

钱 军,李洪武,杨子兰,等. 不同藻类对蒙古裸腹蚤存活和生殖的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):477-480.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.136

不同藻类对蒙古裸腹蚤存活和生殖的影响

钱 军¹,李洪武¹,杨子兰¹,李一璇¹,王晓航²

(1.海南大学海洋学院,海南海口 570228; 2. 滋贺县立大学环境科学部,日本滋贺 5220075)

摘要:通过生命表技术观察以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻为饵料时蒙古裸腹蚤的存活率、生殖率,并分析、探讨不同藻类对蒙古裸腹蚤生活史特征的影响。结果表明:蒙古裸腹蚤摄食绿色巴夫藻后生存、繁殖良好,摄食塔玛亚历山大藻后次之,摄食裸甲藻后对其存活、生殖均有不良影响;投喂不同藻类对蒙古裸腹蚤的存活率(I_x)、净生殖率(R_0)、平均世代周期(T)、内禀增长率(r_m)有不同的影响,裸甲藻分别为 0、1.50、6.27、0.06,塔玛亚历山大藻分别为 0、6.90、7.41、0.26,绿色巴夫藻分别为 0.05、13.50、10.05、0.259。

关键词:蒙古裸腹蚤;内禀增长率;塔玛亚历山大藻;裸甲藻;绿色巴夫藻

中图分类号: S917 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0477-04

有毒赤潮产生的毒素使海洋动物生理失调,并在浮游动物、贝类、鱼等海洋生物内积累,然后通过食物链的传递作用使人类食用后中毒死亡,甚至严重降低人们对水资源的有效利用率。有毒赤潮带来的生态危机是我国迫切需要解决的环境问题,近年来生物操纵技术成为防治赤潮研究的热点。经典的生物操纵理论最早是 1975 年由 Shapiro 等提出的,其主要原理是用植食性大型浮游动物,特别是枝角类控制藻类的

收稿日期:2015-06-16

基金项目:大洲岛整治修复及保护任务——珊瑚海草养护与修复项目(编号:2012-274);海南省自然科学基金(编号:2015-4173);海南大学研究生创新中心建设项目。

作者简介:钱 军(1990—),男,甘肃兰州人,硕士研究生,从事海洋资源保护和利用研究。E-mail:348663544@qq.com。

通信作者:李洪武,博士,研究员,硕士生导师,从事海洋资源保护和利用。E-mail:lh5jp@yahoo.co.jp。

(3)在 500 kg 水稻秸秆、阿维菌素菌渣、乙磷铝废液的混合物中,加入 100 kg 乙磷铝废液与磷矿尾砂的反应生成物进行均匀混合,用挤压式造粒机进行造粒烘干装袋。

具体工艺流程见图 1,所得产品数据分析结果见表 2。

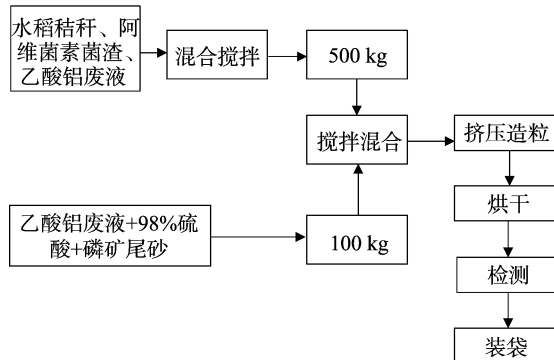


图1 工艺流程

3 结论

与传统有机肥生产相比,本方法是一种新工艺,不仅原料

过度生长进而降低藻类生物量^[1]。

针对有毒藻类对浮游动物的影响,陈艳等发现微囊藻毒素(microcystin, MC)能降低褶皱臂尾轮虫的生长周期、繁殖和种群增长率,并诱导轮虫雄性个体的发生^[2]。史文等的研究表明,摄食有毒铜绿微囊藻的大型蚤存活率极低,生殖率为 0^[3]。陈桃英研究发现,10 株不同的塔玛亚历山大藻对蒙古裸腹蚤表现出不同的毒性效应,与小球藻组相比,其中塔玛亚历山大藻(ATHK、ATCI03、AT5-1)、相关塔玛亚历山大藻(AC-1、AS-1)对蒙古裸腹蚤(*Moina mongolina*)的存活有极强的毒性^[4]。王丽平等研究塔玛亚历山大藻毒素对褶皱臂尾轮虫的毒害作用时发现,其中只有完整的活藻细胞具毒害作用,且早期生长阶段的藻细胞对轮虫毒害作用更强^[5]。然而很多研究都偏向有毒藻类对桡足类、轮虫、大型蚤等的影响,对海洋枝角类的影响研究甚少。蒙古裸腹蚤雌体长 1.0~1.4 mm,在 0.5%~4% 的广阔盐幅内生长、繁殖

表2 所得产品数据分析结果

数据类别	有机质含量 (%)	pH 值	氮磷钾含量 (%)
标准值	30.0	7	4
实测值	30.5	7	6

成本低,而且不污染环境。该新工艺不仅解决了秸秆的处理,而且解决了乙磷铝废液、磷矿尾砂对环境的影响。因此,无论从环保角度还是从经济效益的角度考虑,该方法具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 杨红福,汪智渊,吉沐祥. 利用乙磷铝农药废液防治油菜霜霉病[J]. 江苏农业科学,2004(6):89-90.
- [2] 夏循峰,胡 宏,解 田. 磷矿尾矿活化制备复合肥填充料的工艺条件研究[J]. 化工矿物与加工,2012,41(1):8-10.
- [3] 汪智渊,王丽飞,杨红福. 利用乙磷铝废液生产硫酸铝铵工艺研究[J]. 无机盐工业,2005,37(4):44-45.

都没有显著差异^[6],而且容易培养,生长繁殖迅速,同时可以通过孤雌生殖方式获得大量同龄个体,是一种可以用来研究浮游动物在赤潮中摄食作用的理想模式生物。

本研究通过生命表技术分析蒙古裸腹蚤在以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻这 3 种藻类为饵料时的种群动态。其中,所用裸甲藻、塔玛亚历山大藻为赤潮甲藻,裸甲藻是无毒的^[7],而塔玛亚历山大藻是有毒的。本研究为探讨水体中藻类优势种演替对浮游动物影响,以及为利用蒙古裸腹蚤进行水体生物操纵控制藻类过度增长的可能性提供了一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用 60 头蒙古裸腹蚤是由 1 头蒙古裸腹蚤母体在恒温 25 ℃ 下培养获得子代后,去除母体的子代作为母体继续培养,再去除母体,留下子代继续培养,直至获得 60 头生长营养状况相同的蒙古裸腹蚤。试验中的裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻均来自大连海洋大学,当藻类密度达到 10 万个/mL 后开始试验。

1.2 试验方法

本试验设 3 个试验组,分别以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻作为蒙古裸腹蚤的饵料,每组 10 个重复。在 30 个烧杯中分别加入 20 mL 培养液,开始试验后,随机加入 2 头蒙古裸腹蚤幼体。每 2 d 更换 1 次 20 mL 培养液,以保证幼蚤有充足的饵料,同时统计、记录死亡的母体数、新生的幼蚤数。本试验的持续时间为 29 d(2015 年 1 月 4 日至 2 月 1 日)。

1.3 数据处理

根据试验结果编制生命表^[8],计算摄食不同藻类的蒙古裸腹蚤的净生殖率(R_0 ,%)、平均世代周期(T ,d)、内禀增长率(r_m):

$$T = \frac{\sum X \cdot l_x \cdot m_x}{\sum l_x \cdot m_x};$$
$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x;$$
$$r_m = \frac{\ln R_0}{T}。$$

式中: x 为日龄; l_x 为 X 龄的存活率, l_x = 存活数/总个体数 × 100%; m_x 为 x 龄的生殖率, m_x = 出生数/存活数 × 100%。

2 结果与分析

2.1 以不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的存活情况

分别制作以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻为饵料培养蒙古裸腹蚤 29 d 的生命表,详见表 1 至表 3。

根据以上生命表,可以得到以 3 种不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的存活曲线。由图 1 可知,3 种藻为饵料的蒙古裸腹蚤的存活曲线各不相同。以绿色巴夫藻为饵料的蒙古裸腹蚤能保持正常生命活动;以塔玛亚历山大藻、裸甲藻为饵料的蒙古裸腹蚤的存活状况均低于绿色巴夫藻,可能由于塔玛亚历山大藻毒素对蒙古裸腹蚤具有毒害作用,而且蒙古裸腹蚤存活率对毒性效应呈稳步下降的趋势;相对来说,以裸甲藻为饵料投喂的蒙古裸腹蚤的存活率最低,试验 5~7 d,其存活曲线变化最大,死亡蚤数最多,11d 时全部死亡;与此同时,投

表 1 以裸甲藻为饵料的蒙古裸腹蚤的生命表

x (d)	n_x (头)	l_x	d_x (头)	q_x	m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$ (d)
1	20	1.00	3	0.15	0	0	0
3	17	0.85	6	0.05	0	0	0
5	11	0.55	9	0.82	1.00	0.55	2.75
7	2	0.10	1	0.50	9.50	0.95	6.65
9	1	0.05	1	1.00	0	0	0
11	0	0.00			0	0	0

注: x 为年龄; n_x 为存活数; l_x 为存活率; d_x 为死亡数; q_x 为死亡率; m_x 为生殖率; R_0 为净增殖率; T 为平均世代周期; r_m 为内禀增长率。下表同。

表 2 以塔玛亚历山大藻为饵料的蒙古裸腹蚤的生命表

x (d)	n_x (头)	l_x	d_x (头)	q_x	m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$ (d)
1	20	1.00	1	0.05	0	0	0
3	19	0.95	5	0.26	0.05	0.05	0.15
5	14	0.70	2	0.14	0.50	0.35	1.75
7	12	0.60	6	0.50	3.92	2.35	16.45
9	8	0.40	2	0.25	3.88	1.55	13.95
11	6	0.30	5	0.83	3.33	1.00	11.00
13	1	0.05	1	1	12	0.60	7.80
15	0	0			0	0	0

表 3 以绿色巴夫藻为饵料的蒙古裸腹蚤的生命表

X (d)	n_x (头)	l_x	d_x (头)	q_x	m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$ (d)
1	20	1	2	0.10	0	0	0
3	18	0.90	0	0	0.06	0.05	0.15
5	18	0.90	1	0.06	1.17	1.05	5.25
7	17	0.85	2	0.12	3.82	3.25	22.75
9	15	0.75	2	0.13	4.40	3.30	29.70
11	13	0.65	2	0.15	3.62	2.35	25.85
13	11	0.55	4	0.36	2.82	1.75	22.75
15	7	0.35	1	0.14	1.86	0.65	9.75
17	6	0.30	2	0.33	2.50	0.75	12.75
19	4	0.20	1	0.25	1.50	0.30	5.70
21	3	0.15	1	0.33	0.33	0.05	1.05
23	2	0.10	0	0	0	0	0
25	2	0.10	1	0.50	0	0	0
27	1	0.05	0	0	0	0	0
29	1	0.05			0	0	0

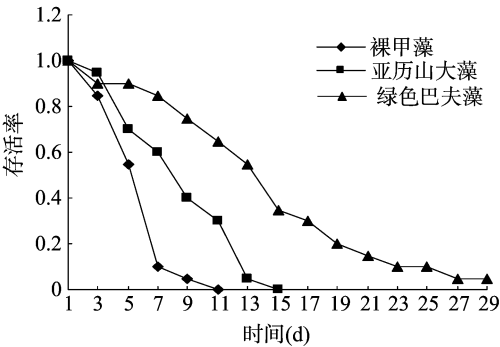


图1 以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻为饵料的蒙古裸腹蚤的存活曲线

喂其他藻类的蒙古裸腹蚤的存活率分别是 30%、65%，说明以裸甲藻为饵料对蒙古裸腹蚤有致命性作用。

2.2 以不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的生殖情况

根据生命表,可以得到以 3 种不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的生殖曲线(图 2)。由图 2 可以看出,3 组蒙古裸腹蚤孤雌生殖产生后代,最早 3 d 可产生后代,最晚 5 d 产生后代。绿色巴夫藻投喂的蒙古裸腹蚤一直到试验 21 d 都有新生蚤体产生。用裸甲藻投喂的蒙古裸腹蚤只在 5、7 d 产生了幼体。裸甲藻投喂组的生殖率在 7 d 出现了 1 个高峰,因为 5 ~ 7 d 期间裸甲藻组的蚤体死亡最多,导致生殖率升高。在 3 ~ 11 d,摄食塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻的蒙古裸腹蚤的生殖曲线基本相近,说明摄食的塔玛亚历山大藻暂未影响到蒙古裸腹蚤的生殖;但在 11 ~ 13 d 之间,蒙古裸腹蚤母体大量死亡,存活数下降,生殖率升高。

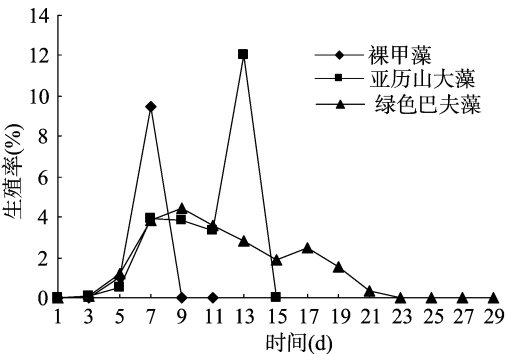


图2 以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻为饵料时蒙古裸腹蚤的生殖情况

通过对生命表里数据的计算,可以得到以 3 种不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的净生殖率(R_0)、平均世代周期(T)。由表 4 可知,裸甲藻组的净生殖率最低,绿色巴夫藻组的净生殖率最高,最高、最低净生殖率之间相差 9 倍;塔玛亚历山大藻组的净生殖率可以达到裸甲藻组的 4.6 倍。由此可知,不同藻类对蒙古裸腹蚤的生殖量产生不同的影响。不同藻类培养的蒙古裸腹蚤其世代周期也不一样,塔玛亚历山大藻组、裸甲藻组的世代周期相近,绿色巴夫藻组的世代周期最长,是其他 2 组的 1 倍多。

2.3 以不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的种群增长情况

由表 4 可知,不同藻类培养的蒙古裸腹蚤的内禀增长率不同,而内禀增长率是理想条件下种群的最大瞬时增长率,表现了种群的扩繁能力,即种群的增长潜力^[9]。由表 4 还可知,3 组藻的蒙古裸腹蚤种群都有增长,但裸甲藻组的内禀增长率明显最低,仅为 0.06,接近 0;而塔玛亚历山大藻组、绿色巴夫藻组的内禀增长率基本一致,为裸甲藻组内禀增长率的 4 倍多。不同藻类对蒙古裸腹蚤种群增长率的影响表明,水体中藻类优势种的演替,可能对蒙古裸腹蚤的种群产生影响,从而改变其种群的增长。

表 4 以 3 种不同藻类为饵料时蒙古裸腹蚤的生活史特征参数

饵料	R_0	T	r_m
裸甲藻	1.5	6.27	0.06
塔玛亚历山大藻	6.9	7.41	0.26
绿色巴夫藻	13.5	10.05	0.259

3 结论与讨论

3.1 不同藻类对蒙古裸腹蚤的生活史特征的影响

本试验结果表明,在为期 29 d 的试验过程中,蒙古裸腹蚤分别以裸甲藻、塔玛亚历山大藻、绿色巴夫藻为饵料时的存活率、生殖率都存在差异,其存活率分别为 5% (绿色巴夫藻)、0 (塔玛亚历山大藻)、0 (裸甲藻),而净生殖率分别为 13.5% (绿色巴夫藻)、6.9% (塔玛亚历山大藻)、1.5% (裸甲藻),种群增长能力分别为 0.26 (塔玛亚历山大藻)、0.259 (绿色巴夫藻)、0.06 (裸甲藻)。这些结果表明不同藻类对蒙古裸腹蚤种群增长的饵料效应是不同的。

造成上述结果的原因可能有藻类粒径、有无细胞壁、有无毒性、有无物理黏附、营养组成等。绿色巴夫藻细胞无细胞壁,大小为 $6.0\text{ }\mu\text{m} \times 4.8\text{ }\mu\text{m} \times 4.0\text{ }\mu\text{m}$ ^[10],非常适合蒙古裸腹蚤的滤食;塔玛亚历山大藻细胞长为 $20 \sim 52\text{ }\mu\text{m}$ ^[10],虽然较适合蒙古裸腹蚤的滤食,但是具有细胞壁,且能释放毒素,对蒙古裸腹蚤产生毒性效应,因此导致其存活率、生殖率有所下降;裸甲藻细胞侧扁,呈圆形或椭圆形,长 $120\text{ }\mu\text{m}$ ^[11],个体较大,还有可能是裸甲藻对蒙古裸腹蚤有物理黏附作用,导致裸甲藻不适合蒙古裸腹蚤的滤食,从而造成蒙古裸腹蚤存活率、生殖率极低。此外,不同藻类的不同营养组成成分可能对蒙古裸腹蚤种群有不同的饵料效应。有研究表明,藻类碳磷比对枝角类具有显著影响^[12-13],本试验未进行这 3 种藻类营养成分的进一步分析,因此这 3 种藻类的营养成分是否会对蒙古裸腹蚤种群的饵料效应产生影响须要进行进一步研究。

3.2 裸甲藻对蒙古裸腹蚤生活史的影响

有研究发现,若长时间将哲水蚤置于裸甲藻藻液中,哲水蚤会有很高的死亡率,而且蚤体周围有裸甲藻黏附的现象^[14],这说明很有可能是裸甲藻同样黏附在蒙古裸腹蚤周围,使其失去游动能力或无法捕食而大量死亡。究其原因,有学者对 *Gyrodinium corsicum* 进行电镜观察,认为该藻表面的细丝结构使其容易吸附于浮游动物体表,这种物理接触导致的毒害作用可能是导致浮游动物繁殖力下降的真正原因^[15]。通过显微镜观察,裸甲藻黏附在死亡的蒙古裸腹蚤体表周围,裸甲藻极有可能通过其表面的细丝结构吸附在蒙古裸腹蚤表面,在这种捕食条件恶劣的情况下,蒙古裸腹蚤进行两性生殖,而不进行孤雌生殖,生殖率降低,影响裸甲藻的存活、生殖,因此裸甲藻对蒙古裸腹蚤的各项生活史特征均有不良影响。

3.3 有毒亚历山大藻对蒙古裸腹蚤生活史的影响

塔玛亚历山大藻组在 3 ~ 11 d 的生殖曲线与绿色巴夫藻基本一致,但 11 ~ 13 d 蒙古裸腹蚤大量死亡。一方面可能是由于浮游动物可以通过捕食后再吐出或使毒素生理代谢失活等方式来躲避藻毒素的伤害^[16-17];另一方面可能是由于塔玛亚历山大藻毒素是一种位于细胞壁外层的内毒素,内毒素在塔玛亚历山大藻死亡之前向外分泌得很少,只有在死亡裂解后藻才会释放,从而危害蒙古裸腹蚤,这种毒害作用有一定的延迟效应,Mohamed 也有过类似的研究^[18],说明毒素可能从消化道被动物吸收,然后影响生物体;此外,毒素有可能并不会直接对浮游动物的生存产生影响,而是会逐渐在浮游动物体内积累,当毒素累积到一定程度后会直接危害浮游动物。

江天久等进一步研究发现,单一饵料试验时,当塔玛亚历山大藻在一定浓度范围内时,蒙古裸腹蚤的摄食率随藻类浓度的增加而升高,当藻类浓度超过 1 390 个/mL,蒙古裸腹蚤的摄食率随藻类浓度的增加而降低^[19]。在本试验中,塔玛亚历山大藻的浓度远远超过 1 390 个/mL,蒙古裸腹蚤的摄食率逐渐下降。由此可见,塔玛亚历山大藻对蒙古裸腹蚤生活史的影响受到藻毒素、塔玛亚历山大藻浓度 2 个方面因素的影响。

3.4 利用蒙古裸腹蚤控制有毒亚历山大赤潮存在的问题

蒙古裸腹蚤摄食塔玛亚历山大藻后其内禀增长率达到 0.26,种群在一定时间内得到有效增长,但并不足以表明在野外自然条件下蒙古裸腹蚤可以有效控制塔玛亚历山大藻赤潮。一方面,有研究表明塔玛亚历山大藻的浓度超过一定阈值,蒙古裸腹蚤的摄食率与藻类浓度成反比^[19],当赤潮暴发时,藻类浓度大幅度超过阈值,单一浮游动物的摄食率下降,无法有效降低浮游植物的生物量;另一方面,有毒赤潮藻毒素在蒙古裸腹蚤摄食一段时间后影响其生活史。有野外调查显示,枝角类长期适应和发展出对藻毒素的可遗传的抵抗力。同时发现,经常与有毒赤潮接触的浮游动物,由于与某一赤潮藻长时间共同生存,协同进化的结果可以使浮游动物对藻毒素形成免疫能力或适应能力,除非达到罕见的高浓度,一般不会产生致死效应,并能摄食维持生长^[20-22]。因此,蒙古裸腹蚤可以不断适应藻毒素,在赤潮过程中发挥摄食作用,降低浮游植物生物量。可以通过逐步增加塔玛亚历山大藻浓度,提高蒙古裸腹蚤对藻毒素、藻浓度的耐受阈值,从而筛选出耐受性较强的溞体进行培养,培养后的溞体更能有效地进行生物操纵控制赤潮。

研究不同藻类对蒙古裸腹蚤存活率、生殖率等生活史特征的影响,可以促进对赤潮暴发时浮游植物优势种改变、浮游动物优势种或种群结构变化的理解。特别是有毒赤潮的发生,可以针对浮游动物优势种变化来进一步研究这种优势种在一定程度上是否可以改善水环境的污染。

参考文献:

- [1] Shapiro J, Lamarra V M. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration [C]// Brezonik P L, Fox J L. Proceedings of a Symposium on Water Quality Management through Biological Control, Gainesville, Florida; University of Florida, 1975: 85-96.
- [2] 陈艳, 王金秋, 王阳, 等. 微囊藻毒素对褶皱臂尾轮虫的毒性效应和种群增长影响 [J]. 中国环境科学, 2002, 22 (3): 198-201.
- [3] 史文, 刘其根, 吴晶, 等. 不同藻类对大型溞存活和生殖的影响 [J]. 生态学杂志, 2009, 28 (6): 1128-1133.
- [4] 陈桃英. 亚历山大藻对海产贝类胚胎和蒙古裸腹蚤的影响和致毒机制研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [5] 王丽平, 颜天, 谭志军, 等. 塔玛亚历山大藻和东海原甲藻对褶皱臂尾轮虫种群数量的影响 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (7): 1151-1155.
- [6] 何志辉, 刘治平, 韩英. 盐度和温度对蒙古裸腹蚤生长、生殖和内禀增长率 (r_m) 的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 1988 (2): 1-8.
- [7] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [8] Frazer N B, Gibbons J W, Greene J L. Life history and demography of the common mud turtle *Kinosternon subrubrum* in South Carolina [J]. Ecology, 1992, 72 (6): 2218-2231.
- [9] 常杰, 葛滢. 生态学 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.
- [10] 陈明耀. 生物饵料培养 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [11] 李洪武, 宋培学. 海洋浮游生物学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012.
- [12] Koski M, Breteler W K, Schogt N, et al. Effect of food quality on rate of growth and development of the pelagic copepod *Pseudocalanus elongatus* (Copepoda, Calanus) [J]. Quim Nova, 2003, 36 (4): 321-328.
- [13] Van Nieuwerburgh L, Wanstrand I, Snoeijs P. Growth and C:N:P ratios in copepods grazing on N- or Si-limited phytoplankton blooms [J]. Hydrobiologia, 2004, 514 (1/3): 57-72.
- [14] 高华, 高亚辉, 梁君荣. 几种赤潮藻对中华哲水蚤摄食、产卵和孵化的影响 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2006, 45 (4): 553-557.
- [15] Liu S, Wang W X. Feeding and reproductive responses of marine copepods in South China Sea to toxic and nontoxic phytoplankton [J]. Marine Biology, 2002, 140 (3): 595-603.
- [16] Ives J D. The relationship between Gonyaulax tamarensis cell toxin levels and copepod ingestion rates [C]// Anderson D M, White A W, Baden D G, et al. Toxic Dinoflagellates. New York: Elsevier, 1985: 413-418.
- [17] Ives J D. Possible mechanisms underlying copepod grazing responses to levels of toxicity in red tide dinoflagellates [J]. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 1987, 112 (2): 131-144.
- [18] Mohamed Z A. Accumulation of cyanobacterial hepatotoxins by Daphnia in some Egyptian irrigation canals [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2001, 50 (1): 4-8.
- [19] 江天久, 徐轶肖. 蒙古裸腹蚤对有毒赤潮生物塔玛亚历山大藻的摄食研究 [J]. 海洋环境科学, 2006, 25 (1): 14-16.
- [20] Colin S P, Dam H G. Latitudinal differentiation in the effect of the toxic dinoflagellate *Alexandrium* spp. on the feeding and reproduction of populations of the copepod *Acartia hudsonica* [J]. Harmful Algae, 2002, 1 (1): 113-125.
- [21] Gilbert J J. Different effects of *Anabaena affinis* on cladocerans and rotifers: mechanisms implications [J]. Ecology, 1990, 71 (5): 1727-1740.
- [22] Hsieh D P H, Chang G H, Huxtable S. Total production of C2 toxin by *Alexandrium tamarensis* [C]// Hallegraeff G M, Balchburn S I, Bolch C J, et al. Harmful Algal Blooms, Intergovernment Oceanographic Commission of UNESCO, 2001: 265-267.