# 光滑河蓝蛤对净化养殖废水的净化效果

# 周婷婷1,郑荣泉1,林志华2,何琳2\*

(1.浙江师范大学化学与生命科学学院,浙江金华321000;2.浙江万里学院生物与环境学院,浙江宁波315100)

摘要 [目的]研究光滑河蓝蛤(Potamocorbula laevis)对大棚对虾养殖尾水的净化效果,确定净化废水时蓝蛤的养殖密度。[方法]设4 个光滑河蓝蛤养殖密度处理,分别为0.5、1.0、2.0、3.0 ind/L,1 个空白对照(CK),每组设置3 次重复,养殖4 d,整个试验期间不换水,不 投放饵料,测定不同处理对养殖废水中硝酸盐、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N)、总磷(TP)、总氮(TN)的去除效果。[结果]光滑河蓝蛤4 个养殖密度对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、TP、硝酸盐均有显著的去除效果(P < 0.05),其中,1.0 ind/L 处理净化效果最佳,对废水中硝酸盐的去除效率为 62% ± 15.06%,NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除效率为48% ±9.41%,TP 去除率为99% ±17.78%,TN 的去除率为 60% ±3.74%。CK 的净化效果最低,对废 水中硝酸盐、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、TP、TN 的去除率分别为15% ±3.36%、16% ±0.58%、38% ±6.86%、33 ±1.58%。[结论]光滑河蓝蛤的最佳养 殖密度为1.0 ind/L。

关键词 光滑河蓝蛤;养殖废水;净化效果;去除率

中图分类号 S949 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)32-0057-04

#### Purification Effect of Potamocorbula laevis on Aquaculture Wastewater

**ZHOU Ting-ting**<sup>1</sup>, **ZHENG Rong-quan**<sup>1</sup>, **LIN Zhi-hua**<sup>2</sup>, **HE Lin**<sup>2\*</sup> (1. Chemistry and College of Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321000; 2. College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100) **Abstract** [Objective] To study the purification effect of *Potamocorbula laevis* on tail water of shrimp culture in greenhouse, and determine the breeding density of *Potamocorbula laevis* during purification of wastewater. [Method]4 breeding densities (0.5, 1.0, 2.0, 3.0 ind/L) and 1 blank control (CK) were set up, each treatment was repeated 3 times and cultured for 4 d. During the experiment, the water was not changed, and no bait was put into the feed. The removal efficiency of nitrate,  $NH_4^+$ -H, TP and TN in aquaculture wastewater was determined by different treatment. [Result] The 4 culture densities of *Potamocorbula laevis* have significant removal efficiency of nitrate in wastewater was  $62\% \pm 15.06\%$ . The removal efficiency of  $NH_4^+$  -H was  $48\% \pm 9.41\%$ . The removal efficiency of TP was  $99\% \pm 17.78\%$ . The removal efficiency of TN was  $60\% \pm 3.74\%$ . The removal efficiency of CK was the worst, and the removal rates of nitrate,  $NH_4^+$ -H, TP and TN in wastewater were  $15\% \pm 3.36\%$ ,  $16\% \pm 0.58\%$ ,  $38\% \pm 6.86\%$  and  $33\% \pm 1.58\%$ , respectively. [Conclusion] The optimum culture density of *Potamocorbula laevis* was 1.0 ind/L.

Key words Potamocorbula laevis; Aquaculture effluent; Purifying effect; Removal rate

光滑河蓝蛤(Potamocorbula laevis)又称蓝蛤,隶属于软 体动物门瓣鳃纲海螂目蓝蛤科,系广温性底栖贝类,喜群居, 主要分布在以砂为主的泥沙底质,贝壳呈三角形或长卵圆 形,壳小,较坚硬,在我国南北方均有分布<sup>[1-2]</sup>(下文统称为 蓝蛤)。蓝蛤的生产周期短,一年四季均可养殖。蓝蛤营养 价值较高,可以为人类所食用,但由于个体较小,常被作为虾 蟹类优质饵料,很少被人养殖,加之近年来虾蟹养殖业的不 断增大,野生蓝蛤被大量捕捞,导致数量急剧减少。该试验 用虾池排放的废水养殖蓝蛤,既降低了蓝蛤的养殖成本,增 加养殖户的收益,又能保护蓝蛤的种质资源,减少海洋污水 的排放。

目前,国内对于整个河蓝蛤属贝类的研究相对较少。庄 启谦<sup>[3]</sup>研究了河蓝蛤形态特征并将此作为分类依据,认为在 我国主要分布有光滑河蓝蛤(Pota-mocorbula laevis)、黑龙江 河蓝蛤(P. amurensis)、焦河蓝蛤(P. usyulata)和红肉河蓝蛤 (P. Rubromuscula)。魏利平<sup>[4]</sup>早在 1984 年对光滑河蓝蛤的 生活习性及人工育苗进行初步试验,发现蓝蛤的面盘幼虫对 盐度适应性极强,其生长与水温也有密切关系。孙超等<sup>[5]</sup>对 4种河蓝蛤线粒体 COI 和 16S rRNA 基因序列的种间遗传进 行了分析,结果表明:4种河蓝蛤未能达到不同种之间显著的 遗传分化。张新峰等<sup>[6]</sup>研究了焦河蓝蛤生长、繁殖与环境的 关系,发现焦河蓝蛤生长与水温有着密切关系。吕昊泽等<sup>[2]</sup> 研究了光滑河蓝蛤对盐度的适应性及碳、氮收支情况,结果 表明:蓝蛤从滤食藻类中摄取的有机碳源主要通过呼吸代谢 消耗、以粪便的形式排出,少部分随排泄代谢产物流出,余下 的碳主要用作自身的生长。刘吉明等<sup>[7]</sup>对光滑河蓝蛤生殖 习性进行初步研究,结果表明:光滑河蓝蛤一年有2次产卵 高峰期,分别为5月初和9月底。在产卵高峰期,通过人工 授精方法可获得受精卵并正常发育。但是,对于光滑河蓝蛤 净化养殖废水的能力并未涉及,国内外鲜见报道。笔者研究 了蓝蛤对大棚对虾养殖尾水的净化效果,旨在为蓝蛤的种质 资源保护及建立新型高效养殖结构提供基础数据。

#### 1 材料与方法

1.1 试验材料 该试验在浙江宁波市海洋与渔业科技创新 基地的对虾养殖车间中进行,试验周期4d,光滑河蓝蛤采集 于浙江温州乐清湾滩涂的野生种群,取回实验室后在室内暂 养72h,选取健康、活力较强的个体。该试验装置为100L白 色聚乙烯塑料水桶,每桶注入50L大棚对虾养殖废水。

**1.2 试验设计** 该试验为静态试验,设4组蓝蛤养殖密度, 分别为0.5、1.0、2.0、3.0 ind/L,另外设1组空白对照(CK)。

基金项目 宁波市 2015 年度科技富民项目(2015C10008);国家贝类产 业技术体系(CARS-49);浙江省公益性技术应用研究项目 (2013C32058)。

作者简介 周婷婷(1991—),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向: 水生生物生态养殖。\*通讯作者,讲师,博士,从事水产生 态养殖研究。
收稿日期 2017-10-11

试验用水为大棚对虾养殖排放的废水,水温 22.1 ℃,盐度 22.20,溶解氧(DO)浓度 6.52 ~7.38 mg/L,总氮(TN)浓度 2.96 ~3.42 mg/L,总磷(TP)浓度 0.29 ~0.45 mg/L,硝酸盐  $(NO_3)$ 浓度 0.43 ~0.49 mg/L,氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N)含量 1.17 ~ 1.30 mg/L,整个试验期间,采用连续曝气的方式,不投饵,不换水。

**1.3 测定项目与方法** 水质监测方法参照海洋监测规 范<sup>[8]</sup>,该试验检测水质硝酸盐、NH4<sup>+</sup> - N、TN、TP 4 个指标。 其中,硝酸盐浓度采用锌镉还原法测定;TP 浓度采用联合消 化钼 - 锑 - 抗分光光度法测定<sup>[9]</sup>;TN 浓度采用硫酸肼还原 法测定。水体中溶解氧、盐度、温度、pH 使用溶氧仪(YSI)进 行测定。

各物质去除率(η)计算公式:

 $\eta = (C_{o} - C_{G})/C_{o} \times 100\%$ 

式中,*C*。为废水刚排出时水质指标平均浓度;*C*<sub>c</sub>为试验组营养盐平均浓度<sup>[9]</sup>。

**1.4 数据统计** 用 Microsoft Excel 2003 进行图表处理,试验 数据均为平均值 ±标准差,分析采用软件 SPSS 19.0 进行单 因素方差分析(one - way ANOVA),采用 LSD 进行统计检验 (*P* < 0.05)。

2 结果与分析

# 2.1 不同养殖密度蓝蛤处理对养殖废水中硝酸盐的去除 效果

2.1.1 不同处理对养殖废水中硝酸盐的去除率。从图1可见,养殖密度为1.0 ind/L时,对硝酸盐的去除率最高,为62%±15.06%,与CK差异显著(P<0.05);养殖密度为2.0 ind/L时,去除率次之,为39%±9.19%;0.5、3.0 ind/L和CK对硝酸盐的去除率分别为38%±9.13%、25%±8.14%、15%±3.63%,4组处理硝酸盐的去除效率明显高于CK。



- 注:标有字母说明组间有显著性差异(P<0.05),未标记字母的组 别说明组间无显著性差异(P>0.05)
- Note: The means with the letters are significant differences at the 0.05 probability level, and the means without letters are not significant differences

#### 图1 不同养殖密度蓝蛤处理对硝酸盐的去除率

#### Fig. 1 Removal rate of *Potamocorbula laevis* on nitrites in different density treatments

**2.1.2** 不同处理养殖废水中硝酸盐浓度的日变化。从图 2 可见,试验前期随着养殖密度的增大,各处理的硝酸盐浓度

相对下降快,这是由于蓝蛤密度越大,其滤食量也相对增加, 间接降低了硝酸盐浓度。另外,在一定时间内,水体自身含 有的反硝化细菌在氧气充足的情况下,可以将硝态氮和亚硝 态氮转化为氮气,从而降低硝酸盐的浓度,因此 0.5、1.0、 2.0 ind/L处理的硝酸盐浓度在后期降低较快。由于密度过 大,导致 3.0 ind/L处理在后期死亡较多,体内有机物被大量 分解,导致硝酸盐浓度逐渐升高。



图 2 不同处理养殖废水中硝酸盐浓度日变化量



# 2.2 不同养殖密度蓝蛤处理对养殖废水中 $NH_4^+ - N$ 的去 除效果

**2.2.1** 不同处理对养殖废水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除率。从图 3 可见,不同处理对养殖废水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的净化效率有着明显 差异,养殖密度为 1.0 ind/L 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除率最佳,为 48% ±9.41%,显著高于 CK(*P* < 0.05);0.5 ind/L 处理对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除率次之,为41% ±7.01%;2.0、3.0 ind/L 处 理和 CK 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除效率分别为 38% ± 6.57%、 14% ±0.84%、16% ±0.58%。



- 注:标有字母说明组间有显著性差异(P<0.05),未标记字母的组 别说明组间无显著性差异(P>0.05)
- Note: The means with the letters are significant differences at the 0.05 probability level, and the means without letters are not significant differences

图 3 不同养殖密度蓝蛤处理对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除率

## Fig. 3 Removal rate of *Potamocorbula laevis* on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N in different density treatments

**2.2.2** 不同处理养殖废水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 浓度的日变化。从图 4 可以看出,CK 和 3.0 ind/L 处理的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 浓度明显高于 其他 3 组。可能是由于 3.0 ind/L 处理的养殖密度过高,其



图 4 不同处理养殖废水中 NH<sub>4</sub> - N 浓度的日变化量

Fig. 4 The diurnal variation of  $NH_4^*$  – N concentrations in different treatments

#### 2.3 不同养殖密度蓝蛤处理对养殖废水中 TP 的去除效果

2.3.1 不同处理对养殖废水中 TP 的去除率。从图5 可以看出,不同处理对 TP 均有一定的去除效果,其中,1.0 ind/L 与 2.0 ind/L处理对废水中 TP 的去除率较高,分别为 99% ± 17.78%、94% ±17.07%,与 CK 差异显著(*P* < 0.05),其他组均 无显著性差异(*P* > 0.05),0.5、3.0 ind/L 处理和 CK 对 TP 的去 除率分别为 70% ±12.37%、67% ±12.16%、38% ±6.86%。



- 注:标有不同字母说明组间有显著性差异(P<0.05),标记相同字母的组别说明组间无显著性差异(P>0.05)
- Note: The means with the different letters are significant differences at the 0.05 probability level, and the means without letters and the same latter are not significant differences (P > 0.05)

图 5 不同养殖密度蓝蛤处理对 TP 的去除率

Fig. 5 Removal rate of *Potamocorbula laevis* on TP in different density treatments

2.3.2 不同养殖废水中 TP 浓度的日变化。从图6 可以看出,在试验初期养殖密度越高,TP 浓度降低相对越快,CK 降低最为缓慢;随着时间的延长,3.0 ind/L 处理的死亡率相对增加,导致其后期 TP 浓度开始上升。总体来说,各处理的TP 浓度均低于 CK。

2.4 不同养殖密度蓝蛤处理对养殖废水中 TN 的去除效果 2.4.1 不同处理对养殖废水中 TN 的去除率。从图 7 可见, 0.5、1.0、2.0、3.0 ind/L 的蓝蛤处理对养殖废水 TN 的去除率 分别为 43% ±0.73%、60% ±3.70%、55% ±2.23%、35% ± 1.54%, CK 对 TN 的去除率为 33% ±1.58%, 5 个处理间均





Fig. 6 The diurnal variation of TP concentrations in different treatments





Fig. 7 Removal rate of *Potamocorbula laevis* on TN in different density treatments

2.4.2 不同处理养殖废水中 TN 浓度的日变化量。从图 8 可见,第 2 天时,TN 浓度并未有显著变化,第 2 天后 TN 浓度 明显降低,只有 3.0 ind/L 处理在第 3 天后 TN 浓度逐渐上升。蓝蛤在净化水质时,自身也会排氨,当自身的净化效率高于排氨率,才能达到净化效果。3.0 ind/L 处理由于养殖 密度过高,排氨率和死亡率增大,导致水体中 TN 浓度升高。



图 8 不同处理废水中 TN 浓度的日变化量



#### 3 讨论

**3.1 光滑河蓝蛤对改善养殖废水的效果研究** 在贝类改善水质环境的研究中,潘建林等<sup>[10]</sup>研究了三角帆蚌、皱纹冠 蚌、湖螺对富营养化的太湖水的净化效果,发现3种贝类具 有显著的净化效果。Reeders等<sup>[11]</sup>利用斑马贻贝(*Dreissena*  polymorpha)对内陆水净化调控有较好的效果。马晓娜等<sup>[12]</sup> 在贝藻混养对大西洋鲜养殖废水的生物滤除的研究中表明, 太平洋牡蛎对大西洋鲑养殖废水中 TP、氨态氮、硝酸盐氮的 去除率分别达到 6.46%、41.67%、11.35%。Bastviken<sup>[13]</sup>采 用斑马贻贝探索富营养化的哈德逊河生态治理,发现采用斑 马贻贝对水环境调控有良好的效果。通过该试验可以看出, 蓝蛤具有较强净化水质的能力,能够有效降低硝酸盐、NH<sup>+</sup> -N、TN、TP在养殖废水中的浓度,养殖密度为1.0 ind/L的 蓝蛤处理对废水的净化能力最强,对废水中硝酸盐的净化效 率为 62% ± 15.06%, 与 CK 差异显著(P < 0.05); 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N的去除率为48% ±9.41%,与CK差异显著(P<0.05);在 对废水 TP 的去除中,养殖密度为1.0、2.0 ind/L 处理均与 CK 差异显著(P<0.05),去除率分别为99% ±17.78%、94% ±17.07%;在对 TN 的去除中,5个处理间均无显著性差异 (P>0.05), 去除率分别为 43% ±0.73%、60% ±3.70%、  $55\% \pm 2.23\% 35\% \pm 1.66\% 33\% \pm 1.58\%$ 

从以上研究结果可以看出,蓝蛤对养殖废水净化效果明 显,但是在一定时期内,单位水体中达到特定的贝类生物量 才能显现出最佳净化效果,如若超过这一特定生物量反而会 适得其反,这与 Reeders<sup>[11]</sup>、Bastviken<sup>[13]</sup>在斑马贻贝(Dreissena polymorpha)和河蚬(Corbicula fluminea)上的研究结果相 似。原因是滤食性贝类既可以通过滤食作用去除水体悬浮 颗粒和营养盐,成为水体的净化者,又可通过生物搅动和自 身的排泄而成为水体的污染源。因此,滤食性贝类的养殖密 度是决定其由净化者转向污染源的关键因素,其适宜养殖密 度的实质是保证贝类在最快生长速度的同时,其净化水质的 效率也达到最佳,即营养素减少率×营养素吸收率<sup>[14]</sup>或滤 清率[15]高于自身污染率时的最大养殖密度[16]。滤食性贝类 会过滤掉水体中的营养物和浮游植物,而浮游植物是水体中 营养物质的直接消耗者,其养殖密度过低则达不到理想的净 化效果,而密度过高则会使浮游植物过少,导致营养物质的 积累、水质变坏,加重水体污染。

**3.2 蓝蛤在试验期间出现死亡的原因** 光滑河蓝蛤属于广 温性贝类,适应性较强<sup>[17]</sup>,对比重的适应范围很广,在比重 1.002~1.040的范围亦能生存<sup>[4]</sup>,但该试验过程中却出现了 不同程度的死亡,推测可能与蓝蛤的繁殖期有关,蓝蛤1年 中出现2次繁殖高峰期,分别为5月上旬、9月下旬至10月 上旬<sup>[4]</sup>,而该试验是在10月初期开始进行,此时蓝蛤的生活 力较差。此外,也可能由于养殖密度过高而导致,因为不同 季节的光滑河蓝蛤水平分布亦不相同,在春、夏季分布密度 较高,冬季密度最低,仅5.0 ind/m<sup>2</sup>。

**3.3 蓝蛤净化水质机制研究** 蓝蛤属于底栖型贝类,主要 生活在以泥沙为主的浅海,在整个生态系统中,位于食物链 的中间阶段,是维持生态平衡的重要组成部分。对虾剩余的 饵料残渣和排泄的粪便沉入水底,而蓝蛤营滤食性生活,恰 好可以通过其强大的滤食功能将水体内的营养物质滤进体 内,间接完成对营养盐的去除,实现自身的生长和资源的合 理利用。滤食性贝类有一定调节摄食行为的能力,以便能够 在食物条件变化较大的生境中生存和生长,一般在悬浮颗粒物浓度较高或有机物含量较低的条件下,滤食性贝类通过调节吸收效率(OAE)或滤水率(CR),来适应和补偿外界食物条件的变化<sup>[18-20]</sup>。蓝蛤可以通过摄食将小颗粒包裹以黏液吞食进入消化道,最后以大颗粒粪便的形式排出体外,加速颗粒物的沉降,降低水体中悬浮物的浓度。另外,蓝蛤也可能通过高效的滤食、吸收影响着整个生态系统的物质循环和能量流动。

滤食性贝类的过滤净化作用可能包括机械过滤和生物 (消化、吸收)过滤2个性质不同、但相互联系的过程[16]。在 试验初期贝类通过鳃丝和其上着生纤毛的组合运动来摄取 水体中的悬浮物和食物颗粒,因此浮游植物和有机物大量减 少,TP浓度显著降低,后期随着有机物含量的减少,蓝蛤的 摄食效率降低,此时,由机械过滤转变为生物过滤,其吸收效 率也逐渐降低,因此,TP浓度在后期降低幅度逐渐变慢。N 也是检测水体质量的重要指标,蓝蛤在滤食水体营养物的同 时,自身也会排氨,因此在试验前期 NH<sup>+</sup> - N、硝态氮和 TN 浓度降低不明显,随着时间的延长,蓝蛤对营养素的滤清率 远远高于自身的排氨率。另外,NH4 - N 还可以在氧气充足 时,通过水体中的硝化细菌将氨态氮转化成硝态氮和亚硝态 氮,然后在水体中的反硝化细菌的作用下将硝态氮和亚硝态 氮转化为氮气,而从 NH<sup>\*</sup> - N 到氮气的转化,也需要一定时 间的积累,因此从第3天开始NH<sup>+</sup>-N、硝态氮和TN浓度明 显降低。

## 4 结论

该试验是对蓝蛤净化养殖废水能力的初步探究,并初步确定了蓝蛤净化养殖废水时的养殖密度,在1.0 ind/L 时,其净化效果最佳。蓝蛤作为具有巨大潜能的双壳贝类,无论是从生产周期还是养殖成本方面来考虑,均可作为虾与多营养层次的综合养殖模式(integrated multi-trophic aquaculture, IMTA)的最佳候选种。通过该研究可以减少海洋污水的排放,实现高效的生态养殖,也可以为蓝蛤的种质资源保护提供基础资料。

#### 参考文献

- [1] 孙超,刘志鸿,杨爱国,等. 光滑河蓝蛤 3 个野生群体线粒体 COI 基因 遗传多样性研究[J]. 湖南农业科学,2013(7):4-7.
- [2] 吕昊泽. 缢蛏、光滑河蓝蛤和河蚬对盐度的适应性及碳、氮收支研究 [D]. 上海:上海海洋大学,2014.
- [3] 庄启谦. 中国近海帘蛤科的研究[J]. 海洋科学集刊,1964(5):43-125.
- [4] 魏利平. 光滑蓝蛤的生活习性及人工育苗的初步试验[J]. 海洋科学, 1984,8(6):32-35.
- [5] 孙超,刘志鸿,杨爱国,等.4 种河蓝蛤线粒体 COI 和 16S rRNA 基因序列的种间遗传分析[J]. 渔业科学进展,2014,35(1):82-90.
- [6] 张新峰,李金明,王立群,等. 焦河蓝蛤生长、繁殖与环境的关系[J]. 渔 业现代化,2004(5):16-17.
- [7] 刘吉明,佘君同.光滑河蓝蛤生殖习性初步研究[J].水产科学,2003,22 (5):12-13.
- [8] Standardization Administration of the People's Republic of China. Marine Monitoring Norms Part 4; Seawater Analysis; GB 17378. 4—2007 [S]. Beijing; Standards Press of China, 2007.
- [9] 邢殿楼,霍堂斌,吴会民,等. 总磷、总氮联合消化的测定方法[J]. 大连 海洋大学学报,2006,21(3):219-225.

(下转第64页)



#### 图 4 2013—2014 年蛮河孔湾断面主要污染指标聚类分析结果

### Fig. 4 Clustering analysis results of major pollution indicators at Kongwan section during 2013 - 2014

#### 3 结论

总体上看,2012—2014 年蛮河中上游南漳至宜城段水质 都存在超标现象,部分月份甚至达到劣V类。主要污染指标 为总磷、COD<sub>G</sub>、BOD<sub>5</sub>、阴离子表面活性剂、氨氮,2014 年蛮河 水质有所好转,但水污染防治工作还需要进一步加强。

由于南漳县和宜城市在城市规模、农业和畜禽养殖规模 及工业结构上存在明显差异,因此蛮河上游和中游的主要污 染因子存在明显的时空差异和变化。两地应根据该地的实 际情况有针对性地制定河流水资源保护和开发规划,促进蛮 河流域城镇的经济和水生态环境可持续发展,保障南水北调 中线工程的生态安全。

## 参考文献

- [1] 蔡述明,殷鸿福,杜耘,等. 南水北调中线工程与汉江中下游地区可持续发展[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(4):409-412.
- [2] SINGH K P, MALIK A, SINHA S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques: A case study [J]. Analytical chimica acta, 2005, 538(1/2):355-374.
- [3] CULLAJ A, HASKO A, MIHO A, et al. The quality of Albanian natural waters and the human impact[J]. Environment international, 2005, 31(1):133 - 146.
- [4] 于兴修,杨桂山.典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响:以太

#### (上接第60页)

recevered

- [10] 潘建林,徐在宽,唐建清,等. 湖泊大型贝类控藻与净化水质的研究
   [J].海洋湖沼通报,2007(2):69-79.
- [11] REEDERS H H, DE VAATE A B. Zebra mussels(*Dreissena polymorpha*): A new perspective for water quality management[J]. Hydrobiologia, 1990, 200:437-450.
- [12] 马晓娜,李甍,孙国祥,等. 贝藻混养对大西洋鲑养殖废水的生物滤除 [J]. 海洋科学,2016,40(1):32-39.
- [13] BASTVIKEN D T E, CARACO N F, COLE J J. Experimental measurements of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) impacts on phytoplankton community composition [J]. Freshwat Biol, 1998, 39(2):375-386.
- [14] TROELL M, HALLING C, NEORI A, et al. Integrated mariculture: Asking the right questions [J]. Aquaculture, 2003, 226 (1/2/3/4):69 – 70.
- [15] 董波,薛钦昭,李军.滤食性贝类摄食生理的研究进展[J].海洋科学, 2000,24(7):31-34.

湖上游浙江西苕溪流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(3): 211-217.

- [5] 王娟,高原.水环境质量评价3种方法的应用对比[J].工业安全与环保,2007,33(2):16-17.
- [6] SHRESTHA S, KAZAMA F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan [J]. Environmental modelling & software, 2007, 22 (4):464-475.
- [7] GAMBLE A, BABBAR-SEBENS M. On the use of multivariate statistical methods for combining in-stream monitoring data and spatial analysis to characterize water quality conditions in the White River basin, Indiana, USA [J]. Environmental monitoring & assessment, 2012, 184(2):845 – 875.
- [8] JHA D K, VINITHKUMAR N V, SAHU B K, et al. Multivariate statistical approach to identify significant sources influencing the physico-chemical varibles in Aerial Bay, North Andaman, India [J]. Marine pollution bulletin, 2014, 85(1):261 – 267.
- [9] 王陆军,俱国鹏,渭河宝鸡市区段阴离子表面活性剂污染研究[J].重 庆环境科学,2003,25(12):7-9.
- [10] 郑盛华,王宪,邱海源.不同养殖水体溶解氧与环境因子关系的比较 [J].海洋环境科学,2007,26(1):49-52.
- [11] 张莹莹,张经,吴莹,等.长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究 [J].环境科学,2007,28(8):1649-1654.
- [12] 陈春华.海口湾的溶解氧及海水水质指标限制值问题[J].海洋学报, 2006,28(2):146-150.
- [13] 丁梅梅,李小玲. 湟水流域水中溶解氧(DO)的含量及其规律分析 [J].环境研究与监测,2015(2):20-22.
- [16] 王吉桥,郝玉冰,张蒲龙,等. 栉孔扇贝与海胆和海参混养的净化水质作用[J]. 水产科学,2007,26(1):1-6.

+ . + . + . + . + . + . +

- [17] 李润玲,丁君,沈妍,等.光滑河蓝蛤酶活性对结冰前水温变化响应试验数据的分析与拟合[J].海洋环境科学,2015,34(5):706-712.
- [18] BAYNE B L, HAWKINS A J S, NAVARRO E. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (Bivalvia; Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations[J]. Journal of experimental marine biology & ecology, 1987, 111(1):1-22.
- [19] HAWKINS A J S, SMITH R F M, BAYNE B L, et al. Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: Mytilus edulis [J]. Marine ecology progress, 1996, 131 (1/2/3): 179 – 190.
- [20] 张继红,吴桃,高亚平,等.5 种滤食性贝类对牙鲆的粪便、残饵及网箱 养殖区沉降物的摄食行为[J].水产学报,2013,37(5):727-734.

# 科技论文写作规范——文内标题

*ჯგები მებინ დების დე* 

文章内标题力求简短,一般不超过20字,标题内尽量不用标点符号。标题顶格书写,文内标题层次不宜过多,一般不超。

🞖 过4 级,分别以1;1.1;1.1.1;1.1.1.1 方式表示。