

广西北海市南岸滩涂主要大型植物及表层沉积物的稳定性碳和氮同位素丰度^{*}

黄国强¹, 刘旭佳², 彭银辉³, 黄亮华¹, 钟声平^{1**}, 刘丽婷³

(1. 广西中医药大学海洋药物研究院, 广西南宁 530200; 2. 广西科学院, 广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 3. 北部湾大学海洋学院, 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535011)

摘要:为调查广西北海市南岸滩涂主要大型植物和表层沉积物的稳定性碳和氮同位素丰度,并为沿海滩涂动物食物与营养来源研究提供数据,采用野外现场采样和室内样品处理检测结合的方法,对山口镇英罗村、北暮盐场、营盘镇青山头村、竹林盐场、大冠沙等5个地点采集到的红树落叶(秋茄 *Kandelia candel* 和白骨壤 *Avicennia marina*)、互花米草 *Spartina alterniflora*、条浒苔 *Enteromorpha clathrata*、细基江蓠 *Gracilaria tenuistipitata* 及表层沉积物样品进行处理,测定总有机碳(TOC)、总氮(TN)、稳定性碳同位素丰度($\delta^{13}\text{C}$)和稳定性氮同位素丰度($\delta^{15}\text{N}$),并进行统计分析比较。结果显示,山口镇英罗村和大冠沙红树落叶的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 均没有显著差异,北暮盐场和营盘镇青山头村互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 也没有显著差异。5个地点表层沉积物的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 均没有显著差异,表明北海市南岸滩涂表层沉积物的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 分布较为均匀。沿海滩涂高等植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 主要受均匀的大气影响,不同区域和地点间差异较小,因此不同地点高等植物红树和互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ 变幅也较小。本次调查的北海南岸沿岸较为开阔,并且没有大型河流注入,因此滩涂沉积物中 $\delta^{15}\text{N}$ 差异较小。由于植物对氮同位素吸收没有分馏作用,本次调查中不同地点的红树和互花米草 $\delta^{15}\text{N}$ 差异也很小。山口镇英罗村、北暮盐场、竹林盐场和大冠沙的条浒苔 $\delta^{13}\text{C}$ 没有显著差异,但 $\delta^{15}\text{N}$ 有显著差异,竹林盐场的条浒苔 $\delta^{15}\text{N}$ 显著低于北暮盐场。北暮盐场和营盘镇青山头村的细基江蓠 $\delta^{13}\text{C}$ 没有显著差异,竹林盐场的细基江蓠 $\delta^{13}\text{C}$ 显著低于另外两个地点;3个地点的 $\delta^{15}\text{N}$ 均没有显著差异。不同地点大型海藻的 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 差异出现的原因有待进一步研究。本研究结果为分析北海南岸大型植物和沉积物对滩涂饵料和营养来源的影响提供了参考数据。

关键词:北海市南岸 滩涂 植物 沉积物 碳稳定性同位素 氮稳定性同位素

中图分类号: Q178.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)05-0570-08

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20201214.005

^{*} 国家自然科学基金项目(31160532), 广西自然科学基金项目(2017GXNSFAA198022)和广西重点研发计划项目(桂科 AB16380105)资助。

【作者简介】

黄国强(1973—),男,博士,研究员,主要从事水产养殖生态学研究,E-mail: hugh7531@163.com。

【**通信作者】

钟声平(1984—),男,博士,副研究员,主要从事水产动物遗传与育种研究,E-mail: shpzhong@qq.com。

【引用本文】

黄国强,刘旭佳,彭银辉,等.广西北海市南岸滩涂主要大型植物及表层沉积物的稳定性碳和氮同位素丰度[J].广西科学,2020,27(5):570-577.

HUANG G Q, LIU X J, PENG Y H, et al. The Abundance of Carbon and Nitrogen Stable Isotope of the Important Plant and Sediment in Inter-tidal Zone of the South Coast of Beihai, Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(5): 570-577.

0 引言

稳定性同位素技术在现代生态学中应用广泛,可用于植物生理生态适应机制、动植物相互作用、食物网结构及营养关系构建等领域研究,通过稳定性同位素分析可以追踪碳、氮、磷等主要元素的地球化学循环过程^[1-7]。稳定性同位素用于生态学研究,需要获取生物和非生物环境中可能作为营养或生源要素来源的各类样品,并测定植物、动物和沉积物等的稳定性同位素丰度。

全球范围的调查结果表明, C₃ 植物的稳定性碳同位素丰度 ($\delta^{13}\text{C}$) 为 -35% — -20% , C₄ 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -15% — -7% , 而景天酸代谢(GAM)植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -22% — -10% ^[8,9]。同种植物体内的 $\delta^{13}\text{C}$ 主要由所处地区大气 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 和环境因子决定。作为滩涂木本植物的代表,我国沿海滩涂红树植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 均在 -27.5% 以上^[10-13], 不同地区和不同种类略有差异,但都在 C₃ 植物碳稳定性同位素变动范围之内。草本植物互花米草(*Spartina alterniflora*)的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -12.24% ^[11], 沉水植物鳗草(*Zostera marina*) (海草)的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -18.6% — -11.16% ^[12,14,15]。大型海藻的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -23.26% — -14.4% ^[11,12,14-17], 而脆江蓠(*Gracilaria chouae*)在不同盐度下的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -27.56% — -30.38% ^[18]。大亚湾底栖硅藻(Bacillariophyceae)的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -17.23% , 浮游植物(Phytoplankton)的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -20.76% ^[17]。同一地点悬浮颗粒和沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 差别较小,如海南清澜港附近悬浮颗粒和沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -22.81% 和 -22.06% ^[12], 广西北海市廉州湾颗粒有机物和表层沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -22.09% 和 -24.18% ^[13], 大亚湾颗粒有机物和表层沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -13.25% 和 -16.04% ^[17]。

虽然空气的 $\delta^{15}\text{N}$ 十分稳定(接近 0),但不同生态系统中不同类别样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 变化幅度很大^[1]。红树植物中,海南清澜港附近的红树植物树皮和叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 2.48% 和 5.95% ^[12], 崔莹等^[14]测得海南清澜湾的红树植物的叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 为 1% — 4% , 而广西北海市廉州湾沿岸红树植物叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 超过 11% ^[13], 与前者差异较大。海南清澜港附近海草的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 9.79% ^[12], 崔莹等^[14]测得海南清澜湾的海草 $\delta^{15}\text{N}$ 低于 6% 。大型藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ 变动范围较大,烟台潮间带大型海藻的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 6.18% — 10.99% ^[19], 枸杞岛大型藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 4.3% — 5.3% ^[16], 大亚湾

的裂叶马尾藻(*Scagassum siliquastrum*)的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 7.17% ^[17], 海南清澜港(湾)附近大型海藻的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 6% — 7% ^[12,14], 而广西北海市廉州湾沿岸的大型藻类 $\delta^{15}\text{N}$ 达到 15.45% ^[13]。海南清澜港附近的悬浮颗粒与表层沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 7.28% 和 5.93% ^[12], 广西北海市廉州湾沿岸的悬浮颗粒与表层沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 8.00% 和 7.74% ^[13], 而大亚湾的有机颗粒和沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 -0.16% 和 9.88% ^[17], 不同地点差异极大。

以上有关我国近海生态系统的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 调查,为开展相关海域食物网链构建、能量流动、生源要素地球化学循环、生理生态学等研究提供了基础参考数据。然而调查结果也表明,由于生存环境背景、环境因子变动、不同生物类群的生理生态学特征差异等影响,不仅区域间的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 存在差异,同一地点不同样品类型甚至不同季节样品间也可能存在较大差异。因此,不同地区应用稳定性同位素技术开展生态学研究,必须获取当地的同位素分布数据。

广西沿海浅海和滩涂资源丰富,初级生产力高,热带、亚热带生物资源丰富^[20],不仅利于开展增殖、养殖发展海洋经济,更具有开展热带、亚热带海洋生态系统保护与开发研究的便利条件。应用稳定性同位素技术,可为广西沿海红树林、海草、滩涂等生态系统及保护区构建食物网、能量流动和生源要素循环模型提供便利。但目前对广西沿海各类生态系统稳定性同位素的调查研究较少,需要开展更多的基础性调查研究。北海市沿海滩涂分布有大量大型植物,它们的初级生产力可能为沿海的特色海产品如方格星虫和双壳贝类等提供营养来源,但目前尚无充足的基础数据来支持这方面的分析。因此,本文选择北海市南岸从山口镇至银滩镇大冠沙分布有丰富方格星虫和双壳贝类资源的典型区域,测定不同类型样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$, 并分析其差异原因,以期为沿岸主要生态系统和重要生物种类的生态学研究提供参考。

1 材料与方 法

1.1 采样时间和站点

于 2013 年 1 月至 2013 年 12 月每个月下旬大潮期间,在潮水退至低潮线时到滩涂由低潮线往岸线收集样品,采样点分别为北海市南岸的山口镇英罗村(1)、北暮盐场(2)、营盘镇青山头村(3)、竹林盐场(4)、大冠沙(5)的潮间带,5 个采样点都是方格星虫和贝类资源非常丰富的区域,采样点位置见图 1。

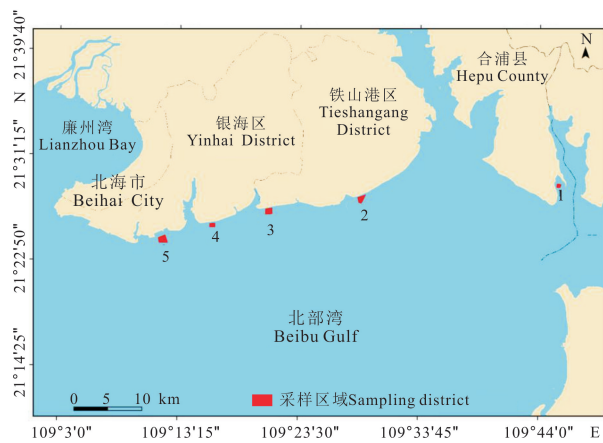


图1 采样区域位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling district location

1.2 采样方法

每个取样地点分别在四角和中部共5个区域随机选取一块面积为20 cm×20 cm的方块,用小铲取5 cm厚的表层沉积物作为样品,每个随机位置的样品都采集3份。然后沿与岸线垂直的方向,由低潮线往高潮线行走,收集途中发现的红树落叶(每份500 g以上)和主要大型藻类(每份500 g以上)。在有互花米草分布的岸线区域,采集干枯的互花米草样品3份(每份500 g以上)。

1.3 样品处理与保存

采回的红树植物秋茄(*Kandelia candel*)和白骨壤(*Avicennia marina*)的落叶,互花米草、大型海藻条浒苔(*Enteromorpha clathrata*)和细基江蓠(*Gracilaria tenuistipitata*)样品首先用自来水冲洗除去泥沙,然后用蒸馏水冲洗2次,控干水分,放入烘箱在70℃烘干至恒重,然后用剪刀剪碎,再用电动粉碎机粉碎,过60目筛后装瓶,放入干燥器中保存待测。

沉积物样品回到实验室后立即放入玻璃皿,在70℃烘干至恒重,然后用粉碎机粉碎,过60目筛后装瓶,放入干燥器中保存待用。测试前将样品按需要量取出,用浓盐酸熏蒸24 h除去无机碳后再在70℃烘干至恒重后保存待测。

1.4 样品测试

所有样品送中国农业科学院环境稳定性同位素实验室,用Vario PYRO cube元素分析仪测定总有机碳(TOC,%)和总氮(TN,%) ,用稳定性同位素质谱仪(Isoprime-100同位素质谱仪)测定稳定性碳同位素丰度($\delta^{13}\text{C}$,‰)和稳定性氮同位素丰度($\delta^{15}\text{N}$,‰)。

1.5 统计分析

对不同取样地点各个样品的检测结果计算平均值,对每月均能采到的不同地点样品的TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$,以地点和月份为变量进行双因素方差分析,以 $P < 0.05$ 作为统计差异显著的标准。在双因素方差分析的基础上,将没有显著影响的因子计算平均值,然后再以影响显著的因子为变量进行单因子方差分析和Duncan's多重比较,以 $P < 0.05$ 作为统计差异显著的标准。

2 结果与分析

2.1 红树落叶的TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$

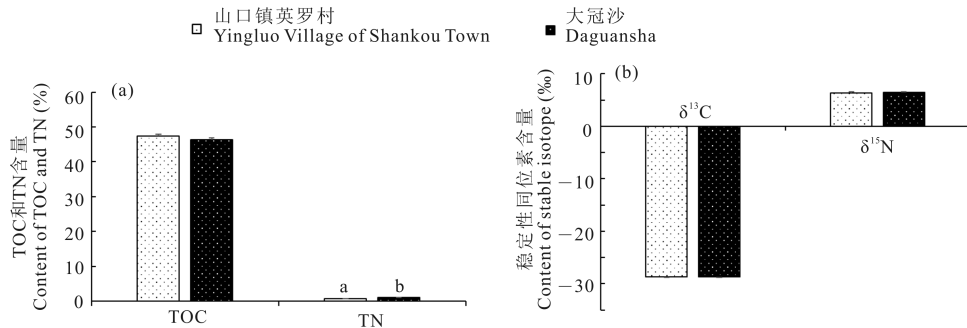
以采样点和采样月份作为因子,对红树落叶的TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 进行了双因素方差分析,结果表明,不同地点和月份对红树落叶的TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 均有显著交互效应,但月份对4个指标的主效应均不显著,而取样地点的主效应对TN显著(表1)。

表1 红树落叶TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 的双因素方差分析Table 1 Results of two-way ANOVA of the TOC, TN, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ in mangrove leaves

统计参数 Statistical parameters	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	
TOC	交互效应 Interaction effect	1	3 761. 813	0. 000
	地点主效应 Main effect of location	1	1. 951	0. 177
	月份主效应 Main effect of month	11	1. 212	0. 282
TN	交互效应 Interaction effect	1	103. 185	0. 000
	地点主效应 Main effect of location	1	13. 247	0. 002
	月份主效应 Main effect of month	11	0. 501	0. 487
$\delta^{13}\text{C}$	交互效应 Interaction effect	1	4 344. 194	0. 000
	地点主效应 Main effect of location	1	0. 028	0. 868
	月份主效应 Main effect of month	11	0. 003	0. 957
$\delta^{15}\text{N}$	交互效应 Interaction effect	1	574. 893	0. 000
	地点主效应 Main effect of location	1	0. 033	0. 857
	月份主效应 Main effect of month	11	0. 030	0. 864

对4个指标年平均值的单因素方差分析结果表明,不同地点红树落叶的TOC、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 不存在显

著差异, 但大冠沙红树落叶的 TN 明显比山口镇英罗村的高(图 2)。



同一指标中没有相同字母上标的表示相互之间差异显著

No significant difference existed between the values without the same letter superscript

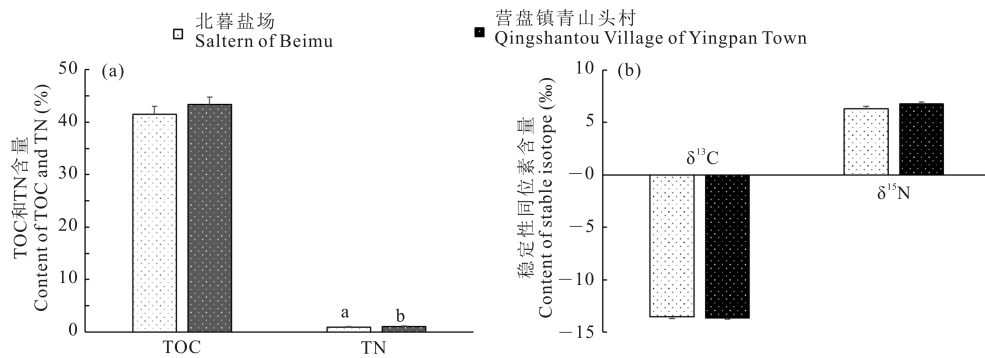
图 2 不同采样点红树落叶的 TOC、TN (a) 和 δ¹³C、δ¹⁵N (b)

Fig. 2 TOC, TN (a), and δ¹³C and δ¹⁵N (b) in mangrove leaves of different sampling sites

2.2 互花米草、条浒苔、细基江蕨的 TOC、TN、δ¹³C 和 δ¹⁵N

在互花米草分布的 2 个地点中, 仅北暮盐场互花米草的 TN 显著高于营盘镇青山头村, 其余指标不存在显著差异(图 3)。4 个地点条浒苔的 TOC 和 δ¹³C 均没有显著差异, 北暮盐场条浒苔的 δ¹⁵N 显著高于

竹林盐场, 大冠沙条浒苔的 TN 显著高于北暮盐场和山口镇英罗村(图 4)。在发现细基江蕨的 3 个地点中, 竹林盐场细基江蕨的 δ¹³C 显著高于另外两个地点, 北暮盐场的细基江蕨 TOC 显著高于另外两个地点, 不同地点的 TN 和 δ¹⁵N 则没有显著差异(图 5)。

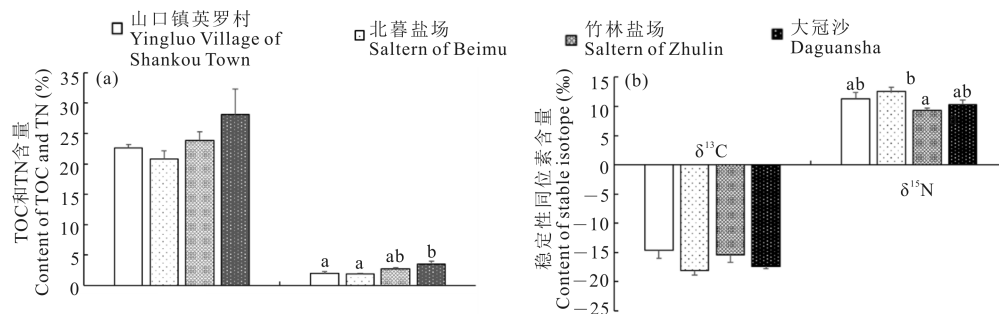


同一指标中没有相同字母上标的表示相互之间差异显著

No significant difference existed between the values without the same letter superscript

图 3 不同地点互花米草的 TOC、TN (a) 和 δ¹³C、δ¹⁵N (b)

Fig. 3 TOC, TN (a), δ¹³C and δ¹⁵N (b) in *S. alterniflora* of different sampling sites

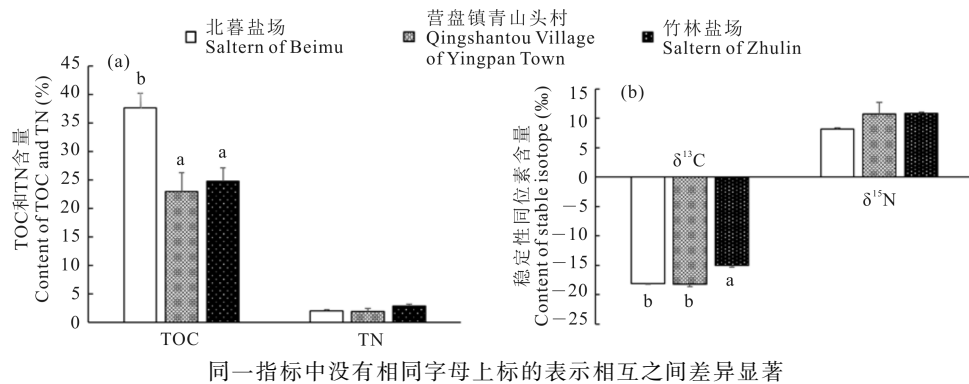


同一指标中没有相同字母上标的表示相互之间差异显著

No significant difference existed between the values without the same letter superscript

图 4 不同地点条浒苔的 TOC、TN (a) 和 δ¹³C、δ¹⁵N (b)

Fig. 4 TOC, TN (a), δ¹³C and δ¹⁵N (b) in *E. clathrata* of different sampling sites



同一指标中没有相同字母上标的表示相互之间差异显著

No significant difference existed between the values without the same letter superscript

图 5 不同地点细基江蕨的 TOC、TN (a) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ (b)

Fig. 5 TOC, TN (a), $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ (b) in *G. tenuistipitata* of different sampling sites

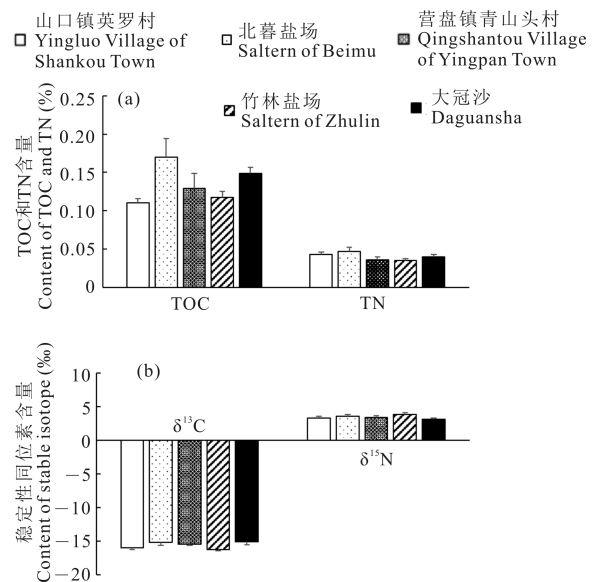
2.3 表面沉积物的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$

双因素方差分析结果表明,不同地点和月份对表面沉积物的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 均有显著的交互效应,但月份对 4 个指标的主效应均不显著,而取样地点的主效应对 TOC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 均显著(表 2)。对不同地点年平均数的单因素方差分析结果见图 6,不同地点表面沉积物的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 0.110%—0.170%、0.035%—0.047%、-16.23%—-15.11‰、3.15‰—3.62‰,各项指标均没有显著差异(图 6)。

表 2 表面沉积物 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 的双因素方差分析

Table 2 Results of two-way ANOVA of the TOC, TN, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ in sediments

统计参数 Statistical parameters	df	F	P	
TOC	交互效应 Interaction effect	1	125.648	0.000
	地点主效应 Main effect of location	4	2.889	0.033
	月份主效应 Main effect of month	11	1.625	0.125
TN	交互效应 Interaction effect	1	274.286	0.000
	地点主效应 Main effect of location	4	1.849	0.137
	月份主效应 Main effect of month	11	1.469	0.178
$\delta^{13}\text{C}$	交互效应 Interaction effect	1	3740.090	0.000
	地点主效应 Main effect of location	4	2.629	0.047
	月份主效应 Main effect of month	11	1.869	0.071
$\delta^{15}\text{N}$	交互效应 Interaction effect	1	610.32	0.000
	地点主效应 Main effect of location	4	1.37	0.260
	月份主效应 Main effect of month	11	1.24	0.290



同一指标中没有相同字母标记的表示相互之间差异显著

No significant difference existed between the values without the same letter superscript

图 6 不同采样点表面沉积物的 TOC、TN (a) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ (b)

Fig. 6 TOC, TN (a), $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ (b) in sediments of different sampling sites

3 讨论

3.1 红树植物和互花米草的稳定性同位素含量

在本次调查中,采自山口镇英罗村和大冠沙的红树落叶 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -28.68‰ 和 -28.71‰,而在北海市北岸廉州湾沿岸采集的红树植物叶片、红树植物落叶、红树植物树皮的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -29.06‰、-28.24‰、-27.79‰^[13],北海市南北两岸红树植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 没有明显差异。就更大范围而言,不同地区的红树植物 $\delta^{13}\text{C}$ 也未发现大幅差异,如东南沿海红

树植物秋茄、桐花树、白骨壤叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -27.5% 、 -30.9% 、 -31.4% ^[10], 海南清澜港附近红树植物树皮和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -28.83% 和 -29.73% ^[12], 美国东部沿海盐沼陆生植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均为 -28.6% ^[21]。这可能是因为红树植物作为典型的 C_3 植物, 其 ^{13}C 含量主要取决于大气 ^{13}C 含量, 仅在一定程度上受气候和生态因子的影响。而由于大气相对均匀, 红树植物分布区域的气候和生态因子并未对红树植物 ^{13}C 含量差异造成较大影响。北暮盐场和营盘镇青山头村互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -13.55% 和 -13.66% , 与江苏启东沿海互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ (-12.24%)^[11]、美国东部盐沼互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ (-13.1%)^[21] 非常接近, 表明作为 C_4 植物的互花米草 $\delta^{13}\text{C}$ 在不同地区的变幅较小, 这与互花米草的 ^{13}C 含量主要取决于大气 ^{13}C 含量有关。

采自山口镇英罗村和大冠沙的红树落叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 6.34% 和 6.39% , 2个地点的含量均没有显著差异, 但显著低于北岸廉州湾沿岸的红树植物叶片、落叶、树皮的 $\delta^{15}\text{N}$ (11.82% 、 11.01% 、 11.81%)^[13], 与海南清澜港附近红树植物树皮和叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ (2.48% 和 5.95%)^[12] 也有较大差异。这是因为高等植物的氮源主要来源于土壤, 土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 本身具有较大的变化幅度, 可达 -8% — 20% ^[1], 所以不同地点同种植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 存在较大差异是正常现象。例如在美国东部盐沼, C_3 植物的平均 $\delta^{15}\text{N}$ 仅为 -0.6% 左右^[21]。北暮盐场和营盘镇青山头村互花米草的 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 6.33% 和 6.80% , 与美国东部盐沼中互花米草的 $\delta^{15}\text{N}$ (3.8%)^[21] 有较大差异。

通过以上比较不难发现, 沿海滩涂高等植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 主要受到均匀的大气影响, 不同区域和地点的差异较小。而由于植物对氮同位素吸收没有分馏作用^[1], 再加上土壤或滩涂沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 本身具有较大的变动幅度, 不同区域和地点的 $\delta^{15}\text{N}$ 通常存在较大差异。

3.2 大型藻类的稳定性同位素含量

本研究中, 不同地点条浒苔的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -18.13% — -14.66% , 细基江蓠的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -18.25% — -15.04% 。我国沿海大型藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 存在一定的变动范围, 江苏启东滩涂以盘苔 (*Blidingia minima*) 为主的底栖藻类 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -18.49% ^[11], 浙江舟山枸杞岛孔石莼 (*Ulva pertusa*)、细枝软骨藻 (*Chondria tenuissima*)、舌状蜈蚣藻 (*Grateloupia livida*)、瓦氏马尾藻 (*Sargassum*

vachellianum)、羊栖菜 (*Hizikia fusiforme*) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -14.4% 、 -18.0% 、 -15.0% 、 -18.6% 、 -17.7% ^[16], 海南清澜港附近大型藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -17.21% ^[12], 大亚湾裂叶马尾藻 (*Scagassum siliquastrum*)、线性硬毛藻 (*Chaetomorpha linum*) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -16.16% ^[17] 和 -16.10% ^[15], 上述大型藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 -18.6% — -14.4% 变动, 与本次调查的情况类似。广西北海市廉州湾与本次调查的地点比较接近, 仅与北海市相隔一个小型半岛, 但其大型藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 有较大差异 (-23.26%)^[13]。可能是两次研究取样采集的大型藻类种类组成不一致所导致。另一个可能的原因是, 大型藻类同时存在 C_3 和 C_4 光合碳代谢途径, 会加剧其 $\delta^{13}\text{C}$ 变动范围。对大型藻类而言, 光合作用的 C_4 途径是对 C_3 途径的一系列结构和生化修饰, 在某些环境胁迫下, 二者可发生转变, 从而在特定环境条件下提高光合效率, 进而提高藻类的竞争力和生存能力^[22,23]。如在不同盐度条件下脆江蓠 (*Gracilaria chouae*) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -30.38% — -27.56% , 脆江蓠可能同时存在 C_3 和 C_4 光合碳代谢途径, 盐度的变化 (尤其是高盐度胁迫) 会引起光合碳代谢途径的改变^[18], 进而引起 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化。廉州湾大型海藻的 $\delta^{13}\text{C}$ 较高, 可能是由于生物种间差异或者是采集地点生态环境的差异造成。北部湾分布有多种江蓠 (包括脆江蓠) 及其他大型海藻, 本次调查采集仅涵盖其中 2 种, 该现象的关键成因尚需进一步研究。

本次调查中条浒苔的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 9.30% — 12.60% , 细基江蓠的 $\delta^{15}\text{N}$ 为 8.14% — 10.91% , 与烟台潮间带大型藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ (6.18% — 10.99%)^[19] 较为接近, 高于枸杞岛大型海藻的 $\delta^{15}\text{N}$ (4.3% — 5.3%)^[16], 也高于大亚湾裂叶马尾藻的 $\delta^{15}\text{N}$ (7.17%)^[17] 和海南清澜港附近大型藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ (6.58%)^[12]。而仅隔一个半岛的廉州湾大型藻类 $\delta^{15}\text{N}$ 为 15.45% ^[13], 明显高于本次北海市南岸的调查结果。由于植物对氮同位素吸收没有分馏作用, 藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ 主要是由水体中氮源的 $\delta^{15}\text{N}$ 决定。因此推测可能是由于廉州湾受到大型河流南流江带入的氮源影响较大, 而南岸基本没有大型河流带入氮源, 导致两地水体中氮源的 $\delta^{15}\text{N}$ 存在较大差异, 进而导致大型藻类的 $\delta^{15}\text{N}$ 差异。

3.3 表层沉积物的稳定性同位素含量

表层沉积物有机碳来源受到沿岸和潮间带植被、河流带入、浮游生物沉积和底栖生物活动的影响, 在

不同区域可能存在较大差异。如青岛崂山湾海泥的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -25.18‰ ^[15], 大亚湾沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 -16.04‰ 和 9.88‰ ^[17], 海南清澜港附近表层沉积物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 -22.06‰ 和 5.93‰ ^[12]。本次调查发现, 北海市南岸潮间带滩涂表层沉积物的有机碳和氮含量非常均匀, $\delta^{13}\text{C}$ 为 -16.23‰ — -15.11‰ , $\delta^{15}\text{N}$ 为 3.15‰ — 3.88‰ , 与上述研究较为一致。而与本次调查仅隔一个半岛的廉州湾表层沉积物 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异明显, 分别为 -24.18‰ 和 7.74‰ ^[13], 可能是由于相比南岸而言, 廉州湾受到大型河流南流江和陆源生物的影响较大。此外, 本次调查发现南岸 5 个采样点的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 较均匀, 不同采样点之间没有明显差异, 可能与南岸为开阔海域的潮间带、没有大型河流和陆源生物影响有关。

3.4 大型植物与表层沉积物的稳定性同位素含量的关系

大型植物从组成均匀的大气中吸收 CO_2 作为碳源, 从表层沉积物中吸收氮源, 因此其稳定同位素含量往往差异不大。本次调查发现, 北海市南岸不同地点红树落叶和互花米草的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 差异不明显, 潮间带滩涂表层沉积物的总有机碳、总氮、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 也非常均匀。一方面可能由于大气的 $\delta^{13}\text{C}$ 和沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 存在均匀性, 另一方面可能由于取样区域的地理跨度不大, 不存在明显的气候条件差异。但同为南岸分布的大型藻类 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 出现了明显差异, 可能是由于大型藻类主要从海水中吸收碳和氮, 而不同采样点海水的同位素碳和氮受近岸的工农业生产活动(如海水池塘养殖等)的影响而存在差异。本次调查并未同时调查海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$, 因此造成上述差异的确切原因仍有待进一步研究。

参考文献

- [1] 林光辉. 稳定同位素生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] HAINES E B. Relation between the stable carbon isotope composition of fiddler crabs, plants, and soils in a salt marsh [J]. *Limnology and Oceanography*, 1976, 21(6): 880-883.
- [3] 叶立勋. 稳定性同位素技术在海洋生态学中的应用[J]. *海洋湖沼通报*, 1990(3): 80-85.
- [4] 易现峰, 张晓爱. 稳定性同位素技术在生态学上的应用[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 306-314.
- [5] 赵威, 王征宏. 稳定性同位素技术在生物科学中的应用[J]. *生物学通报*, 2008, 43(1): 12-14.
- [6] 孙玮玮, 毕春娟, 陈振楼, 等. 稳定性同位素示踪技术在环境领域的应用初探[J]. *环境科学与技术*, 2009, 32(9): 88-92.
- [7] DIVINE L M, BLUHM B A, MUETER F J, et al. Diet analysis of Alaska Arctic snow crabs (*Chionoecetes opilio*) using stomach contents and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotopes [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2017, 135: 124-136.
- [8] VOGEL J C. Fractionation of the carbon isotopes during photosynthesis [M]. New York: Springer-Verlag, 1980: 5-29.
- [9] VOGEL J C. 4-Variability of carbon isotope fractionation during photosynthesis [J]. *Stable Isotopes & Plant Carbon Water Relations*, 1993: 29-46.
- [10] 黄敏参, 杜晓娜, 廖蒙蒙, 等. 东南沿海潮间带防护林主要树种的光合特性及水分利用策略[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(12): 2996-3002.
- [11] 蒋福兴, 王维中, 黄耀生, 等. 大米草-双齿围沙蚕相关性初探[J]. *生态学报*, 1992, 12(1): 84-88.
- [12] 王瑁, 高雪芹, 丁弈朋, 等. 海南清澜港不同栖息位置红树林软体动物的食物来源[J]. *湿地科学*, 2015, 13(2): 171-176.
- [13] 杨明柳, 高霆炜, 邢永泽, 等. 廉州湾红树林大型底栖动物食物来源研究[J]. *广西科学*, 2017, 24(5): 490-497.
- [14] 崔莹, 吴莹, 张经. 生物标志物对海南清澜湾水域篮子鱼食物来源的表征[J]. *应用海洋学学报*, 2013, 32(4): 540-548.
- [15] 宋肖跃. 绿潮藻类对典型海域底栖生境影响及其饵料价研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018: 96-104.
- [16] 刘雨蒙, 章守宇, 周曦杰, 等. 枸杞岛海藻场大型海藻凋落物碳氮稳定同位素分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(3): 438-444.
- [17] 莫宝霖, 秦传新, 陈丕茂, 等. 基于碳、氮稳定同位素技术的大亚湾紫海胆食性分析[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(3): 566-575.
- [18] 徐涵. 盐度胁迫对脆江蕨(*Gracilaria chouae*)光合特性及碳代谢途径的影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 26-34.
- [19] 王玉珏, 邸宝平, 李欣, 等. 潮间带大型海藻氮稳定同位素的环境指示作用[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(2): 174-179.
- [20] 黄国强, 童万平, 刘旭佳. 广西北部湾低碳海水增殖的实现途径[J]. *广西科学院学报*, 2012, 28(4): 287-292.
- [21] PETERSON B J, HOWARTH R W, GARRITT R H. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs [J]. *Science*, 1985, 227(4692): 1361-1363.
- [22] 云建英, 杨甲定, 赵哈林. 干旱和高温对植物光合作用的影响机制研究进展[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(3): 641-648.
- [23] 龚春梅, 宁蓬勃, 王根轩, 等. C_3 和 C_4 植物光合途径的适应性变化和进化[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 206-221.

The Abundance of Carbon and Nitrogen Stable Isotope of the Important Plant and Sediment in Inter-tidal Zone of the South Coast of Beihai, Guangxi

HUANG Guoqiang¹, LIU Xujia², PENG Yinhui³, HUANG Lianghua¹, ZHONG Shengping¹, LIU Liting³

(1. Institute of Marine Drugs, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning, Guangxi, 530200, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Ocean College, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi, 535011, China)

Abstract: In order to investigate the abundance of carbon and nitrogen stable isotope of the important plant and sediment in inter-tidal zone of the south coast of Beihai, Guangxi, and to provide data for the study the food and nutrition sources of the animals inhabited in inter-tidal zone, the research adopted a combination methods of field sampling and indoor treating and measuring of samples. The samples of mangrove leaves (*Kandelia candel* and *Avicennia marina*), *Spartina alterniflora*, *Enteromorpha clathrata*, *Gracilaria tenuistipitata*, and sediments collected from five sites of Yingluo Village of Shankou Town, Saltern of Beimu, Qingshantou Village of Yingpan Town, Saltern of Zhulin, and Daguansha were processed to measure the contents of total organic carbon (TOC, %), total nitrogen (TN, %), abundance of stable isotope of carbon ($\delta^{13}\text{C}$, ‰), and abundance of stable isotope of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$, ‰), and the statistical analysis and comparison were performed. The results showed that the $\delta^{13}\text{C}$ of mangrove leaves at Yingluo Village of Shankou Town and Daguansha showed no significant difference between sites. The $\delta^{13}\text{C}$ of *Spartina alterniflora* at Saltern of Beimu and Qingshantou Village of Yingpan Town were not obviously different from each other. The TOC, TN, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ of the surface sediments at the five sampling sites were not significantly different, indicating that the TOC, TN, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ of the surface sediments on the south coast of Beihai City were relatively evenly distributed. The $\delta^{13}\text{C}$ of higher plants along the beach was mainly affected by the even atmosphere, and the difference between different areas and sites was small. Therefore, the $\delta^{13}\text{C}$ of higher plants of mangroves and *S. alterniflora* in different locations also varied slightly. The southern coast of Beihai in this survey was relatively open and there was no large river inflow to it, so the difference of $\delta^{15}\text{N}$ in tidal flat sediment was small. Since plants had no fractional distillation on nitrogen isotope absorption, the difference in $\delta^{15}\text{N}$ between mangroves and *S. alterniflora* in different locations in this survey was also very small. There was no significant difference in the $\delta^{13}\text{C}$ of *E. clathrata* in Yingluo Village, Beimu Saltworks, Zhulin Saltworks and Daguansha, but there was a significant difference in $\delta^{15}\text{N}$. The $\delta^{15}\text{N}$ of *E. clathrata* in Zhulin Saltworks was significantly lower than that in Beimu Saltworks. There was no significant difference in the $\delta^{13}\text{C}$ of *G. gracilis* in Beimu Salt Farm and Qingshantou Village of Yingpan Town. The $\delta^{13}\text{C}$ of *G. gracilis* in Zhulin Salt Farm was significantly lower than that of the other two sites. There was no significant difference in $\delta^{15}\text{N}$ of the three sites. The reasons for the difference of $\delta^{13}\text{C}$ or $\delta^{15}\text{N}$ of macroalgae between different sites need to be further studied. The results of this study provide reference data for analyzing the effects of macrophytes and sediments on the tidal flat bait and nutrient sources on the southern coast of the North Sea.

Key words: south coast of Beihai, intertidal zone, plant, sediment, carbon stable isotope, nitrogen stable isotope

责任编辑:符支宏