

◆海洋科学◆

方格星虫滩涂养殖对沉积物 TOC 和 TN 垂直分布的影响*

刘旭佳¹, 黄国强^{2**}, 陆洁³, 彭银辉⁴, 潘绘竹¹, 刘永宏²

(1. 广西科学院, 广西海洋科学院(广西红树林中心), 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 广西中医药大学海洋药物研究院, 广西南宁 530200; 3. 广西海洋环境监测中心站, 广西北海 536000; 4. 北部湾大学海洋学院, 广西海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535011)

摘要:为探讨方格星虫(*Sipunculus nudus*)滩涂养殖对沉积物环境的影响,采用滩涂围隔法研究方格星虫不同养殖密度(0、5、10、15、20 ind./m²)条件下围隔中沉积物总有机碳(TOC)和总氮(TN)含量的季节变化。结果显示,10 ind./m² 养殖密度处理下的方格星虫成活率和规格最高,分别为(61.1±36.1)%和(5.21±0.69)g/ind.,但不同处理间差异不显著($P>0.05$)。方格星虫不同密度养殖过程中,滩涂沉积物的 TOC 含量基本呈随着深度的增加而升高的趋势,且不同深度间 TOC 含量存在显著差异($P<0.05$);而 TN 含量垂直分布比较均匀,说明方格星虫生物扰动会导致有机质向下层迁移。整体上来看,所有养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 平均含量分别呈现“V”型和“Λ”型的季节变化规律。15 ind./m² 和 20 ind./m² 养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 的全年平均含量低于空白对照;所有养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TN 的全年平均含量均高于空白对照。研究结果表明方格星虫属于滩涂低碳养殖物种。

关键词:方格星虫;围隔;沉积物;有机碳;总氮

中图分类号:Q178.5 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)04-0653-10

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230928.004

方格星虫(*Sipunculus nudus*)隶属星虫动物门(Sipuncula)^[1],在我国广西北部湾地区分布资源最多,同时也是广西沿海滩涂养殖的重要物种之一,在广西沿海的渔业经济中占据重要地位^[2-5]。方格星虫是一种底栖无脊椎动物,主要以表层沉积物中有机质、细菌和碎屑为食物来源。方格星虫主要通过摄食

将表层有机颗粒向深层搬运与封存^[6,7]。当大规模高密度养殖时,可能会导致局部沉积物环境富营养化,对区域养殖容量产生重要影响,在一定理化条件下有机质集中分解释放时,会消耗大量氧气,导致底质和水质环境恶化^[6]。目前,对方格星虫的研究主要集中在繁育、营养以及生态习性等方面^[4,6-10],其中李

收稿日期:2022-07-12

修回日期:2022-08-08

* 国家自然科学基金项目(31160532),广西自然科学基金项目(2015GXNSFBA139081)和广西八桂学者专项经费(05019055)资助。

【第一作者简介】

刘旭佳(1986-),女,博士,副研究员,主要从事养殖生态学研究,E-mail:lxu0312@126.com。

【**通信作者】

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

【引用本文】

刘旭佳,黄国强,陆洁,等.方格星虫滩涂养殖对沉积物 TOC 和 TN 垂直分布的影响[J].广西科学,2023,30(4):653-662.

LIU X J, HUANG G Q, LU J, et al. Effects of *Sipunculus nudus* Mudflat Aquaculture on the Vertical Distribution of TOC and TN in Sediments [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(4): 653-662.

俊伟等^[11,12]研究了方格星虫扰动对沉积物及间隙水的影响,苏治南等^[13]研究了方格星虫采捕过程对海草床生物群落的影响,而关于方格星虫不同养殖密度对滩涂沉积物的影响还未见报道。本研究通过滩涂围隔实验,研究方格星虫不同养殖密度对滩涂沉积物 TOC 和 TN 垂直分布的季节含量变化的影响,为评估方格星虫滩涂养殖对滩涂环境的影响提供依据。

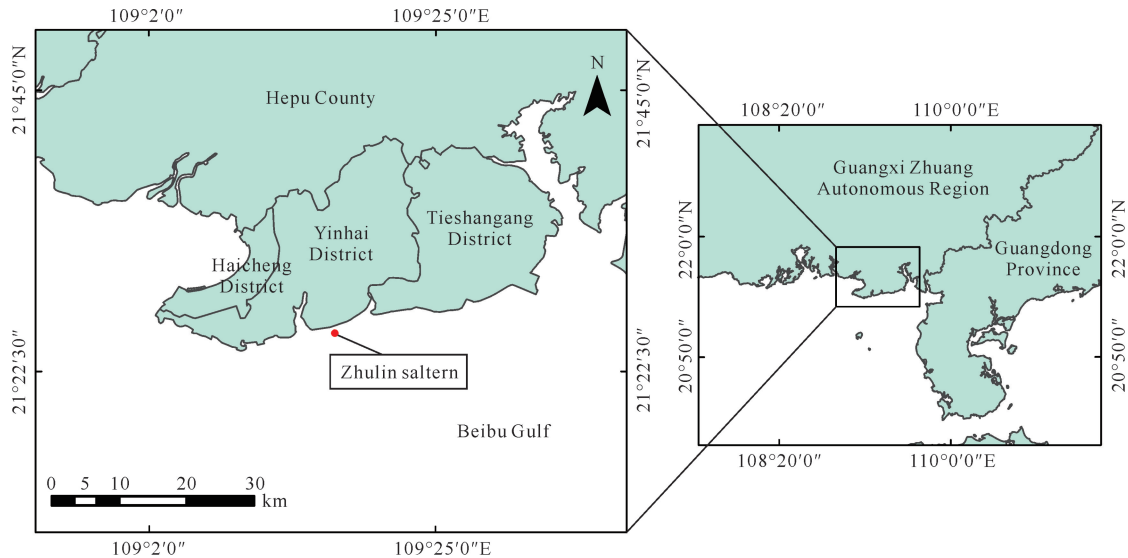


图1 实验地点

Fig. 1 Location of experiment

1.2 围隔埋设

在滩涂大潮期间,待潮水退至低潮线时,将 15 个直径为 200 cm、高 100 cm 的 PVC 板围隔按 10 m 间距埋设在沙滩上。在埋设围隔的过程中,挖出约 80 cm 的沙层,将其中的方格星虫、沙蚕 (*Nereis succinea*)、双壳贝类等大型底栖生物清除,沙层无需人工搅动。将围隔放置稳妥后,用橡皮锤将围隔敲压至只高出沉积物 10 cm,最后将沙回填。围隔上沿用孔径为 1 cm 的尼龙渔网覆盖,防止大型动物进入(图 2)。

1.3 实验设计

方格星虫滩涂养殖围隔实验共设计 5 个密度处理组,分别为 0(空白对照)、5、10、15、20 ind./m²,每个围隔投放方格星虫的数量分别为 0、18、36、54、72 条,方格星虫投放规格为 (0.51 ± 0.14) g/ind.,养殖 1 年,每个处理设置 3 个重复,15 个围隔随机分配。实验期间,每 2 个月取样测定滩涂沉积物中总有机碳(TOC)和总氮(TN)含量。

1.4 样品采集、处理与测定

根据潮汐涨落和天气的实际情况,采样日期分别为 2015 年 1 月 22 日、2015 年 3 月 28 日、2015 年 5

1 材料与方法

1.1 实验地点与时间

实验在方格星虫自然分布区域内进行,地点位于广西北海市银海区福成镇竹林盐场拦海大坝外滩涂(图 1),坐标 21°26′5.49″N, 109°16′42.78″E,时间为 2015 年 1 月至 2016 年 1 月。



图2 围隔埋设与渔网覆盖

Fig. 2 Enclosure burying and fishing net covering

月 25 日、2015 年 8 月 5 日、2015 年 10 月 14 日、2015 年 12 月 11 日和 2016 年 1 月 21 日。使用有机玻璃柱状沉积物采样器(直径 5 cm、长度 100 cm)进行采样,同时配有手柄和锤,确保取到 100 cm 深度的样品。将围隔距圆心距离等分为圆心区、中间区和边沿区,每次取样在这 3 个区随机取样 1 管,100 cm 柱状沉积物按 10 cm 分层取样,然后带回实验室处理。

带回实验室的样品立即称量后放入玻璃表面皿中,在 70 °C 烘干至恒重,粉碎,60 目过筛后装瓶,放置干燥器中保存。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,然后 70 °C 烘干至恒重后保存待测。沉积物 TOC 和 TN 含量利用 Perkin-Elmer 240C 元素分析仪(Perkin-Elmer Company, USA)进行测定。

1.5 统计分析

采用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较,以 $P < 0.05$ 作为统计差异显著标准。

2 结果与分析

2.1 不同养殖密度处理围隔中方格星虫生长情况

由表 1 可知,10 ind./m² 处理组方格星虫成活率和平均体质量最大,分别为(61.1 ± 36.1)% 和(5.21 ± 0.69) g/ind., 不同处理组间无显著差异($P > 0.05$)。不同养殖密度处理方格星虫总质量之间存在显著差异,5 ind./m² 处理组显著低于 20 ind./m² 处理组($P < 0.05$)。

2.2 不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 与 TN 垂直分布及季节变化

实验开始时,围隔中滩涂沉积物在 0 ind./m² 养殖密度处理、不同深度下的 TOC 与 TN 含量如表 2 所示。从表 2 可以看出,围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量分布比较均匀,其中浅层 TOC 含量略高于深层。

由表 3 可知,方格星虫养殖 2 个月后,不同养殖

密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量基本呈现出由表层向深层增加的趋势,不同深度间 TOC 含量存在统计学差异,而空白对照处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量垂直分布相对较均匀。不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物在各深度下 TN 含量均无显著差异,仅在 30 cm 深度不同养殖密度下存在显著差异($P < 0.05$)。

表 1 不同养殖密度处理围隔中方格星虫生长状况

Table 1 Growth status of *S. nudus* in enclosures treated with different breeding densities

密度/ (ind./m ²) Density/ (ind./m ²)	数量/ind. Number/ ind.	成活率/% Survival rate/%	总质量/g Total weight/g	平均体质量/ (g/ind.) Average body weight/ (g/ind.)
5	18	55.6 ± 5.6	46.0 ± 16.5 ^a	4.54 ± 1.23
10	36	61.1 ± 36.1	108.9 ± 48.0 ^{ab}	5.21 ± 0.69
15	54	40.1 ± 12.3	89.2 ± 35.5 ^{ab}	4.02 ± 0.49
20	72	56.5 ± 17.1	183.6 ± 97.7 ^b	4.32 ± 0.97

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

表 2 2015 年 1 月 22 日空白对照处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 2 Contents of TOC and TN in mudflat sediments in the blank control treatment enclosures on January 22, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%	TN/%
10	0.046 ± 0.016	0.029 ± 0.007
20	0.042 ± 0.006	0.043 ± 0.004
30	0.045 ± 0.007	0.043 ± 0.004
40	0.037 ± 0.002	0.043 ± 0.004
50	0.025 ± 0.008	0.038 ± 0.002
60	0.024 ± 0.010	0.045 ± 0.001
70	0.029 ± 0.011	0.045 ± 0.005
80	0.021 ± 0.010	0.037 ± 0.004
90	0.020 ± 0.012	0.048 ± 0.004
100	0.011 ± 0.007	0.035 ± 0.012

表 3 2015 年 3 月 28 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 3 Contents of TOC and TN in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on March 28, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.072 ± 0.032	0.039 ± 0.003 ^a	0.044 ± 0.002 ^a	0.042 ± 0.004 ^a	0.059 ± 0.016 ^a	0.035 ± 0.003	0.033 ± 0.004	0.039 ± 0.005	0.036 ± 0.001	0.033 ± 0.002
20	0.046 ± 0.004	0.045 ± 0.002 ^{ab}	0.050 ± 0.002 ^{ab}	0.049 ± 0.003 ^a	0.049 ± 0.007 ^a	0.032 ± 0.002	0.035 ± 0.004	0.037 ± 0.005	0.037 ± 0.002	0.033 ± 0.003

续表

Continued table

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
30	0.054 ± 0.002	0.047 ± 0.001 ^{ab}	0.057 ± 0.004 ^{ab}	0.057 ± 0.004 ^{ab}	0.056 ± 0.005 ^a	0.040 ± 0.005 ^B	0.025 ± 0.001 ^A	0.038 ± 0.005 ^{AB}	0.042 ± 0.004 ^{AB}	0.036 ± 0.003 ^{AB}
40	0.058 ± 0.002	0.054 ± 0.003 ^{abc}	0.054 ± 0.011 ^{ab}	0.075 ± 0.009 ^{ab}	0.065 ± 0.005 ^a	0.031 ± 0.001	0.031 ± 0.004	0.040 ± 0.005	0.041 ± 0.006	0.035 ± 0.002
50	0.070 ± 0.004	0.068 ± 0.004 ^{bcd}	0.069 ± 0.006 ^{abc}	0.083 ± 0.004 ^{ab}	0.073 ± 0.006 ^a	0.044 ± 0.005	0.041 ± 0.007	0.038 ± 0.006	0.043 ± 0.001	0.046 ± 0.005
60	0.078 ± 0.003	0.078 ± 0.005 ^{cde}	0.075 ± 0.006 ^{bc}	0.047 ± 0.011 ^a	0.076 ± 0.007 ^a	0.050 ± 0.003	0.039 ± 0.003	0.042 ± 0.008	0.043 ± 0.006	0.043 ± 0.004
70	0.087 ± 0.006	0.077 ± 0.007 ^{cde}	0.075 ± 0.004 ^{bc}	0.085 ± 0.010 ^{ab}	0.076 ± 0.004 ^a	0.050 ± 0.001	0.037 ± 0.004	0.036 ± 0.002	0.042 ± 0.007	0.033 ± 0.006
80	0.079 ± 0.002	0.079 ± 0.005 ^{cde}	0.083 ± 0.004 ^c	0.089 ± 0.003 ^{ab}	0.070 ± 0.009 ^a	0.037 ± 0.004	0.037 ± 0.004	0.038 ± 0.001	0.045 ± 0.004	0.037 ± 0.001
90	0.087 ± 0.009	0.090 ± 0.008 ^{de}	0.092 ± 0.003 ^c	0.103 ± 0.043 ^b	0.095 ± 0.007 ^{ab}	0.044 ± 0.002	0.047 ± 0.007	0.037 ± 0.002	0.042 ± 0.004	0.045 ± 0.005
100	0.118 ± 0.039	0.102 ± 0.012 ^e	0.116 ± 0.006 ^d	0.135 ± 0.046 ^b	0.138 ± 0.043 ^b	0.044 ± 0.003	0.037 ± 0.003	0.046 ± 0.001	0.037 ± 0.001	0.043 ± 0.002

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), different capital letter in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$).

由表 4 和表 5 可知, 随着实验时间的延长, 在 2015 年 5 月 25 日和 2015 年 8 月 5 日, 所有处理组围隔中滩涂沉积物 TOC 含量基本上呈现出随着深度增加而升高的趋势, 且不同深度间 TOC 含量有统计学差异。5 个养殖密度处理围隔中滩涂沉积物在不同深度下 TN 含量均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 4 2015 年 5 月 25 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 4 Contents of TOC and TN contents in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on May 25, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.043 ± 0.008 ^a	0.043 ± 0.006 ^a	0.042 ± 0.007 ^a	0.031 ± 0.001 ^a	0.032 ± 0.003 ^a	0.074 ± 0.009	0.078 ± 0.015	0.074 ± 0.025	0.085 ± 0.013	0.065 ± 0.014
20	0.057 ± 0.006 ^{ab}	0.052 ± 0.011 ^{ab}	0.042 ± 0.003 ^a	0.042 ± 0.012 ^{ab}	0.039 ± 0.001 ^{ab}	0.067 ± 0.007	0.083 ± 0.004	0.066 ± 0.009	0.067 ± 0.017	0.067 ± 0.006
30	0.058 ± 0.010 ^{ab}	0.060 ± 0.009 ^{ab}	0.051 ± 0.008 ^a	0.047 ± 0.002 ^{abc}	0.053 ± 0.009 ^{abc}	0.078 ± 0.009	0.083 ± 0.013	0.056 ± 0.004	0.082 ± 0.002	0.073 ± 0.010
40	0.062 ± 0.006 ^{ab}	0.057 ± 0.005 ^{ab}	0.054 ± 0.006 ^a	0.052 ± 0.002 ^{abc}	0.063 ± 0.004 ^{abcd}	0.067 ± 0.016	0.050 ± 0.014	0.057 ± 0.011	0.074 ± 0.006	0.067 ± 0.011
50	0.066 ± 0.007 ^{ab}	0.068 ± 0.010 ^{ab}	0.062 ± 0.005 ^{ab}	0.067 ± 0.007 ^{abc}	0.059 ± 0.002 ^{bcd}	0.072 ± 0.015	0.054 ± 0.009	0.061 ± 0.012	0.072 ± 0.009	0.058 ± 0.015
60	0.070 ± 0.008 ^{ab}	0.073 ± 0.013 ^{ab}	0.059 ± 0.003 ^{ab}	0.049 ± 0.013 ^{abc}	0.066 ± 0.008 ^{bcd}	0.066 ± 0.007	0.061 ± 0.012	0.069 ± 0.010	0.066 ± 0.009	0.073 ± 0.004
70	0.056 ± 0.009 ^{ab}	0.073 ± 0.011 ^{ab}	0.072 ± 0.016 ^{ab}	0.080 ± 0.012 ^{abc}	0.079 ± 0.007 ^{bcd}	0.066 ± 0.012	0.074 ± 0.012	0.067 ± 0.011	0.083 ± 0.007	0.078 ± 0.004
80	0.089 ± 0.009 ^b	0.068 ± 0.007 ^{ab}	0.064 ± 0.007 ^{ab}	0.067 ± 0.004 ^{abc}	0.077 ± 0.008 ^{cd}	0.062 ± 0.009	0.062 ± 0.009	0.071 ± 0.008	0.079 ± 0.003	0.066 ± 0.006
90	0.085 ± 0.009 ^b	0.073 ± 0.001 ^{ab}	0.080 ± 0.009 ^{ab}	0.071 ± 0.005 ^{bc}	0.078 ± 0.009 ^{cd}	0.080 ± 0.011	0.068 ± 0.006	0.073 ± 0.009	0.067 ± 0.006	0.078 ± 0.006
100	0.077 ± 0.002 ^{ab}	0.091 ± 0.004 ^b	0.094 ± 0.009 ^b	0.084 ± 0.010 ^c	0.089 ± 0.009 ^d	0.079 ± 0.009	0.068 ± 0.007	0.074 ± 0.007	0.071 ± 0.007	0.067 ± 0.001

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

表 5 2015 年 8 月 5 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 5 Contents of TOC and TN contents in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on August 5, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.052 ± 0.008 ^{abc}	0.032 ± 0.002 ^a	0.039 ± 0.008 ^a	0.038 ± 0.006 ^a	0.039 ± 0.006 ^a	0.067 ± 0.018	0.090 ± 0.007	0.088 ± 0.029	0.042 ± 0.019	0.074 ± 0.024
20	0.040 ± 0.004 ^a	0.036 ± 0.002 ^{ab}	0.039 ± 0.004 ^a	0.038 ± 0.003 ^a	0.044 ± 0.004 ^{ab}	0.066 ± 0.023	0.080 ± 0.008	0.081 ± 0.035	0.052 ± 0.020	0.071 ± 0.022
30	0.049 ± 0.014 ^{abc}	0.045 ± 0.002 ^{bc}	0.045 ± 0.001 ^{ab}	0.044 ± 0.006 ^{ab}	0.050 ± 0.005 ^{abc}	0.076 ± 0.027	0.098 ± 0.011	0.087 ± 0.019	0.064 ± 0.019	0.084 ± 0.028
40	0.055 ± 0.003 ^{abc}	0.051 ± 0.002 ^{cd}	0.052 ± 0.003 ^{abc}	0.054 ± 0.001 ^{abc}	0.055 ± 0.003 ^{bcd}	0.071 ± 0.028	0.092 ± 0.003	0.062 ± 0.020	0.075 ± 0.023	0.071 ± 0.021
50	0.055 ± 0.001 ^{abc}	0.057 ± 0.005 ^{de}	0.052 ± 0.004 ^{abc}	0.060 ± 0.004 ^{abc}	0.055 ± 0.005 ^{bcd}	0.066 ± 0.022	0.111 ± 0.015	0.065 ± 0.023	0.078 ± 0.022	0.077 ± 0.026
60	0.060 ± 0.001 ^{abc}	0.060 ± 0.017 ^{de}	0.063 ± 0.002 ^{bcd}	0.055 ± 0.004 ^{bcd}	0.060 ± 0.003 ^{cd}	0.069 ± 0.021	0.092 ± 0.016	0.071 ± 0.024	0.079 ± 0.026	0.065 ± 0.018
70	0.063 ± 0.004 ^{bcd}	0.064 ± 0.002 ^{def}	0.061 ± 0.004 ^{bcd}	0.063 ± 0.003 ^{cde}	0.061 ± 0.003 ^{cd}	0.071 ± 0.020	0.090 ± 0.008	0.065 ± 0.021	0.077 ± 0.024	0.068 ± 0.021
80	0.069 ± 0.003 ^{cd}	0.069 ± 0.006 ^{efg}	0.063 ± 0.006 ^{bcd}	0.064 ± 0.003 ^{cde}	0.066 ± 0.001 ^d	0.069 ± 0.021	0.116 ± 0.018	0.078 ± 0.028	0.079 ± 0.025	0.067 ± 0.019
90	0.085 ± 0.009 ^d	0.068 ± 0.002 ^{fg}	0.068 ± 0.006 ^{cd}	0.079 ± 0.012 ^{de}	0.078 ± 0.009 ^d	0.077 ± 0.025	0.092 ± 0.004	0.083 ± 0.029	0.080 ± 0.025	0.080 ± 0.024
100	0.043 ± 0.018 ^{ab}	0.073 ± 0.003 ^g	0.075 ± 0.010 ^d	0.074 ± 0.004 ^c	0.089 ± 0.009 ^d	0.061 ± 0.016	0.104 ± 0.007	0.084 ± 0.024	0.073 ± 0.022	0.070 ± 0.022

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

由表 6 可知,在 2015 年 10 月 14 日,只有 10 ind./m² 养殖密度处理的围隔中滩涂沉积物 TOC 含量存在显著差异,呈现出随着深度增加而升高的趋势,其余围隔中滩涂沉积物 TOC 含量随深度增加略有上升,但差异不显著。在 30、40、60、70、80、90 cm

深度下,10 ind./m² 养殖密度处理 TOC 含量显著高于 5 ind./m² ($P < 0.05$),其余处理组间差异不显著 ($P > 0.05$)。5 个养殖密度处理围隔中滩涂沉积物在不同深度下 TN 含量均无显著差异(表 6)。

表 6 2015 年 10 月 14 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 6 Contents of TOC and TN contents in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on October 14, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.028 ± 0.007	0.017 ± 0.004	0.036 ± 0.012 ^a	0.012 ± 0.003	0.021 ± 0.005	0.077 ± 0.026	0.037 ± 0.003	0.051 ± 0.016	0.111 ± 0.043	0.096 ± 0.033
20	0.041 ± 0.013	0.016 ± 0.004	0.047 ± 0.011 ^{ab}	0.025 ± 0.006	0.017 ± 0.009	0.081 ± 0.025	0.040 ± 0.004	0.080 ± 0.029	0.089 ± 0.020	0.104 ± 0.039
30	0.031 ± 0.009 ^{AB}	0.013 ± 0.003 ^A	0.053 ± 0.004 ^{abB}	0.027 ± 0.007 ^{AB}	0.028 ± 0.009 ^{AB}	0.080 ± 0.030	0.040 ± 0.009	0.102 ± 0.031	0.102 ± 0.031	0.111 ± 0.039
40	0.039 ± 0.006 ^{AB}	0.013 ± 0.003 ^A	0.056 ± 0.004 ^{abB}	0.036 ± 0.010 ^{AB}	0.031 ± 0.010 ^{AB}	0.062 ± 0.032	0.044 ± 0.005	0.114 ± 0.035	0.102 ± 0.030	0.092 ± 0.032
50	0.045 ± 0.004	0.013 ± 0.002	0.038 ± 0.015 ^a	0.038 ± 0.010	0.031 ± 0.009	0.066 ± 0.040	0.041 ± 0.003	0.093 ± 0.037	0.090 ± 0.024	0.089 ± 0.032
60	0.039 ± 0.014 ^{AB}	0.016 ± 0.003 ^A	0.075 ± 0.006 ^{abB}	0.042 ± 0.013 ^{AB}	0.021 ± 0.011 ^{AB}	0.070 ± 0.033	0.036 ± 0.002	0.146 ± 0.039	0.093 ± 0.032	0.104 ± 0.032
70	0.044 ± 0.009 ^{AB}	0.018 ± 0.002 ^A	0.064 ± 0.003 ^{abB}	0.038 ± 0.012 ^{AB}	0.027 ± 0.012 ^{AB}	0.056 ± 0.032	0.040 ± 0.004	0.127 ± 0.036	0.104 ± 0.039	0.099 ± 0.034
80	0.040 ± 0.010 ^{AB}	0.018 ± 0.002 ^A	0.077 ± 0.010 ^{abB}	0.041 ± 0.010 ^{AB}	0.027 ± 0.011 ^{AB}	0.089 ± 0.040	0.049 ± 0.009	0.121 ± 0.030	0.102 ± 0.036	0.093 ± 0.034

续表

Continued table

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
90	0.052 ± 0.005 ^{AB}	0.025 ± 0.003 ^A	0.077 ± 0.006 ^{abB}	0.050 ± 0.017 ^{AB}	0.042 ± 0.013 ^{AB}	0.085 ± 0.033	0.043 ± 0.002	0.130 ± 0.028	0.107 ± 0.031	0.093 ± 0.028
100	0.057 ± 0.026	0.032 ± 0.010	0.088 ± 0.010 ^b	0.064 ± 0.023	0.060 ± 0.029	0.077 ± 0.010	0.040 ± 0.003	0.132 ± 0.018	0.104 ± 0.032	0.111 ± 0.038

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), different capital letters in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$).

2015年12月11日, 5个养殖密度处理下围隔中滩涂沉积物 TOC 含量基本呈现出随着深度增加而升高的趋势, 但仅 5 ind./m² 和 15 ind./m² 养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量在垂直分布上未达差异显著水平(表 7)。在 60 cm 和 100 cm 深度

下, 不同养殖密度处理之间 TOC 含量存在统计学差异。100 cm 深度下, 不同养殖密度处理之间 TN 含量存在显著差异, 其中 20 ind./m² 养殖密度处理围隔滩涂沉积物中 TN 含量显著高于 5 ind./m² ($P < 0.05$)。

表 7 2015 年 12 月 11 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 7 Contents of TOC and TN contents in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on December 11, 2015

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.033 ± 0.003 ^a	0.039 ± 0.009	0.025 ± 0.006 ^a	0.021 ± 0.010	0.036 ± 0.001 ^a	0.030 ± 0.006	0.029 ± 0.002	0.032 ± 0.003	0.025 ± 0.004	0.030 ± 0.009
20	0.041 ± 0.004 ^{ab}	0.034 ± 0.004	0.037 ± 0.004 ^a	0.031 ± 0.005	0.038 ± 0.001 ^{ab}	0.027 ± 0.005	0.030 ± 0.003	0.032 ± 0.004	0.030 ± 0.001	0.032 ± 0.004
30	0.045 ± 0.005 ^{ab}	0.040 ± 0.002	0.042 ± 0.005 ^{ab}	0.039 ± 0.008	0.043 ± 0.002 ^{ab}	0.030 ± 0.002	0.027 ± 0.002	0.034 ± 0.003	0.047 ± 0.013	0.033 ± 0.004
40	0.054 ± 0.005 ^{ab}	0.049 ± 0.002	0.049 ± 0.002 ^{ab}	0.050 ± 0.007	0.053 ± 0.001 ^{bc}	0.026 ± 0.001	0.036 ± 0.007	0.031 ± 0.002	0.038 ± 0.010	0.033 ± 0.003
50	0.054 ± 0.003 ^{ab}	0.052 ± 0.005	0.057 ± 0.013 ^{ab}	0.042 ± 0.001	0.052 ± 0.004 ^{bc}	0.029 ± 0.004	0.030 ± 0.001	0.032 ± 0.002	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.003
60	0.057 ± 0.003 ^{abB}	0.053 ± 0.003 ^B	0.053 ± 0.003 ^{abB}	0.030 ± 0.003 ^A	0.060 ± 0.001 ^{cdB}	0.031 ± 0.004	0.030 ± 0.004	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.001	0.033 ± 0.004
70	0.057 ± 0.001 ^{ab}	0.061 ± 0.002	0.061 ± 0.002 ^{ab}	0.039 ± 0.012	0.063 ± 0.004 ^{cd}	0.030 ± 0.003	0.028 ± 0.004	0.030 ± 0.003	0.028 ± 0.002	0.030 ± 0.001
80	0.060 ± 0.003 ^b	0.059 ± 0.004	0.072 ± 0.007 ^{ab}	0.050 ± 0.011	0.064 ± 0.005 ^{cd}	0.034 ± 0.004	0.035 ± 0.002	0.031 ± 0.003	0.033 ± 0.004	0.035 ± 0.005
90	0.081 ± 0.009 ^c	0.064 ± 0.009	0.121 ± 0.047 ^b	0.049 ± 0.004	0.073 ± 0.004 ^d	0.035 ± 0.006	0.024 ± 0.002	0.050 ± 0.011	0.038 ± 0.003	0.034 ± 0.003
100	0.093 ± 0.009 ^{cB}	0.056 ± 0.014 ^A	0.088 ± 0.005 ^{abB}	0.054 ± 0.007 ^A	0.090 ± 0.006 ^{cB}	0.029 ± 0.005 ^{AB}	0.022 ± 0.003 ^A	0.033 ± 0.002 ^{AB}	0.035 ± 0.001 ^{AB}	0.039 ± 0.003 ^B

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), different capital letters in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$).

由表 8 可知, 2016 年 1 月 21 日, 所有围隔中滩涂沉积物 TOC 含量基本呈现出随着深度增加而升高的趋势, 但只有 0 ind./m² 和 5 ind./m² 养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量在垂直分布上达到显著水平 ($P < 0.05$)。100 cm 深度下, 不同养殖

密度处理之间围隔中滩涂沉积物 TN 含量存在显著差异, 其中 5、10、15、20 ind./m² 养殖密度处理下围隔中滩涂沉积物 TN 含量显著高于 0 ind./m² ($P < 0.05$)。

表 8 2016 年 1 月 21 日不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量

Table 8 Contents of TOC and TN contents in mudflat sediments in the enclosures treated with different breeding densities on January 21, 2016

深度/cm Depth/cm	TOC/%					TN/%				
	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²	0 ind./m ²	5 ind./m ²	10 ind./m ²	15 ind./m ²	20 ind./m ²
10	0.023 ± 0.011 ^a	0.041 ± 0.010 ^a	0.046 ± 0.014	0.029 ± 0.014	0.032 ± 0.016	0.048 ± 0.017	0.083 ± 0.006	0.051 ± 0.015	0.054 ± 0.003	0.052 ± 0.012
20	0.030 ± 0.012 ^a	0.044 ± 0.006 ^a	0.040 ± 0.022	0.033 ± 0.014	0.038 ± 0.017	0.052 ± 0.017	0.073 ± 0.009	0.075 ± 0.019	0.056 ± 0.004	0.082 ± 0.007
30	0.039 ± 0.018 ^{ab}	0.052 ± 0.013 ^a	0.063 ± 0.024	0.042 ± 0.015	0.037 ± 0.007	0.058 ± 0.022	0.054 ± 0.022	0.073 ± 0.007	0.058 ± 0.006	0.077 ± 0.017
40	0.037 ± 0.015 ^{ab}	0.060 ± 0.009 ^a	0.050 ± 0.010	0.034 ± 0.012	0.041 ± 0.007	0.066 ± 0.025	0.082 ± 0.006	0.076 ± 0.015	0.063 ± 0.004	0.081 ± 0.025
50	0.046 ± 0.011 ^{ab}	0.055 ± 0.002 ^a	0.051 ± 0.011	0.044 ± 0.008	0.051 ± 0.007	0.050 ± 0.016	0.076 ± 0.007	0.074 ± 0.005	0.062 ± 0.004	0.074 ± 0.007
60	0.043 ± 0.018 ^{ab}	0.052 ± 0.001 ^a	0.063 ± 0.013	0.046 ± 0.008	0.057 ± 0.010	0.063 ± 0.022	0.062 ± 0.014	0.080 ± 0.008	0.068 ± 0.007	0.075 ± 0.007
70	0.048 ± 0.012 ^{ab}	0.051 ± 0.003 ^a	0.062 ± 0.018	0.043 ± 0.009	0.059 ± 0.009	0.059 ± 0.019	0.069 ± 0.011	0.077 ± 0.015	0.064 ± 0.002	0.089 ± 0.001
80	0.046 ± 0.018 ^{ab}	0.071 ± 0.008 ^a	0.081 ± 0.032	0.040 ± 0.005	0.059 ± 0.009	0.061 ± 0.021	0.087 ± 0.003	0.076 ± 0.011	0.077 ± 0.011	0.086 ± 0.006
90	0.066 ± 0.013 ^{ab}	0.179 ± 0.013 ^b	0.067 ± 0.015	0.055 ± 0.005	0.065 ± 0.006	0.062 ± 0.016	0.086 ± 0.010	0.070 ± 0.006	0.073 ± 0.008	0.077 ± 0.009
100	0.101 ± 0.005 ^b	0.191 ± 0.014 ^b	0.121 ± 0.035	0.077 ± 0.026	0.082 ± 0.023	0.038 ± 0.012 ^A	0.073 ± 0.003 ^B	0.078 ± 0.011 ^B	0.071 ± 0.009 ^B	0.073 ± 0.004 ^B

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), different capital letters in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$).

整体来看,围隔中沉积物 TOC 含量的垂直分布存在季节变动,5、8、10 月 TOC 含量随着温度的升高在垂直分布上存在明显差异。在 2016 年温度最低的 1 月,10、15、20 ind./m² 高养殖密度处理下对 TOC 扰动较大,垂直分布无显著差异。沉积物中 TN 含量的垂直分布与 TOC 明显不同,在整个实验周期的不同取样时间始终保持较高的均匀性,未出现过随深度增加升高或降低的现象。

2.3 不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 与 TN 平均含量的季节变化

不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 与 TN 平均含量的季节变化如图 3 和图 4 所示。从图 3 可以看出,10 ind./m² 养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量未出现明显的季节差异。整体来看,所有养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量呈现“V”型季节变化规律(图 3),而 TN 含量呈现“Λ”型季节变化规律(图 4)。

不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 的全年平均含量如图 5 所示。整体上来看,空白

对照处理围隔中滩涂沉积物 TOC 全年平均含量高于 15、20 ind./m² 养殖密度处理,而沉积物 TN 全年平均含量均低于其余养殖密度处理。

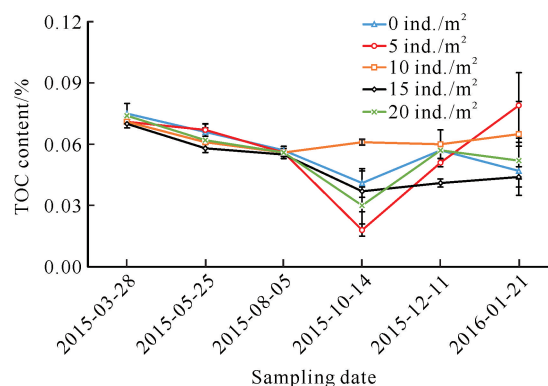


图 3 不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 平均含量的季节变动

Fig. 3 Seasonal variation of mudflat sediment TOC average content in enclosures treated with different breeding densities

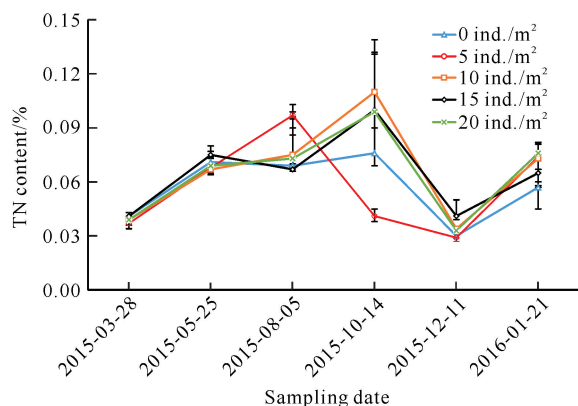


图4 不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TN 平均含量的季节变动

Fig. 4 Seasonal variation of mudflat sediment TN average content in enclosures treated with different breeding densities

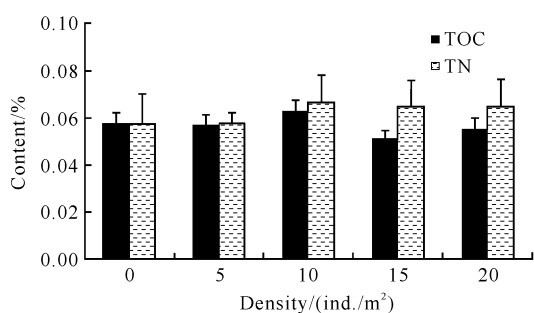


图5 不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 的全年平均含量

Fig. 5 Annual average content of mudflat sediment TOC and TN in enclosures treated with different breeding densities

3 讨论

3.1 方格星虫不同养殖密度处理围隔中生长情况

方格星虫在不同养殖密度下滩涂养殖 1 a, 成活率和平均体质量未呈现出显著差异, 其中 10 ind./m² 处理的成活率与平均体质量分别为 (61.1 ± 36.1)% 和 (5.21 ± 0.69) g/ind., 略高于其余养殖密度处理。文雪等^[6] 在北海市福成镇竹林村沿海滩涂进行方格星虫人工养殖试验, 大规格苗种 (体质量 0.39 g、养殖密度 22.8 ind./m²) 养殖 423 d, 成虫平均体质量达到 11.11 g/ind., 养殖成活率为 74.85%。文雪等^[7] 在北海市合浦县西场镇沿海滩涂进行小规格和大规格方格星虫养殖试验, 小规格 (体质量 0.05 g, 养殖密度 30.9 ind./m²)、大规格 (体质量 0.39 g, 养殖密度 22.6 ind./m²) 经过 439 d 养殖周期, 平均体质量分别为 10.2、11.6 g/ind., 成活率

分别为 45.4% 和 70.3%。本研究野外实验放养的方格星虫苗种为大规格, 养殖成活率与文雪等^[6,7] 的生产数据比较接近, 但是实验结束后方格星虫的平均体质量却较低。本次野外滩涂实验虽然与文雪等^[6] 的研究属于同一片养殖海区, 但是滩涂养殖容量未开展相关研究, 除了实验周期短 100 多天外, 体质量差异较大的原因还有待进一步深入研究。结合本研究生长情况和文献结果推断, 广西北海市沿海滩涂的方格星虫养殖密度可以达到 20 ind./m², 其明确的养殖容量仍需进一步实验研究。

3.2 方格星虫不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 和 TN 含量的垂直分布

本研究中, 方格星虫不同养殖密度滩涂养殖对围隔中沉积物 TOC 含量分布有显著影响, 随着滩涂养殖的进行, TOC 含量存在随着深度增加而升高的趋势, 说明方格星虫生物扰动能够加速沉积物中 TOC 分层分布的出现。沉积物中主要是颗粒性有机碳, 方格星虫对颗粒性有机碳造成下行迁移^[11]。方格星虫摄食表层沉积物中的有机质, 一部分有机质转化为自身生物量, 通过掘穴、排泄等活动将表层有机质向深层搬运、迁移以及封存^[11], 这与前人研究中星虫类通过摄食和排泄活动将有机物和营养元素带入沉积物并向沉积物深层输送的结果一致^[14-16]。本研究结果表明, 15 ind./m² 和 20 ind./m² 高养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 全年平均含量低于空白对照处理, 说明方格星虫是一种滩涂低碳养殖品种。空白对照与不同养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 含量出现季节变化规律, 推测与沉积物中微生物活动有关, 北海 5-10 月平均气温 25-29 °C, 沉积物中微生物活跃, 微生物代谢会消耗大量的有机质。

研究表明, 方格星虫营穴居生活, 在滩涂沉积物上会留下明显“虫眼”结构, 结构中富含氧化后的白色细沙^[12], 因此方格星虫不同养殖密度生理活动会造成沉积物有机质、含氧量等理化因子的改变, 很有可能导致细菌群落差异。方格星虫钻潜深度阈值为 70 cm, 90% 以上的方格星虫潜沙深度在 50 cm 以内^[17]。李俊伟等^[11,12] 的室内研究结果指出, 方格星虫养殖区域表层 (0-3 cm) 和 中层 (3-20 cm) 有机质含量积累程度较高, 方格星虫对表层物质的迁移深度可达 20-30 cm, 这与方格星虫的主要活动深度一致。不同季节的 TOC 含量随着深度的增加有升高的趋势, 大部分采样月份在 100 cm 深度下的沉积物 TOC 含量明显高于表层至 40 cm 深度, 推测可能是

随着深度增加,方格星虫等大型底栖生物活动逐渐减弱,沉积物中有机物的分解过程较慢导致累积。

滩涂沉积物 TN 含量垂直分布较均匀,基本不受方格星虫养殖的影响,可能是由于沉积物中的氮主要为溶解态的无机氮,并且实验滩涂为砂质沉积物,透水性较好,对氮的吸附和保存能力要比颗粒更细的泥沙沉积物弱^[18,19],其垂直分布的主要影响因素为沉积物的间隙水运动,由于潮流的影响,使沉积物中氮与海水交换迅速^[20],因而沉积物中氮含量垂直分布较均匀。本研究中方格星虫不同养殖密度处理围隔中沉积物 TN 含量基本高于空白对照,可能是方格星虫将表层沉积物下层迁移后分解以及方格星虫本身的排泄活动,导致底层沉积物有机质及间隙水中硝氮、氨氮等含量增加。在本研究的养殖密度下,方格星虫滩涂养殖会引起沉积物中 TN 的少量增加,但不会引起 TOC 和 TN 的明显积累而导致沉积物环境恶化。

4 结论

本研究采用滩涂围隔法探究方格星虫不同养殖密度对沉积物 TOC 和 TN 含量的影响。结果显示,10 ind./m² 养殖密度处理方格星虫成活率和规格最高,分别为(61.1 ± 36.1)%和(5.21 ± 0.69) g/ind.。方格星虫不同养殖密度对围隔中滩涂沉积物 TOC 含量垂直分布产生显著影响,而 TN 含量垂直分布比较均匀,15 ind./m² 和 20 ind./m² 养殖密度处理围隔中滩涂沉积物 TOC 的全年平均含量低于空白对照,表明方格星虫属于海域滩涂低碳养殖物种。本研究未测定沉积物间隙水的无机氮与有机氮含量,后续将进一步深入研究沉积物总氮的季节变化规律,以期方格星虫滩涂养殖容量规划提供科学依据。

参考文献

- [1] 周红,李凤鲁,王玮.中国动物志:无脊椎动物 第46卷:星虫动物门 蠕虫动物门[M].北京:科学出版社,2007.
- [2] 黄国强,童万平,刘旭佳.广西北部湾低碳海水增养殖的实现途径[J].广西科学院学报,2012,28(4):287-292.
- [3] 刘旭佳,彭银辉,黄国强.广西北海不同海域方格星虫(*Sipunculus nudus*)干体氨基酸组成及营养评价[J].生态学杂志,2016,35(3):741-746.
- [4] 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氮率的影响[J].水产学报,2017,41(1):64-69.
- [5] 陈瑞芳,董兰芳,许明珠.广西特色海水养殖品种发展现状与展望[J].广西科学院学报,2020,36(3):237-241.
- [6] 文雪,蒋艳,邹杰,等.方格星虫滩涂人工养殖试验[J].科学养鱼,2011(1):38-39.
- [7] 文雪,蒋艳,王志成,等.两种不同规格方格星虫苗种滩涂养殖试验比较[J].科学养鱼,2011(6):35-36.
- [8] 许明珠,张琴,童潼,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[J].动物营养学报,2016,28(7):2292-2299.
- [9] 邹杰,彭慧婧,童潼,等.方格星虫亲体养殖与生殖细胞发育[J].水产科学,2011,30(8):467-470.
- [10] 李俊伟,朱长波,郭永坚,等.光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)对3种不同底质的适应能力[J].渔业科学进展,2015,36(6):95-99.
- [11] 李俊伟,朱长波,郭永坚,等.光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)生物扰动对混养系统沉积物及间隙水中营养物质的影响[J].渔业科学进展,2015,36(1):103-110.
- [12] 李俊伟,颜晓勇,郭永坚,等.光裸方格星虫增养殖对滩涂底质的影响[J].热带海洋学报,2018,37(1):37-44.
- [13] 苏治南,邱广龙,范航清,等.人为物理干扰对海草群落及大型底栖动物的生态影响[J].广西科学,2017,24(5):474-482.
- [14] GRAF G. Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community [J]. Nature,1989,341(6241):437-439.
- [15] SHIELDS M A, KEDRA M. A deep burrowing *Sipunculus* of ecological and geochemical importance [J]. Deep-Sea Research I, 2009,56(11):2057-2064.
- [16] THOMSEN L, FLACH E. Mesocosm observations of fluxes of particulate matter within the benthic boundary layer [J]. Journal of Sea Research,1997,37(1/2):67-79.
- [17] 黄国强,刘旭佳,彭银辉.一种观测无脊椎动物钻潜深度的装置与方法:201710444436.3 [P].2017-11-07.
- [18] VAN RAAPHORST W, MALSCAERT J F P. Ammonium adsorption in superficial North Sea sediments [J]. Continental Shelf Research,1996,16(11):1415-1435.
- [19] 郭慧丽,王玉珏,高伟明,等.我国典型潮间带不同形态氮的空间分布特征[J].海洋环境科学,2016,35(5):678-684.
- [20] 张鹏,邹立,姚晓,等.黄河三角洲潮间带营养盐的分布特征及其影响因素[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2009,39(S1):381-388.

Effects of *Sipunculus nudus* Mudflat Aquaculture on the Vertical Distribution of TOC and TN in Sediments

LIU Xujia¹, HUANG Guoqiang^{2* * *}, LU Jie³, PENG Yinhu⁴, PAN Huizhu¹, LIU Yonghong²

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Marine Sciences (Guangxi Mangrove Center), Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Institute of Marine Drug, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning, Guangxi, 530200, China; 3. Guangxi Marine Environment Monitoring Center Station, Beihai, Guangxi, 536000, China; 4. Guangxi Key Laboratory of Marine Biodiversity Conservation, Oceanography Institute, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi, 535011, China)

Abstract: In order to investigate the effects of *Sipunculus nudus* culture on sediment environment, the seasonal variation of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) contents in the sediment of the enclosure under different culture densities (0, 5, 10, 15, 20 ind./m²) of *S. nudus* were studied by the tidal flat enclosure method. The results showed that the survival rate and size of *S. nudus* were the highest at 10 ind./m², which were (61.1 ± 36.1)% and (5.21 ± 0.69) g/ind., respectively, but there was no significant difference among different treatments ($P > 0.05$). In the process of different density culture of *S. nudus*, the TOC content of tidal flat sediments increased with the increase of depth, and there was a significant difference in TOC content between different depths ($P < 0.05$). The vertical distribution of TN content is relatively uniform, which indicates that the bioturbation of *S. nudus* will lead to the migration of organic matter to the lower layer. On the whole, the average contents of TOC and TN in the tidal flat sediments in the enclosures of all aquaculture density treatments showed a seasonal variation pattern of “V” and “Λ”, respectively. The annual average content of TOC in the tidal flat sediments treated with 15 ind./m² and 20 ind./m² was lower than that of the blank control. The annual average content of TN in the tidal flat sediments of all aquaculture density treatments was higher than that of the blank control. The results showed that the *S. nudus* belonged to low-carbon culture species in the tidal flat.

Key words: *Sipunculus nudus*; enclosure; sediment; TOC; TN

责任编辑:唐淑芬



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>