 这个稳定的水平。

本实验的研究结论可以解释九龙江口红树林恢复后, 其大型底栖动物变化特征^[32-33]。九龙江口桐花树恢复后, 其大型底栖动物物种的丰度及群落的物种多样性与红树林的发育状况呈负相关; 而九龙江口秋茄红树林恢复后, 其林内大型底栖动物的物种数大于光滩, 且以弧边招潮、秀丽长方蟹、可口革囊星虫和黑口滨螺为优势种, 它们都以红树植物凋落物和有机碎屑为食。尽管红树林恢复可以为大型底栖动物提供稳定的居住环境和充足的食物来源, 但九龙江口桐花树红树林恢复对底栖动物物种数却产生了负效应。结合本研究结论, 这很可能是由于桐花树掉落物分解速度慢^[27], 且它的次生化合物单宁含量高, 影响了底栖动物的取食作用, 同时掉落物中较低的营养价值也不为底栖动物所喜好, 因此桐花树群落的恢复并未实质上为大型底栖动物提供充足的食物, 故而导致底栖动物物种数减少。相比之下, 秋茄红树林的凋落物分解速度相对较快, 随着淋溶分解的进行, 掉落物中单宁含量不断降低, 营养价值也相应提高, 所以能为大型底栖动物提供适口性好且营养价值高的食物来源, 因此秋茄群落的恢复使林内大型底栖动物物种数有了明显的增加。

4 结论

本研究中双齿相手蟹、无齿相手蟹对 3 种红树植物凋落物的取食偏好性存在着极显著差异 ($P < 0.01$): 两种相手蟹对桐花树的取食显著少于秋茄和无瓣海桑, 但对秋茄、无瓣海桑的取食并无显著差异 ($P > 0.05$)。叶片中单宁的含量, 以及叶片本身营养价值的高低是决定两种相手蟹对其取食产生偏好选择的决定性因素。可以预期, 在华南沿海地区大面积种植外来红树植物无瓣海桑, 至少会对植物-大型底栖动物这一食物链的过程产生影响, 但是其影响程度大小、当中的过程机理如何, 需要通过野外试验进行证实, 并可通过脂肪酸示踪研究等手段深入探讨^[34]。

本实验的研究仅限于实验模拟的人工喂养模式, 尚未能对野外环境的取食量做出精确的估计, 实际上人工喂养条件下相手蟹只有唯一、充足的食物, 不受取食时间、食物种类、食物来源、食物季节性波动等因素的影响。但本研究的结果仍较好地描述了华南沿海典型人工红树林区中两种相手蟹对 3 种红树植物建群种凋落物取食的偏好特性, 对红树林恢复造林和科学评价具有较好的参考价值。

致谢: 中国水产科学研究院南海水产研究所张汉华研究员在大型底栖动物鉴别过程中提供帮助。

References:

- [1] Saenger P. Mangrove ecology, silviculture and conservation. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002: 1-10, 101-146, 243-249.
- [2] Ye Y, Weng J, Lu C Y, Chen G C. Mangrove biodiversity restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (4): 1243-1250.
- [3] Wei S C, Chen J, Fan H Q. A Study on the Benthic Macrofauna and Its Ecology in Shangkou Mangrove Reserve Area of Guangxi. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 1993, 9 (2): 45-57.
- [4] Lee S Y. The ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: implications for conservation. *Marine and Freshwater Research*, 1998, 49 (4): 335-343.
- [5] Smith T J, Boto K G, Frusher S D, Giddins R L. Keystone species and mangrove forest dynamics: the influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 33 (5): 419-432.
- [6] Lee S Y. Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Australian Journal of Ecology*, 1999, 24 (4): 355-366.
- [7] Micheli F. Feeding ecology of mangrove crabs in North Australia: mangrove litter consumption by *Sesarma messa* and *Sesarma smithii*. *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 1993, 171 (2): 165-186.
- [8] Robertson A I, Daniel P A. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. *Oecologia*, 1989, 78 (2): 191-198.
- [9] Smith T J. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology*, 1987, 68 (2): 266-273.
- [10] Steinke T D, Rajh A, Holland A J. The feeding behaviour of the red mangrove crab *Sesarma meinerti* De Man, 1887 (Crustacea: Decapoda: Grapsidae) and its effect on the degradation of mangrove leaf litter. *South African Journal of Marine Science*, 1993, 13 (1): 151-160.
- [11] Dahdouh-Guebas F, Verneir M, Cannicci S, Kairo J G, Tack J F, Koedam N. An exploratory study on grapsid crab zonation in Kenyan mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, 10 (3): 179-187.
- [12] Tang Y J, Yu S X. Spatial zonation of macrofauna in the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve, Guangdong. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (5): 1703-1714.

- [13] Tang Y J, Yu S X, Wu Y Y. A Comparison of Macrofauna Communities in Different Mangrove Assemblages. *Zoological Research*, 2007, 28 (3): 255-264.
- [14] Cantera K J R, Thomassin B A, Arnaud P M. Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves. *Hydrobiologia*, 1999, 413 (1): 17-33.
- [15] Neilson M J, Giddins R L, Richards G N. Effects of tannins on the palatability of mangrove leaves to the tropical sesamid crab *Neosarmatium smithi*. *Marine Ecology Progress Series*, 1986, 34: 185-186.
- [16] Robertson A I. Decomposition of mangrove leaf litter in tropical Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1988, 116 (3): 235-247.
- [17] Ashton E C. Mangrove sesamid crab feeding experiments in Peninsular Malaysia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 273 (1): 97-119.
- [18] Erickson A A, Saltis M, Bell S S, Dawes C J. Herbivore feeding preferences as measured by leaf damage and stomatal ingestion: a mangrove example. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 289 (1): 123-138.
- [19] Fratini S, Cannicci S, Vannini M. Feeding clusters and olfaction in the mangrove snail *Terebralia palustris* (Linnaeus) (Potamididae: Gastropoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 261 (2): 173-183.
- [20] Guang C C, Ye Y. Leaf consumption by *Sesarma plicata* in a mangrove forest at Jiulongjiang Estuary, China. *Marine Biology*, 2008, 154 (6): 997-1007.
- [21] Chen G C, Ye Y, Lu C Y. Seasonal variability of leaf litter removal by crabs in a *Kandelia candel* mangrove forest in Jiulongjiang Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 79 (4): 701-706.
- [22] Benner R, Hodson R E, Kirchman D. Bacterial abundance and production on mangrove leaves during initial stages of leaching and biodegradation. *Archiv für Hydrobiologia*, 1988, 31, 19-26.
- [23] Mfilinge P L, Atta N, Tsuchiya M. Nutrient dynamics and leaf litter decomposition in a subtropical mangrove forest at Oura Bay, Okinawa, Japan. *Trees*, 2002, 16 (2/3): 172-180.
- [24] Lin Y M, Liu J W, Xiang P, Lin P, Ye G F, Sternberg L da S L. Tannin dynamics of propagules and leaves of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza* in the Jiulong River Estuary, Fujian, China. *Biogeochemistry*, 2006, 78 (3): 343-359.
- [25] Horace D. Graham, Stabilization of the Prussian blue color in the determination of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40 (5): 801-805.
- [26] Fan X H, Lu R K. Soil nutrient analysis//Lu R K ed. *Methods of soil agro chemistry analysis*. Beijing: China Agricultural Science Press, 1999: 147-150, 166-168.
- [27] Huang L N, Lan C Y, Shu W S. Leaf decomposition of two species in a mangrove community in Futian of Shenzhen. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12 (2): 35-38.
- [28] Bosire J O, Dahdouh-Guebas F, Kairo J G, Kazungu J, Dehairs F, Koedam N. Litter degradation and C/N dynamics in reforested mangrove plantations at Gazi Bay, Kenya. *Biological Conservation*, 2005, 126 (2): 287-295.
- [29] Rice D L, Tenore K R. Dynamics of carbon and nitrogen during the decomposition of detritus derived from estuarine macrophytes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1981, 13 (6): 681-690.
- [30] Sun D W. Introduction//Sun D W ed. *Chemistry of vegetable tannins*. Beijing: China Forestry Press, 1992: 1-10.
- [31] Camilleri J. Leaf choice by crustaceans in a mangrove forest in Queensland. *Marine Biology*, 1989, 102 (4): 453-459.
- [32] Li R, Ye Y, Chen G C, Weng J. Effect of *Aegiceras corniculata* Mangrove Rehabilitation on Macro-benthic Animals in Jiulongjiang River Estuary. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2007, 46 (1): 109-114.
- [33] Chen G C, Ye Y, Lu C Y. Effect of *Kandelia candel* Mangrove Rehabilitation on Macro-benthic Fauna in Jiulongjiang River Estuary. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2008, 47 (2): 260-264.
- [34] Hall D, Lee S Y, Meziane T. Fatty acids as trophic tracers in an experimental estuarine food chain: Tracer transfer. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 336 (1): 42-53.

参考文献:

- [2] 叶勇,翁劲,卢昌义,陈光程. 红树林生物多样性恢复. *生态学报*, 2006, 26(4): 1243-1250.
- [3] 韦受庆,陆坚,范航清. 广西山口红树林保护区大型底栖动物及其生态学的研究. *广西科学院学报*, 1993, 9(2): 45-57.
- [12] 唐以杰,余世孝. 广东湛江红树林保护区大型底栖动物群落的空间分带. *生态学报*, 2007, 27(5): 1703-1714.
- [26] 范晓辉,鲁如坤. 土壤养分分析//鲁如坤主编. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 147-150, 166-168.
- [27] 黄立南,蓝崇钰,束文圣. 深圳福田两种红树林植物叶片分解研究. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 35-38.
- [30] 孙达旺. 概论//孙达旺主编. *植物单宁化学*. 北京: 中国林业出版社, 1992: 1-10.
- [32] 李蓉,叶勇,陈光程,翁劲. 九龙江口桐花树红树林恢复对大型底栖动物的影响. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2007, 46 (1): 109-114.
- [33] 陈光程,叶勇,卢昌义. 九龙江口秋茄红树林恢复对大型底栖动物群落的影响. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2008, 47 (2): 260-264.