

寄语

范航清

(广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室)

以红树林、海草床、珊瑚礁为代表的典型海洋生态系统是当今世界的研究热点,很多交叉学科纷纷从各自领域的角度开展研究,从而使得整个海陆过渡带生态系统研究呈现欣欣向荣的景象。广西北部湾是我国红树林、海草床、珊瑚礁的重要分布区,也是维持北部湾生物多样性与生态安全的关键屏障与特色海洋资源。

由于红树林、海草的直接经济效益远远低于其生态价值,大面积的红树林遭受肆意砍伐,海草床和珊瑚礁退化触目惊心。目前,全球的红树林正以每年约 0.7% 的速度在减少,全球海草床的退化速度则高达每年约 1%,它们退化的原因中人为因素不低于 90%。再如,广西涠洲岛鹿角珊瑚的覆盖度从 1994—2002 年的 90% 左右急剧下降到 2008 年的约 4%。一方面,我们对海陆过渡带各生态系统功能及它们之间的内在联系认识严重不足。另一方面,如何对它们进行有效保护和修复,除了技术以外,还缺少科技-经济-社会有机结合的保育模式创新,这也是一大世界性难题。

广西红树林研究中心成立于 1991 年,2001 年成为独立事业法人单位。广西涉海机构少,2013 年以前开展典型海洋生态系统和滨海湿地研究的科研机构更是凤毛麟角。为了应对广西发展对海洋生态保护的需求,在国内外专家学者的指导和参与下,广西红树林研究中心在确保红树林主业的前提下,锐意进取,逐步将研究对象扩展到海草、珊瑚礁、盐沼、海岛等相关海洋生态系统,取得了一些基础性成绩,并于 2007 年被认定为“广西红树林保护与利用”重点实验室,2012 年获得“红树林和海草生态系统保育与生态监测”广西特聘专家岗位。正是在上述两个科研平台专项经费的支持下,《广西科学》本期广西北部湾滨海湿地专辑才能集中展现广西红树林研究中心近年来的部分研究成果。在广西海洋科研新机构如雨后春笋般诞生的今天,我们希望这些文献能为后起之秀的深入研究提供一些粗浅认识与历史信息,就如同 1993 年《广西科学院学报》刊出的红树林研究专辑所起到的历史作用。

习近平总书记在 2017 年 4 月 19 日在北海金海湾红树林生态保护区考察时要求:“一定要尊重科学,落实责任,把红树林保护好”。生态文明建设至少应包含两层含义:一是保护优先,二是在保护前提下的经济发展和文化进步。对于红树林来说,生态文明建设就是要先保护好红树林的原生生态系统并对其进行深入研究,探明其内在原理,用以指导并建立红树林人工生态系统,进而发展红树林相关的绿色产业,最终实现“既要绿水青山,也要金山银山”的可持续发展的强国梦。

根据《全国沿海防护林体系建设工程规划(2016—2025)》,全国将新造红树林 4.86×10^4 hm^2 ,其中广西 1.65×10^4 hm^2 ,分别是全国现有红树林面积的 1.92 倍,广西现有红树林面积的 2.25 倍,可见广西新造红树林的任务最为艰巨。这既是挑战,也是机遇。过去,广西的工业发展相

对滞后,生态环境状况较好,生物多样性比较丰富。在高度重视生态文明建设的今天,扬长避短,开发绿色产品和蓝色服务,将成为广西发展的又一个历史机遇。要将保护红树林与经济发展和文化进步有效结合起来,就必须建立高效可控、健康稳定、可持续的人工生态系统,这就需要一系列具体的、落地的技术方法与相应的管理对策。

“虾塘-海堤-滩涂(红树林)”已经是我国东南沿海及东盟海洋国家海岸带的典型地貌景观与生态重灾区。针对滩涂红树林保护,广西红树林研究中心研发并报道了不砍不围红树林的埋管道鱼类原位生态养殖系统,实现了潮汐能的四级养殖利用模式,促进了红树林生态系统的有效恢复。针对历史上毁林修建的养殖池塘,广西红树林研究中心开展了“虾塘红树林生态农场”退塘还林的理论研究,描绘了在虾塘内扩种红树林增加碳汇,开展生态养殖解决群众生计,降低污染排放改善近岸环境,美化景观促进滨海休闲的技术蓝图。2012年,针对传统海堤的生态诟病,提出了兼顾物理抵御、生物修饰和休闲娱乐三大功能的“生态海堤”概念,用于指导潮间带滩涂到陆地或池塘养殖区之间生物廊道的修复。本期文章《生态海堤理念与实践》即是这一理念在现实中首次运用的经验总结。生态海堤的海侧连接潮间带红树林,陆侧连接陆地或养殖池塘,是“虾塘-海堤-潮间带(红树林)”滨海湿地一体化生态保育的重要节点。广西红树林研究中心在以上三大节点的研究中,已经诞生了若干个全球首创的重要方法、关键技术与创新模式。这些技术方法的组合运用,使“虾塘-海堤-潮间带(红树林)”一体化保护的梦想朝实现又迈进了一大步,符合区域减排、蓝碳发展国家战略,顺应世界潮流,已引起国内外专家学者和政府有关部门的高度重视。

尽管未来的创新之路充满荆棘,胜败难料,但广西红树林研究中心团队不忘1991年成立之际的初心,依然期盼其红树林研究与示范场地有朝一日能成为全球红树林保护与合理利用的一个成功范例,以及区域国际培训基地,能成为广西党政干部培训时的滨海湿地生态经济学现场教学点,为人类文明发展做出些许贡献。此外,在海草床、珊瑚礁、盐沼、海岛等红树林邻近生态系统的研究中能聚焦特色与强项,有所建树。

杨明柳,高霆炜,邢永泽,等. 基于稳定同位素技术的光背团水虱食性分析[J]. 海洋学报,2018,40(8):120—128, doi:10.3969/j.issn.02534193.2018.08.012

Yang Mingliu, Gao Tingwei, Xing Yongze, et al. Feeding habits of *Sphaeroma retrolaeve* based on stable isotope analysis[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(8): 120—128, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2018.08.012

基于稳定同位素技术的光背团水虱食性分析

杨明柳¹, 高霆炜¹, 邢永泽¹, 兰国宝¹

(1. 广西科学院广西红树林研究中心 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西 北海 536000)

摘要: 为了探究光背团水虱的食性特征, 本研究利用碳、氮稳定同位素技术于2015年冬季和2016年夏季对广西北海廉州湾红树林中光背团水虱及其食物来源的碳、氮稳定同位素比值($\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值)进行分析。结果显示, 冬季和夏季光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大小范围为 $-22.85\text{‰} \sim -21.87\text{‰}$, 平均值为 $(-22.46 \pm 0.35)\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N}$ 值大小范围为 $11.02\text{‰} \sim 12.85\text{‰}$, 平均值为 $(11.88 \pm 0.56)\text{‰}$; 光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围较小, 表明其食物来源较为简单。单因素方差分析结果显示, 冬季与夏季光背团水虱的平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著($P > 0.05$), 而夏季的 $\delta^{15}\text{N}$ 值普遍高于冬季 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 差异显著($P < 0.05$); 不同生长阶段的光背团水虱 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值会随着体长的增长而增大, 差异显著($P < 0.05$), 表明光背团水虱在生长的过程中可能发生了食性转变。光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相近, 而与红树植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值差距较远, 说明光背团水虱主要以浮游生物为食物来源。基于R语言稳定同位素混合模型(SIAR)计算结果显示, 冬季和夏季各粒径级别浮游生物对不同生长阶段的光背团水虱的贡献率趋势基本一致, 表现为 $1.2 \sim 25 \mu\text{m}$ 粒级的浮游生物对光背团水虱平均贡献率最高, 其次为 $25 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒级, 粒径大于 $100 \mu\text{m}$ 的浮游生物对体长小于 5.5 mm 的光背团水虱贡献率较低, 对体长大于 5.5 mm 的光背团水虱的贡献率随着体长增大而相应增大, 说明不同生长阶段的光背团水虱食性有差异。对光背团水虱食性分析的结果可为深入研究团水虱爆发的原因及危害红树林的作用机理提供基础资料。

关键词: 光背团水虱; 食性; 浮游生物; 稳定同位素

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2018)08-0120-09

1 引言

光背团水虱(*Sphaeroma retrolaeve*), 隶属于节肢动物门(Arthropoda), 甲壳纲(Crustacea), 等足目(Isopoda), 团水虱科(Sphaeromatidae), 团水虱属(*Sphaeroma*), 在我国广泛分布于浙江、福建、广东、广西、海南等沿海地区^[1-2], 通常营自由生活, 穴居于红

树植物根部、潮间带木头、泥沙或礁石下, 对热带、亚热带河口内湾红树林有潜在的危害, 也是致使海南东寨港红树林、广西北海廉州湾红树林受严重危害的主要物种之一^[3-4]。

目前, 国内外对团水虱的生物学、生态学、遗传学方面的研究较多, 对其食性的研究较少^[5-9]。对于团水虱的食性, 存在很大争议。早期研究学者认为团水

收稿日期: 2017-11-16; 修订日期: 2018-03-22。

基金项目: 广西科学院基本科研业务费资助项目(15YJ22HSL12); 国家重点研发计划科技基础资源调查专项(2017FY100704); 广西自然科学基金项目(2017GXNSFBA198163)。

作者简介: 杨明柳(1988—), 女, 广西壮族自治区桂林市人, 主要从事海洋生物研究。E-mail: yangmingliu2010@163.com

虱属于滤食性动物,主要以浮游生物为食,它只是将木质作为蛀洞的材料,并不会摄食蛀洞出的根系物质^[10]。Si 等^[11]对有孔团水虱的口器和消化系统的形态功能进行观察,发现有孔团水虱缺乏咀嚼木屑的器官,前胃不能有效地处理摄入的木屑,而其口器部位的颚足、小颚是运输颗粒物质的理想工具,研究表明有孔团水虱的口器和肠道形态特征更适合滤食功能。然而,也有一些研究学者提出不同的看法。Benson 等^[12]研究发现,有孔团水虱幼体在以纯纤维素作为食物的条件下比不投喂任何食物的实验组存活时间更长,作者对有孔团水虱肠道酶活力测定发现其肠道有消化纤维素的酶,能消化纤维素,认为有孔团水虱具有利用木头作为食物来源的能力。邱勇^[13]对光背团水虱的纤维素酶活力测定的研究表明,光背团水虱能摄食纤维素含量高的食物,可能具有摄食红树的能力。胡亚强等^[14]对团水虱不同生长阶段肠道微生物多样性的分析亦表明,团水虱可以以纤维素为食。由于团水虱个体小,几乎终身穴居于蛀洞的材料中,传统的动物食性研究方法如直接观察、胃内含物分析等方法,难以反映团水虱的食物组成及变化情况,也无法判断团水虱是否会以红树植物为食物来源。近年来,稳定同位素技术在动物食物来源方面的研究已得到了广泛应用,这种研究方法能够准确反映动物一段时期内的摄食信息,也为追踪体型小的无脊椎动物的食物来源提供了非常有效的研究手段^[15-16]。本研究利用稳定同位素技术,对不同季节不同生长阶段的光背团水虱及其食物源进行研究,分析光背团水虱的食性特征,以期深入了解光背团水虱的生活习性提供基础资料。

2 材料与方法

2.1 样品采集

样品采集于 2015 年 12 月冬季和 2016 年 7 月夏季,在广西北海市廉州湾草头村(21°33'N, 109°9'E)红树林区域,采集地点为 2014 年团水虱暴发区域,红树植物群落为白骨壤群落。于涨潮时,乘船进行浮游生物样品的采集,并测定采样点表层水的温度、盐度和 pH 值。冬季表层水温度范围为 12.1~12.3℃,盐度为 25.0~25.2, pH 值为 7.70~7.77;夏季表层水温为 28.5~29.1℃,盐度为 21.7~22.3, pH 值为 7.90~7.96。浮游生物粒级根据团水虱可能摄食浮游生物粒级大小来划分^[11],浮游生物的粒级梯度为 1.2~25 μm、25~50 μm、50~100 μm、100~200 μm、200~500

μm。各粒径浮游生物样品的采集方法如下:取 25 L 混合水样到聚乙烯桶中,于实验室中用筛绢分级过滤,获得粒径为 1.2~25 μm、25~50 μm、50~100 μm 的悬浮颗粒有机物(SPOM),再过滤到孔径为 1.2 μm 的 Whatman GF/C 玻璃纤维滤膜上(事先在马弗炉中以 450℃灼烧 4 h 以去除有机物)。由于 100~200 μm、200~500 μm 的浮游生物量在水体中较少,先用网孔为 300 目的浮游生物网从底至表层拖网进行采集,采集到的样品依次用筛绢分级过滤,将过筛的浮游生物用蒸馏水反复洗后,再过滤到已经预处理的 Whatman GF/C 玻璃纤维滤膜上。及时对过滤分级的样品进行抽样镜检,镜检发现冬、夏季不同粒级样品的主要组成类群相似,粒径为 200~500 μm 的样品主要为桡足类;粒径为 100~200 μm 的样品主要为桡足类、枝角类幼体;50~100 μm 的样品主要由有机碎屑、纤毛虫、硅藻、蓝藻、绿藻组成;25~50 μm 的样品主要由有机碎屑和少量硅藻组成;粒径为 1.2~25 μm 的样品则主要由微型颗粒和有机碎屑组成。

退潮时,采集有团水虱蛀洞的红树植物,用小刀刮取红树植物表皮和木质部,作为红树植物树皮和木质样品。将有团水虱蛀洞的木头带回实验室后,再用工具小心劈开木头,取出光背团水虱,并按大小以及实际观察测量情况分成 5 个等级^[5-6]:幼体(体长小于 3.5 mm,第七步足尚未发育或发育不完全)、亚成体(体长 3.5~5.5 mm,第七步足发育完全;雄性出现精英)、成体 I(体长 5.5~7 mm,达到性成熟,能进行繁殖)、成体 II(体长 7~9 mm,繁殖高峰)、成体 III(体长大于 9 mm,少数个体能达到这个体长,仍具有繁殖力)。

2.2 样品处理与测定

所有样品放于 60℃烘箱中烘 48 h,研磨,过 100 目筛。由于光背团水虱的个体较小,因此,将 20~30 个光背团水虱混合作为 1 个样品。用于碳稳定同位素测定的样品需用 1 mol/L 的盐酸进行酸化处理,检测氮稳定同位素的样品则不酸化。样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值在中国农业科学院农业环境稳定同位素实验室的元素分析仪(vario PYRO cube,德国 elemental 公司)和稳定同位素质谱仪(IsoPrime100,英国 Isoprime 公司)进行检测,得到的碳氮稳定同位素比值用 δ 表示^[17]:

$$\delta X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000\%, \quad (1)$$

式中, X 表示 ^{13}C 或 ^{15}N , $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 或 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, R_{standard} 表示标准品的碳或氮稳定同位素比值, R_{sample} 表示所测样品的碳或氮稳定同位素比值,碳、氮同位

素的标准物质,分别采用国际标准物 VPDB 和大气氮。为保证测定结果的准确性和仪器的稳定性,每测 10~12 个样品穿插一个标准品进行校正,样品 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值分析精度均为 $\pm 0.2\%$ 。

2.3 数据分析

本研究采用 SPSS18.0 进行数据分析,运用基于 R 语言程序的贝叶斯稳定同位素混合模型 (SIAR) 计算不同粒径浮游生物对光背团水虱的食物贡献比率^[18]。将光背团水虱及不同粒径浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值输入 R 语言的程序包中,经过营养富集因子校正后,拟合得出各粒径浮游生物对光背团水虱的贡献比率,其中, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的营养富集因子分别为 $(0.4 \pm 1.3)\%$ 和 $(3.4 \pm 1.0)\%$ ^[19]。

3 结果

3.1 光背团水虱的碳、氮稳定同位素比值

冬季光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -22.83% ~ -22.03% , 平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $(-22.46 \pm 0.03)\%$, 其中体长大于 9 mm 的光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大

$[-22.03 \pm 0.04)\%]$, 体长小于 3.5 mm 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小 $[-22.83 \pm 0.04)\%]$; 光背团水虱的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 11.02% ~ 11.75% , 平均 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(11.40 \pm 0.30)\%$, 其中体长大于 9 mm 的光背团水虱 $\delta^{15}\text{N}$ 值最大, 体长小于 3.5 mm 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最小。夏季光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -22.85% ~ -21.87% , 平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $(-22.47 \pm 0.40)\%$, 其中体长大于 9 mm 的光背团水虱 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大 $[-21.87 \pm 0.11)\%]$, 体长小于 3.5 mm 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小 $[-22.85 \pm 0.05)\%]$; 光背团水虱的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 12.05% ~ 12.81% , 平均 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(12.36 \pm 0.27)\%$, 其中体长大于 9 mm 的光背团水虱 $\delta^{15}\text{N}$ 值最大, 体长小于 3.5 mm 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最小(表 1)。

单因素方差分析结果显示, 冬季与夏季光背团水虱的平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著 ($P > 0.05$), 而夏季的 $\delta^{15}\text{N}$ 值普遍高于冬季 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 差异显著 ($P < 0.05$); 不同生长阶段的光背团水虱 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值会随着体长的增长而增大, 差异极显著 ($P < 0.01$) (图 1)。

表 1 光背团水虱的碳、氮稳定同位素比值(平均值±标准差)

Tab.1 The $\delta^{13}\text{C}$ values, $\delta^{15}\text{N}$ values of *S. retrolaeva* (mean ± standard deviation)

组别	体长范围/mm	样品数	冬季		夏季	
			$\delta^{13}\text{C}/\%$	$\delta^{15}\text{N}/\%$	$\delta^{13}\text{C}/\%$	$\delta^{15}\text{N}/\%$
SR1	<3.5	3	-22.83 ± 0.04	11.02 ± 0.03	-22.85 ± 0.05	12.05 ± 0.03
SR2	3.5~5.5	3	-22.71 ± 0.03	11.19 ± 0.04	-22.84 ± 0.02	12.21 ± 0.08
SR3	5.5~7	3	-22.46 ± 0.05	11.43 ± 0.05	-22.53 ± 0.03	12.28 ± 0.07
SR4	7~9	3	-22.24 ± 0.03	11.62 ± 0.14	-22.20 ± 0.17	12.43 ± 0.10
SR5	>9	3	-22.03 ± 0.04	11.75 ± 0.20	-21.87 ± 0.11	12.81 ± 0.05

3.2 光背团水虱的食物源同位素比值

从表 2 可知, 冬季不同粒径级别浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -25.20% ~ -21.81% , 平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $(-23.93 \pm 1.22)\%$, 其中 1.2~25 μm 粒级的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大 $[-21.81 \pm 0.04)\%]$, 其次为 200~500 μm 粒级 $[-23.67 \pm 0.11)\%]$, 50~100 μm 粒级的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小 $[-25.20 \pm 0.15)\%]$; 不同粒径级别的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 7.38% ~ 10.34% , 平均值为 $(8.35 \pm 1.16)\%$, 其中 200~500 μm 粒级的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高, 1.2~25 μm 粒级的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最低。夏季不同粒径级别的浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -25.06% ~ -21.86% , 平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $(-23.89 \pm 1.16)\%$, 其中

1.2~25 μm 粒级的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大 $[-21.86 \pm 0.06)\%]$, 其次为 200~500 μm 粒级 $[-23.56 \pm 0.10)\%]$, 粒径为 50~100 μm 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小; 不同粒径级别的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 8.29% ~ 11.15% , 平均值为 $(9.33 \pm 1.10)\%$; 其中 200~500 μm 粒级的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高, 随着粒径减小, $\delta^{15}\text{N}$ 值也逐渐减小。单因素方差分析结果显示, 冬季与夏季相同粒径级别的浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著 ($P > 0.05$), 夏季浮游生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值普遍高于冬季同一粒径级别的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 且差异显著 ($P < 0.05$), 均表现为 $\delta^{15}\text{N}$ 值随着粒径的增大而增大。

冬季红树植物树皮的平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $(-27.79 \pm$

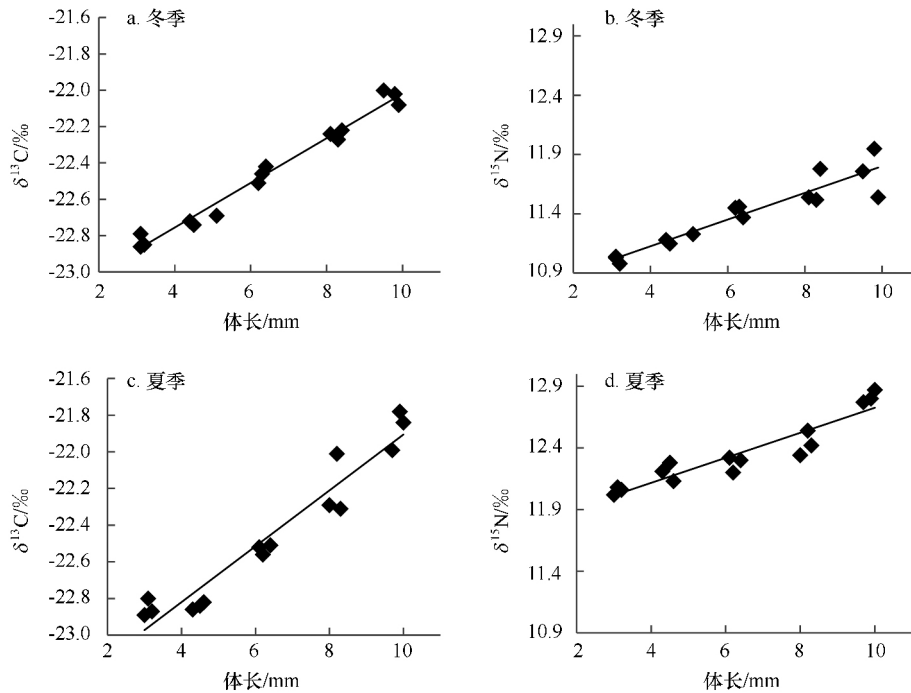


图1 冬、夏季光背团水虱体长与 $\delta^{13}C$ 值和 $\delta^{15}N$ 值的关系

Fig.1 Relationships of $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values to body lengths of *S.retrolaeve* in winter and summer

Q 07)‰,平均 $\delta^{15}N$ 值为 $(11.81 \pm 1.06)\%$,木质的平均 $\delta^{13}C$ 值为 $(-27.03 \pm 0.31)\%$,平均 $\delta^{15}N$ 值为 $(12.87 \pm 0.69)\%$;夏季红树植物树皮的平均 $\delta^{13}C$ 值为 $(-27.84 \pm 0.05)\%$,平均 $\delta^{15}N$ 值为 $(11.88 \pm 0.16)\%$,木质的平

均 $\delta^{13}C$ 值为 $(-27.07 \pm 0.05)\%$,平均 $\delta^{15}N$ 值为 $(12.66 \pm 0.31)\%$ 。由于红树植物的 $\delta^{13}C$ 值与光背团水虱的 $\delta^{13}C$ 值差值较大,经计算红树植物对光背团水虱的贡献率几乎为 0,因此不做分析。

表2 不同粒径浮游生物的碳、氮同位素比值(平均值±标准差)

Tab.2 The $\delta^{13}C$ values, $\delta^{15}N$ values of different size-fractioned plankton (mean ± standard deviation)

组别	粒径级别	主要成分	样品数	冬季		夏季	
				$\delta^{13}C/\%$	$\delta^{15}N/\%$	$\delta^{13}C/\%$	$\delta^{15}N/\%$
A1	200~500 μm	浮游动物	3	-23.67 ± 0.11	10.34 ± 0.11	-23.56 ± 0.10	11.15 ± 0.06
A2	100~200 μm	浮游动物幼体	3	-24.34 ± 0.16	8.75 ± 0.53	-24.42 ± 0.09	9.88 ± 0.13
A3	50~100 μm	浮游植物和有机碎屑	3	-25.20 ± 0.15	7.72 ± 0.20	-25.06 ± 0.04	8.73 ± 0.19
A4	25~50 μm	有机碎屑	3	-24.62 ± 0.24	7.59 ± 0.09	-24.56 ± 0.09	8.60 ± 0.18
A5	1.2~25 μm	微型颗粒和有机碎屑	3	-21.81 ± 0.04	7.38 ± 0.07	-21.86 ± 0.06	8.29 ± 0.07

3.3 光背团水虱的主要食物源及食物贡献率

利用 SIAR 模型分别计算出冬夏季不同粒径级别的浮游生物对不同生长阶段光背团水虱的食物贡献率。计算结果如图 2 所示,冬季和夏季不同粒径级别的浮游生物对不同生长阶段的光背团水虱贡献率有所差异。冬季粒径级别为 1.2~25 μm 的悬浮颗粒有机物对光背团水虱不同体长组 SR1、SR2、SR3、

SR4、SR5 的平均贡献率最高,分别为 30.5%、30.4%、30.0%、28.8%、27.2%;其次是粒径级别为 25~50 μm 的悬浮颗粒有机物,对 SR1、SR2、SR3、SR4、SR5 的平均贡献率分别为 20.9%、20.5%、19.0%、18.1%、17.7%;粒径为 200~500 μm 的浮游生物对体长大于 9 mm 的光背团水虱的平均贡献率可达 20.6%,对体长小于 5.5 mm 的光背团水虱贡献率较低。随着光背

团水虱体长的增长,粒径为 200~500 μm、100~200 μm 浮游生物对其贡献率会逐渐增大。

夏季粒径级别为 1.2~25 μm 的悬浮颗粒有机物对不同体长的光背团水虱 SR1、SR2、SR3、SR4、SR5 的平均贡献率最高,分别为 30.0%、29.1%、30.6%、25.4%,粒径为 25~50 μm 的悬浮颗粒有机物对

SR1、SR2、SR3、SR4、SR5 的平均贡献率分别为 21.0%、20.3%、19.6%、18.9%、17.4%,粒径大于 100 μm 的浮游生物对体长小于 5.5 mm 的光背团水虱贡献率较低,对体长大于 5.5 mm 的光背团水虱的贡献率会随着团水虱的体长增大而相应增大。

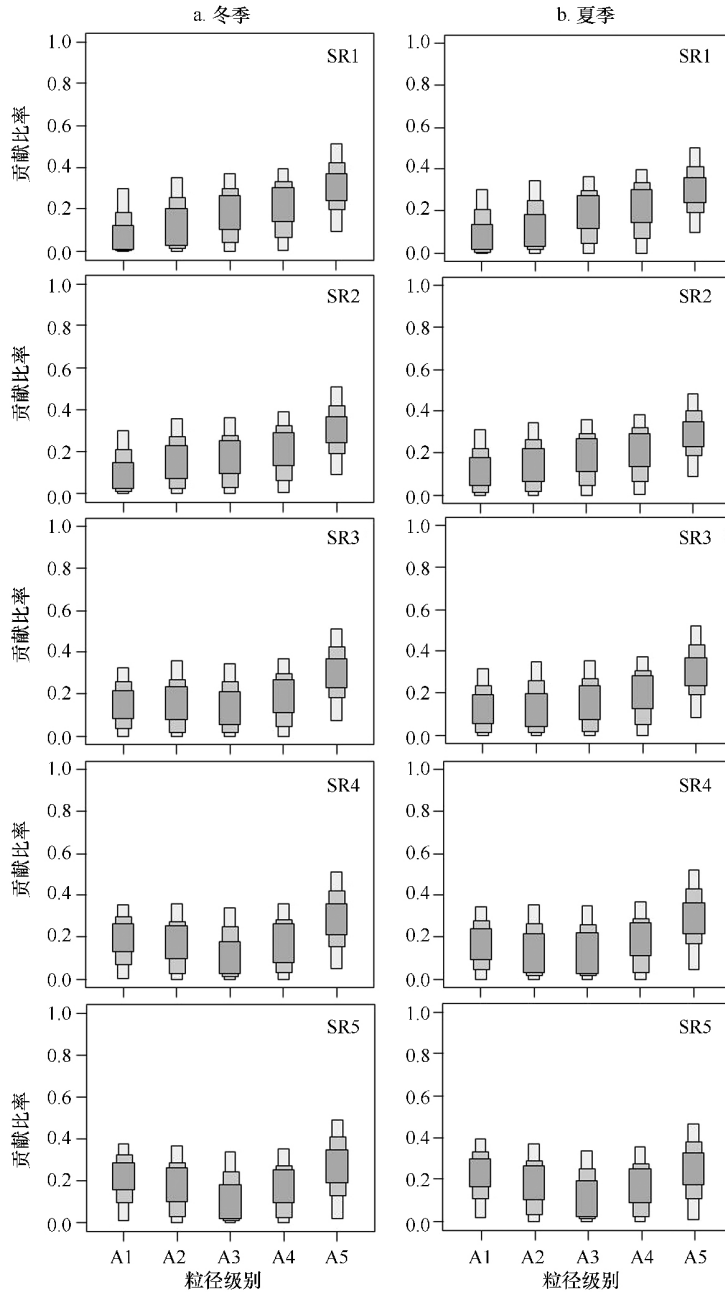


图 2 基于 SIAR 混合模型分析冬夏季不同粒径级别浮游生物对不同生长阶段光背团水虱的贡献比率

Fig.2 Results of estimated contribution of different size-fractionated plankton to different growth stages of *S. retrolaeva* in winter and summer base on the SIAR mixing model analysis

图中的条带宽度由窄变宽分别代表 95%、75%、50% 的置信区间

The widths of bars from narrow to wide showing the 95%, 75% and 50% credibility intervals, respectively

4 讨论

4.1 光背团水虱及其食物源的碳、氮稳定同位素特征

本研究中光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围分别为 $-22.85\text{‰}\sim-21.87\text{‰}$ 、 $11.2\text{‰}\sim 12.8\text{‰}$,与其他红树林区域大型底栖动物中一些软体动物和蟹类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值相近^[20-21]。消费者的碳氮稳定同位素变化是由于食物来源的季节变化引起,无脊椎动物的变化较明显^[22]。冬季与夏季光背团水虱的平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著($P>0.05$),而夏季的 $\delta^{15}\text{N}$ 值普遍高于冬季 $\delta^{15}\text{N}$ 值,且差异显著($P<0.05$),可能主要是由于浮游生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值季节性变动引起^[23-24]。

对光背团水虱不同生长阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值的线性相关分析,发现冬季光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值会随着体长的增大而发生极显著变化($r=0.990, P<0.01$), $\delta^{15}\text{N}$ 值也会随着体长的增大而发生极显著变化($r=0.939, P<0.01$);夏季不同生长阶段光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化趋势与冬季相似,亦会随着体长的增大而发生极显著变化,表明光背团水虱的体长对 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值有一定影响,这种现象在其他水生生物中也很普遍,尤其是 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化更为明显^[25],生物体的 ^{15}N 会随着个体的发育而不断富集,或者由于生物体食性发生差异也会导致 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化^[22,26]。

冬季和夏季各粒径级别浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围在 $-25.20\text{‰}\sim-21.81\text{‰}$ 之间,与国内外一些研究结果相近^[27-29]。粒径最小的 $1.2\sim 25\ \mu\text{m}$ $\delta^{13}\text{C}$ 值均比粒径最大的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高,且与红树植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值信号相差较大,表明这个粒径的来源比较特殊,可能受外源有机碳输入的影响^[30]。本研究中浮游生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值会随着粒径的增大而增大的规律与Rolf^[31]的研究结果一致。冬、夏季各粒径级别浮游生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值较其他研究中红树林或海湾浮游生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值高^[21,32],有研究表明来自人类活动和含氮较高的陆源输入,进入水域生态系统后,会被富集到水生食物链中,使初级生产者的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著增加^[33-34]。本研究地周围有大量虾塘,养殖废水的排放可能是引起浮游生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值增高的主要原因。

4.2 光背团水虱的食性分析

本研究发现,光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值信号与浮游生物相近,而与红树植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值差距较远,说明光背团水虱在不同生长阶段均不以红树植物为食物来源,

支持团水虱主要摄食浮游生物的观点^[11]。光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围较小,也表明其食物来源较为简单的特征。许多研究已表明,动物的食性会随着发育阶段的变化而发生转变,从而使其 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值也发生变化^[25-26]。本研究中,不同生长阶段的光背团水虱 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异均显著,并且跟体长的增长呈正相关关系,表明不同生长阶段的光背团水虱食性有差异,随着个体的发育,可能会发生食性转变。从SIAR混合模型计算结果也可以看出,体长小于 $3.5\ \text{mm}$ 的光背团水虱更偏好于摄食粒径为 $1.2\sim 25\ \mu\text{m}$ 和 $25\sim 50\ \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒有机物,对粒径大于 $50\ \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒有机物摄食很少,几乎不摄食粒径为 $100\sim 200\ \mu\text{m}$ 、 $200\sim 500\ \mu\text{m}$ 的浮游生物。体长为 $3.5\sim 5.5\ \text{mm}$ 的光背团水虱摄食的食物颗粒粒径级别与幼体相近。随着光背团水虱体长的增长,粒径为 $100\sim 200\ \mu\text{m}$ 、 $200\sim 500\ \mu\text{m}$ 浮游生物对其贡献率会逐渐增大。Si等^[11]观察发现有孔团水虱是通过快速扇动腹肢,加速水流,使食物颗粒吸附在第1~3步足的刚毛上,步足刚毛将食物颗粒移至口器部位,颚足上的刚毛旋转移动将食物颗粒刮取至口中,再由第1小颚和第2小颚反复闭合,达到将食物颗粒切碎的目的。本研究野外和实验室观察发现,光背团水虱的摄食行为与有孔团水虱相似,也是通过口器的不断过滤和梳理动作,将食物颗粒包括一些藻类细胞破碎来摄食。团水虱的口器大小会随着体长的增长而发生变化,口器大小的变化,可能是决定光背团水虱对不同粒径级别浮游生物进行选择摄食的一个重要因素。

体长小于 $3.5\ \text{mm}$ 的光背团水虱处于幼体阶段,活动能力较弱,主要靠母体扇动腹肢,加速水流,来获取食物^[6],这个阶段的光背团水虱发育尚未完全,口器较小,只能摄食粒径较小的食物颗粒。体长为 $3.5\sim 5.5\ \text{mm}$ 的光背团水虱的活动能力逐渐增强,能独自蛀洞,或离开母体所处的洞穴,独立生存,这个生长阶段的光背团水虱的摄食能力增强,能逐渐摄食粒径较大的食物颗粒。体长为 $5.5\sim 7\ \text{mm}$ 和 $7\sim 9\ \text{mm}$ 的光背团水虱性成熟后,进入繁殖高峰期,在这期间,对氮的营养需求增大,可能会通过摄食小型浮游动物来补充氮源。体长大于 $9\ \text{mm}$ 的光背团水虱具有较高 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值,通常能达到这个体长阶段的光背团水虱比较少,但仍能进行繁殖,它们需要更多的营养源,从而可能会增大对小型浮游动物的摄入量来维持身体机制的正常运行。因此,推测光背团水虱是由于

口器大小的变化和营养需求而发生食性的转变。然而,我们仍需认识到在利用稳定同位素技术来研究动物食物来源时,食物种类、样品的处理方法、消费者的取样组织、消费者组织与其食物源的稳定同位素之间的营养分馏值等因素都会使估算的结果产生偏差^[35],本研究中对浮游生物粒径级别的划分,可能也会对光背团水虱食物源贡献率的估算产生影响。因此,还需对这一区域的光背团水虱及其食物源进行多次采样,并通过室内饲养控制实验或添加重同位素进行追踪,以得到光背团水虱更准确和可信的食性特征。

5 结论

本研究通过对不同生长阶段光背团水虱及其食物源的碳氮稳定同位素研究发现,光背团水虱的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围较小,食性较为简单,主要以浮游

生物为食物来源,各生长阶段的光背团水虱均不以红树植物为食物来源。不同生长阶段的光背团水虱的食性有差异,随着个体的发育,可能发生了食性转变。本研究所分级的浮游生物,对光背团水虱的平均贡献率未达到 50%,可能是由于光背团水虱有选择性的对浮游动植物或者悬浮颗粒进行摄食。团水虱对红树植物的危害主要由于团水虱的钻孔蛀洞行为,大量的钻孔会让红树植物根部和基干部受损,使其在风浪冲击下更容易折断伏倒而死亡^[4]。从光背团水虱的食性特征来看,浮游生物是其主要食物来源,而养殖废水中氮、磷含量较高,水体中过量的氮、磷输入会导致浮游生物大量增长^[36-37]。红树林周边养殖废水的排放会使浮游生物大量增加,食物来源的剧增亦会使团水虱大量繁殖,这可能是团水虱得以暴发进而危害红树林的一个重要原因。

参考文献:

- [1] 于海燕, 李新正. 中国近海团水虱科种类记述[J]. 海洋科学集刊, 2003, 45: 239—259.
Yu Haiyan, Li Xinzheng. Study on the species of Sphaeromatidae from Chinese waters[J]. Studia Marina Sinica, 2003, 45: 239—259.
- [2] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 690—698.
Liu Ruiyu. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 690—698.
- [3] 黄威民, 周时强, 李复雪. 福建红树林上钻孔动物的生态[J]. 台湾海峡, 1996, 15(3): 305—309.
Huang Qimin, Zhou Shiqiang, Li Fuxue. Ecological studies on mangrove boring animals Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1996, 15(3): 305—309.
- [4] 范航清, 刘文爱, 钟才荣, 等. 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究[J]. 广西科学, 2014(2): 140—146, 152.
Fang Hangqing, Liu Wen'ai, Zhong Cairong, et al. Analytic study on the damages of wood-boring isopod, sphaeroma, to China mangroves[J]. Guangxi Sciences, 2014(2): 140—146, 152.
- [5] Venkatakrisnan R, Nair N B. Observations on the sex characters of the timber-boring sphaeromids (Isopoda) of the Indian waters[J]. Hydrobiologia, 1973, 42(4): 413—427.
- [6] Thiel M. Reproductive biology of a wood-boring isopod, *Sphaeroma terebrans*, with extended parental care[J]. Marine Biology, 1999, 135(2): 321—333.
- [7] Baratti M, Filippelli M, Messana G. Complex genetic patterns in the mangrove wood-borer *Sphaeroma terebrans* Bate, 1866 (Isopoda, Crustacea, Sphaeromatidae) generated by shoreline topography and rafting dispersal[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2011, 398(1/7): 73—82.
- [8] 邱勇, 李俊, 黄勃, 等. 影响东寨港红树林中光背团水虱分布的生态因子研究[J]. 海洋科学, 2013, 37(4): 21—25.
Qiu Yong, Li Jun, Huang Bo, et al. Studies on ecological factors affecting the distribution of *Sphaeroma retrolaevis* in the mangrove forest in Dongzhai-gang[J]. Marine Sciences, 2013, 37(4): 21—25.
- [9] Li X F, Han C, Zhong C R, et al. Identification of *Sphaeroma terebrans* via morphology and the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (COI) gene[J]. Zoological Research, 2016, 37(5): 307—312.
- [10] Rotramel G. Filter-feeding by the marine boring isopod, *Sphaeroma quoyanum* H. Milne Edwards, 1840 (Isopoda, Sphaeromatidae)[J]. Crustaceana, 1975, 28(1): 7—10.
- [11] Si A, Bellwood O, Alexander C G. Evidence for filter-feeding by the wood-boring isopod, *Sphaeroma terebrans* (Crustacea: Peracarida)[J]. Journal of Zoology, 2002, 256(4): 463—471.
- [12] Benson L K, Rice S A, Johnson B R. Evidence of cellulose digestion in the wood boring isopod *Sphaeroma terebrans*[J]. Florida Scientist, 1999: 128—144.
- [13] 邱勇. 光背团水虱消化酶及其种群生态学研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
Qiu Yong. Study on digestive enzyme and population ecology of *Sphaeroma retrolaevis*[D]. Haikou: Hainan University, 2013.
- [14] 胡亚强, 丁敬敬, 黄勃, 等. 团水虱不同生长阶段肠道微生物多样性分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(2): 406—413.

- Hu Yaqiang, Ding Jingjing, Huang Bo, et al. Intestinal microbial diversity analysis of sphaeroma at different growth stages[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2016, 35(2): 406—413.
- [15] Bouillon S, Koedam N, Raman A, et al. Primary producers sustaining macro-invertebrate communities in intertidal mangrove forests[J]. *Oecologia*, 2002, 130(3): 441—448.
- [16] Balasse M, Tresset A, Ambrose S H. Stable isotope evidence ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) for winter feeding on seaweed by Neolithic sheep of Scotland[J]. *Journal of Zoology*, 2006, 270(1): 170—176.
- [17] Fry B. *Stable Isotope Ecology*[M]. New York: Springer-Verlag, 2006.
- [18] Parnell A C, Inger R, Bearhop S, et al. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation[J]. *PLoS One*, 2010, 5(3): e9672.
- [19] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions[J]. *Ecology*, 2002, 83(3): 703—718.
- [20] Tue N T, Hamaoka H, Sogabe A, et al. Food sources of macro-invertebrates in an important mangrove ecosystem of Vietnam determined by dual stable isotope signatures[J]. *Journal of Sea Research*, 2012, 72: 14—21.
- [21] 王瑁, 高雪芹, 丁奕朋, 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.
Wang Mao, Gao Xueqin, Ding Yipeng, et al. Identification of the food sources of mangrove molluscs from different microhabitats at Qinglangang, Hainan[J]. *Wetland Science*, 2015, 13(2): 171—176.
- [22] 孙明, 刘修泽, 李轶平, 等. 应用氮稳定同位素技术研究辽东湾海域主要渔业生物的营养级[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 190—198.
Sun Ming, Liu Xiuzhe, Li Yiping, et al. Trophic level analysis of key species in Liaodong Bay using stable nitrogen isotopes[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 190—198.
- [23] 蒋日进, 章守宇, 毕远新, 等. 枸杞岛海藻场小型无脊椎动物的食物来源[J]. *水产学报*, 2015, 39(10): 1487—1498.
Jiang Rijin, Zhang Shouyu, Bi Yuanxin, et al. Food sources of small invertebrates in the macroalgal bed of Gouqi Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(10): 1487—1498.
- [24] 宁加佳, 刘辉, 古滨河, 等. 溪流水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征[J]. *生态学报*, 2012, 32(5): 1502—1509.
Ning Jijia, Liu Hui, Gu Binhe, et al. Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1502—1509.
- [25] 宁加佳, 杜飞雁, 王雪辉, 等. 基于稳定同位素的口虾蛄食性分析[J]. *水产学报*, 2016, 40(6): 903—910.
Ning Jijia, Du Feiyan, Wang Xuehui, et al. Feeding habits of mantis shrimp based on stable isotope analysis[J]. *Journal of fisheries of China*, 2016, 40(6): 903—910.
- [26] 薛彬, 蒋日进, 王凯, 等. 应用稳定同位素技术分析枸杞岛近岸海域褐菖鲈的食性[J]. 2017, 41(9): 1415—1423.
Xue Bin, Jiang Rijin, Wang Kai, et al. Feeding habits of *Sebastes marmoratus* in the Gouqi Island based on stable isotope analysis[J]. *Journal of fisheries of China*, 2017, 41(9): 1415—1423.
- [27] Bouillon S, Mohan P C, Sreenivas N, et al. Sources of suspended organic matter and selective feeding by zooplankton in an estuarine mangrove ecosystem as traced by stable isotopes[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 208: 79—92.
- [28] 蔡德陵, 孟凡, 韩贻兵, 等. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值作为海洋生态系统食物网示踪剂的研究——崂山湾水体生物食物网的营养关系[J]. *海洋与湖沼*, 1999, 30(6): 671—678.
Cai Deling, Meng Fan, Han Yibing, et al. Studies on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios as a tracer for food web in a marine ecosystem—The trophic relations in pelagic food webs in Laoshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30(6): 671—678.
- [29] 冯建祥. 互花米草入侵和利用本土红树植物防控情境下红树林湿地食物网关系研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
Feng Jianxiang. Effects of the invasion and ecological control of *Spartina alterniflora* on the foodweb of mangrove wetlands[D]. Xiamen: Xiamen University, 2013.
- [30] Grey J, Jones R I, Sleep D. Seasonal changes in the importance of the source of organic matter to the diet of zooplankton in Loch Ness, as indicated by stable isotope analysis[J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(3): 505—513.
- [31] Rolff C. Seasonal variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of size-fractionated plankton at a coastal station in the northern Baltic proper[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 203: 47—65.
- [32] 柯志新, 黄良民, 徐军, 等. 大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(22): 7102—7108.
Ke Zhixin, Huang Liangmin, Xu Jun, et al. The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(22): 7102—7108.
- [33] Dehairs F, Rao R G, Mohan P C, et al. Tracing mangrove carbon in suspended matter and aquatic fauna of the Gautami-Godavari Delta, Bay of Bengal (India)[J]. *Hydrobiologia*, 2000, 431(2/3): 225—241.
- [34] Bannon R O, Roman C T. Using stable isotopes to monitor anthropogenic nitrogen inputs to estuaries[J]. *Ecological Applications*, 2008, 18(1): 22—30.
- [35] 陈展彦, 武海涛, 王云彪, 等. 基于稳定同位素的湿地食物源判定和食物网构建研究进展[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(7): 2389—2398.
Chen Zhanyan, Wu Haitao, Wang Yunbiao, et al. Research progress on food sources and food web structure of wetlands based on stable isotopes[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(7): 2389—2398.

- [36] 李纯厚, 黄洪辉, 林钦, 等. 海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 545–550.
Li Chunhou, Huang Honghui, Lin Qin, et al. Environmental carrying capacity of the pollutants from the prawn seawater culture ponds[J]. Journal of Agro-Environmental Science, 2004, 23(3): 545–550.
- [37] 刘娅琴, 邹国燕, 宋祥甫, 等. 不同营养状态水体中生态浮床对浮游植物群落的影响[J]. 环境科学研究, 2015, 28(4): 629–637.
Liu Yaqin, Zou Guoyan, Song Xiangfu, et al. Effects of ecological floating bed system(EFBS) on phytoplankton community structure in water bodies with different nutrient levels[J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28(4): 629–637.

Feeding habits of *Sphaeroma retrolaeve* based on stable isotope analysis

Yang Mingliu¹, Gao Tingwei¹, Xing Yongze¹, Lan Guobao¹

(1.Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Sciences Academy, Beihai 536000, China)

Abstract: In order to explore the feeding characteristics of *Sphaeroma retrolaeve*, we analyzed the carbon and nitrogen isotopic ratios ($\delta^{13}\text{C}$ values, $\delta^{15}\text{N}$ values) of *S. retrolaeve* and its food sources which were collected from the mangrove of Lianzhou Bay, Beihai, Guangxi, in the winter of 2015 and summer of 2016, based on the stable carbon and nitrogen isotope analysis. The results showed that the average $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of *S. retrolaeve* were $(-22.46 \pm 0.35) \text{‰}$ and $(11.88 \pm 0.56) \text{‰}$, in a range of -22.85‰ to -21.87‰ and 11.02‰ to 12.85‰ , respectively. The range of $\delta^{13}\text{C}$ value and the $\delta^{15}\text{N}$ value of *S. retrolaeve* was small, which indicated that the food sources of *S. retrolaeve* were relatively simple. The results of one-way ANOVA showed that the $\delta^{13}\text{C}$ values of *S. retrolaeve* were insignificantly different between winter and summer ($P > 0.05$), while the $\delta^{15}\text{N}$ values in summer were generally higher than those in winter, and the difference was significant ($P < 0.05$); $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of *S. retrolaeve* of different growth stages significantly correlated with body size ($P < 0.05$), which indicated that its feeding habits shift during its growth process. The $\delta^{13}\text{C}$ values of *S. retrolaeve* were similar to the $\delta^{13}\text{C}$ values of the plankton, which were far different from the $\delta^{13}\text{C}$ values of the mangrove plants, indicating that the main food sources of *S. retrolaeve* was plankton. The results of SIAR mixing model analysis showed that contribution rates of plankton to different growth stages of *S. retrolaeve* were basically the same in winter and summer. The plankton with the fraction of $1.2-25 \mu\text{m}$ had the highest contribution to *S. retrolaeve*, and followed by the fraction of $25-50 \mu\text{m}$, the fraction more than $100 \mu\text{m}$ had a lower contribution to *S. retrolaeve* with body length less than 5.5 mm , while the proportion of contribution would increase with increasing body length, which showed that there were something differences in the feeding habits for *S. retrolaeve* at different growth stages. The results of the feeding habits of *S. retrolaeve* could provide basic information for further studying the causes of *Sphaeroma* outbreak and the mechanism of damage to mangroves.

Key words: *Sphaeroma retrolaeve*; food habits; plankton; stable isotope