

文章编号:1000-0615(2007)01-0038-07

栉孔扇贝的氮、磷排泄及其与温度、壳长之间的关系

宋娴丽^{1,2}, 孙耀¹, 武晋宣¹, 尹晖¹, 徐林梅¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 山东省海水养殖研究所, 山东 青岛 266002)

摘要:通过天然饵料条件下的室内流水法,测定并计算了栉孔扇贝氮、磷排泄物的排泄量及温度和壳长对其的影响,建立了相关的数学模型,并对栉孔扇贝排泄物中各种形态的N、P含量与组成进行了分析。结果显示:在实验条件范围内,扇贝排泄物中 V_{DTN} 、 V_{PTN} 的分布范围分别为 $14.94 \sim 248.28 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ 、 $1.47 \sim 84.08 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$, V_{DTP} 、 V_{PTP} 的分布范围分别为 $0.007 \sim 42.54 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ 、 $0.916 \sim 17.78 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ 。DTN、PTN占总氮排泄量的百分比分别为77.2%、22.8%,其中氨氮占50.8%;DTP、PTP占总磷排泄量的百分比分别为75.6%、24.4%。各形态N、P排泄速率均随着温度的升高而增加,溶解、颗粒态N、P与温度之间的关系可以用二项式曲线描述,而与壳长的关系可以用幂函数关系描述。溶解、颗粒态N、P均随温度和壳长的增加呈加速增大的趋势,它们与温度和壳长之间的关系均可用对数曲线加以定量描述,其交互作用模型分别为: $V_{DTN} = 131.13Lnt + 217.95LnL - 617.65$, $V_{PTN} = 67.41Lnt + 54.07LnL - 242.37$, $V_{DTP} = 8.67Lnt + 65.82LnL - 112.15$ 和 $V_{PTP} = 11.73Lnt + 11.14LnL - 43.74$,经协方差分析结果表明,其相关系数均呈非常显著水平。

关键词:栉孔扇贝;氮;磷;排泄

中图分类号:S 917

文献标识码:A

Effects of temperature and shell length on the excretion of nitrogen and phosphorus of *Chlamys farreri*

SONG Xian-li², SUN Yao¹, WU Jin-xuan¹, YIN Hui¹, XU Lin-mei¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China;

2. Marine Culture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002, China)

Abstract:The excretion features of farrer' scallop (*Chlamys farreri*) under simulated natural conditions were studied with the aim of learning the modality of nitrogen and phosphorus excretion, and their excretion rates. Moreover, the investigation of the relationship among water temperature, shell length and alga concentration was also carried out, and some mathematics models about several factors were made. The results showed the excretion rates of DTN and PTN were $14.94 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ to $248.28 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ and $1.47 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ to $84.08 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$, and the excretion rates of DTP and PTP were $0.007 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ to $42.54 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ and $0.916 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ to $17.78 \mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$.

收稿日期:2006-02-22

项目资助:国家自然科学基金农业倾斜项目(30271021)

作者简介:宋娴丽(1980-),女,新疆石河子人,硕士研究生,实习研究员,主要从事环境化学方面的研究。Tel:0532-82654050, E-mail:2918587@163.com.

通讯作者:孙耀, E-mail:sunyao@ysfri.ac.cn, Tel:13573228006

恒定,即保持流经呼吸室水量的恒定;从 A 槽溢出的水经侧位水槽 B 流入实验恒温槽 C,使 C 槽内的水始终处于流动状态,从而使其内海水温度保持相对恒定。从呼吸室出来的水历经三通 T₁ 或 T₂ 和球型水量调节阀 V₄,进入溶解氧流动测定槽 P;D 为溶解氧和温度测定仪(YSI-model, ±0.03 mg · L⁻¹);E 为丝网隔板;OP 为溶解氧探头。

实验分别在(10.2 ± 1.08)、(14.7 ± 0.59)、(18.4 ± 1.07)和(22.6 ± 0.56) °C 4 个自然水温下进行驯化和测定。在各温度下,实验按扇贝个体大小分成 4 组,其壳长分别为 30 ~ 40、40 ~ 50、50 ~ 60、60 ~ 70 mm。测定中依据扇贝个体的大小和放置的密度,选用 6 cm × 20 cm、7 cm × 30 cm、10 cm × 45 cm、14 cm × 45 cm 4 种规格的呼吸室。每个实验条件下设 3 个平行组及一个对照组,每个实验组按个体大小放置扇贝 3 ~ 4 个,待扇贝附着稳定后(约 2 h)方可取样。

测定过程中,每间隔 2 h 取一次水样,共持续 24 h,水样监测指标包括:氨氮(NH₄-N)、亚硝氮(NO₂-N)、硝氮(NO₃-N)、溶解无机磷(DIP)、溶解有机氮(DON)、溶解有机磷(DOP)、溶解态总氮(DTN)和溶解态总磷(DTP);取样 24 h 后,取出扇贝,收集沉积于呼吸室底部的颗粒态排泄物,高速离心后,虹吸出上覆海水,用少量蒸馏水冲洗脱盐,在 60 ~ 70 °C 下烘干(4 d),称重,进行颗粒态有机氮(PON)和颗粒态有机磷(POP)分析。由于整个实验过程中流速控制得较慢,接近于静水状态,并且扇贝在稳定后活动较少,因此水体中产生的颗粒态排泄物的再悬浮可以忽略不计。实验同时监测实验水体中溶氧量,并据此调节水槽内的流速。

1.3 测定方法

实验中应用溶解氧测定仪(YSI-model)对实验水体溶氧量进行了 24 h 连续监测。水体中的 NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N 和 DIP 的测定方法参见国家现行标准方法;DTP、DTN 采用过硫酸钾氧化法同时测定法^[18]。应用蛋白质自动分析仪测定颗粒物中的 PON,POP 测定则参照文献[19]提出的方法。

1.4 计算方法

溶解态排泄物的排泄速率

$$V_D (\text{M}[\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}]) = (C - C_0) \times v/n$$

其中, V_D 分别为水样中各形态氮、磷的净增量,即各形态氮、磷的排泄速率(μg · h⁻¹); C 为出水口水样中各指标的浓度(μg · L⁻¹); C₀ 为进水口水样中各指标的浓度(μg · L⁻¹); v 为各呼吸室水流的速度; n 为各实验扇贝的个数。

排泄速率 V_D 与 24 的乘积即扇贝个体一天的总排泄量。

颗粒态排泄物的排泄速率

$$V_P ([\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}]) = (W - W_0)/n \cdot t$$

其中, V_P 分别为颗粒态排泄物中(TN、TP)的排泄速率(μg · h⁻¹); W 为颗粒态排泄物中 TN、TP 的总排泄量; W₀ 为空白对照组中收集的总量; n 为各实验扇贝个数; t 为收集所持续的时间(h)。

2 结果与讨论

2.1 各环境因子和栉孔扇贝排泄速率的相互关系

温度与氮排泄量的关系 以温度(t: °C)温度为自变量,对不同规格栉孔扇贝 DTN、PTN、DTP 及 PTP 这几种形态、磷的排泄速率 V[μg · (h · ind)⁻¹]数据进行拟合,结果表明温度与这几种形态的氮、磷排泄速率之间均符合二次多项式关系,即 V = at² + bt + c; 且所有拟合的曲线的 R² 值为 0.767 ~ 0.999。具体关系及对拟合方程各项参数的检验结果见表 1,拟合曲线见图 2。

从图 2 中可以看出,4 种不同规格大小的扇贝对溶解、颗粒态 N、P 的排泄速率均随着温度的升高而增大,且随着壳长的增加,变化幅度越大。该实验结果与王俊等^[12]在研究栉孔扇贝能量收支时得出的结果一致。他证实栉孔扇贝个体排氮率与温度呈正相关关系,在表 1 中虽没有列出氨氮随温度的拟合方程,但是扇贝对氨氮的排泄量通常在溶解态总氮排泄量中占有比较固定的比例(约为 70%),因此,本次实验结果在氮排泄规律上与该实验结果具有一致性。这可能是由于规格较大的扇贝摄食、消化及代谢能力旺盛,从而导致各形态 N、P 排泄速率随着温度的升高比规格较小的扇贝增加的趋势更为明显一些。此外,在现场条件下,夏季当水温超过其适温上限 26 °C 时^[20],随着栉孔扇贝的摄食率的下降及环境中饵料数量的下降,会导致扇贝对各形态 N、P 排泄速率降低及各形态组分发生变化。由于本次实验中最高水温为 22 °C,因此,在水温升至 26 °C 以后,各形态氮、磷的变化趋势还有待于进一步研究。

ind)⁻¹. The content of DTN and PTN were 77.2% and 22.8%, thereinto, the content of ammonia was 50.8%, while the contents of DTP and PTP were 75.6% and 24.4%. The individual total nitrogen and phosphorus excretion rates of the scallop are positively correlated with the shell length and temperature in range of 9.2–27.3 °C. After considering dissolution and particle excretion of nitrogen and phosphorus, the excretion rates of *C. farreri* were related to temperature by quadratic equations, and to shell length by the allometric equations. The interaction of temperature and shell length with DTN, PTN, DTP and PTP could be described by the models $V_{DTN} = 131.13Lnt + 217.95LnL - 617.65$, $V_{PTN} = 67.41Lnt + 54.07LnL - 242.37$, $V_{DTP} = 8.67Lnt + 65.82LnL - 112.15$ and $V_{PTP} = 11.73Lnt + 11.14LnL - 43.74$, furthermore, the results of analysis covariance of those models were $P < 0.01$.

Key words: *Chlamys farreri*; nitrogen; phosphorus; excretion

近年来,随着养殖产业规模不断扩大,养殖方式由半集约化向高度集约化发展,养殖扇贝大规模死亡频频发生,养殖的自身污染问题也逐渐显露且日益突出,而扇贝养殖所产生的排泄物是引起养殖水域自身污染的主要源头^[1-5]。为了缓解其对养殖环境自身污染的压力,达到保护环境、生态养殖、可持续发展的目标,尽快开展贝类排泄物对养殖环境污染研究,变得至关重要。

目前,关于贝类自身污染的研究国外进行得较早且比较广泛^[6-9],国内研究起步较晚,且主要是从能量学和生理学的角度探讨扇贝的一些生理、生化指标^[10-12],对其排泄物的研究则仅限于某一种或几种形态的研究^[10-15]。在这些研究中,单纯的室内模拟实验由于实验条件和方法的缺陷而具有一定的局限性^[10,14,16],采用现场生物沉积的方法,又因为无法收集溶解态 N、P 排泄的数据而缺乏完整性^[15,17],从而导致在评价扇贝排泄对某养殖水体污染影响的时候,缺乏可靠、确凿的数据支持。另一方面,目前对水产动物氮排泄与环境因子之间的关系的研究已取得了一些进展^[18-19],但用于表述栉孔扇贝氮、磷排泄与各环境因子之间关系的数学模型的建立还未见研究报道,这一数学模型的建立对处于不同海区环境的内栉孔扇贝所产生的作用具有一定的预测性。

本实验通过半现场流水法测定并计算了栉孔扇贝 N、P 排泄物的排泄量,探讨各环境因子对其氮、磷排泄量的影响,建立了相关的数学模型;结合生物沉积法,分析并确定了栉孔扇贝排泄物各 N、P 形态的组成及其含量。此方法介于现场法与静水实验法之间,不但可以更好地模拟现场环境,而且可以使排泄物完整收集。实验结果有助于进一步了解贝类排泄物的组成、含量及其在养

殖环境中所起的作用,探讨贝类代谢物与环境之间的相互关系,为养殖容量的研究提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 材料来源与培养

实验用栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 购自青岛市沿海扇贝养殖水域。扇贝取回后,用刷子仔细清洗表面的附着物,然后选取活泼无损个体,放入玻璃钢水槽中暂养。暂养期间连续充气,每日投喂扁藻并换水 1~2 次。扇贝壳长为 3~7 cm,数量为实验用量的 3~5 倍。实验期间海水温度为 10~22 °C,盐度 29~30, pH 7.92~8.21。

1.2 实验设施与方法

栉孔扇贝暂养 1 周后可用于实验,实验采取流水模拟自然状态的方法进行,流速为 90~150 mL·min⁻¹。实验装置如图 1 所示。

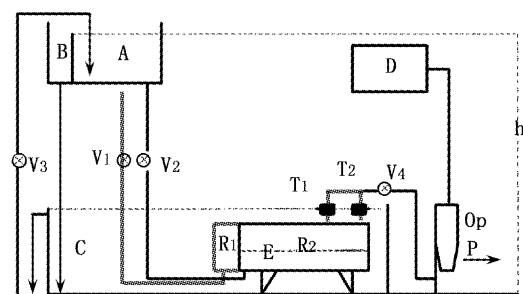


图 1 流水式贝类排泄测定仪结构

Fig. 1 Structure of continuous-flow excretion for scallop

天然海水经沉淀和高压沙滤处理后进入上位水槽 A,上位水槽的水经球型开关阀 V₁ 和 V₂ 分别进入呼吸室 R₁ 和 R₂。调节球型阀 V₃,使多余的水从 A 槽溢出,从而保持实验过程水位差 h 的

表1 DTN,PTN,DTP及PTP随温度变化的拟合方程及各项参数的检验结果
 Tab.1 The relationship between temperature and excretion rates of the nitrogenous and phosphorus materials in different sizes

壳长 (cm) shell length	回归方程 fit equation	参数 parameters			检验结果 test result	
		a	b	c	P	R ²
3.80 ± 0.10	$V_{DTN} = -0.10t^2 + 7.09t - 48.80$	-0.10 ± 0.61	7.09 ± 119.67	-48.80 ± 148.67	0.48	0.767
	$V_{PTN} = 0.37t^2 - 9.22t + 58.47$	0.37 ± 0.26	-9.22 ± 8.36	58.47 ± 63.20	0.30	0.999
	$V_{DTP} = 0.16t^2 - 2.41t + 7.59$	0.16 ± 0.04	-2.41 ± 1.19	7.59 ± 8.98	0.05	0.998
	$V_{PTP} = 0.04t^2 - 0.89t + 6.17$	0.04 ± 0.02	0.89 ± 0.54	6.17 ± 4.08	0.15	0.977
4.51 ± 0.17	$V_{DTN} = 0.53t^2 - 10.40t + 83.82$	0.53 ± 0.39	-10.40 ± 12.60	83.82 ± 95.22	0.20	0.960
	$V_{PTN} = 0.59t^2 - 14.10t + 87.18$	0.59 ± 0.32	-14.10 ± 10.35	87.18 ± 78.23	0.22	0.953
	$V_{DTP} = 0.16t^2 - 2.08t + 5.04$	0.16 ± 0.02	-2.08 ± 0.79	5.04 ± 5.95	0.03	0.999
	$V_{PTP} = 0.06t^2 - 1.34t + 8.72$	0.06 ± 0.02	-1.34 ± 0.67	8.72 ± 5.09	0.13	0.984
5.43 ± 0.22	$V_{DTN} = 0.57t^2 - 7.92t + 68.49$	0.57 ± 0.25	-7.92 ± 8.20	68.49 ± 61.98	0.09	0.993
	$V_{PTN} = 0.37t^2 - 6.49t + 34.44$	0.37 ± 0.48	-6.49 ± 15.37	34.44 ± 116.20	0.29	0.916
	$V_{DTP} = 0.10t^2 - 0.11t - 7.82$	0.10 ± 0.03	-0.11 (0.89)	-7.82 ± 6.69	0.03	0.999
	$V_{PTP} = 0.06t^2 - 1.05t + 6.48$	0.06 ± 0.14	-1.05 ± 4.54	6.48 ± 34.33	0.46	0.788
6.45 ± 0.25	$V_{DTN} = 0.16t^2 + 10.35t - 51.97$	0.16 ± 0.86	10.35 ± 27.85	-51.97 ± 210.46	0.20	0.961
	$V_{PTN} = 0.09t^2 + 2.72t - 27.77$	0.09 ± 0.45	2.72 ± 14.35	-27.77 ± 108.49	0.27	0.928
	$V_{DTP} = -0.06t^2 + 5.09t - 42.15$	-0.06 ± 0.07	5.09 ± 2.38	-42.15 ± 17.99	0.08	0.993
	$V_{PTP} = 0.03t^2 + 0.13t - 2.81$	0.03 ± 0.09	0.13 ± 3.02	-2.81 ± 22.85	0.27	0.930

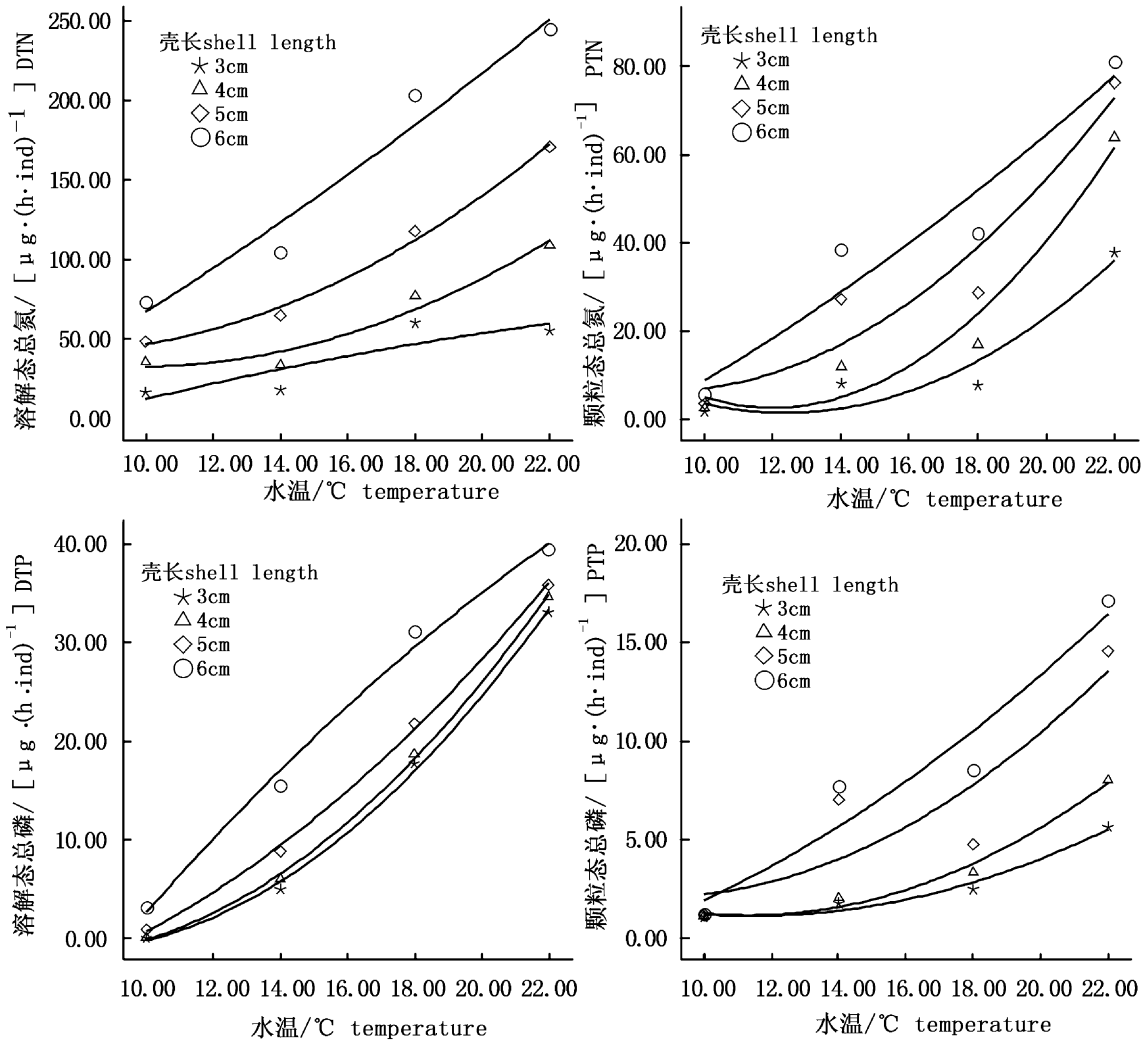


图2 DTN,PTN,DTP及PTP随温度变化的拟合曲线
 Fig.2 The fit curves of the relationship between temperature and excretion rates of the nitrogenous and phosphorus materials in different sizes

壳长与氮排泄的关系 以壳长(L : cm)为自变量,对不同温度下栉孔扇贝 DTN、PTN、DTP 及 PTP 这几种形态的氮、磷排泄速率 V [$\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$] 数据进行拟合,结果显示,壳长与溶解、颗粒态 N、P 排泄速率之间的关系均符合幂函数关系,即 $V = aL^b$,拟合方程见表 2。

壳长与氮排泄的关系 以壳长(L : cm)为自变量,对不同温度下栉孔扇贝 DTN、PTN、DTP 及 PTP 这几种形态的氮、磷排泄速率 V [$\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$] 数据进行拟合,结果显示,壳长与溶解、颗粒态 N、P 排泄速率之间的关系均符合幂函数关系,即 $V = aL^b$,拟合方程见表 2。

表 2 DTN、PTN、DTP 及 PTP 随壳长变化的拟合方程及各项参数的检验结果
Tab. 2 The relationship between shell length and excretion rates of the nitrogenous and phosphorus materials at different temperatures

温度(°C) temperature	回归方程 fit equation	参数 parameters		检验结果 test result	
		a	b	P	R^2
10	$V_{\text{DTN}} = 0.59 L^{2.61}$	0.59 ± 0.46	2.61 ± 0.48	<0.05	0.936
	$V_{\text{PTN}} = 0.10 L^{2.16}$	0.10 ± 0.04	2.16 ± 0.26	<0.05	0.971
	$V_{\text{DTP}} = 3.5 \times 10^{-10} L^{12.37}$	$(3.5 \times 10^{-10}) \pm (1.17 \times 10^{-9})$	12.37 ± 2.09	<0.05	0.946
	$V_{\text{PTP}} = 0.72 L^{0.28}$	0.72 ± 0.04	0.28 ± 0.03	<0.05	0.973
14	$V_{\text{DTN}} = 0.22 L^{3.34}$	0.22 ± 0.05	3.34 ± 0.14	<0.01	0.997
	$V_{\text{PTN}} = 0.12 L^{3.13}$	0.12 ± 0.07	3.13 ± 0.34	<0.05	0.977
	$V_{\text{DTP}} = 0.26 L^{2.15}$	0.26 ± 0.14	2.15 ± 0.33	<0.05	0.954
18	$V_{\text{PTP}} = 0.02 L^{3.24}$	0.02 ± 0.03	3.24 ± 0.88	0.07	0.872
	$V_{\text{DTN}} = 2.97 L^{2.23}$	2.97 ± 1.54	2.23 ± 0.32	<0.05	0.959
	$V_{\text{PTN}} = 0.13 L^{3.13}$	0.13 ± 0.07	3.13 ± 0.32	<0.05	0.980
	$V_{\text{DTP}} = 4.40 L^{1.01}$	4.40 ± 1.97	1.01 ± 0.28	<0.05	0.931
22	$V_{\text{PTP}} = 0.12 L^{2.24}$	0.12 ± 0.05	2.24 ± 0.28	<0.05	0.969
	$V_{\text{DTN}} = 1.50 L^{2.75}$	1.50 ± 0.37	2.75 ± 0.15	<0.01	0.994
	$V_{\text{PTN}} = 6.26 L^{1.42}$	6.26 ± 3.21	1.42 ± 0.32	<0.05	0.900
22	$V_{\text{DTP}} = 21.67 L^{0.31}$	21.67 ± 2.27	0.31 ± 0.06	<0.05	0.921
	$V_{\text{PTP}} = 0.32 L^{2.16}$	0.32 ± 0.21	2.16 ± 0.40	<0.05	0.935

由表 2 可知,各温度下,壳长与氮排泄量均呈正相关的幂函数关系,且 R^2 均为 0.872 ~ 0.997, P 值除 14 °C 时出现一个 0.07 以外,其余均小于 0.05,呈显著相关趋势。此研究结果与王俊等^[12] 的研究结果一致,拟合方程的形式与李宝泉等^[21]、线微微等^[22] 对刺参及梭鱼排泄率相关研

究中所用的拟合方程的形式相同。

温度、壳长与氮排泄的关系 以温度(T)和壳长(L)为自变量,分别取对数后,对栉孔扇贝 DTN、PTN、DTP 及 PTP 这几种形态的氮、磷排泄速率 V [$\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$] 数据进行双因素回归运算,拟和方程及参数检验的结果见表 3。

表 3 温度与壳长对扇贝溶解态和颗粒态 N、P 排泄速率的交互作用拟合方程及参数检验结果
Tab. 3 The interaction of temperature and shell length of *C. farreri* on the excretion rates of dissolution or particle nitrogen and phosphorus

拟合方程 fit equation	参数 parameters			检验结果 test result	
	a	b	c	P	R^2
$V_{\text{DTN}} = 131.13 \text{Ln}t + 217.95 \text{Ln}L - 617.65$	131.13 ± 24.06	217.95 ± 35.41	-617.65 ± 86.03	<0.01	0.842
$V_{\text{PTN}} = 67.41 \text{Ln}t + 54.07 \text{Ln}L - 242.37$	67.41 ± 15.86	54.07 ± 10.77	-242.37 ± 38.53	<0.01	0.800
$V_{\text{DTP}} = 8.67 \text{Ln}t + 65.82 \text{Ln}L - 112.15$	8.67 ± 2.62	65.82 ± 3.85	-112.15 ± 9.35	<0.01	0.959
$V_{\text{PTP}} = 11.73 \text{Ln}t + 11.14 \text{Ln}L - 43.74$	11.73 ± 3.30	11.14 ± 2.24	-43.74 ± 8.01	<0.01	0.747

由表 3 中的拟合结果可以看出,栉孔扇贝对溶解、颗粒态 N、P 的排泄速率与温度和壳长之间的关系均可用对数曲线加以定量描述,溶解、颗粒态 N、P 均随温度和壳长的增加呈增大的趋势,经协方差分析结果表明,其相关系数均呈非常显著水平。

2.2 栉孔扇贝代谢产物的形态分析

不同温度下,不同规格大小的栉孔扇贝排泄

物氮、磷形态分布见表 4。在实验温度下,在实验条件范围内,对各种规格扇贝的氮排泄量取平均值得出,扇贝排泄物中 V_{DTN} 、 V_{PTN} 的分布范围分别为:14.94 ~ 248.28 $\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$, 1.47 ~ 84.08 $\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$, V_{DTP} 、 V_{PTP} 的分布范围分别为:0.007 ~ 42.54 $\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$, 0.916 ~ 17.78 $\mu\text{g} \cdot (\text{h} \cdot \text{ind})^{-1}$ 。DTN、PTN 占总氮排泄量的百分比分别为 77.2%、22.8%,其中氨氮占

50.8% ,DTP、PTP 占总磷排泄量的百分比分别为 75.6%、24.4%。各形态 N、P 排泄速率均随着温

度的升高而增加。

表 4 不同温度、壳长扇贝排泄物氮、磷含量及其存在形态
Tab. 4 Nitrogen and phosphorus excretion rates of *C. farreri* of different shell length at different temperatures

温度(°C) temperature	壳长(cm) shell length	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	DON	DTN	DIP	DOP	DTP	PTN	PTP
10	3.80±0.10	11.00±1.02	0.86±0.02	2.47±0.43	14.33±1.43	2.34±2.05	16.67±1.69	0.01±0.00	-	0.01±0.002	1.69±0.20	1.06±0.13
	4.42±0.05	23.26±1.98	0.96±0.03	2.46±2.14	26.68±1.28	9.07±2.60	35.75±3.07	0.01±0.00	-	0.01±0.00	2.67±0.17	1.09±0.07
	5.54±0.09	26.68±3.27	2.25±0.43	5.79±1.24	34.72±3.89	13.89±6.87	48.62±4.61	0.40±0.67	0.46±0.79	0.85±1.46	3.53±0.18	1.19±0.06
	6.40±0.02	34.09±4.50	3.76±1.07	9.66±2.74	47.51±8.23	25.74±8.07	73.25±9.31	3.75±2.37	-	3.13±1.34	5.67±0.56	1.22±0.12
14	3.80±0.01	12.48±0.67	1.58±0.67	2.60±0.50	16.66±0.57	1.59±1.93	18.14±1.51	2.42±1.20	-	4.95±1.80	8.01±1.06	1.73±0.23
	4.52±0.14	22.30±2.34	1.57±0.47	4.10±2.38	27.97±2.36	5.96±6.46	33.93±8.75	1.97±1.65	1.58±2.75	5.99±0.62	11.90±1.00	2.01±0.17
	5.43±0.12	39.63±6.31	1.34±0.33	4.00±0.91	44.96±7.25	19.89±6.36	64.86±12.13	4.69±2.77	3.94±3.49	8.82±4.24	27.22±2.76	7.02±0.71
	6.45±0.04	62.96±4.90	2.51±1.01	6.07±0.09	71.54±5.49	33.25±9.31	104.79±3.95	7.22±2.99	8.26±3.66	15.47±0.91	38.33±1.75	7.63±0.35
18	3.70±0.07	48.96±6.89	2.41±0.69	4.56±2.06	55.93±9.51	8.47±7.38	60.18±6.05	7.97±5.22	9.76±6.73	17.74±1.69	7.67±0.39	2.45±0.12
	4.59±0.05	38.77±9.61	1.89±0.42	7.92±0.05	68.59±21.50	12.05±20.87	77.09±14.72	7.48±1.52	11.25±0.77	18.73±1.27	16.95±1.63	3.32±0.32
	5.30±0.07	78.90±21.25	1.51±0.26	5.97±0.86	85.38±21.50	31.33±22.58	117.71±1.76	8.74±2.04	13.07±7.92	21.81±5.91	23.67±1.71	4.75±0.23
	6.45±0.04	111.79±12.81	1.98±0.47	8.41±1.30	122.19±12.79	80.93±13.42	233.17±6.77	9.40±0.43	21.74±3.94	31.14±4.39	42.22±2.65	8.50±0.57
22	3.74±0.04	47.05±0.75	--	0.01±0.001	47.05±0.75	8.31±3.51	55.37±4.26	9.17±3.00	13.60±19.24	33.11±1.63	37.82±0.36	5.63±0.05
	4.79±0.01	86.23±9.96	--	0.01±0.01	86.23±9.96	22.95±1.19	109.24±3.75	13.89±3.43	11.29±15.96	34.73±1.02	63.81±0.91	8.02±0.11
	5.46±0.13	123.46±5.18	--	0.03±0.002	123.46±5.18	47.26±5.80	170.74±10.98	10.99±7.84	24.92±8.86	35.90±1.019	76.26±2.89	14.53±0.55
	6.49±0.23	171.60±1.61	--	0.02±0.008	171.60±1.61	73.00±3.56	244.63±5.16	13.61±1.67	25.94±2.57	39.54±4.239	80.99±4.37	17.13±0.92

在变化趋势上,同一温度下,除 NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、DIP 及 DOP 变化趋势均不明显外,其余指标均随着个体的增大而升高,而同一规格的扇贝,NH₄-N、DIN、DTN、DIP 及 DOP 的排泄速率随着温度的升高也逐渐增大,其余指标的变化趋势也不显著。

在形态组成上,DIN 占 DTN 含量的 52.2%~100%,其中 NH₄-N 的含量就占到了 40.9%~88.8%,此比例在同一温度下,随个体的增大而降低,同一规格的扇贝,随着温度的升高,此比例也有降低的趋势。这说明,随着个体和温度的增加,扇贝对溶解有机氮的排泄是逐渐增加的。

从扇贝对 N、P 的排泄量来看,单个贝体平均每天对 N 的排泄量为 0.39~7.83 mg,其中,溶解态氮占总氮排泄量的 57.9%~93.9%,构成了扇贝氮排泄的主要组成部分,而对 P 的排泄量为 0.02~1.45 mg,其中溶解态磷站总磷排泄量的 0.6%~89.3%,且各形态磷的组成变化趋势均不明显。本实验中氨氮的含量与周毅等^[16]研究的结果 70.8%~80.1% 相比,其变化幅度范围稍大,主要是因为实验选取的是多种规格的扇贝,且总氮中加入了颗粒态氮的含量,从而导致实验结果变化幅度较大,相比而言,本实验的结果更具有

现实意义。

3 结语

本实验通过在室内模拟条件下,对栉孔扇贝对氮、磷的排泄速率、形态分析及其与各环境因子之间的相互关系,做了较为系统的探讨,并建立了相关的数学模型。本次实验中最高水温低于扇贝生长最适温度的上限 26 °C,因此在水温升至 26 °C 以后,各形态氮、磷的变化趋势还有待于进一步研究。此外,对于各数学模型,若能找出模型各中参数的实际意义,将有助于更好的理解扇贝的氮、磷排泄特征及其与各环境因子之间的关系,使模型更具有说服力。

鉴于我国栉孔扇贝养殖密度一般为 50 ind·m⁻²,那么可以估算,当水温为 22 °C 时,每公顷体长为 3 cm 和 6 cm 栉孔扇贝的总氮排泄量分别为 7.46 kg·d⁻¹和 26.06 kg·d⁻¹,总磷分别为 3.10 kg·d⁻¹和 4.54 kg·d⁻¹,其他季节,以此类推。此结果可运用于评价和估算栉孔扇贝在某海域生态系统中的作用及海域环境容量的大小,这对水产养殖的可持续发展具有非常重要的指导意义和参考价值。

参考文献:

- [1] Kaspar H F, Gill Espie P A, Boyer I C, *et al.* Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepru Sounds [J]. *Mar Biol*, 1985, 85:127-136.
- [2] Rodhouse P G. Production of mussels *Mytilus edulis* in sus-pended culture and estimates of carbon and nitrogen flow; Killary Harbour, Ireland [J]. *J Biol Assoc, UK*, 1985, 65:55-68.
- [3] Reeders H H, de Vaate B. Bioprocessing of polluted susp-ended matter from the water column by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas) [J]. *Hydrobiologia*, 1992, 239(1): 53-63.
- [4] Mironov O G, Shchekaturina T L. Oil change in excretory products of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) [J]. *Mar Pollut Bull*, 1979, 10(8): 232-234.
- [5] Nakamura M, Yamamuro M, Ishikawa M, *et al.* Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon [J]. *Marine Biology*, 1988, 99(3): 369-374.
- [6] Hiwatari T, Kohata K, Iijima A. Nitrogen budget of the bivalve *Macra veneriformis*, and its significance in benthic-pelagic systems in the sanbanse area of Tokyo Bay estuarine [J]. *Coastal and Shelf Science*, 2002, 55(2): 299-308.
- [7] Pereladov M V. The role of artificial habitats in mussel farm and the coastal Black Sea ecosystems [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1994, 55(2-3): 1349.
- [8] Kautsky N, Evans S. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in Baltic costal ecosystem [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1987, 38: 201-212.
- [9] Jordon T E, Valiela I. A nitrogen budget of the ribbed mussel, *Geukensia demissa*, and its significance in nitrogen flow in a New England salt marsh [J]. *Limnol Oceanogr*, 1982, 27: 75-90.
- [10] 范德朋, 潘鲁青, 马 甦, 等. 盐度和 pH 对缢蛭耗氧率及排氮率的影响 [J]. *中国水产科学*, 2002, 9(3): 234-237.
- [11] 张继红, 方建光, 梁翻鹏. 低温对栉孔扇贝能量收支的影响 [J]. *中国水产科学*, 2002, 9(1): 48-51.
- [12] 王 俊, 姜祖辉, 张 波, 等. 栉孔扇贝能量收支的研究 [J]. *海洋水产科学*, 1999, 20(2): 71-75.
- [13] 王 俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氮率的研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1157-1160.
- [14] 张继红, 方建光, 董双林. 4 种海鞘排泄的初步研究 [J]. *海洋水产研究*, 2000, 21(1): 31-36.
- [15] 周 毅, 杨红生, 张福绥. 四十里湾栉孔扇贝的生长余力和 C、N、P 元素的收支 [J]. *中国水产科学*, 2002, 9(2): 161-166.
- [16] 周 毅, 杨红生, 何义朝, 等. 四十里湾几种双壳贝类及污损动物的氮、磷排泄及生态效应 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4): 424-431.
- [17] 王 俊, 姜祖辉, 陈瑞盛. 栉孔扇贝生物沉积作用的研究 [J]. *中国水产科学*, 2004, 11(3): 225-230.
- [18] 赵卫红, 焦念志, 赵增霞. 海水中总氮和总磷的同时测定 [J]. *海洋科学*, 1999, 5: 64.
- [19] 扈传昱, 王正方. 海水和海洋沉积物中总磷的测定 [J]. *海洋环境科学*, 1999, 18(3): 48-52.
- [20] 王如才, 王昭萍, 张建中. 海水贝类养殖学 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993: 155-204.
- [21] 李宝泉, 杨红生, 张 涛, 等. 温度和体重对刺参呼吸和排泄的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(2): 182-187.
- [22] 线微微, 朱鑫华. 梭鱼标准代谢、内源氮排泄与体重和温度的关系 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(3): 368-374.