

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170527002

http://www.yykxjz.cn/

刘旭佳, 沈夏霜, 黄国强, 彭银辉, 吴黎红. 水体中饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率及排氨率的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 99-105

Liu XJ, Shen XS, Huang GQ, Peng YH, Wu LH. Effects of suspended feed amount on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of different sized *Sipunculus nudus* Linnaeus. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 99-105

水体中饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率及排氨率的影响

刘旭佳¹ 沈夏霜² 黄国强³ 彭银辉¹ 吴黎红²

(1. 广西海洋研究所 广西海洋生物技术重点实验室 北海 536000;

2. 广西大学动物科学技术学院 南宁 530004; 3. 钦州学院海洋学院 钦州 535011)

摘要 为研究饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫(*Sipunculus nudus* Linnaeus)呼吸代谢的影响, 采用实验生态学方法, 研究了不同螺旋藻(*Spirulina platensis*)投喂量(5、10、15、20和25 mg/L)对3种规格[小(S)(1.58±0.48)g、中(M)(4.90±1.06)g和大(L)(7.96±0.94)g]光裸方格星虫耗氧率和排氨率的影响。结果显示, 饵料投喂量对耗氧率和排氨率均影响显著($P<0.05$), 饵料投喂量和规格的交互作用对光裸方格星虫耗氧率和排氨率影响极显著($P<0.01$)。当饵料投喂量达到15 mg/L时, 3组规格光裸方格星虫的耗氧率和排氨率均出现显著下降。光裸方格星虫耗氧率和排氨率均随着饵料投喂量增加而明显降低, 且与饵料投喂量呈一元三次函数关系: $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 。对于耗氧率, a值的范围为0.003~0.033, b值的范围为-1.698~-0.053, c值的范围为-1.805~18.873, d值的范围为-15.675~79.940。对于排氨率, a值的范围为0.0003~0.004, b值的范围为-0.172~-0.003, c值的范围为-0.326~1.972, d值的范围为3.634~14.008。光裸方格星虫耗氧率和排氨率均随着体重增加表现出曲线增加的规律。耗氧率与体重呈指数函数关系: $y = ae^{bx}$, a值的范围为8.082~20.934, b值的范围为0.217~0.270; 排氨率与体重呈幂函数关系: $y = ax^b$, a值的范围为1.441~3.598, b值的范围为0.521~0.747。光裸方格星虫的氧氮比(O/N)范围为1.26~10.60。研究表明, 高浓度饵料投喂量会对光裸方格星虫的呼吸代谢产生负作用, 当饵料投喂量达到20 mg/L时, 光裸方格星虫的耗氧率和排氨率波动较大且显著下降。

关键词 光裸方格星虫; 饵料悬浮; 规格; 耗氧率; 排氨率

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)05-0099-07

耗氧率和排氨率是评价海洋生物生理状态和代谢活动的重要指标(焦海峰等, 2017), 通过研究呼吸代谢, 了解其与环境及生物因素之间的相互关系, 从

而掌握海洋生物呼吸代谢水平、营养状况、最适生长条件以及所能承受的环境阈值, 由此可以深入研究生理学、营养需求与能量消耗以及生态学等问题, 并且

* 广西自然科学基金(2015GXNSFBA139081)、广西科技攻关项目(1598006-6-6; AB16380167)、国家自然科学基金项目(31160532)和广西科学院业务费项目(13YJ22HYS14)共同资助 [This work was supported by Guangxi Natural Science Foundation (2015GXNSFBA139081), Guangxi Science and Technology Project (1598006-6-6; AB16380167), National Natural Science Foundation of China (31160532), and Guangxi Academy of Science Project (13YJ22HYS14)].

① 通讯作者: 刘旭佳, E-mail: lxu0312@126.com

收稿日期: 2017-05-27, 收修改稿日期: 2017-07-26

对于经济海产种的滩涂养殖容量规划和健康可持续发展具有重要的指导意义。

光裸方格星虫(*Sipunculus nudus* Linnaeus)是我国重要的经济类底栖动物,为北部湾特有的名贵经济海产种(许明珠等, 2016)。光裸方格星虫作为一种底栖碎屑食性的滩涂无脊椎生物,主要通过吻部摄食沙质沉积物中的有机质、细菌和腐烂碎屑等,可以将表层沉积物中有机物向深层转移,因此,对沿岸滩涂沉积物的能量和生源要素流动产生重要影响(Li *et al.*, 2015)。近年来,光裸方格星虫滩涂增养殖规模不断发展,开展基础呼吸代谢研究可以掌握其个体营养需求、代谢物排放量、最适生长条件以及对生长水环境影响等基础生理生态问题,从而可以合理规划和指导光裸方格星虫健康养殖。有关盐度、温度和体重对光裸方格星虫呼吸代谢影响的研究已有报道(刘旭佳等, 2017; 逯云召等, 2012),但未见饵料投喂量对其耗氧率和排氮率影响的研究报道。本文主要研究了不同饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率、排氮率和氧氮比(O/N)的影响,以期能为光裸方格星虫能量学和滩涂养殖容量规划提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用光裸方格星虫幼虫取自广西海洋研究所海水增养殖实验基地,其他规格取自养殖海域。按体重大小分为3组:小(S)[(1.58±0.48) g]、中(M)[(4.90±1.06) g]和大(L)[(7.96±0.94) g]组。将3组方格星虫放入PVC水箱(100 cm×60 cm×60 cm)中暂养,20条/箱。PVC箱底铺设10 cm厚中粗砂,保持连续充气,将螺旋藻(*Spirulina platensis*)粉充分混匀于海水中,再投喂到PVC箱中。实验设立5个投喂量梯度,每升海水中分别投喂5、10、15、20和25 mg螺旋藻粉,在PVC箱中每天定时投喂饵料,将方格星虫驯化7 d。实验期间,水温保持在27.7~29.7℃,海水盐度维持在30~31。

1.2 实验处理

暂养的方格星虫驯化7 d,禁食1 d。小、中和大规格方格星虫分别放入相同饵料投喂量的1、2和5 L锥形瓶中,测定代谢率。每个锥形瓶铺10 cm厚、经清洗暴晒过的石英砂,每一规格、每一饵料投喂量设15个平行,每瓶放1条,外加3个空白对照,装满对应饵料浓度梯度的海水,用塑料薄膜封口。实验采用静水方法,24 h后打开薄膜抽取水样。溶氧和氨氮分别采用美国 YSI professional series 溶氧仪和法国

Alliance-Futura/Proxima 连续流动分析仪进行测定。

1.3 测定方法

采用水瓶法测定光裸方格星虫环境水体中代谢瓶和对照瓶的溶解氧(DO_t、DO₀, μg/L)和氨氮(A_t、A₀, μg/L)含量。耗氧率和排氮率的计算公式为:

$$\text{耗氧率}(\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}) = (\text{DO}_0 - \text{DO}_t) \times V / (\text{DW} \cdot t)$$

$$\text{排氮率}(\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}) = (\text{A}_t - \text{A}_0) \times V / (\text{DW} \cdot t)$$

式中, V 为实验瓶体积(L), DW 为体重(g), t 为代谢时间(h)。

氧氮原子数比的计算公式:

$$\text{氧氮比(O/N)} = (\text{耗氧率}/16) / (\text{排氮率}/14)$$

1.4 统计分析

采用 SPSS 20.0 软件对所有代谢数据进行了方差和双因子方差分析,采用 LSD 方法进行比较检验, P<0.05 为差异显著, P<0.01 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率的影响

方差分析显示,饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率的影响显著(P<0.05)(图1)。小规格光裸方格星虫在饵料投喂量为5和10 mg/L时的耗氧率显著高于其他饵料投喂量(P<0.05),且5 mg/L饵料投喂量下的耗氧率显著高于10 mg/L饵料投喂量,其他处理间差异均不显著(P>0.05)。中规格光裸方格星虫在饵料投喂量5和10 mg/L时显著高于其他处理组(P<0.05),且15 mg/L饵料投喂量下的耗氧率显著高于20 mg/L饵料投喂量(P<0.05),其他处理组间均未出现显著差异(P>0.05)。大规格光裸方格星虫在饵料投喂量5、10

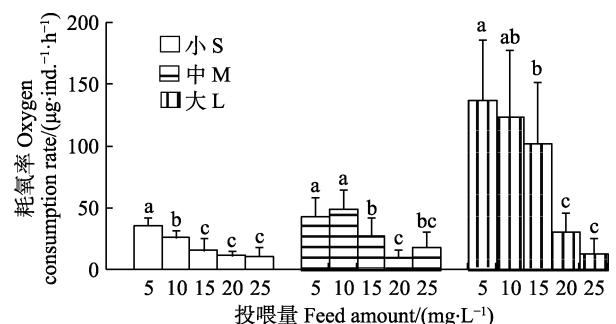


图1 饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率的影响
Fig.1 Effects of feed amount on the oxygen consumption rate of different sized *S. nudus*

不同字母表示组间差异显著(P<0.05)。下同
Different letters indicate significant difference among groups (P<0.05). The same as below

和 15 mg/L 时耗氧率显著高于 20 和 25 mg/L 饵料投喂量($P<0.05$), 且 5 mg/L 饵料投喂量下的耗氧率显著高于 15 mg/L 饵料投喂量, 其他处理间差异均不显著($P>0.05$)。

综合以上结果, 当饵料投喂量增加至 15 mg/L, 3 种规格光裸方格星虫的耗氧率均表现显著降低现象。经双因子方差分析表明, 饵料投喂量和体重二者的交互作用对耗氧率影响表现极显著($P<0.01$)。

由以上结果可以得出, 在设定的饵料投喂量范围内, 光裸方格星虫耗氧率随着饵料投喂量的增加而降低。对光裸方格星虫耗氧率与饵料投喂量进行拟合, 最符合一元三次函数关系: $y=ax^3+bx^2+cx+d$ (a 、 b 、和 d 均为常数, x 为饵料投喂量, y 为耗氧率), 见表 1。

对光裸方格星虫耗氧率与体重进行拟合, 最符合指数函数: $y=ae^{bx}$ (a 、 b 均为常数, x 为体重, y 为耗氧率)。当饵料投喂量达到 20 mg/L 时, 光裸方格星虫耗氧率与体重之间无规律关系, 见表 2。

2.2 饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫排氨率的影响

方差分析显示, 饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫排氨率的影响显著($P<0.05$) (图 2)。小规格光裸方格星虫在饵料投喂量为 15 和 20 mg/L 时均与 25 mg/L 时排氨率之间差异不显著($P>0.05$), 而其余饵料投喂量处理组间排氨率均表现差异显著($P<0.05$)。中规格光裸方格星虫在饵料投喂量为 5 和 10 mg/L 时的排氨率均显著高于 20 和 25 mg/L 处理组($P<0.05$), 且饵料投喂量为 10、15 和 20 mg/L 时, 排氨率间均出现显著差异($P<0.05$), 而其余饵料投喂量处理间未出现显著差异($P>0.05$)。大规格光裸方格星虫在饵料投喂量为 5 和 10 mg/L 时, 排氨率显著高于其他 3 个处理组($P<0.05$), 同时, 饵料投喂量为 15 mg/L 的排氨率显著高于 25 mg/L 处理组($P<0.05$), 其余饵料投喂量处理间差异均不显著($P>0.05$)。

表 1 光裸方格星虫饵料投喂量与耗氧率的回归 ($y=ax^3+bx^2+cx+d$)

Tab.1 Regression between feed amount and oxygen consumption rate of *S. nudus* ($y=ax^3+bx^2+cx+d$)

规格 Size	数量 Number	耗氧率 Oxygen consumption rate ($\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$)						
		a	b	c	d	F	P	R^2
小 S	65	0.003	-0.053	-1.805	45.698	35.712	0	0.649
中 M	65	0.036	-1.610	18.873	-15.675	21.175	0	0.506
大 L	65	0.033	-1.698	18.736	79.940	18.925	0	0.503

表 2 光裸方格星虫体重与耗氧率的回归 ($y=ae^{bx}$)

Tab.2 Regression between body weight and oxygen consumption rate of *S. nudus* ($y=ae^{bx}$)

饵料投喂量 Feed amount (mg/L)	数量 Number	耗氧率 Oxygen consumption rate ($\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$)				
		a	b	F	P	R^2
5	45	20.934	0.217	91.471	0	0.680
10	45	16.858	0.246	124.132	0	0.743
15	45	8.082	0.270	45.630	0	0.515

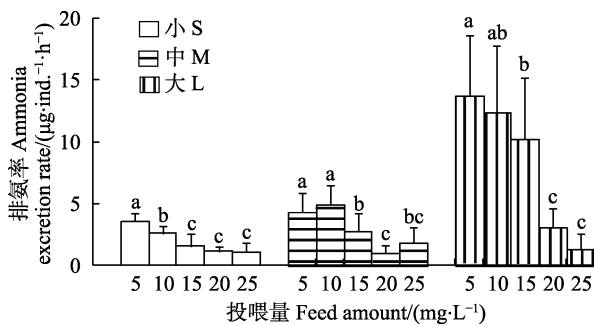


图 2 饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫排氨率的影响
Fig.2 Effects of feed amount on the ammonia excretion rate of different sized *S. nudus*

综上所述, 当饵料投喂量增加至 15 mg/L, 3 种规格光裸方格星虫的排氨率均显著降低。双因子方差分析

表明, 饵料投喂量和体重二者的交互作用对排氨率的影响极显著($P<0.01$)。

由以上结果可以得出, 在设定的饵料投喂量范围内, 光裸方格星虫排氨率随着饵料投喂量的增加而降低。对光裸方格星虫排氨率与饵料投喂量进行拟合, 最符合一元三次函数关系: $y=ax^3+bx^2+cx+d$ (a 、 b 、 c 和 d 均为常数, x 为饵料投喂量, y 为排氨率), 见表 3。

对光裸方格星虫排氨率与体重进行拟合, 最符合幂函数: $y=ax^b$ (a 、 b 均为常数, x 为体重, y 为排氨率), 见表 4。

2.3 不同饵料投喂量下光裸方格星虫的氧氮比

小、中和大 3 种规格的光裸方格星虫的 O/N 见

表 3 光裸方格星虫饵料投喂量与排氨率的回归 ($y=ax^3+bx^2+cx+d$)Tab.3 Regression between feed amount and ammonia excretion rate of *S. nudus* ($y=ax^3+bx^2+cx+d$)

规格 Size	数量 Number	排氨率 Ammonia excretion rate ($\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$)						
		a	b	c	d	F	P	R ²
小 S	65	0.0003	-0.003	-0.326	7.057	33.376	0	0.606
中 M	65	0.004	-0.172	1.972	3.634	9.022	0	0.282
大 L	65	0.004	-0.163	1.187	14.008	24.055	0	0.567

表 4 光裸方格星虫体重与排氨率的回归 ($y=ax^b$)Tab.4 Regression between body weight and ammonia excretion rate of *S. nudus* ($y=ax^b$)

饵料投喂量 Feed amount (mg/L)	数量 Number	排氨率 Ammonia excretion rate ($\mu\text{g}/\text{ind}\cdot\text{h}$)					
		a	b	F	P	R ²	
5	45	3.598	0.683	60.861	0	0.592	
10	45	2.992	0.747	164.256	0	0.808	
15	45	1.807	0.736	20.877	0	0.343	
20	45	1.441	0.584	22.466	0	0.398	
25	45	1.743	0.521	15.990	0	0.302	

表 5。随着饵料投喂量的增加, 3 种规格光裸方格星虫的 O/N 值整体呈下降的趋势。同一饵料投喂量下, 除 25 mg/L 投喂量外, 大规模光裸方格星虫 O/N 值最高, 中规格的 O/N 值最低。同一规格光裸方格星虫在不同饵料投喂量处理时, 小规格的 O/N 值在各饵料投喂量组间差异均不显著($P>0.05$)。中规格光裸方格星虫的 O/N 值在饵料投喂量为 5 和 10 mg/L 时显著高于 20 和 25 mg/L 处理组($P<0.05$), 且饵料投喂量 15 mg/L 显著高于 20 mg/L 处理组($P<0.05$), 其余组间差异均不显著($P>0.05$)。大规模光裸方格星虫 O/N 值在饵料投喂量 5、10 和 15 mg/L 均显著高于 25 mg/L 投喂量($P<0.05$), 其他饵料投喂量组间均无显著差异($P>0.05$)。

表 5 不同饵料投喂量、不同规格光裸方格星虫的 O/N 值

Tab.5 O/N values of different sized *S. nudus* under different feed amount

饵料投喂量 Feed amount (mg/L)	氧氮比 O/N		
	小 S	中 M	大 L
5	5.86±0.94 ^a	3.83±0.99 ^a	7.38±2.05 ^a
10	6.07±1.14 ^a	4.01±0.98 ^a	8.80±4.38 ^a
15	5.13±2.10 ^a	3.42±1.84 ^{ab}	10.60±5.20 ^a
20	6.00±3.88 ^a	1.26±0.66 ^c	6.92±4.67 ^{ac}
25	4.99±4.44 ^a	2.69±2.13 ^{bc}	2.32±2.39 ^{bc}

3 讨论

呼吸与排泄是海洋动物代谢活动的重要特征, 而耗氧率和排氨率则是呼吸代谢主要测量指标, 不但可

以反映水产动物单位个体的代谢水平高低及变化规律, 而且对于掌握水生动物呼吸代谢特征、最适生长条件、养殖水域生态效应和所能承受阈值的评估, 具有重要参考价值(冯雪等, 2012)。在水产动物育苗和养殖过程中, 不同饵料种类和浓度可以满足其不同的营养需求, 同时影响其生长和能量代谢活动。饵料被摄食后用于消化、吸收和合成能量物质, 从而引起水产动物耗氧率和排氨率以及能量代谢消耗的增加(钱周兴等, 2005)。

本研究选择光裸方格星虫养殖过程蛋白质含量较高的螺旋藻作为饵料, 研究结果表明, 饵料投喂量对光裸方格星虫的耗氧率和排氨率影响显著, 当饵料投喂量达到 15 mg/L 时, 3 种规格光裸方格星虫的耗氧率和排氨率均显著降低, 随着饵料投喂量的继续增加, 耗氧率和排氨率均再次显著降低。低浓度饵料投喂量(5 和 10 mg/L)下, 光裸方格星虫代谢率较高, 其耗氧率和排氨率显著高于高浓度饵料处理组, 说明低饵料投喂量水平下光裸方格星虫的摄食行为(伸出吻吞食表层沙粒)可能更活跃, 排粪速率可能更快, 体内的生理活动较强, 行为活动的增加导致能量代谢的提高, 表现为耗氧率和排氨率较高。而随着饵料投喂量的增加, 这种觅食和吞食行为可能减弱, 超过正常代谢水平, 能量代谢率也随之下降, 光裸方格星虫耗氧率和排氨率均出现显著降低现象, 因此, 高浓度的螺旋藻投喂到光裸方格星虫水体环境中, 会对其呼吸代谢产生一定抑制作用, 从而减少耗氧和排泄, 以便适应不利的水环境。

目前, 国内外有关饵料投喂量对水生生物代谢的

影响的研究报道较少,本研究结果与一些海洋生物的代谢结果不同。王海艳等(2001)研究发现,饵料投喂量在一定范围内时,菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的耗氧率和排氨率随着饵料投喂量的增大而增大,超过这一范围,其排氨率随饵料投喂量的增大而减小。唐保军(2005)研究发现,文蛤(*Meretrix meretrix*)的耗氧率和排氨率随着饵料(三角褐指藻 *Phaeodactylum tricornutum*、等鞭金藻 *Isochrysis galbana* 和扁藻 *Platymonas subcordiformis*)浓度的上升而增加。此外,饵料投喂量对食用鸟蛤(*Cerastoderma edule*) (Navarro *et al.*, 1994)和砂海螂(*Mya arenaria*) (Bacon *et al.*, 1998)的影响较大,而对贻贝(*Mytilus edulis*) (Bayne *et al.*, 1993)和海湾扇贝(*Placopecten magellanicus*) (Ward *et al.*, 1992)则无任何影响。夏苏东(2012)研究发现,刺参(*Apostichopus japonicus*)耗氧率和排氨率随饲料蛋白质含量的增加而升高,但超过一定蛋白含量时,呼吸代谢率则出现降低。贝类为滤食性动物,选择饵料主要为活体藻类饵料,同时,滤食性贝类会根据饵料质量和数量进行选择摄食(Bacon *et al.*, 1998)。刺参主要摄食微生物(包括底栖硅藻、细菌、原生动物等)、动植物有机碎屑等(袁秀堂等, 2016),饲料中的蛋白质含量增加,会引起其代谢率增加(夏苏东, 2012)。

本研究中光裸方格星虫为底栖、钻沙食碎屑动物,以沙质中有机质、细菌和腐烂碎屑等为食物来源,饵料投喂量的高低不但反映其代谢情况,同时影响底质和水环境中有机质含量变化,当饵料超过一定浓度时,光裸方格星虫摄食活动减弱、呼吸代谢率降低、消耗的能量减少,是其环境适应能力的体现,及在不利环境保存能量的一种方式。本研究结果与贝类、刺参等研究结果不同,这可能与研究对象的生活习性和饵料形态以及种类不同有关。

通过研究光裸方格星虫呼吸代谢情况,发现在同等规格条件下,随着饵料投喂量的增加,耗氧率和排氨率与饵料投喂量呈现一定规律性,基本符合一元三次函数回归关系 $y=ax^3+bx^2+cx+d$, 饵料投喂量对光裸方格星虫代谢的影响存在显著差异。而在同一饵料投喂浓度下,光裸方格星虫耗氧率与体重最符合指数函数 $y=ae^{bx}$, 而当饵料投喂量达到 20 mg/L 时,光裸方格星虫耗氧率与体重之间无明显规律,说明饵料浓度增加至一定程度,各种规格光裸方格星虫耗氧均严重降低。而光裸方格星虫排氨率与体重呈幂函数关系 $y=ax^b$, 这与许多水生动物的耗氧率和排氨率随体重增加而减小的研究结果刚好相反(史宝等, 2008; 冯雪等, 2012; 吴文广等, 2013),水生动物的耗氧率和排氨

率受多种因素的影响,这可能是由于光裸星虫摄食和潜沙的行为所引起的代谢类型不同所导致。3种规格光裸方格星虫单位个体的耗氧率和排氨率之间差异均显著,本研究中光裸方格星虫耗氧率和排氨率随体重增加而增加,表现出小规格最小、大规格最高的变化趋势,这表明大规格的光裸方格星虫代谢活动量比较旺盛,需要消耗较多能量用于摄食活动。

氧氮比表示在动物生长代谢过程中蛋白质、脂肪和碳水化合物等能源物质的来源和能量代谢的途径,是衡量动物能量代谢的一项重要指标,可用来评估动物对营养物质的利用特性。本研究中,饵料投喂量在 5~25 mg/L 范围内,光裸方格星虫的 O/N 值为 1.26~10.60。在 5~15 mg/L 饵料投喂量范围内,3种规格光裸方格星虫 O/N 值差异不显著,随着饵料投喂量继续增加到 20 mg/L 时,中规格和大规格光裸方格星虫排氨率大幅增加,O/N 值显著降低,说明代谢底物中蛋白质的比例增加,而利用脂肪和碳水化合物的比例降低。在本研究设定的饵料投喂量范围内,光裸方格星虫的代谢底物主要以利用蛋白质供能为主。对于大规格而言,光裸方格星虫 O/N 值较高,说明消化、吸收和生长等生理活动需要消耗更多的能量,通过以蛋白和脂肪供能为主来适应外界环境变化。近年来,国内外有关饵料投喂量对水生动物呼吸排泄的研究较少,无脊椎动物主要集中在贝类上,耗氧率和排氨率一般随饵料浓度的增加而上升,O/N 值受饵料种类和浓度的影响较大,这是由于贝类为滤食性动物,饵料浓度会直接影响其呼吸代谢效率(王海艳等, 2001; 唐保军, 2005; 李金碧, 2009)。而光裸方格星虫通过吞食底栖沙并过滤其中有机质等碎屑为食,摄食能量代谢消耗较大,与贝类摄食行为差异较大。本研究认为,当外界生长水体中的饵料投喂量较低时,光裸方格星虫代谢活动较强,消耗较多能量物质用于生长,一旦超出其生长环境适宜范围时,呼吸代谢水平则降低,选择消耗较少的物质和能量供能,以适应外界环境变化。

4 结论

本研究表明,饵料投喂量对不同规格光裸方格星虫耗氧率和排氨率影响显著,投喂螺旋藻粉浓度不宜超过 15 mg/L,因为高饵料投喂量会对光裸方格星虫的呼吸代谢产生负作用,当投喂量达到 20 mg/L 时,光裸方格星虫的耗氧率和排氨率波动较大且出现显著下降现象。同时,光裸方格星虫对外界水体环境中饵料投喂浓度的变化会积极做出反应,可以通过降低

呼吸代谢来适应环境的变化。本研究对光裸方格星虫滩涂养殖和池塘养殖具有重要指导意义,同时,也为广西沿海光裸方格星虫养殖容量规划提供重要参考数据。

参 考 文 献

- Bacon GS, MacDonald BA, Ward JE. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles: I. Feeding activity and selection. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 1998, 219(1-2): 105-125
- Bayne BL, Iglesias JIP, Hawkins AJS, *et al.* Feeding behaviour of the mussel, *Mytilus edulis*: Responses to variations in quantity and organic content of the seston. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 1993, 73(4): 813-829
- Feng X, Chen PM, Qin CX. Advancement of the study on respiratory metabolism of fishery resources organism. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(4): 92-96 [冯雪, 陈丕茂, 秦传新. 渔业资源生物呼吸代谢研究进展. *广东农业科学*, 2012, 39(4): 92-96]
- Jiao HF, Zheng D, Yan QN, *et al.* Effects of water temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Saccostrea cucullata*. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 692-699 [焦海峰, 郑丹, 严巧娜, 等. 温度、盐度及交互作用对僧帽牡蛎(*Saccostrea cucullata*)呼吸排泄的影响. *生态学报*, 2017, 37(2): 692-699]
- Li JB. The effects of environmental factors on energy budget of *Atrina pectinate*. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2009, 42-49 [李金碧. 环境因子对栉江珧能量收支的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2009, 42-49]
- Li JW, Zhu CB, Guo YJ, *et al.* Experimental study of bioturbation by *Sipunculus nudus* in a polyculture system. *Aquaculture*, 2015, 437(9): 175-181
- Liu XJ, Shen XS, Huang GQ, *et al.* Effects of salinity and body weight on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Sipunculus nudus* Linnaeus. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 64-69 [刘旭佳, 沈夏霜, 黄国强, 等. 盐度和规格对光裸方格星虫耗氧率及排氨率的影响. *水产学报*, 2017, 41(1): 64-69]
- Lu YZ, Wang QH, Du XD. Effects of salinity and body weight on the oxygen consumption and ammonia excretion rates of *Sipunculus nudus* Linnaeus. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, 32(1): 87-91 [逯云召, 王庆恒, 杜晓东. 温度和体质量对光裸星虫排氨率和耗氧率的影响. *广东海洋大学学报*, 2012, 32(1): 87-91]
- Navarro E, Larretxea X. The basis for a functional response to variable food quantity and quality in cockles *Cerastoderma edule* (Bivalvia, Cardiidae). *Physiological Zoology*, 1994, 67(2): 468-496
- Qian ZX, Fang YF. Research progress about specific dynamical action in the marine species. *Journal of Marine Sciences*, 2005, 23(3): 30-35 [钱周兴, 方一峰. 特殊动力作用在海洋生物中的研究进展. *海洋学研究*, 2005, 23(3): 30-35]
- Shi B, Xu T, Ma S. Effect of salinity on the oxygen consumption rate, ammonia excretion rate of *Arca subcrena* Lischke. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(1): 107-108 [史宝, 徐涛, 马甦. 盐度对毛蚶(*Arca subcrena* Lischke)呼吸与代谢的影响. *海洋湖沼通报*, 2008(1): 107-108]
- Tang BJ. Effects of environmental factors and food on the energy budget and larval development of *Meretrix meretrix*. Master's Thesis of Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2005, 35-40 [唐保军. 环境因子和饵料对文蛤能量收支与幼虫生长发育的影响. 中国科学院研究生院(海洋研究所)硕士研究生学位论文, 2005, 35-40]
- Wang HY, Xue QZ, Li J. Effects of diet concentrations on respiration rate and ammonia excretion of clam *Ruditapes philippinaru*. *Marine Sciences*, 2001, 25(4): 37-39 [王海艳, 薛钦昭, 李军. 饵料浓度对菲律宾蛤仔呼吸和排泄的影响. *海洋科学*, 2001, 25(4): 37-39]
- Ward JE, Gassell HK, MacDonald BA. Chemoreception in the sea scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). I. Stimulatory effects of phytoplankton metabolites on clearance and ingestion rates. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 1992, 163(2): 235-250
- Wu WG, Zhang JH, Fang JG, *et al.* Effects of salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rate of different sizes of *Bullacta exarata*. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(9): 2457-2461 [吴文广, 张继红, 方建光, 等. 盐度对不同规格泥螺耗氧率和排氨率的影响. *生态学杂志*, 2013, 32(9): 2457-2461]
- Xia SD. Study on feeding behavior and protein requirement of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicas*. Doctoral Dissertation of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2012, 70-75 [夏苏东. 刺参幼参摄食行为与蛋白质营养需要研究. 中国科学院研究生院(海洋研究所)博士研究生学位论文, 2012, 70-75]
- Xu MZ, Zhang Q, Tong T, *et al.* Effects of dietary Zinc content on growth performance, body composition, coelomic fluid zinc content and alkaline phosphatase activity of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(7): 2292-2299 [许明珠, 张琴, 童童, 等. 饲料锌含量对方格星虫稚虫生长性能、体成分、体腔液中锌含量及碱性磷酸酶活性的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(7): 2292-2299]

Yuan XT, Yang HS, Zhou Y, *et al.* Salinity effect on respiration and excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2006, 37(4):

348–354 [袁秀堂, 杨红生, 周毅, 等. 盐度对刺参 (*Apostichopus japonicus*)呼吸和排泄的影响. *海洋与湖沼*, 2006, 37(4): 348–354]

(编辑 冯小花)

Effects of Suspended Feed Amount on Oxygen Consumption Rate and Ammonia Excretion Rate of Different Sized *Sipunculus nudus* Linnaeus

LIU Xujia¹⊙, SHEN Xiashuang², HUANG Guoqiang³, PENG Yinhui¹, WU Lihong²

(1. Guangxi key laboratory of Marine Biotechnology, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000;

2. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004;

3. Ocean College, Qinzhou University, Qinzhou 535011)

Abstract Peanut-worms *Sipunculus nudus* are exploited as a popular seafood in international and domestic markets due to high nutritional and pharmaceutical value. In recent years, over-exploitation of *S. nudus* has caused that natural resource to be degraded greatly, therefore study on *S. nudus* respiratory metabolism needs to be carried out to better understand the culture capacity and sustainable development of *S. nudus* resources. The effects of suspended feed concentration (5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L) and body weight S(1.58±0.48 g), M(4.90±1.06 g) and L(7.96±0.94 g) on oxygen consumption rate (OR) and ammonia excretion rate (AR) rate of *Sipunculus nudus* Linnaeus were studied using experimental ecology methods. The results indicated that suspended feed concentration had significant effects on OR and AR ($P<0.05$), and interaction of the both factors had a significant effect on OR and AR ($P<0.01$). When feed concentration reached 15 mg/L, the OR and AR decreased significantly. Both the OR and AR decreased with the increasing feed concentration. The relationship between OR or AR and suspended feed concentration can be represented by the cubic function $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$, where a values of OR or AR ranged in 0.003~0.033 and 0.0003~0.004, b values ranged in -1.698~-0.053 and -0.172~-0.003, c values ranged in -1.805~18.873 and -0.326~1.972, d values ranged in -15.675~79.940 and 3.634~14.008. Both the OR and AR increased with increasing body weight. The relationship between OR and body weight can be represented by the exponential function $y = ae^{bx}$, where a values ranged in 8.082~20.934 and b values ranged in 0.217~0.270. The relationship between AR and body weight can be represented by the power function $y = ax^b$, where a values ranged in 1.441~3.598, and b values ranged in 0.521~0.747. The O/N value ranged from 1.26 to 10.60. The study showed that high suspended feed concentration had a negative influence on *S. nudus*; once it reached 20 mg/L, the OR and AR fluctuated and declined significantly.

Key words *Sipunculus nudus* Linnaeus; Suspended feed concentration; Body weight; Oxygen consumption rate; Ammonia excretion rate

⊙ Corresponding author: LIU Xujia, E-mail: lxx0312@126.com