

不同状态红树和盐沼植物样品的 脂肪酸组成比较研究

谢丽梅^{1,2}, 吴志强², 陈彬^{1,3}, 陈顺洋^{1,3}, 陈光程^{1,3*}

(1. 自然资源部第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;

3. 福建省海洋生态保护与修复重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要:本研究分析了九龙江口红树植物秋茄(*Kandelia obovata*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*), 以及盐沼植物互花米草(*Spartina alterniflora*)和短叶茳芏(*Cyperus malaccensis*)不同状态(成熟、衰老和腐烂)叶片中脂肪酸组成及相对含量。结果共检测出20种脂肪酸, 其中9种存在于所有样品中。样品中含量最高的饱和脂肪酸均为棕榈酸 C16:0 (21.76%~39.55%), 其次是硬脂酸 C18:0 (4.98%~29.88%); 不饱和脂肪酸主要有油酸 C18:1n9 (2.04%~12.90%)、亚油酸 C18:2n6 (8.25%~24.69%)和 C20:1n9 (1.64%~40.45%)。红树植物和盐沼样品中的脂肪酸组成存在差异, C30:0 为红树植物的特征脂肪酸。在植物衰老和腐烂的样品中的脂肪酸组成与新鲜成熟样品存在差异, C20:1n9 在衰老的样品中出现明显的下降, 而相比红树植物两种盐沼植物的 C20:1n9 含量则下降更快。研究表明, 总体上湿地植物在衰老和腐烂后不饱和脂肪酸占脂肪酸的比例明显下降, 而必需脂肪酸 C18:2n6 的水平则未出现升高。

关键词:海洋生物学; 红树; 盐沼植物; 脂肪酸; 衰老; 腐烂

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2021.04.007

中图分类号: P735

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2021)04-0614-08

作为滨海湿地生态系统的初级生产者, 湿地植物为生态系统内和其毗邻区域的生物提供食物来源和栖息繁衍场所, 并构成复杂的食物链和食物网关系^[1]。脂肪酸作为细胞膜脂的主要成分, 又是机体重要的能源物质, 是植物必不可少的成分^[2]。植物脂肪酸随着食物链传递到消费者体内, 对动物的生长发育和繁殖具有重大意义^[3], 通过对比物种脂肪酸的组成, 可以确定物种间的营养关系, 指示食物网的结构组成^[4]。

目前我国对滨海湿地植物脂肪酸的报道较少, 多集中在某一植物物种或者常见物种的脂肪酸组分的研究^[5]。红树和盐沼植物是我国南方河口常见的湿地植物类型, 它们通常具有相似的生态位, 可同时分布在河口的一些岸段^[6], 因此都可能构成湿地底栖动物的食物来源。本研究分析了九龙江口红树植物秋茄(*Kandelia obovata*)和桐花树(*Aegiceras cor-*

niculatum), 以及盐沼植物互花米草(*Spartina alterniflora*)和短叶茳芏(*Cyperus malaccensis*)这4种湿地植物成熟、衰老和腐烂植物样品中的脂肪酸组成, 以期了解湿地植物在维系底栖食物网的重要性提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集与前处理

植物样品采集于福建省龙海市浮宫镇草埔头村沿岸(24°23'28.82"N, 117°54'32.50"E)。采集红树植物叶片和盐沼植物地上部分, 因为它们分别代表这两类植物输出的有机碳的形式。随机摘取秋茄、桐花树的新鲜成熟叶片, 摇晃树干获取凋落的叶片, 收集林地地表腐烂的叶片。同时, 随机采集互花米草、短叶茳芏的成熟和衰老的(死亡枯黄)地上部分生物量, 收集地面腐烂的茎秆等样品。每种类型的

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 国家重点研究计划资助项目(2017YFC0506101); 自然资源部第三海洋研究所基本科研业务费专项资金资助项目(2019017)

作者简介: 谢丽梅(1996—), 女, 博士研究生; E-mail: xie_am@163.com

* 通讯作者: 陈光程(1982—), 男, 博士, 研究员; E-mail: gc.chen@tio.org.cn

植物分别采集 4 份重复样品。样品运回实验室后用蒸馏水洗净,于-40 ℃冷冻干燥后研磨成粉,待测。

1.2 脂肪酸提取

脂肪酸的提取参考崔莹(2012)的方法^[7],称取 50 mg 样品于 15 mL 具盖玻璃试管中,加入 6 mL 二氯甲烷:甲醇混合溶液(体积比为 2:1)于 80 ℃条件下水浴加热 2 h。水浴结束后迅速冷却至室温,将试管中的液体转移到 25 mL 空试管中,60 ℃水浴蒸干,再向试管中加入 4 mL 盐酸:甲醇混合溶液(体积比为 1:3),于 60 ℃条件下水浴 4 h 后将试管迅速冷却。再加入 1 mL 正己烷溶液,涡旋混匀后静置分层,必要时可加入蒸馏水助分层,重复提取两次。将正己烷层转移至样品瓶中,用氮气吹干浓缩,再加入正己烷定容至 1 mL,待测。

1.3 脂肪酸测定

利用气相色谱仪(GC7890A)测定脂肪酸的组成和含量,自动进样器每次注入分析样品量为 1 μL。所用色谱柱为极性毛细管柱(HP-88,长 60 m×直径 0.25 mm×膜厚 0.2 μm),进样口温度为 250 ℃,火焰检测器温度为 300 ℃,分流比为 10:1。气相色谱运行时的升温程序是:初始温度 100 ℃,维持 3 min,然后以 10 ℃/min 的速度升温到 210 ℃,维持 1 min,然后以 1.5 ℃/min 的速度升到 240 ℃,保持 3 min;氮气为载气,流速为 3 mL/min。定性使用的脂肪酸甲酯标准为 37 种脂肪酸甲酯混标、二十六烷酸甲酯、二十八烷酸甲酯(No. 47885, No. 52203, No. 74701, Sepulco.)与三十烷酸甲酯(No. T0812, Tokyo Kasei Kogyo Co., Ltd)。

1.4 数据处理

本研究中脂肪酸的表达写为 CA: BnXt/CA: BnXc, A 表示脂肪酸碳链的碳数, B 表示双键的数量, X 表示第一个双键离甲基端的碳数, t 表示反式脂肪酸, c 表示顺式脂肪酸。采用峰面积归一化

法,得到各脂肪酸成分的相对百分含量。基于样品的脂肪酸组成,采用聚类分析对样品进行分组,再用相似性分析(ANOSIM)和相似性百分比分析(SIMPER)检验植物样品处理组之间的相似性,同一物种不同状态样品中脂肪酸组成的差异用主成分分析(PCA)和 SIMPER 分析(Primer 6);用单因素方差分析比较不同样品脂肪酸含量的差异(SPSS 23.0)。

2 结果与讨论

2.1 样品脂肪酸的组成

在 12 种植物样品中共检测出 20 种脂肪酸(表 1、2),其中月桂酸(C12:0)、肉豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)、十七酸(C17:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1n9)、亚油酸(C18:2n6)、花生酸(C20:0)和二十碳烯酸(C20:1n9)等 9 种脂肪酸在所有样品中均被检测到。样品的偶数碳原子脂肪酸含量均高于 96%。样品中检测到 13 种饱和脂肪酸(SFA),含量最高的均为 C16:0(21.76%~39.55%),其次是 C18:0(4.98%~29.88%)。样品中检测到不饱和脂肪酸(UFA)7 种,其中单不饱和脂肪酸(MUFA)4 种,主要包括 C18:1n9(2.04%~12.90%)和 C20:1n9(1.64%~40.45%);多不饱和脂肪酸(PUFA)3 种,包括 C18:2n6、C18:3n6 和 C20:4n6,其中含量最高的为 C18:2n6(8.25%~24.69%)。UFA/SFA 值在 4 种植物的新鲜成熟样品中最高,衰老样品次之,腐烂样品则最低。

4 种植物在叶片衰老和分解过程中饱和脂肪酸含量增加,盐沼植物的单不饱和脂肪酸含量在衰老过程中显著降低($p<0.05$),互花米草的多不饱和脂肪酸含量在衰老过程中显著降低($p<0.05$,图 1)。C20:1n9 含量在除秋茄外的 3 种植物叶片衰老过程中显著降低,C18:0 在盐沼植物叶片衰老过程中含量增加(表 1、2)。

表 1 红树植物叶片的脂肪酸组成及相对含量

Tab. 1 Fatty acid composition and relative contents of mangrove leaves

脂肪酸种类	秋茄叶片中相对含量/%			桐花树叶片中相对含量/%		
	成熟	衰老	腐烂	成熟	衰老	腐烂
* 癸酸(C10:0)	—	—	0.42±0.31	—	0.23±0.23	0.22±0.23
* 月桂酸(C12:0)	1.35±0.15 ^a	1.30±0.20 ^a	2.67±0.25 ^b	1.35±0.43 ^a	2.81±0.77 ^{ab}	4.23±2.14 ^b
* 十三烷酸(C13:0)	—	0.29±0.29	0.27±0.38	—	—	0.38±0.65
* 肉豆蔻酸(C14:0)	1.08±0.30 ^a	3.89±0.14 ^b	5.75±0.99 ^b	0.58±0.11 ^a	1.53±0.55 ^b	3.29±0.81 ^c
肉豆蔻烯酸(C14:1)	0.44±0.27 ^a	0.18±0.18 ^a	0.38±0.30 ^a	0.26±0.26 ^a	0.15±0.26 ^a	0.16±0.28 ^a

续表

脂肪酸种类	秋茄叶片中相对含量/%			桐花树叶片中相对含量/%		
	成熟	衰老	腐烂	成熟	衰老	腐烂
* 十五烷酸(C15:0)	0.06±0.07 ^a	0.19±0.19 ^a	0.28±0.21 ^a	—	—	—
* 棕榈酸(C16:0)	30.57±4.41 ^a	33.76±3.01 ^a	38.95±4.65 ^a	26.13±2.20 ^a	27.78±0.81 ^b	32.52±1.95 ^a
棕榈油酸(C16:1)	—	—	—	—	—	—
* 十七烷酸(C17:0)	0.88±0.59 ^a	0.67±0.67 ^a	1.56±0.22 ^a	1.08±0.56 ^a	1.45±0.33 ^a	2.45±1.05 ^a
* 硬脂酸(C18:0)	7.80±4.05 ^a	10.65±3.06 ^a	10.20±2.18 ^a	7.55±3.97 ^a	8.35±2.87 ^b	13.82±3.50 ^b
油酸(C18:1n9c)	12.90±2.86 ^b	9.77±0.03 ^{ab}	6.99±0.75 ^a	7.87±0.49 ^a	8.88±0.90 ^a	11.58±1.30 ^b
亚油酸(C18:2n6c)	16.09±0.55 ^b	13.96±0.03 ^{ab}	11.53±1.53 ^a	14.46±0.92 ^a	15.92±1.42 ^b	14.34±0.93 ^a
* 花生酸(C20:0)	0.18±0.22 ^a	0.52±0.52 ^a	0.57±0.41 ^a	0.10±0.17 ^a	0.10±0.17 ^a	0.81±0.48 ^a
γ-亚油酸(C18:3n6)	—	—	—	—	—	—
二十碳烯酸(C20:1n9)	25.06±10.58 ^a	16.71±3.45 ^a	13.24±2.66 ^a	36.76±4.89 ^c	27.23±1.24 ^b	9.60±0.83 ^a
* 二十一烷酸(C21:0)	—	—	—	—	—	—
* 山嵛酸(C22:0)	—	—	—	—	—	0.36±0.62
花生四烯酸(C20:4n6)	—	—	—	—	—	—
* 二十四烷酸(C24:0)	0.22±0.27 ^a	0.63±0.63 ^a	0.31±0.44 ^a	—	0.33±0.56	1.40±0.83
* 三十烷酸(C30:0)	3.37±0.69 ^a	7.47±5.16 ^a	6.87±4.23 ^a	3.87±0.92 ^a	5.26±1.47 ^b	4.83±1.34 ^{ab}
偶数碳原子	99.07	98.85	97.88	98.92	98.55	97.18
UFA/SFA	1.20	0.68	0.47	1.46	1.09	0.56

注：“*”表示饱和脂肪酸,每个物种的每种脂肪酸上标的不同字母表示同一物种不同状态叶片脂肪酸含量差异显著($p<0.05$),下同。

表 2 盐沼植物样品的脂肪酸组成及相对含量

Tab. 2 Fatty acid composition and relative contents of salt marsh plant leaves

脂肪酸种类	互花米草样品相对含量/%			短叶荇荳样品相对含量/%		
	成熟	衰老	腐烂	成熟	衰老	腐烂
* 癸酸(C10:0)	—	—	—	—	—	—
* 月桂酸(C12:0)	1.44±0.30 ^a	1.84±0.90 ^a	6.17±1.44 ^b	2.10±1.22 ^a	2.57±1.42 ^a	1.44±0.24 ^a
* 十三烷酸(C13:0)	0.16±0.28	—	—	—	—	—
* 肉豆蔻酸(C14:0)	1.50±0.12 ^a	1.79±0.52 ^a	8.10±2.14 ^b	0.53±0.09 ^a	1.70±0.39 ^b	1.60±0.36 ^b
肉豆蔻烯酸(C14:1)	0.79±0.07 ^a	0.18±0.25 ^a	0.48±0.84 ^a	0.84±0.10	—	—
* 十五烷酸(C15:0)	—	0.15±0.21	0.44±0.47	0.44±0.04	0.85±0.22	—
* 棕榈酸(C16:0)	21.76±0.41 ^a	38.86±2.14 ^c	34.39±2.98 ^b	31.87±1.49 ^a	35.84±2.25 ^{ab}	39.55±3.38 ^b
棕榈油酸(C16:1)	—	—	—	0.54±0.09 ^a	1.39±0.27 ^b	1.30±0.26 ^b
* 十七烷酸(C17:0)	0.32±0.19 ^a	2.93±0.80 ^b	0.61±0.61 ^a	0.57±0.07	1.93±1.02	2.28±2.23
* 硬脂酸(C18:0)	4.98±1.15 ^a	29.77±2.47 ^c	18.96±2.93 ^b	7.44±3.42 ^a	25.04±2.86 ^b	27.98±4.43 ^b
油酸(C18:1n9c)	2.04±0.22 ^a	5.84±0.71 ^b	4.71±0.85 ^b	2.83±0.33 ^a	5.90±0.40 ^b	6.18±1.02 ^b
亚油酸(C18:2n6c)	24.69±0.72 ^c	10.77±1.44 ^b	8.25±1.23 ^a	11.38±1.21 ^a	11.33±0.35 ^a	11.94±1.30 ^a
* 花生酸(C20:0)	0.40±0.25 ^a	2.25±0.63 ^{ab}	3.66±2.33 ^b	0.52±0.10 ^a	1.10±1.56 ^a	2.05±1.18 ^a

续表

脂肪酸种类	互花米草叶片中相对含量/%			短叶茳茳叶片中相对含量/%		
	成熟	衰老	腐烂	成熟	衰老	腐烂
γ-亚油酸(C18:3n6)	0.12±0.21	—	—	—	—	—
二十碳烯酸(C20:1n9)	40.45±1.82 ^b	1.64±0.62 ^a	2.67±0.71 ^a	39.65±6.45 ^b	2.92±0.87 ^a	2.20±1.06 ^a
* 二十一烷酸(C21:0)	—	—	—	—	0.21±0.30	—
* 山嵛酸(C22:0)	0.86±0.61 ^a	1.42±0.45 ^{ab}	6.04±1.89 ^b	0.09±0.15 ^a	2.38±0.53 ^b	0.93±1.31 ^a
花生四烯酸(C20:4n6)	—	—	—	0.11±0.19 ^a	1.90±0.43 ^b	—
* 二十四烷酸(C24:0)	0.48±0.30 ^a	2.55±0.73 ^b	5.51±1.45 ^c	1.10±0.12 ^a	4.94±1.07 ^b	2.56±2.41 ^b
* 三十烷酸(C30:0)	—	—	—	—	—	—
偶数碳原子	99.52	96.92	98.94	98.99	97.01	97.72
UFA/SFA	2.13	0.23	0.19	1.24	0.31	0.28

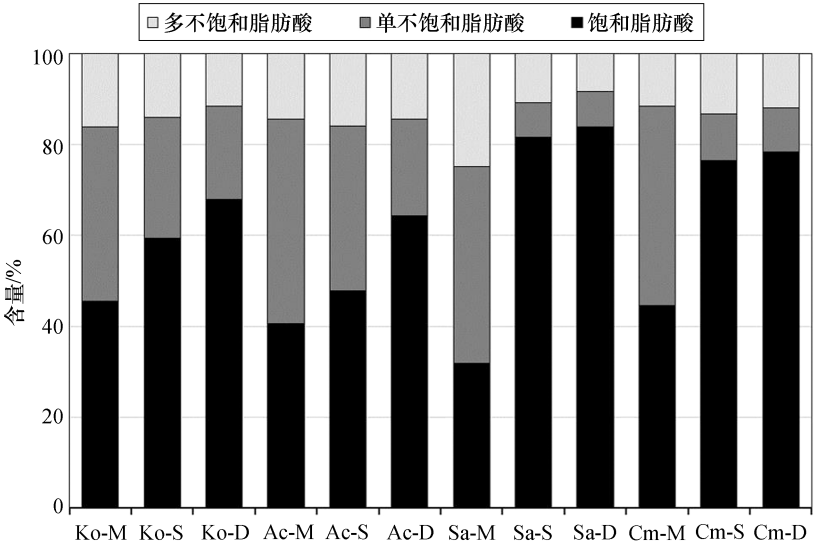


图 1 不同植物样品脂肪酸的组成

Fig. 1 Fatty acid composition of different plant samples

Ko: 秋茄, Ac: 桐花树, Sa: 互花米草, Cm: 短叶茳茳; M: 成熟叶片, S: 衰老叶片, D: 腐烂叶片。

2.2 样品脂肪酸组成的差异

聚类分析将植物样品脂肪酸组成在 80% 相似水平下分成 3 组,其中 6 种红树样品为第 1 组,两种盐沼植物成熟样品为第 2 组,两种盐沼植物的衰老样品和腐烂样品同为第 3 组(图 2)。基于聚类分析分组情况的 One-way Anosim 分析结果表明,红树样品组(第 1 组)和第 2、3 组之间均存在显著差异($R=0.99, p=0.036$; $R=0.996, p=0.005$),两组盐沼样品间脂肪酸组成差异不显著。SIMPER 分析结果表明第 1 组和第 2、3 组的组间差异贡献最大的脂肪酸是 C30:0,第 1 组的 6 种红树样品均检测出 C30:0,盐沼植物样品均未检出。

PCA 分析结果显示,在 4 种植物样品脂肪酸的组

成上,不同状态的样品分处在不同的组(图 3)。基于不同状态样品的 PCA 分析结果进行 SIMPER 分析,结果表明,红树植物成熟样品和衰老、腐烂样品间差异贡献最大的是 C20:1n9,盐沼植物成熟样品和衰老、腐烂样品间差异贡献最大的是 C20:1n9 和 C18:0。

2.3 讨论

本研究在样品中共检测出 20 种脂肪酸,奇数碳原子含量较低,含量较高的为 C16:0、C18:0、C18:1n9、C18:2n6 和 C20:1n9。C16:0 和 C18:2n6 已被证实通常是红树和盐沼植物叶片中的主要脂肪酸^[5, 8-9]。4 种植物成熟样品中的 UFA 含量均高于 SFA,其中互花米草成熟叶片 UFA/SFA 最高。两种红树成熟叶片的 UFA/SFA 值(1.20 和 1.46)与卢昌

义等(1997)在九龙江口的报道相近^[10],盐沼植物的 UFA/SFA 值也落在前人报道的区间内^[11-12]。本研究也发现,红树和盐沼植物样品中的 UFA/SFA 值在衰老和腐烂样品中低于成熟样品,脂肪酸的组成

以 SFA 为主。C16:0 在叶片衰老和腐烂过程中相对含量有所增加,是 4 种植物腐烂叶片中含量最高的脂肪酸,这有可能是其他脂肪酸含量减少导致的^[9]。

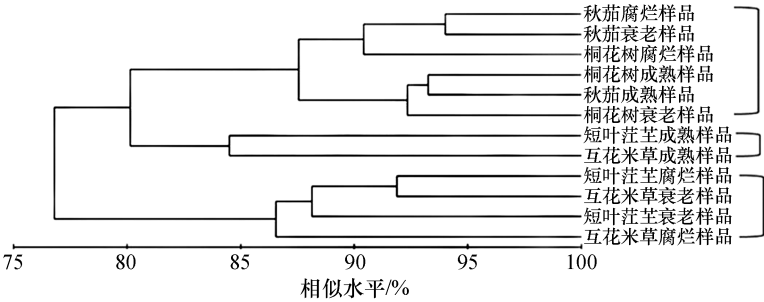


图 2 基于样品脂肪酸组成的聚类分析结果

Fig. 2 Cluster analysis results of the fatty acid composition in different plant samples

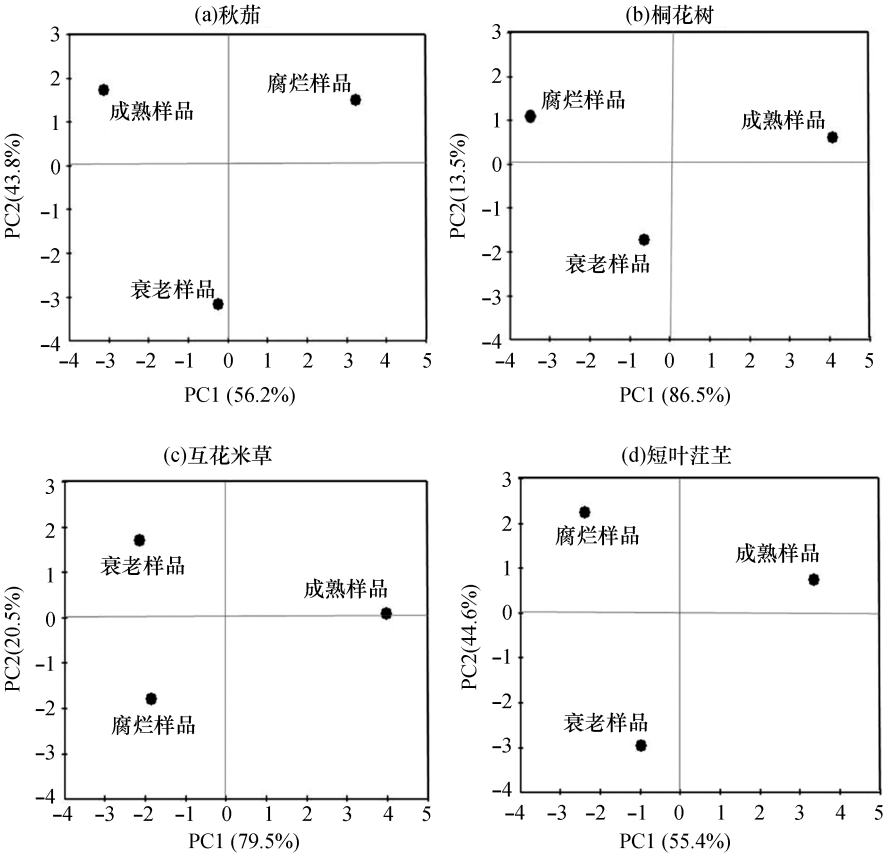


图 3 基于样品脂肪酸组成的 PCA 分析结果

Fig. 3 PCA analysis results of the fatty acid composition in different plant the samples

由于不同生物对脂肪酸的合成和改造能力存在差异,某些脂肪酸只能由特定的生物合成,且脂肪酸在生物代谢中具有保守性,因此脂肪酸被认为是一种合适的生物标志物,已经被广泛用于水生动物食物来源的研究^[13-14]。此前的研究已经筛选出了一

些特征脂肪酸用于示踪食物网中有机质的传递,例如 C20:5n3 被认为是硅藻的特征脂肪酸,甲藻含有较高的 C22:6n3 和 C18:4n3^[15]。碳链长度大于 24 的长链脂肪酸,如 C26:0、C28:0 和 C30:0 则是红树植物的特征脂肪酸,在一些河口湿地底栖动物食源

和食物网的研究中被用来示踪红树植物的贡献^[13-14]。本研究中 C30:0 在 6 种红树叶片中被检出(3.37%~7.47%),但样品中未检出 C26:0 和 C28:0。前人的研究表明红树植物的特征脂肪酸组成存在明显的种间差异和地区差异,其长链脂肪酸的组成和含量存在很大的不确定性,在一些物种中可能存在两种及以上的长链脂肪酸,因此在利用特征脂肪酸进行食源和食物网研究时需测定该研究区域内红树的脂肪酸组成^[16]。本研究中两种盐沼植物样品中检测到的脂肪酸在红树样品中也存在,说明盐沼植物无特征脂肪酸,与之前的研究相符^[12]。因此,在河口地区,当红树植物和盐沼植物共存时,单独使用脂肪酸示踪法无法直接证实这两类植物是否都构成了底栖动物的食物来源,需要结合其它方法,如胃含物法、稳定同位素法^[16]等全面分析底栖动物的食物来源及贡献。

本研究结果表明不同状态的叶片脂肪酸组成存在明显差异(图3)。在植物的衰老过程中,植物体内的膜脂过氧化作用加剧,不饱和脂肪酸含量降低,膜脂的脂肪酸饱和程度逐渐增高^[17]。这与本研究的结果总体相似。衰老的植物样品相比新鲜成熟样品,所检测到的 20 种脂肪酸中,仅有 C20:1n9 在 4 种植物之间表现出相同的变化规律,其含量在衰老的样品中出现明显的下降。但两种盐沼植物的 C20:1n9 含量则下降更快,在衰老的样品的脂肪酸中所占比例未超过 3%,与腐烂叶片的含量也相似;相应的,它们的 C18:0 比例则出现明显的增加。Huynh 等(2007)认为动物体内 C20:1n9 的水平可以反映出它们的食物来源^[18],但在本研究中盐沼和红树植物的 C20:1n9 在腐烂过程中发生明显变化,因此利用 C20:1n9 的水平是否可以准确指示滨海湿地植物对底栖动物食源的贡献还需要验证。

本研究发现腐烂样品中 USF/SFA 的比值低于新鲜成熟叶和衰老叶片,这可能是因为植物在分解过程不饱和脂肪酸首先被利用^[19]。红树叶片分解过程中,长链的脂肪酸能够保持稳定的水平,多不饱和脂肪酸也不被降解^[8]。尽管之前的研究表明叶片腐烂过程中 C16:0 的水平会出现明显的下降^[8, 20],可从~70%下降到~20%,但是本研究未发现红树和盐沼植物样品中 C16:0 受到腐烂过程的影响,腐烂样品中的 C16:0 均维持在>30%的水平。Rajendran 等(2000)的研究^[9]中,红树植物叶片腐烂

过程中 C16:0 的水平变化量也远低于 Mfilinge 等(2003)的研究^[8],或者未发生变化。这可能是这些研究中衰老的样品中脂肪酸含量的组成差异造成的。考虑到同一物种的脂肪酸在不同地区存在差异以及植物物种之间的差异^[5, 21],我们认为今后的研究中还需要进一步探究植物凋落物在分解过程脂肪酸的变化过程及机制。

包括 C18:2n6 和 C18:3n3 在内的必需脂肪酸^[22],在海洋动物的生长、膜运输和代谢调节过程中起着重要的作用^[23]。底栖动物在摄食消化红树植物凋落物中主要是利用其中的必需脂肪酸^[24]。红树林中植食性的蟹类,如相手蟹科动物通常对腐烂的叶片具有较强的摄食偏好,这是因为在红树叶片腐烂过程中微生物的作用使叶片的氮含量增加、碳氮比相应降低,可以提供更好的营养比^[25]。尽管九龙江口褶痕相手蟹(*Sesarma plicata*)对秋茄和桐花树的腐烂叶片的摄食偏好强于新鲜和衰老叶片^[26],本研究未发现红树腐烂叶片中的必需脂肪酸含量高于其他两种状态样品,饱和脂肪酸含量甚至升高,而互花米草的腐烂样品中的水平则远低于成熟样品。Mfilinge 等也发现秋茄叶片在腐烂过程中必需脂肪酸含量未出现增加的现象^[8]。因此,为维持其正常生长,湿地中的底栖动物通常需要通过其它的食物来源,如其他底栖动物或底栖藻类,来补充所需的营养^[25]。

3 结论

本研究通过比较九龙江口红树和盐沼植物不同状态下样品中的脂肪酸组成,发现 4 种植物新鲜成熟叶片中不饱和脂肪酸比例高于饱和脂肪酸,但它们衰老和腐烂叶片中饱和脂肪酸比例升高。红树和盐沼植物脂肪酸组成存在显著差异,红树具有特征脂肪酸 C30:0,盐沼植物未发现有特征脂肪酸。但腐烂过程中,脂肪酸组成的变化特征因物种和植被类型而异,植物凋落物在分解过程中脂肪酸的变化过程及机制还需要进行深入讨论。本研究也表明,与其他两种状态相比,腐烂的植物样品中脂肪酸的营养品质,尤其是必需脂肪酸比例并未得到改善,因此今后还需要进一步结合湿地底栖动物的食源分析、脂肪酸的利用效率、生长和生理等研究讨论湿地植物对底栖动物的维持作用。

参考文献:

[1] 何斌源,赖廷和,王欣,等. 廉州湾滨海湿地潮间带大型底栖动物群落次级生产力[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2 104-2 112.

- HE B Y, LAI T H, WANG X, et al. Secondary productivity of benthic macrofaunal community in intertidal zone of Lianzhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(8): 2 104-2 112.
- [2] 李昌珠, 李正茂. 植物脂肪酸的生物合成及其生理功能的研究进展[J]. 湖南林业科技, 2009, 36(6): 45-49.
- LI C Z, LI Z M. Research progress on the biosynthesis and physiological function of plant fatty acids[J]. Hunan Forestry Science, 2009, 36(6): 45-49.
- [3] SWEETMAN L L, ZHANG N Y, PETERSON H, et al. Effect of linoleic acid hydroperoxide on endothelial cell calcium homeostasis and phospholipid hydrolysis[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1995, 323(1): 97-107.
- [4] 黄亮, 吴莹, 张经. 脂肪酸标志水生生态系统营养关系的研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(3): 93-96.
- HUANG L, WU Y, ZHANG J. Studies on nutrient relation of aquatic ecosystem using fatty acids[J]. Marine Sciences, 2009, 33(3): 93-96.
- [5] 黄飘平, 崔志民, 唐以杰, 等. 珠海淇澳岛几种红树植物叶片脂肪酸组成比较分析[J]. 现代农业科技, 2019(15): 137-140.
- HUANG P P, CUI Z M, TANG Y J, et al. Comparative analysis on leaf fatty acid composition of several mangrove plants in Qi'ao Island of Zhuhai [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(15): 137-140.
- [6] 唐剑武, 叶峰峰, 陈雪初, 等. 海岸带蓝碳的科学概念、研究方法以及在生态恢复中的应用[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(6): 661-670.
- TANG J W, YE S F, CHEN X C, et al. Coastal blue carbon: concept, study method, and the application to ecological restoration[J]. SCIENTIA SINICA (Terrae), 2018, 48(6): 661-670.
- [7] 崔莹. 基于稳定同位素和脂肪酸组成的中国近海生态系统物质流动研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012: 35-36.
- CUI Y. Study on the carbon flow within the estuarine ecosystem in China based on stable isotopes and fatty acid composition[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012: 35-36.
- [8] MFILINGE P L, MEZIANE T, BACHOK Z, et al. Fatty acids in decomposing mangrove leaves: microbial activity, decay and nutritional quality [J]. Marine Ecology Progress Series, 2003, 265: 97-106.
- [9] RAJENDRAN N, KATHIRESAN K. Biochemical changes in decomposing leaves of mangroves[J]. Chemistry and Ecology, 2000, 17(2): 91-102.
- [10] 卢昌义, 林良牧, 汪和海. 红树植物叶片中脂肪酸组成及其资源价值[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1997, 36(3): 138-143.
- LU C Y, LIN L M, WANG H H. Composition of fatty acids in mangrove leaves and their worth as natural resources[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 1997, 36(3): 138-143.
- [11] WANG S, CHU T, HUANG D, et al. Incorporation of exotic *Spartina alterniflora* into diet of deposit-feeding snails in the Yangtze River Estuary salt marsh: stable isotope and fatty acid analyses[J]. Ecosystems, 2014, 17(4): 567-577.
- [12] RUAN C J, LI H, GUO Y Q, et al. *Kosteletzkya virginica*, an agroecoengineering halophytic species for alternative agricultural production in China's east coast: ecological adaptation and benefits, seed yield, oil content, fatty acid and biodiesel properties[J]. Ecological Engineering, 2008, 32(4): 320-328.
- [13] ALFARO A C, THOMAS F, SERGENT L, et al. Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 70(1): 271-286.
- [14] KHARLAMENKO V I, KIYASHKO S I, IMBS A B, et al. Identification of food sources of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur stable isotope ratio and fatty acid analyses[J]. Marine Ecology Progress Series, 2001, 220: 103-117.
- [15] PARRISH C C, ABRAJANO T A, BUDGE S M, et al. Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems: analysis and applications[M]//WANGERSKY P J. Marine chemistry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000: 193-223.
- [16] ALFARO A C. Diet of *Littoraria scabra*, while vertically migrating on mangrove trees: gut content, fatty acid, and stable isotope analyses[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79(4): 718-726.
- [17] 聂先舟, 刘道宏, 徐竹生. 水稻离体叶片衰老过程中膜脂组分的变化[J]. 植物生理学通讯, 1989(4): 30-33.
- NIE X Z, LIU D H, XU Z S. Changes of the constituents of membrane lipids in the process of senescence of detached rice leaves[J]. Plant Physiology Journal, 1989(4): 30-33.
- [18] HUYNH M D, KITTS D D, HU C, et al. Comparison of fatty acid profiles of spawning and non-spawning Pacific herring, *Clupea harengus pallasii* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2007, 146(4): 504-511.
- [19] CARRIE R H, MITCHELL L, BLACK K D. Fatty acids in surface sediment at the Hebridean shelf edge, west of Scotland[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(5): 1 583-1 593.
- [20] FINDLAY R H, FELL J W, COLEMAN N K, et al. Biochemical indicators of the role of fungi and thraustochytrids in mangrove detrital systems [M]//MOSS S T. The biology of marine fungi. Cambridge: Cambridge University Press, 1986: 91-103.
- [21] MEZIANE T, LEE S Y, MFILINGE P L, et al. Inter-specific and geographical variations in the fatty acid composition of mangrove leaves: implications for using fatty acids as a taxonomic tool and tracers of organic matter[J]. Marine Biology, 2006, 150(6): 1 103-1 113.
- [22] SCANES C G. Chapter 3-animal products and human nutrition[M]//COLIN G S, SAMIA R T. Animals and human society. Cambridge: Academic Press, 2018: 41-64.
- [23] OLSEN A I, ATTRAMADAL Y, JENSEN A, et al. Influence of size and nutritional value of *Artemia franciscana* on growth and quality of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) during the live feed period[J]. Aquaculture, 1999, 179(1): 475-487.
- [24] MCHENGA I S S, TSUCHIYA M. Do fatty acid profiles help to explain sesamid crabs food choice? [J]. EurAsian Journal of Biosciences, 2011, 5: 91-102.
- [25] 陈顺洋, 陈光程, 陈彬, 等. 红树林湿地相手蟹科动物摄食生态研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(19): 5 349-5 359.

CHEN S Y, CHEN G C, CHEN B, et al. Feeding ecology of sesarmid crabs in mangroves[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(19): 5 349-5 359.

[26] CHEN G C, YE Y. Leaf consumption by *Sesarma plicata* in a mangrove forest at Jiulongjiang Estuary, China[J]. Marine Biology, 2008, 154: 997-1 007.

Comparison of fatty acid compositions between mangrove and salt marsh plants in different stages

XIE Limei^{1,2}, WU Zhiqiang², CHEN Bin^{1,3}, CHEN Shunyang^{1,3}, CHEN Guangcheng^{1,3*}

(1. Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China;

2. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China)

Abstract: The compositions and relative abundances of fatty acids in samples of two mangrove species (*Kandelia obovata* and *Aegiceras corniculatum*) and two saltmarsh species (*Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis*) in different stages of the matured, senescent and decomposed were compared in Jiulong River Estuary in South China. A total of 20 fatty acids were measured, nine of which were commonly found in all samples. The most abundant saturated fatty acid was palmitic acid (C16:0, 21.76%–39.55%), followed by octadecanoic acid (C18:0, 4.98%–29.88%). Unsaturated fatty acid mainly comprised oleic acid (2.04%–12.90%), linoleic acid (8.25%–24.69%) and 9-eicosenoic acid (1.64%–40.45%). The mangrove and salt marsh species had a different fatty acid composition in the samples and C30:0 was the biomarker of mangrove species. There was also a difference in the fatty acid composition of the senescent and decomposed samples relative to that of mature samples. C20:1n9 was higher in mature samples than in senescent and decomposed samples. Salt marsh plants decreased more rapid in the senescent samples than those of mangrove samples. The results suggest that the senescent and decomposed samples of the four plants have a much lower unsaturated fatty acid level and the essential fatty acid (C18:2n6) in the samples does not increased proportionally during the senescence and decomposition of the plant tissues.

Key words: marine biology; mangrove; salt marsh plant; fatty acid; senescence; decomposition

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2021.04.007

(责任编辑:肖 静)