

温度对锯缘青蟹溞状幼体呼吸和排泄的影响

朱小明, 李少菁, 宋星宇

(厦门大学海洋学系 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 用水瓶法和径流装置测定了锯缘青蟹各期溞状幼体($Z_1 \sim Z_5$)在不同温度(22、24、26、28、30 和 32)下的耗氧率和氨氮排泄率。实验结果表明,耗氧率和氨氮排泄率随温度的升高而升高,但各期幼体之间存在差异; Q_{10} 值表明,最适温度 Z_1 和 Z_2 是 24~26 , Z_3 和 Z_4 是 28~30 , 而 Z_5 是 26~28 ;耗氧率和氨氮排泄率与幼体干质量呈幂函数关系, $M = aDW^b$,耗氧率和氨氮排泄率的 a 值范围分别是 119.26~304.64 和 508.13~942.17,平均值分别为 180.23 和 754.74; b 值范围分别是 -0.672 4~ -0.515 5 和 -0.772 9~ -0.453 6,平均值分别为 -0.586 5 和 -0.613 1;不同温度下各期幼体的 O/N 平均值为 15.6,青蟹幼体主要以蛋白质代谢物质;耗氧率和氨氮排泄率与温度和体重的二元回归方程分别为 $R = 14.83 + 0.526 T - 0.090 DW$ ($r^2 = 0.821 1$, $n = 26$) 和 $E = 6.09 + 4.47 T - 0.376 DW$ ($r^2 = 0.779 6$, $n = 26$), F 检验表明相关性极显著 ($F < F_{0.01}$)。

关键词: 锯缘青蟹;溞状幼体;耗氧率;氨氮排泄率

中图分类号: S 968.25

文献标识码: A

锯缘青蟹 (*Scylla serrata*) 是我国东南沿海重要的经济蟹类。近十多年来,李少菁等对锯缘青蟹生殖生物学和人工育苗^[1],对青蟹幼体发育过程中对饲料的质和量需求的变化,饲料影响与制约各期幼体生长及元素含量以及相应的幼体发育过程的消化道组织学与组织化学、消化酶活力、物质特别是脂类物质代谢进行了逐步深入的研究^[2],为锯缘青蟹人工育苗和养殖提供了翔实的理论和实践依据。

呼吸和排泄是代谢的两个重要组分,研究各种环境因子(饲料、温度、盐度、pH 等)和内在因子(体重、发育期等)对呼吸和排泄的影响有利于了解动物代谢活动的变化规律,是能量代谢和营养生理学研究的主要内容^[3]。水生动物耗氧率和氨排泄率的研究国内外报道很多,但主要集中于鱼类、贝类生理生态和生物能学研究^[4~6],甲壳动物十足类研究相对较少,且成体的研究报道多于幼体的^[7~10]。周洪琪^[11]等研究了中国对虾 (*Penaeus orientalis*) 幼体的

呼吸和排泄;Kurmaly^[12]建立了斑节对虾 (*P. monodon*) 各期幼体能量收支模型;Anger 等研究了互爱蟹 (*Hyas coarctatus* 和 *H. araneus*) 等蟹类幼体的能量代谢^[13~15];青蟹幼体能量代谢的研究至今未见报道。作者报道温度、体质量(不同发育期)对锯缘青蟹溞状幼体($Z_1 \sim Z_5$)耗氧率和氨氮排泄率的影响;探讨不同条件下代谢底物的变化情况。为锯缘青蟹人工育苗和养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1998 年 8 月至 9 月厦门大学青蟹课题组在厦门大学工学馆海洋系青蟹实验池进行青蟹人工育苗。亲蟹来自厦门海区,在实验池驯养抱卵,抱卵蟹经精心培育至孵化。实验用海水为经 5 μm 孔径的滤袋过滤的沙滤海水,实验水温 29 ± 1 ,比质量 1.018~1.020。实验用饲料为轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 和刚孵化的卤虫 (*Artemia* sp.) 无节幼虫。

1.2 实验装置

代谢瓶为 1、3 dm^3 的广口磨口瓶,根据不同实验的需要分别采用水瓶法 (Water Bottle Method) 和径流装置 (Flow-through System) 测定耗氧率和氨氮排泄率,水浴法控制水温,用 HL-2 恒流泵控制流量。取样装置和径流装置详见参考文献[16]。

收稿日期:2002-03-10

基金项目:“海洋生物优良种质和生物活性物质的应用基础研究”福建省重中之重大项目资助

作者简介:朱小明(1966-),男,副教授,博士。

Email: ZXM@jingxian.xmu.edu.cn

1.3 实验幼体的处理和干质量测定

取自育苗池的青蟹幼体经新制过滤海水洗涤 2 次,饥饿或喂食轮虫或卤虫无节幼虫,在实验温度下水浴培养 2~4 h,喂食轮虫、卤虫无节幼虫的青蟹幼体在装入代谢瓶前再洗涤 1 次。取锯缘青蟹各发育期(每天)幼体,用砂滤再经网滤的海水洗涤 2 次,用滴管挑数一定数量(Z_1 , 3 000~4 000; Z_2 , 2 000~2 500; Z_3 , 800~1 000; Z_4 , 500~600; Z_5 , 150~250;)的幼体于 200 目预先称重的尼龙筛网上,用去离子水洗涤 2 次,在 60℃ 下烘干 24 h 至恒重后,取出存放于干燥器内待测定个体干质量(DW , μg)。干质量用 Sartorius BP211D 型电子天平称量(0.01 mg)。

1.4 耗氧率和排氮率的测定

按代谢瓶的体积投放幼体, $Z_1 \sim Z_5$ 幼体数分别为 200、120、80、60 和 40 ind/ dm^3 。水瓶法是:代谢瓶和对照瓶水浴培养 3~4 h,分别测定代谢瓶和对照瓶的溶解氧(DO_t 、 DO_0 , mg/dm^3)和氨氮(N_t 、 N_0 , $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)的含量;溶解氧用 OX-11E₁ 型溶氧测定仪测定,用碘量法校正,氨氮采用靛酚蓝分光法在 752-C 型紫外分光光度仪上测定;耗氧率和排氮率的计算公式为:

$$R = \frac{(DO_0 - DO_t) \times V}{n \cdot DW \cdot t}$$

$$U = \frac{(N_t - N_0) \times V}{n \cdot DW \cdot t}$$

式中 V 是实验瓶的体积(dm^3), n 是实验幼体数, DW 是幼体个体干质量(g), t 是培养时间(h)。径流装置是:每隔 1 h 测定实验瓶(实验瓶用磁力搅拌器搅拌)的流出和流入水样的溶解氧(DO_t 、 DO_0 , mg/dm^3)和氨氮(N_t 、 N_0 , $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)的含量;耗氧率和排氮率的计算公式为:

$$R = \frac{(DO_0 - DO_t) \times \text{流量}}{n \cdot DW \cdot t}$$

$$U = \frac{(N_t - N_0) \times \text{流量}}{n \cdot DW \cdot t}$$

耗氧率(R , $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{h}$), 氨氮排泄率(U , $\mu\text{mol}/\text{g} \cdot \text{h}$)。以上生理速率的测定都是在模拟青蟹幼体培育的光和温盐等条件下进行的。

2 实验结果

2.1 温度对青蟹幼体耗氧率的影响

锯缘青蟹幼体耗氧率和幼体干质量的关系可以用幂函数关系方程 $R = aDW^b$ 来描述, a , b 和 r^2 值

见表 1。 a 值范围是 119.26~304.64, 平均为 180.23, 最高是 32 的 304.64, 次高是 26 的 187.87。 a 值没有随温度升高而呈明显的升高或下降趋势。 b 值范围是 -0.672 4~-0.515 5, 平均为 -0.586 5, a 值大的温度组 b 值相对较小。从图 1 可以看出,随着温度的升高各期幼体耗氧率有上升的趋势,但各期幼体这种变化的趋势存在着差异。耗氧率随着幼体发育而下降的趋势是比较明显的,从 Z_1 到 Z_5 各期幼体平均耗氧率分别是 32.38、30.44、18.84、11.51 和 5.70 $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{h}$;耗氧率的这一变化规律在 Z_1 蜕皮周期内也表现得十分明显, Z_1 个体干体质量从第 1 天的 10.7 μg 增长到第 4 天 17.0 μg , 而耗氧率则由第 1 天的 41.69 下降为第 4 天的 28.40, $R = 259.33 DW^{-0.766 8}$ ($r^2 = 0.953$, $n = 6$)。

在 22~32℃ 的范围内,各期幼体都有其相应的

表 1 锯缘青蟹幼体耗氧率与幼体干质量回归方程 ($R = aDW^b$) 常数

Tab. 1 The correlation coefficient of power equation ($R = aDW^b$) between oxygen consumption and dry weight of *S. serrata* larvae

	a	b	r^2	n
22	164.11	-0.672 4	0.876	8
24	119.26	-0.522 0	0.910	10
26	187.37	-0.604 2	0.893	8
28	156.87	-0.537 6	0.891	10
30	149.14	-0.515 5	0.989	10
32	304.64	-0.667 5	0.868	6

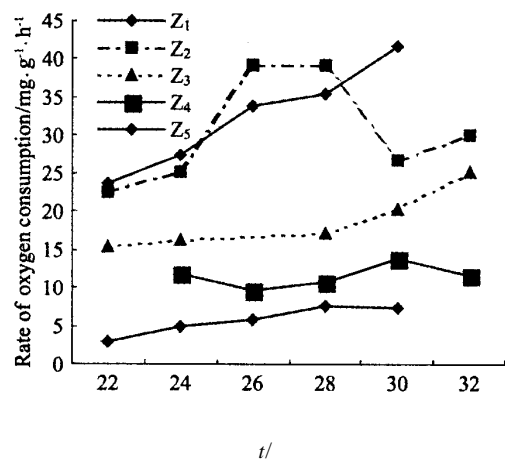


图 1 温度对锯缘青蟹幼体耗氧率的影响

Fig. 1 Effect of temperature on oxygen consumption by larvae of *S. serrata*

最适温度范围,各期幼体的 Q_{10} 值表明, Z_1 和 Z_2 的最适温度范围是 24~26, 在这温度范围内它们的 Q_{10} 最大, 分别是 2.83 和 4.36, Z_3 和 Z_4 的最适温度范围是 28~30, 在这温度范围内它们的 Q_{10} 最大, 分别是 2.36 和 3.70, 而 Z_5 最适温度范围是 26~28, 在这温度范围内它们的 Q_{10} 最大, 是 3.75; 见表 2 (表内空格表示 Q_{10} 值小于 1 或无)。

表 2 锯缘青蟹幼体不同温度范围的 Q_{10}

Tab. 2 Q_{10} of *S. serrata* larvae under different temperature range

	22~24	24~26	26~28	28~30	30~32
Z_1	2.16	2.83	1.53	1.73	-
Z_2	1.77	4.36	1.00	-	1.8
Z_3	-	1.85	1.85	2.36	-
Z_4	-	-	1.57	3.70	-
Z_5	16.6	2.27	3.75	-	-

2.2 温度对氨氮排泄率的影响

锯缘青蟹幼体氨氮排泄率和幼体干质量的关系可以用幂函数关系方程 $U = cDW^d$ 来描述, c , d 和 r^2 值见表 3. c 值范围是 508.13~942.17, 平均 754.74, 最高是 24 下的 942.87, 次高是 22 下的 854.90, c 没有随温度升高而呈一定的上升或下降的趋势. d 值范围是 -0.7729~ -0.4563, 平均是 -0.6131, 最大是 30 的 -0.4563, 最小是 22 的 -0.7729, 而且 d 随着温度的升高而呈明确的升高趋势. 从图 2 看到氨氮排泄率随着温度升高呈升高的趋势, 同样各期幼体间这种升高的趋势存在差异. 氨氮排泄率也随着幼体的发育而下降, 从 Z_1 到 Z_5 各期幼体平均氨氮排泄率分别为 144.6、

表 3 锯缘青蟹幼体氨氮排泄率与幼体干质量回归方程 ($U = cDW^d$) 常数

Tab. 3 The correlation coefficient of power equation ($U = cDW^d$) between ammonia excretion and dry weight of *S. serrata* larvae

	c	d	r^2	n
22	854.90	-0.7729	0.9088	10
24	942.17	-0.6829	0.8003	10
26	683.78	-0.5890	0.8729	8
28	784.73	-0.5646	0.7963	10
30	508.13	-0.4563	0.8013	8

124.0、63.4、90.5 和 19.8 $\mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$. Z_4 比较异常, 其氨氮排泄率反而比 Z_3 大。

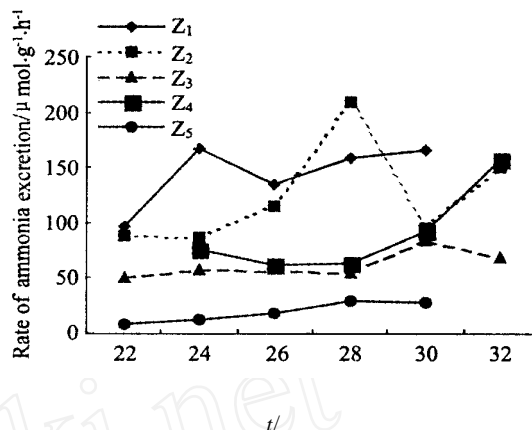


图 2 温度对锯缘青蟹幼体氨氮排泄率的影响

Fig. 2 Effect of temperature on ammonia excretion by larvae of *S. serrata*

2.3 耗氧率和氨氮排泄率与温度和幼体干质量之间的关系

锯缘青蟹各期幼体耗氧率与氨氮排泄率的氧氮原子比 (O/N) 范围是 4.60~25.03, O/N 最小是 Z_4 在 32 下的 4.60, 最大是 Z_5 在 24 下的 25.03, 总的来说温度高则 O/N 小, 温度低则 O/N 大; 除 Z_4 外 O/N 随着幼体发育而提高 (表 4)。

对实验数据 (表 4) 进行统计分析, 锯缘青蟹各期幼体的耗氧率和氨氮排泄率与温度和个体干体质量的二元回归线性方程分别为, $R = 14.83 + 0.526T - 0.090DW$ ($r^2 = 0.8211$, $n = 26$); $U = 6.10 + 4.47T - 0.376DW$ ($r^2 = 0.7796$, $n = 26$). 两个方程的复相关系数分别是 0.8211 和 0.7796, F 检验结果表明, 两个方程的相关性都极显著 ($F < F_{0.01}$).

3 讨论

3.1 温度与耗氧率和氨氮排泄率

测定幼体干质量与青蟹幼体实验生态的结果相符^[17]. 当水温升高时, 做为变温动物, 锯缘青蟹幼体的耗氧率和氨氮排泄率都有明显的增加, 温度对日本沼虾 (*Macrobrachium nipponensis*)、中国对虾 (*P. chinensis*)、加州对虾 (*P. californiensis*)、日本对虾 (*P. japonicus*) 的耗氧率和氨氮排泄率都有显著的影响^[9,10,18,19], 代谢强度的变化是动物对温度环境的适应和自身生长的需要. 温度对青蟹幼体代谢率的影响各期幼体存在差异, 而且温度对耗氧率的影响要比对氨氮排泄率的大, 这是由于各期幼体对温

表 4 不同温度下锯缘青蟹幼体耗氧率(R , mg/g·h)、氨排泄率(U , $\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$)和 O/NTab. 4 Oxygen consumption, ammonia-N excretion and O/N of *S. serrata* larvae under different temperature

温度	$Z_1(10.7\ \mu\text{g})^1$			$Z_2(27.5\ \mu\text{g})^1$			$Z_3(57.6\ \mu\text{g})^1$			$Z_4(112\ \mu\text{g})^1$			$Z_5(291\ \mu\text{g})^1$		
	R	U	O/N	R	U	O/N	R	U	O/N	R	U	O/N	R	U	O/N
22	23.6	96.3	15.3	22.4	88.2	15.6	15.5	50.1	19.3	-	-	-	2.81	8.44	20.8
24	27.5	167	11.0	25.1	87.8	18.0	16.3	57.6	17.7	11.8	76.5	9.66	4.93	12.3	25.0
26	33.9	135	15.7	39.1	115	21.3	-	-	-	9.68	62.0	9.76	5.81	17.6	20.6
28	35.3	159	14.8	39.1	209	11.7	17.1	55.5	19.2	10.6	63.0	10.5	7.57	29.6	16.0
30	41.7	166	15.7	26.8	94.9	17.6	20.3	84.3	15.0	13.8	93.0	9.26	7.39	28.1	16.4
32	-	-	-	30.2	150	12.6	25.2	69.3	22.7	11.7	158	4.60	-	-	-

注:括号内的数据表示实验用幼体的干质量

度适应的差异和幼体自身的生理特征所决定的^[3]。

温度变化对代谢率影响的强度用 Q_{10} 来表示:
 $Q_{10} = (M_2/M_1)^{10/(T_2 - T_1)}$ 。水生动物的 Q_{10} 因种类不同而有所差异,一般在 2~3 之间^[18]; 虾类幼体的 Q_{10} 值一般是 2 左右,在一定温度范围内 Q_{10} 大,表明动物对该温度范围敏感或适应^[18,20]。锯缘青蟹各期幼体在 22~32 范围内 Q_{10} 从 1.53 到 4.36, Z_1 和 Z_2 最适温度范围是 24~26, 在此范围内 Q_{10} 最大,而且 Z_1 偏向这一温度范围的下限; Z_3 、 Z_4 的最适温度范围是 28~30; Z_5 的温度适应范围比前四期幼体都要窄(24~28),而且适温上限比 Z_3 、 Z_4 低 2。这一结论与青蟹幼体实验生态所得的结果是一致的^[1],在 25~30 内,随着温度的升高青蟹幼体发育速度加快,这种发育的加快通过代谢率的提高得以补偿^[3,18]。

3.2 体质量或发育期与耗氧率和氨氮排泄率

代谢率(M)与体质量关系密切,随着体质量的增加比体质量代谢率降低^[6,9~11,14,19,20],耗氧率或氨氮排泄率与体质量的关系可用幂函数关系来表述, $M = aW^b$; 式中 a 为代谢水平, b 为体质量指数。锯缘青蟹 Z_1 蜕皮周期内耗氧率与体质量回归的 a 为 259.33, b 是 -0.7668,不同温度下耗氧率与各期幼体体质量回归系数 a 平均为 180.23, b 平均为 -0.5865, Z_1 的代谢水平比 5 期幼体的平均代谢水平高,再一次说明比体质量耗氧率随着幼体发育而下降,而体质量指数则正好相反;氨氮排泄率与各期幼体回归系数 a 平均为 754.74, b 平均为 -0.6131。体质量指数 $-1 < b < 0$,这与大多虾蟹类的 b 值是一致^[6,9~11,14,19,20],而且幼体的生理状态

(如摄食因素等)对氨氮排泄影响较大^[21]。

a 值的大小与动物的种类和环境因子有关,温度的变化对 a 值的影响尤为显著,较高的 a 值表明在某一环境条件下动物的代谢能力强^[3,20]。锯缘青蟹幼体无论是耗氧率还是氨氮排泄率的 a 值都没有随温度升高而明显呈升高的趋势,这是因为青蟹各期幼体最适温度范围的差异。

3.3 温度和体质量与耗氧率和氨氮排泄率

虾蟹类主要的排泄产物是氨态氮,如果完全以蛋白质为代谢底物,其 O/N 为 7;而蛋白质与脂肪共同为代谢能源时,O/N 为 24;完全由脂肪和糖类代谢时,O/N 将变为无限大,此时没有氮排泄物^[11,16,21]。锯缘青蟹各期幼体 O/N 范围是 4.6~25,平均为 15.6,说明青蟹幼体主要是以蛋白质为代谢底物,也代谢一些脂肪;总的来说,锯缘青蟹幼体的 O/N 随温度升高和幼体发育(体质量增加)而升高。但是 O/N 更与动物的生理状态有关,例如摄食状况,食物的种类,特殊的生理期(如甲壳动物的蜕皮期);O/N 相对短期温度驯化,更是长期温度适应的表征^[16,21]。锯缘青蟹幼体耗氧率、氨氮排泄率与温度和体质量的二元回归的相关性都极显著,但回归方程常数来看,温度和体质量对耗氧率影响比对氨氮排泄率的影响大。

参考文献:

- [1] 李少菁,王桂忠,曾朝曙,等. 锯缘青蟹养殖生物学的研究[J]. 海洋科学,1994,(2):21-24.
- [2] 李少菁,王桂忠,曾朝曙,等. 锯缘青蟹幼体发育过程中的营养需求与代谢机理[J]. 台湾海峡,1998,17:1-9.
- [3] 朱小明,李少菁. 生态能与虾蟹幼体培育[J]. 中国水产科学,1998,5(3):104-107.

- [4] 谢小军,孙儒泳. 鱼类特殊动力作用和研究进展[J]. 水生生物学报,1991,15(1):82-90.
- [5] 崔亦波. 鱼类生物能量学的理论和方法[J]. 水生生物学报,1989,13(4):191-197.
- [6] 杨红生,张涛,王萍,等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J]. 海洋学报,1998,20(4):91-96.
- [7] 施正峰,梅志平,罗其智,等. 日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J]. 水产学报,1994,18(3):191-197.
- [8] 董双林,堵南山,赖伟. pH值和Ca²⁺浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响[J]. 水产学报,1994,18(2):118-123.
- [9] 董双林,堵南山,赖伟. 日本沼虾生理生态研究. 温度和体重对其代谢的影响[J]. 海洋与湖沼,1994,25(3):233-237.
- [10] 张硕,董双林,王芳. 中国对虾生物能量学研究. 温度、体重、盐度和摄食对耗氧率和排氮率的影响[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(2):31-36.
- [11] 周洪琪,顾功超. 中国对虾幼体的能量代谢[J]. 水产学报,1992,16(2):167-170.
- [12] Kurmaly K. Energy budgets for larvae of *Penaeus monodon* (Fabricius) [J]. *Aquaculture*, 1989, 81:13-25.
- [13] Anger K. Developmental changes in the bioenergetics of decapod larvae[J]. *Mem. Queensl. Mus.*, 1991b, 31:289-308.
- [14] Anger K, Jacobi C C. Respiration and growth of *Hyas araneus* larvae (Decapoda: Majidae) from hatching to metamorphosis[J]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1985, 88:257-265.
- [15] Jacobi C C, Anger K. Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda: Majidae) [J]. *Mar. Biol.*, 1985, 87:173-180.
- [16] Omori M, Ikeda T. *Methods in Marine Zooplankton Ecology* [M]. John Wiley & Sons, Inc., 1984. 205-242.
- [17] 王桂忠,曾朝曙,李少菁. 饵料影响锯缘青蟹幼体干重及化学元素(C,H,N)含量的实验研究[J]. 海洋学报,1994,16(6):100-107.
- [18] Villarreal H, Ocampo L. Effect of size and temperature on the oxygen consumption of the brown shrimp *Penaeus californiensis* (Holmes,1900) [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1993, 106A(1):97-101.
- [19] Chen Jiarr-Chu, Lai Ser-Huan. Effect of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate [J]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1993, 165:161-170.
- [20] 张硕,董双林,王芳. 虾蟹类能量代谢的研究进展[J]. 中国水产科学,1998,5(4):88-92.
- [21] Mayzaud P, Conover R J. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism [J]. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1988, 45:289-302.

Effects of Temperature on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Mud Crab Zoea, *Scylla serrata*

ZHU Xiao-ming, LI Shao-jing, SONG Xing-yu

(Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Oxygen consumption and ammonia excretion of zoea ($Z_1 \sim Z_5$) of *Scylla serrata* were examined by using bottle water method and flow-through system at six temperature (22, 24, 26, 28, 30 and 32 °C). Results show that oxygen consumption and ammonia excretion increased with temperature rising, but there is difference among each stage larvae. Q_{10} values indicated that, the optimal temperature of Z_1 and Z_2 is 24 ~ 26 °C, Z_3 and Z_4 is 28 ~ 30 °C, and Z_5 is 26 ~ 28 °C. The relationship between oxygen consumption or ammonia excretion can be represented all by power equation, $M = aDW^b$, a values of oxygen consumption and ammonia excretion range is 119.26 ~ 304.64 and 508.13 ~ 942.17 respectively; mean a values is 180.23 and 754.74 respectively. b values is -0.6724 ~ -0.5155 and -0.7729 ~ -0.4536 respectively; and mean values is -0.5865 and -0.6131 respectively. The mean values of O/N of all stage larvae at different temperature is 15.6, it indicated that protein is main substrate catabolized by *S. serrata* larvae. The linear regression relationships of oxygen consumption with temperature and larval dry weight is, $R = 14.83 + 0.526T - 0.090DW$ ($r^2 = 0.821$, $n = 26$); and that of ammonia excretion is, $U = 6.09 + 4.47T - 0.376DW$ ($r^2 = 0.779$, $n = 26$).

Key words: *Scylla serrata*; zoea; oxygen consumption; ammonia excretion