维普资讯 http://www.cqvip.com

第35卷 第6期 海 洋 与 湖 沼 Vol.35,No.6
2004年11月 OCEANOLOGIA ET LIMNOLOGIA SINICA Nov.,2004

温度对硬壳蛤 *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus,1758)呼吸排泄的影响*

文海翔 张 涛 杨红生[1)] 刘保忠 周 毅 毛玉泽 张福绥
(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于2002年11月—2003年4月,采用Winkle滴定法和次溴酸盐氧化法对硬壳蛤呼吸排泄进行了研究。结果表明,在5—35℃温度范围内,温度和体重对硬壳蛤(壳长0.5—6cm,软体部干重0.0034—0.59g)的耗氧率和排氨率均有显著影响($P<0.05$),其单位体重耗氧率在20—30℃之间达到最大值,且随着硬壳蛤个体的增大而下降;不同温度下硬壳蛤个体耗氧率 OR[mgO_2/(ind·h)]与软体部干重 W(gDFW)之间的关系可用方程 $OR=aW^b$ 表示,其中 a 值在0.04—0.70之间,b 值在0.45—0.65之间。硬壳蛤的排氨率-温度曲线呈单峰型,其单位体重排氨率在25℃附近达到最大值,且随着硬壳蛤个体的增大而下降。不同温度下硬壳蛤个体排氨率 NR[μgNH_4-N/(ind·h)]与软体部干重 W(gDFW)之间的关系可用方程 $NR=aW^b$ 表示,其中 a 值在1—27之间,b值在0.40—0.75之间。硬壳蛤呼吸排泄的氧、氮比在5℃时最大,随后有下降趋势,其比值在10—80之间。

关键词 硬壳蛤,温度,呼吸,排泄
中图分类号 S968.3

硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)属于瓣鳃纲(Lamillibranchia)、帘蛤目(Venus clam)、帘蛤科(Veneridae),原产地为美国大西洋沿岸,属埋栖性滩涂贝类。硬壳蛤对环境适应性强,耐温、耐盐范围广(Rice *et al*,1992),适宜于不同底质养殖,生长速度较快,养殖1—2年可达商品规格4.5cm以上,是一种优良的经济贝类。中国科学院海洋研究所于1997年首次从美国引进硬壳蛤,于1998年成功地培育出子一代苗种,经过几年的试养,已呈现出良好的发展前景。在国外,有关硬壳蛤呼吸排泄的研究较多(Srna *et al*,1976;Hibben,1977;Preiffer *et al*,1999;Weiss *et al*,2002),自引进该种以来,国内学者对其繁殖生物学及苗种培育进行了初步研究(常亚青等,2002;林志华等,2002;张涛等,2003a,b),但尚未见有关硬壳蛤呼吸排泄研究的报道。作者较为全面地探讨了温度、体重对硬壳蛤稚贝及成贝耗氧率、排泄率的影响,旨在探讨硬壳蛤引进后其呼吸,排泄等的生理变化,同时也为该品种在国内的大规模人工繁育、养殖以及其养殖容量的评估提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 材料

硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)于1997年12月从美国引进,经青岛黄岛红超水产集团人工育苗培养,在莱州养成后,从其子一代、子二代中挑选4种规格个体A(4—6cm)、B(2.4—2.6cm)、C(1.4—1.6cm)、D(0.5—1cm),于2002年10月运回青岛,分组暂养于铺沙水箱中,每天8:00、18:00定时投喂单胞藻(浓度约为10cell/ml),充气并换水以供实验用。

* 国家"863"青年基金课题资助项目,2001AA628040号;山东省科技兴海项目"硬壳蛤工厂化育苗与养殖产业化开发(2002—2004)"资助;青岛市重大科技项目"硬壳蛤工厂化人工育苗与示范(2003—2005)"资助。文海翔,硕士,E-mail:wenhaixiang@ms.qbio.ac.cn)

1) 通讯作者,杨红生,研究员,博士生导师,E-mail:hshyang@ms.qdio.ac.cn

收稿日期:2003-10-09,收修改稿日期:2004-01-09

维普资讯 http://www.cqvip.com

1.2 方法

待自然海水温度低于5℃后，逐渐升温控温进行实验，每天升温1℃，达到预定实验温度适应5天后开始实验。在自然海水盐度下，取7个温度梯度：5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃。

投饵(硅藻)4h后取实验贝于锥形瓶中进行呼吸排泄测定。采用2L锥形瓶，装满砂滤海水后用保鲜膜封口，于水族箱中水浴控温。每种规格均设3个平行，每个平行中，A放入3个，B放入6个，C放入10个，D放入20个，并设对照(不放入实验生物；共3个重复)。实验4h后取锥形瓶中水样进行溶解氧(*DO*)、氨氮(NH_4-N)的测定。溶解氧和氨氮量分别采用Winkle滴定法和次溴酸盐氧化法测定。根据实验始末溶氧及氨氮含量变化计算耗氧率(*OR*)、排氨率(*NR*)。实验结束后分别测量其壳长(*SL*)、湿重(*WFW*)及干重(*DFW*，60℃，24h)。本次试验中所取硬壳蛤，其湿重与软体部干重之间的关系可用方程表示：

$$WFW = 0.0144DFW + 0.0014 \quad (R^2 = 1)$$

有关硬壳蛤的生物学数据见表1。

对实验结果利用SPSS统计软件进行方差分析(ANOVA)。

表1 硬壳蛤生物学数据

Tab.1 Biological data of *M. mercenaria*

实验组	壳长 *SL*(mm)×壳宽 *SH*(mm)	湿重 *WFW*(g/ind)	干重 *DFW*(g/ind)
A	(50.57±2.54)×(45.26±2.81)	40.89±6.75	0.59±0.15
B	(24.93±1.504)×(22.27±1.57)	4.61±0.72	0.0664±0.0089
C	(14.93±0.65)×(13.44 4±0.89)	0.95±0.12	0.0169±0.0034
D	(8.54±0.54)×(7.55±0.53)	0.18±0.04	0.0034±0.0009

2 结果

2.1 温度对硬壳蛤耗氧率的影响

图1表明，在5—20℃随着温度的升高，硬壳蛤耗氧率逐渐增大，在15—20℃范围内，耗氧率增加较快，在20—30℃时达到最大，当温度大于30℃时，其耗氧率开始下降。硬壳蛤耗氧率随其个体的增大而减小，不同大小硬壳蛤单位体重的耗氧率范围分别为：A 0.0496—0.395mgO_2/(g·h)；B 0.259—2.290mgO_2/(g·h)；C 0.442—4.450mgO_2/(g·h)；D 0.806—7.460mgO_2/(g·h)。不同温度下硬壳蛤个体耗氧率与软体部干重之间的关系可用方程 $OR = aW^b$ 表示(表2)，式中 *OR* 为个体耗氧率[mgO_2/(ind·h)]，*W* 为硬壳蛤个体干重(g)，其 *a* 值在0.04—0.70之间，*b* 值在0.45—0.65之间。

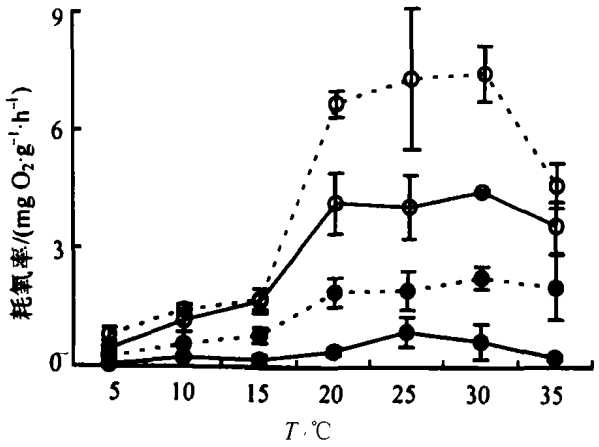

图1 温度对硬壳蛤耗氧率的影响

Fig.1 Effect of temperature on the oxygen consumption rate of *M. mercenaria*

—●—A组，…●…B组，—○—C组，…○…D组

表2 硬壳蛤耗氧率-体重回归方程($OR = aW^b$)的有关参数

Tab.2 Correlative parameter of the regressed equation ($OR = aW^b$) of oxygen consumption rate-dry weight of *M. mercenaria*

温度(℃)	*a*	*b*	R^2
5	0.0422	0.4967	0.8853
10	0.2009	0.6387	0.9948
15	0.1622	0.5657	0.8557
20	0.3558	0.4950	0.9592
25	0.6561	0.6033	0.9878
30	0.5576	0.5357	0.9848
35	0.3068	0.4947	0.8463

注：*OR* 为硬壳蛤个体耗氧率[mgO_2/(ind·h)]，*W* 为个体干重(g*DFW*)

维普资讯 http://www.cqvip.com

表3　硬壳蛤耗氧率方差分析结果

Tab.3　Results of ANOVA of oxygen consumption rate of *M. mercenaria*

偏差来源	三类平方差	自由度(d*f*)	均方	*F* 值	*P* 值
校正模型	107.9	9	12.0	8.4	0.000
截距(Intercept)	137.6	1	137.6	96.8	0.000
体重(*W*)	60.6	3	20.2	14.2	0.000
温度(*T*)	47.3	6	7.9	5.5	0.002
误差	25.6	18	1.4		
总计	271.1	28			
校正总计	133.5	27			

注:耗氧率[$mgO_2/(gDFW\cdot h)$]为分析因变量,$R^2=0.808$

由表3可以看出,体重、温度皆对硬壳蛤耗氧率有明显影响,经 *F* 检验,其影响达极显著水平($P<0.01$)或显著水平($P<0.05$)。

2.2　体重、温度对硬壳蛤排氨率的影响

图2表明,在5—20℃随着温度的升高,硬壳蛤排氨率增大,在15—20℃范围内,排氨率增加较快,在20—25℃时达到最大,当温度大于25℃时,其排氨率开始下降。硬壳蛤排氨率随其个体的增大而减小,不同大小硬壳蛤单位体重的排氨率范围分别为:A 1.06—40.0μgNH_4-N/(g·h);B 7.45—134μgNH_4-N/(g·h);C 16.8—285μgNH_4-N/(g·h);D 34.5—724μgNH_4-N/(g·h)。不同温度下硬壳蛤个体排氨率与软体部干重之间的关系可

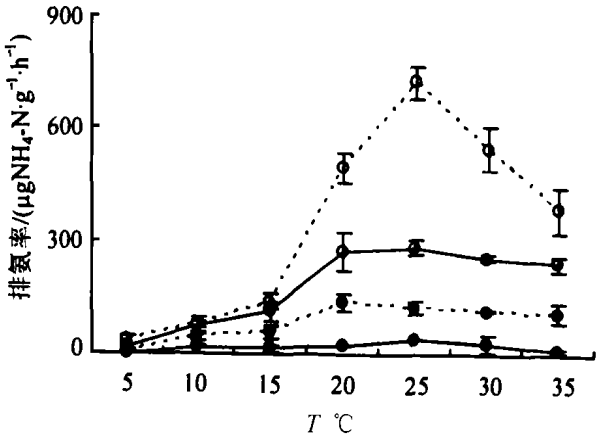

图2　温度对硬壳蛤排氨率的影响

Fig.2　Effect of temperature on the ammonia excretion rate of *M. mercenaria*

—●—A组,…●…B组,—○—C组,…○…D组

表4　硬壳蛤排氨率-体重回归方程($NR=aW^b$)的有关参数

Tab.4　Correlative parameter of the regressed equation ($NR=aW^b$) of ammnonia excretion rate-dry weight of *M. mercenaria*

温度(℃)	*a*	*b*	R^2
5	1.138	0.4222	0.8948
10	17.02	0.7095	0.9837
15	12.97	0.5837	0.9132
20	20.22	0.4481	0.9236
25	26.88	0.4557	0.9633
30	21.23	0.4315	0.9769
35	20.59	0.4848	0.9475

注:*NR* 为硬壳蛤个体排氨率[μgNH_4-N/(ind·h)],*W* 为个体干重(g*DFW*)

表5　硬壳蛤排氨率方差分析结果

Tab.5　Results of ANOVA of ammonia excretion rate of *M. mercenaria*

偏差来源	三类平方差	自由度(d*f*)	均方	F值	P值
校正模型	684221	9	76025	5.9	0.001
截距(Intercept)	684113	1	684113	52.9	0.000
体重(*W*)	412793	3	137598	10.6	0.000
温度(*T*)	271429	6	45238	3.5	0.018
误差	232610	18	12923		
总计	1600945	28			
校正总计	916832	27			

注:排氨率[μgNH_4-N/(g*DFW*·h)]为分析因变量,$R^2=0.746$

维普资讯 http://www.cqvip.com

用方程 $NR = aW^b$ 表示(表4),式中 NR 为个体排氨率[μgNN_4-N/(ind·h)],W 为硬壳蛤个体干重(g),其 a 值在1—27之间,b值在0.40—0.75之间。

从表5可以看出,体重、温度皆对硬壳蛤排氨率有明显影响,经 F 检验,其影响达极显著水平($P<0.01$)或显著水平($P<0.05$)。

2.3 不同温度下硬壳蛤呼吸排泄氧氮比(O:N)

硬壳蛤的O:N(呼吸氧原子数与排出氨态氮原子数之比)见图3,硬壳蛤排泄的氧氮比在5℃时最大,随后有下降趋势,其比值在10—80之间。

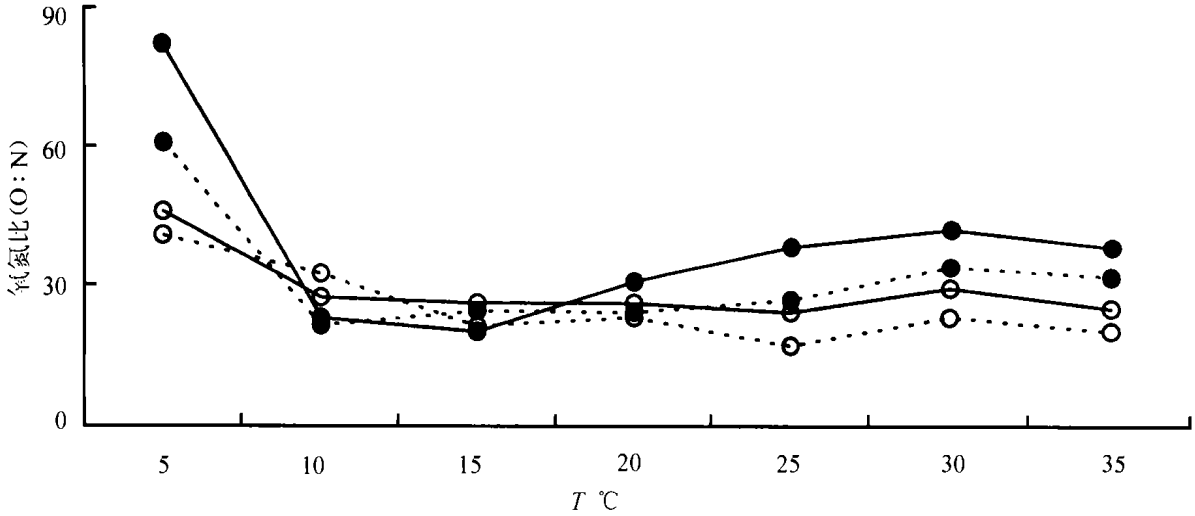

图3 不同温度下硬壳蛤呼吸排泄的O:N比

Fig.3 Ratio of O and N of *M. mercenaria* at different temperatures

—●—A组,…●…B组,—○—C组,…○…D组

3 讨论

温度是影响变温动物生理代谢的一个重要因子,贝类属于变温动物,因而温度是影响贝类生理的主要因素之一。从国内外的许多研究来看,变温动物耗氧率-水温曲线有线性关系(Inoue *et al*, 2000;Saucedo *et al*,2003[1])。这是由于水温升高,体内各种生化反应速度加快,使耗氧率相应增大的缘故,也是变温动物的普遍特征。但实验结果表明,温度对硬壳蛤耗氧率的影响存在一最大效应区。如图1所示,温度对硬壳蛤的代谢生理影响很大,在5—15℃温度范围内,随着温度的升高,耗氧率逐渐升高,当温度高于15℃后,其耗氧率迅速增大,在20—30℃之间达到最大值,这与温度对凸壳肌蛤(*Musculista senhousia*)耗氧率影响趋势相似;当温度高于30℃时,随着温度的升高,其耗氧率开始迅速下降,Hicks等(2002)在研究引进种 *Perna perna* 一文中亦得出类似的规律,但Laing等(1987)在对硬壳蛤生长规律的研究中发现其耗氧率变化的转折点是在25℃。硬壳蛤在不同温度下耗氧率的变化范围为0.05—8mg O_2/(g*DFW*·h),与墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)的耗氧率接近(杨红生等,1998)。在5—10℃时的平均耗氧率17.9mgO_2/(g*DFW*·h),在30℃时最大值179mgO_2/(g*DFW*·h),与凸壳肌蛤(*Musculista senhousia*)耗氧率结果相近(Inoue *et al*,2000)。贝类耗氧率与软体部干重的关系已有大量的报道,可表示为 $OR = aW^b$,式中 OR 为耗氧率[mgO_2/(ind·h)],W 为硬壳蛤个体干重(g),其中 b 值比较稳定,Bayne等(1983)报道的25种双壳贝类,其 b 值在0.44—1.09之间,平均为0.75。从本文结果看,在不同温度条件下硬壳蛤的 b 值范围在0.45—0.65之间,与上述研究结果相近。

在20℃时,硬壳蛤排氨率为22.1μgNH_4-N/(g*DFW*·d),与20℃时四角蛤(*Mactra veneriformis*)的排氨率35.0μgNH_4-N/(g*DFW*·d)相近(Hiwatari *et al*, 2002)。20℃时硬壳蛤排氨率[μgNH_4-N/(g*DFW*·d)]-壳长(5.0—60mm)回归方程为 $Y_1 = 9399X - 1.7519$($R^2 = 0.9573$),而Pfeiffer等(1999)报道的硬壳蛤排氨率-壳长回归方程为

1) Saucedo P E, Ocampo L, Monteforte M *et al*, 2003. Effect of temperatun on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). Aquaculture

维普资讯 http://www.cqvip.com

$Y^2 = 316.99X - 1.0141$,这里 X 为硬壳蛤壳长(3.0mm—2.6mm),Y 为 μgNH_4-N/(g*WFW*·d),即每克湿重每天的排氨量,在壳长为8.6mm时其计算值为35.8μgNH_4-N/(g*WFW*·d),比本文中测得相同大小的硬壳蛤排氨率低6.5倍;Srna等(1976)在20℃时分别测量了硬壳蛤成贝[(3.5±0.8)g*DFW*]及稚贝[(0.78±0.07)g*DFW*]的排氨率,其回归方程为 $\log(Y) = 0.94\log(X) + 1.33$,这里 Y 为 10^{-6}mol/(g*DFW*·d),X 为g干重,当贝干重为0.59g时计算其值为7.60μgNH_4-N/(g*DFW*·h)要约低于本文中所测值3倍。很多研究工作表明贝类的排氨率不仅与生物体大小有关(Johannes,1964),而且还与其生理状态(Widdows *et al*,1971)、所在环境(Feng *et al*,1970)有关。本文的研究结果与国外类似研究有所不同,其原因可能是硬壳蛤随着生活环境的改变,其排泄生理会随之改变。

O:N比表示生物体内蛋白质与脂肪和碳水化合物分解代谢的比率。一般认为,O:N较低(约为10),蛋白质代谢较高,反之,则脂肪及碳水化合物代谢较高(Bayne *et al*,1983),不同温度下硬壳蛤分解代谢的氧氮比平均值在30左右,表明硬壳蛤脂肪及碳水化合物代谢率较高。

本次实验结果还表明,硬壳蛤的呼吸排泄率随其个体的增大而下降,引起这种相反关系的原因,可能与动物体内各种组织、脏器的比重有关。直接维持生命的多种组织和脏器如肾脏、肝脏、鳃、消化器官等,它们每单位重量的耗氧率、排氨率相对其他组织较高,而非直接维持生命的其他组织如肌肉、脂肪等的耗氧率较低。这两类组织在动物生长过程中所占比例不同,幼小个体第一类组织的比例较大,当动物生长时,第二类组织逐渐积累,比例也随之逐渐增大。因此个体小的硬壳蛤呼吸排泄率大,而个体大则相反,这与生物的一般生理规律相符(林元烧等,1996)。

参 考 文 献

林元烧,沈国英,1996. 菲律宾蛤仔耗氧率的研究. 厦门大学学报,35(3):407—411

林志华,柴雪良,方 军等,2002. 硬壳蛤对环境因子适应性试验. 宁波大学学报(理工版),15(1):19—22

杨红生,张 涛,王 萍等,1998. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响. 海洋学报,20(4):91—96

张 涛,杨红生,刘保忠等,2003a. 环境因子对硬壳蛤稚贝成活率和生长率的影响. 海洋与湖沼,34(2):142—149

张 涛,杨红生,刘保忠等,2003b 硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)稚贝中间培育模式的初步研究. 海洋与湖沼,34(6):648—655

常亚青,宋 坚,王国栋等,2002. 硬壳蛤人工育苗技术. 中国水产科学,9(1):43—47

Bayne B L, Newell R C, 1983. Physiological energetics of marine molluscs. The Mollusca, 4:407—515

Feng S, Khairallah E, Conzonier W, 1970. Haemolymph free amino acids and related nitrogen compounds of *Crassostrea virginica* infected with *Bucephalus* sp. and *Minichinia nelsoni*. Comp Biochem Physiol, 34:547—556

Hibbert C J, 1977. Energy relation of the bivalve *Mercenaria mercenaria* on an intertidal mudflat. Mar Biol, 44(1): 77—84

Hicks D W, McMahon R F, 2002. Respiratory responses to temperature and hypoxia in the nonindigenous brown mussel, *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae), from the Gulf of Mexico. J Experimental Marine Biology Ecology, 277:61—78

Hiwatari T, Kohata K, Lijima A, 2002. Nitrogen budget of the bivalve *Mactra veneriformis*, and its significance in benthic-pelagic systems in the Sanbanse Area of Tokyo Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 55:299—308

Inoue T, Yamamuro M, 2000. Respiration and ingestion rates of the filter-feeding bivalve *Musculista senhousia*: implications for water-quality control. J Mar Systems, 26:183—192

Johannes R, 1964. Phosphorous excretion and body size in marine animals: microzooplankton and nutrient regeneration. Science, 146:923—924

Laing I, Utting S D, Kilada R W S, 1987. Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. J Experimental Marine Biology and Ecology, 113(1):23—38

Pfeiffer T J, Lawson T B, Rush K A, 1999. Northern quahog, *Mercenaria mercenaria*, seed clam waste characterization study: precursor to a recirculating culture system deslgn. Aquacultaral Engineering, 20:149—161

Rice M A, Peehenik J A, 1992. A review of the factors influencing the growth of the northern quahog, *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758). J Shellfish Res, 11(2):279—287

Srna R F, Baggaley A, 1976. Rate of excretion of ammonia by the hard clam *Mercenaria mercenaria* and the American oyster *Crassostrea virginica*. Mar Biol, 36:251—258

Weiss E T, Carmichael R H, Valiela I, 2002. The effect of nitrogen loading on the growth rates of quahogs (*Mercenaria mercenaria*) and soft-shell clams (*Mya arenaria*) throuth changes in food supply. Aquaculture, 211(1—4):275— 289

Widdows J, Bayne B L, 1971. Temperature acclimation of *Myrilus edulis* with reference to its energy budget. J Mar Biol Asspc U K, 58:109—124

维普资讯 http://www.cqvip.com

EFFECT OF TEMPERATURE ON RESPIRATION AND EXCRETION OF HARD CLAM *MERCENARIA MERCENARIA* (LINNAEUS, 1758)

WEN Hai-Xiang, ZHANG Tao, YANC Hong-Sheng, LIU Bao-Zhong,
ZHOU Yi, MAO Yu-Ze, ZHANC Fu-Sui
(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao*, 266071)

Abstract Hard clam *Mercenaria mercenaria* belongs to Veneridae, Venus clam, Lamillibranchia. Its natural distribution ranged from the gulf of St. Lawrence along the east coast of the United States to the gulf coast of Texas, and it was introduced into China for the first time by Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sclences in 1997. *M. mercenaria* had a high adaptability to the habitat, and can live in vast temperature and salinlty range with high growth rate, and can teach commodity specification (shell length > 4.5cm) within two years, so *M. mercenaria*. is an excellent economic species. It was bred successfully in these years and have a very good prospect in China. There is many sudy about the respiration and excretion of *M. mercenaria*, but there is seldom repon in this aspect in China. This report discussed the effect of temperature and weight on the respiration and excretion of *M. mercenaria*. In order to leam more about the variation of ecophysiology about *M. mercenaria* and the basic data of this clam after it was introduced to China.

Clam in good condition were selected and separated into four gronps by shell lensth: A(4—6cm), B(2.4—2.6cm), C(1.4—1.6cm), D(0.5—1cm), cultured in tank temporary for study, and fed with *Phaeodactylum tricornutum* and aerated daily.

The research was performed in laboratory from Nov, 2002 to Apr, 2003 on respiration and excretion of *M. mercenaria*, using Winkle titration and hypobromate oxidation method, which provlded some basic data for artificial bteeding, aquiculture and the assessment of aquiculture capability. Reuslts indicated that temperature and clam dry flesh weight (*DFW*, 60℃, 24h) had significant effect ($P < 0.05$) on oxygen consumption and ammonia-N excretion rate of *M. mercenaria* (shell length ranged from 0.5cm to 6cm, *DFW* ranged from 0.0034g to 0.5000g). The oxygen consumption rate per gram *DFW* reliched its maximum between 20℃ and 30℃ in natural seawater, and decreased with *M. mercenaria* weight increased. The relationship between individual oxygen consumption rate and its *DFW* under different temperature could be expressed by $OR = aW^b$, where *OR* is oxygen consumption rate. [mgO_2/(ind·h)], *W* is individual dry fresh weight(g), and *a* ranged from 0.04 to 0.70, *b* ranged from 0.45 to 0.65; the ammonia-N excretion rate-temperature curve was unimodal. The maximum ammonia-N excretion rate per gram *DFW* was abont 25℃, and decreased with *M. mercenaria* weight increased. The relationship between individual ammonia-N excretion rate and its *DFW* under different temperatute could be expressed by $NR = aW^b$, where *NR* is ammonia-N excretion rate [μgNH_4-N/(ind·h)], *W* is individual dry fresh weight (g), and *a* ranged from 1 to 27, *b* ranged from 0.40 to 0.75. The atomic ratio of O and N had an maximum at abont 5℃, and declinad as temperature rised, and its value was between 10 and 80.

Key words *Mercenaria mercenaria*, Temperature, Respiration, Excretion