

高盐胁迫对黄河口四角蛤蜊摄食与生长的影响

孙雪梅¹ 陈碧鹃¹ 高萍^{1,2} 夏斌^{1*} 崔正国¹ 孙慧玲¹

(¹农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²中国海洋大学海洋生命学院, 青岛 266100)

摘 要 选取黄河口优势种四角蛤蜊为受试生物, 采用半静水实验法研究高盐胁迫对四角蛤蜊摄食与生长的影响, 并探讨了高盐胁迫对贝类摄食与生长影响的盐度阈值。结果表明, 高盐胁迫对四角蛤蜊的摄食与生长都有显著影响, 四角蛤蜊壳长和体重的日均增长量以及适应胁迫后的摄食率均随盐度的升高而逐渐降低; 而盐度突变时的摄食率随盐度的增加呈先升高后降低的趋势。通过显著差异性分析, 发现显著影响四角蛤蜊摄食的盐度阈值范围为 26~28, 显著影响生长的盐度阈值范围为 22~24, 最终确定高盐胁迫对黄河口四角蛤蜊摄食与生长的影响阈值为 22~24。

关键词 黄河口 四角蛤蜊 高盐胁迫 摄食 生长 阈值

中图分类号 S949 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)05-0085-06

Effect of high salinity stress on ingestion and growth of *Macra veneriformis* in Yellow River estuary

SUN Xue-mei CHEN Bi-juan¹ GAO Ping^{1,2}

XIA Bin^{1*} CUI Zheng-guo¹ SUN Hui-ling¹

(¹ Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture;

Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(² College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003)

ABSTRACT The Yellow River estuary is a major fishery and spawning ground in the Bohai Sea. With the decrease of Yellow River runoff, the salinity of water in the estuary became higher, thus many researches focused on the study of ecological water requirement. In this experiment, we used the local dominant species *Macra veneriformis* as target organism to detect the influence of high salinity stress on ingestion and growth by semi-static water. The results showed that, with the increase of salinity, the ingestion rate and daily growth rate of shell length and weight decreased. The ingestion rate increased firstly under sudden changes in salinities, and then increased. Through the One-Way ANOVA analysis, the thresholds of ingestion

山东省自然科学基金(ZR2010CQ023)、国家海洋局环保专项(DOMEP(MEA)-01-01)、中国水产科学研究院基本科研业务费(2012A0202)和国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室开放基金(201111)共同资助

* 通讯作者。E-mail: xiabin@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836341

收稿日期: 2012-03-10; 接受日期: 2012-04-05

作者简介: 孙雪梅(1983-), 女, 硕士, 主要从事海洋生态环境与生态毒理学研究。E-mail: rose3260503@yahoo.com.cn, Tel: (0532)85836341

and growth were obtained as 26~28 and 22~24, respectively. Finally, the threshold of the high-salt stress on ingestion and growth of *Mactra veneriformis* was determined as 22~24.

KEY WORDS Yellow River estuary *Mactra veneriformis* High salinity stress
Ingestion Growth Threshold

黄河口是海陆交汇的地带,由于潮汐、风浪等带来了富含营养盐的海水,加上大陆径流带来的营养物质,使得这一区域水质肥沃、海洋生物丰富,成为海洋生态系统中富有生产力的海域。黄河口也因此成为鱼、虾等产卵、洄游、索饵、育幼和贝类栖息、繁衍的重要场所,研究该区域的生态系统有着重要的生态意义和经济意义。近年来,孙涛等(2011)、杨玲莉(2007)、Alber(2002)研究发现,因为径流、潮流、潮汐等自然因素以及人为因素等致使流入黄河口的淡水减少,盐度不断升高,生态需水量不断增大。河口生态需水量主要包括三角洲湿地生态环境需水量、河口近海生物需水量、河流海洋洄游性鱼类最小需水量、河口景观环境需水量等。

盐度是影响海洋生物生存繁衍的重要因子,它的升高或降低会影响所在区域的整体生产力,进而使整个海区生态系统的安全受到威胁。目前,国内外关于盐度胁迫对底栖贝类摄食与生长影响的报道较多,如陈昌生等(2000)、杨章武等(2006)研究了不同盐度对九孔鲍、方斑东风螺的摄食与生长等的影响。Navarro(1988)研究过低盐胁迫对河口贝类 *Choromytilus chorus* 能量收支的影响,袁有宪等(2000)研究了低盐胁迫对栉孔扇贝摄食与存活等的影响。这些研究主要是关于盐度变化对底栖贝类的摄食与生长的影响,结果表明,环境盐度过高或过低,底栖生物的摄食都会受到抑制,而从河口生态需水量出发,以摄食与生长为指标的河口高盐胁迫生物响应阈值的研究还没有报道。

贝类属于底栖生物,游动性不强,并且由于其独特的滤食习性使贝类对环境变化十分敏感,可以客观反映盐度变化对生态系统的早期影响。四角蛤蜊学名方形马珂蛤,属于软体动物门、双壳纲、帘蛤目、马珂蛤科,是一种常见的滩涂贝类,在我国沿海分布广、产量大,以辽宁、山东为最多,主要栖息于潮间带中下区及浅海的泥沙滩中,属广温广盐性贝类。本研究选取黄河口优势种四角蛤蜊 *Mactra veneriformis* 作为受试生物,采用半静水试验法,研究高盐胁迫对四角蛤蜊摄食与生长的影响,并探讨了高盐胁迫对贝类摄食与生长影响的阈值范围,旨在为确定黄河口生物需水量提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

受试生物四角蛤蜊于2011年10月取自山东省东营市垦利县黄河滩涂,采样位置 $37^{\circ}35'N$, $118^{\circ}32'E$ (图1),水温 $19.23^{\circ}C$,盐度为20。实验前于实验室暂养10d,实验用水为青岛近海自然海水,经砂滤处理,通过向过滤海水中添加经曝气的淡水调整盐度为 20 ± 0.02 ,pH 为 7.93 ± 0.03 ,温度为 $18.53 \pm 0.52^{\circ}C$,连续充气,日换水率100%,投喂湛江等鞭金藻 *Isochrysis zhanjiangensis*,日投饵两次。选择活动能力正常、健康、个体大小均匀的四角蛤蜊进行试验,平均壳长 2.51 ± 0.10 cm,平均壳宽 2.23 ± 0.10 cm,平均壳高 1.59 ± 0.07 cm,平均体重 5.67 ± 0.45 g。

1.2 实验方法

1.2.1 盐度设计

设定6个盐度梯度,分别为20、22、24、26、28、30,其中盐度20是贝类取样区域海水盐度,作为对照组,其

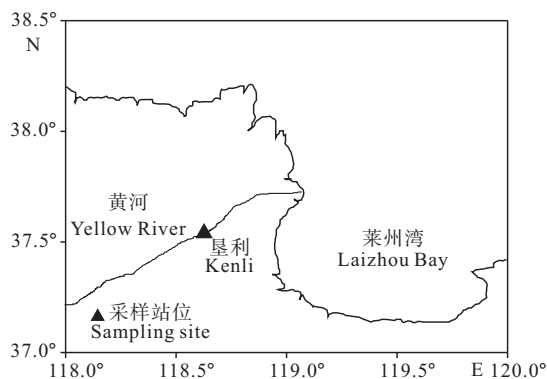


图1 四角蛤蜊采样站点

Fig. 1 Location of sampling site

他盐度组为实验组,各设 3 个平行组。通过向过滤海水中加经曝气的淡水或加人工海水精盐配制所需盐度梯度,每隔 24h 全量换水 1 次。

1.2.2 摄食实验

实验开始前,停止投喂 1d。在盛有 4L 试验液的塑料整理箱(25cm×15cm×15cm)中放入大小相近的 20 个四角蛤蚶。该实验在上述盐度梯度之外,另设一个空白对照组(只加饵料,不放四角蛤蚶)用以计算饵料变化系数。整个实验过程连续微充气。

实验开始时,投喂湛江等鞭金藻 *Isochrysis zhanjiangensis*,保持水体藻细胞密度为 6×10^4 cell/ml,3 h 后停止实验。适应盐度胁迫第 7 天时,再次测量四角蛤蚶摄食率,操作过程与上述过程一致。叶绿素 a(Chl-a)浓度测量及计算方法均按照《国家海洋监测规范》(GB17378.4-2007)规定的方法进行。摄食率(Ingestion rate, IR)(mg/ind·h)计算公式如下(Zhuang *et al.* 2006;董波等 2000):

$$IR = V \times [C_{eo}(1 - Sed) - C_{et}] / (N \times t)$$

$$Sed = (C_{co} - C_{ct}) / C_{co}$$

式中, C_{eo} 、 C_{et} 为实验开始和结束时饵料浓度(mg/L), Sed 为对照组饵料变化系数, $Sed = (C_{co} - C_{ct}) / C_{co}$, C_{co} 、 C_{ct} 为实验开始和结束时藻液 Chl-a 浓度(mg/L), V 为培养体积(L), N 为实验组四角蛤蚶的个数(ind), t 代表实验进行时间(h)。

1.2.3 生长实验

实验在盛有 6L 海水的整理箱中进行,各实验组放入大小相近的四角蛤蚶 30 个。实验开始后,投喂湛江等鞭金藻保持水体藻细胞密度在 1×10^4 cell/ml 以上,以确保饵料的充足。投饵前,需先消除饵料的比重差,以免影响盐度。每天全量换水 1 次。在实验的第 0、8、15、30 天随机抽取 20 个四角蛤蚶测量生长数据,随取随测,测后及时放回,实验共进行 30 d。

实验结束时,测定各组所有剩余贝类的平均壳长(H_1)、体重(M_1),并与初始壳长(H_0)、体重(M_0)相比较。

平均壳长日增长率(R_H ,mm/d): $R_H = (H_1 - H_0) / (t_1 - t_0)$

平均体重日增长率(R_M ,mg/d): $R_M = (M_1 - M_0) / (t_1 - t_0)$

式中, t_1 和 t_0 分别为实验结束和开始时的时间。采用游标卡尺测量壳长。测量体重时,先用滤纸吸干壳表水分,再用电子天平进行称量。

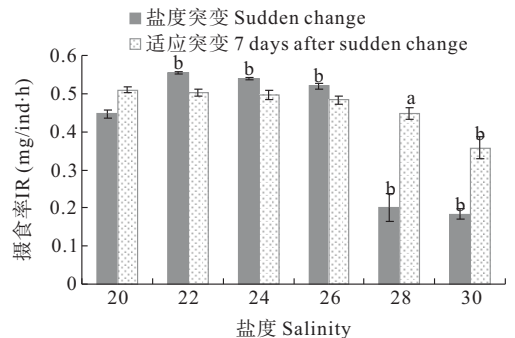
1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 分析软件对实验数据进行单因素方差分析(ANOVA),并用均值多重比较分析法(LSD 法)检验组间的差异显著性。 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 高盐胁迫对四角蛤蚶摄食的影响

如图 2 所示,盐度突变时,盐度 22、24、26 实验组四角蛤蚶的摄食率极显著高于对照组($P < 0.01$),盐度 28、30 实验组的摄食率极显著低于对照组($P < 0.01$),摄食率随着胁迫盐度的增加呈现先升高后降低的趋势。适应突变 7d 后,整个实验组的摄食率随着胁迫盐度的升高,虽呈现逐渐降低的趋势但明显趋于稳定。对照组盐度 20 的摄食率最高,与盐度 22、24、26 的摄食率差异不显著($P >$



注:a 表示不同浓度实验组与对照组之间存在显著差异($P < 0.05$);b 表示极显著差异($P < 0.01$)
Note: "a" means significant difference, "b" means highly significant difference

图 2 盐度突变和适应突变后四角蛤蚶摄食率的变化
Fig. 2 The effect of abrupt and adaptable changes in salinity on the ingestion rates of *M. veneriformis*

0.05), 盐度 28 显著低于对照组 ($P < 0.05$), 盐度 30 摄食率极显著低于对照组 ($P < 0.01$)。盐度 28、30 实验组虽显著低于对照组, 但相对于盐度突变时的摄食率有明显提高。

2.2 高盐胁迫对四角蛤蜊体生长的影响

图 3 为胁迫第 0、8、15、30 天测量的不同盐度组四角蛤蜊体重和壳长变化情况, 分析发现盐度 22 胁迫下, 四角蛤蜊体重和壳长的增长趋势与对照组基本一致, 其他实验组在体重和壳长的增长上均有所差异。从体重增长上来看, 盐度 24 实验组在生长前 14d 与盐度 26、28、30 实验组体重增长速度相近, 均低于对照组; 第 30 天盐度 24 实验组体重增长率有所增加, 高于盐度 26、28、30 实验组。从壳长增长来看, 盐度 24、26 实验组在实验前 8d 与盐度 22 实验组壳长增长速率相近, 但在 8~15d 这一生长阶段生长十分缓慢, 第 15 天后壳长增长率略有提高但仍低于对照组; 盐度 28、30 实验组在实验前 15d 壳长增长速率较为缓慢, 低于其他实验组, 在 15d 后有所升高。图 4 为盐度与四角蛤蜊日均壳长、体重增长量的关系, 可以看出日均壳长和体重增长量与盐度均呈负相关, 随胁迫盐度的增加而降低。

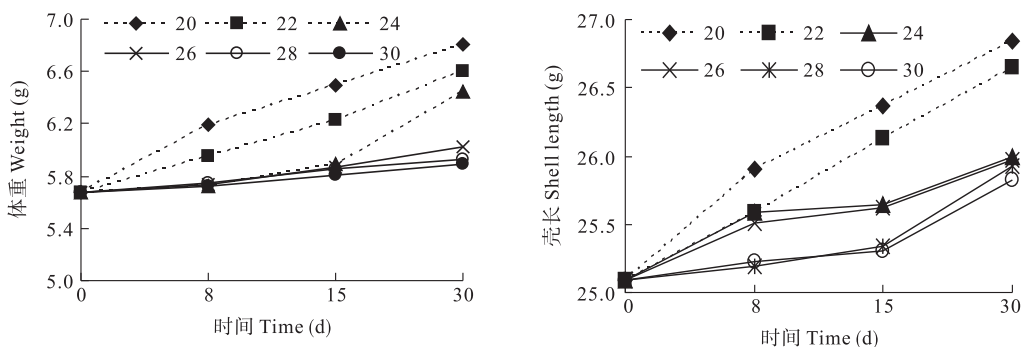


图 3 不同盐度下四角蛤蜊体重和壳长的变化

Fig. 3 The changes of weight and shell length of *M. veneriformis* under different salinity

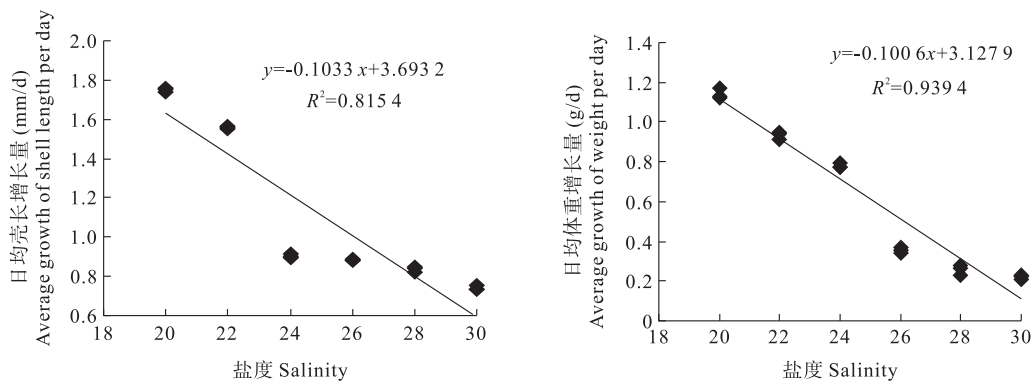


图 4 盐度与四角蛤蜊日均壳长增长量和日均体重增长量的关系

Fig. 4 The relationship between the daily growth rate or weight rate of *M. veneriformis* and salinity

如图 5 所示, 对四角蛤蜊日均体重和壳长增长量进行显著差异性分析, 可以明显看出, 盐度 22 胁迫下, 四角蛤蜊的体重和壳长日均增长量与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$); 盐度 24 胁迫下体重日均增长量显著低于对照组 ($P < 0.05$), 壳长日均增长量极显著低于对照组 ($P < 0.01$); 胁迫盐度为 26、28、30 的实验组体重和壳长均极显著低于对照组 ($P < 0.01$)。

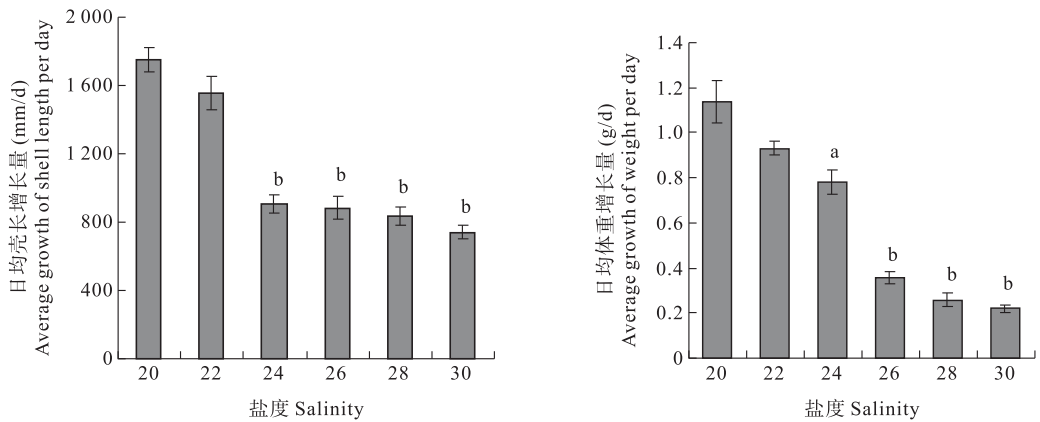


图 5 不同盐度下四角蛤蜊的日均壳长和体重增长量

Fig. 5 Daily growth of *M. veneriformis* under different salinity

3 讨论

3.1 黄河口生物生态阈值研究意义

20 世纪 70 年代,May 等(1977)将“生态阈值”这个概念引入到了生态评价系统中,最初人们认为生态阈值就是生态系统中某些特性或功能的稳定态之间的某个断点或者区间,直到今天它从概念到研究方法再到实践运用一直处在不断的完善中(赵慧霞等 2007)。通过研究生态系统中每一个生态胁迫因子的响应阈值,可以更好地了解和保护生态环境中的每一个物种。生态系统本身具有自我调节功能,但是其对外界环境变化的调节和适应能力只能在一定的范围内起作用,一旦超出其本身的调节和修复能力,整个生态系统的稳定性和多样性及其功能都会受到破坏,这个范围限度就是环境变化因子对生态系统影响的生态阈值。

生态阈值的确定和研究方法取决于选择干扰因子的种类和研究对象的响应程度(Lindenmayer *et al.* 2005)。崔宝山等(2008)在研究水盐环境下翅碱蓬的生态阈值时选择水分、盐度两个干扰因子对翅碱蓬生物量、株高、密度等 5 项生态指标的影响进行分析,通过拟合曲线结合高斯模型的方式来确定生态阈值。Wei 等(2010)在研究单一因子盐度对 *Mytella charruana* 存活状态的影响时,采用显著性差异分析来确定生态阈值。本研究是研究单一胁迫因子盐度对四角蛤蜊摄食与生长的影响,因此采用显著性差异分析法来确定高盐胁迫对四角蛤蜊摄食与生长影响的生态阈值。

黄河口历来以多沙著称,随着泥沙的沉积,下游河床越来越高,致使河口频繁改道,从历年的黄河泥沙公报可以看出,黄河下游利津站入海径流量呈现出明显的年际变化和丰枯水年交替的特征,但总体呈现下降趋势(图 6),导致黄河口盐度逐渐升高。本研究选择黄河口优势种四角蛤蜊作为受试生物,研究贝类摄食与生长的盐度胁迫响应阈值,旨在为确定黄河口生物需水量提供基础数据,同时为客观评价黄河口高盐胁迫对生态系统的早期影响提供科学依据。

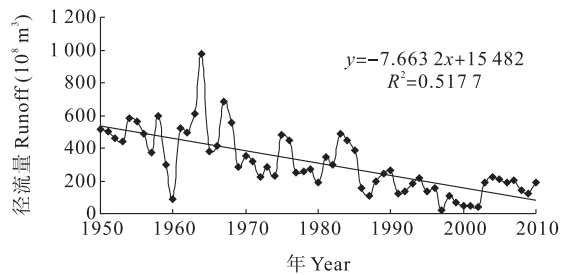


图 6 利津站入海径流量年际变化

Fig. 6 Annual runoff of Yellow River into sea in Lijin Station

3.2 四角蛤蜊摄食与生长对高盐胁迫的响应阈值

贝类是变渗透压生物,盐度是决定其地理分布并影响其生理代谢的重要因子之一(Navarro 1988)。目前研究认为盐度对贝类的影响主要有两点:一是贝类在环境盐度突然升高或降低时出现摄食活动减少、生长速度

减慢等现象(文海翔 2004;袁有宪等 2000);二是贝类在盐度升高或降低幅度过大时,出现闭壳及进出水管收缩关闭等现象(Navarro 1988;文海翔 2004)。通过摄食与生长可以直接反映生态环境盐度变化对贝类的影响。

本研究盐度突变和适应盐度胁迫条件下,四角蛤蜊摄食率的变化情况,发现在胁迫过程中四角蛤蜊的摄食率呈现先升高后降低的趋势。通过显著性差异分析发现,盐度 22、24、26 实验组的摄食率在突变时显著高于对照组,当适应一段时间后摄食率又逐渐降低,与对照组差异不显著,表明这个盐度胁迫范围没有超出四角蛤蜊的自我调整适应能力;盐度 28、30 实验组在适应突变后比突变时摄食率虽有所提高但始终低于对照组,表明这个范围已经超出了四角蛤蜊的生态阈值,所以确定盐度对四角蛤蜊摄食影响的阈值范围为 26~28。分析贝类生长数据的显著差异性,发现贝类的壳长和体重的增长量受盐度影响显著,胁迫盐度超过 22 后,体重和壳长的增长速率始终显著低于对照组,所以确定四角蛤蜊生长的影响阈值为 22~24。综上所述,最终确定高盐胁迫对黄河口四角蛤蜊摄食与生长的影响阈值范围为 22~24。

参 考 文 献

- 文海翔. 2004. 环境因子对硬壳蛤代谢与生长的影响. 见:中国科学院海洋研究所硕士学位论文
- 孙涛,沈小梅,刘方方,马乐宽,徐静,庞爱萍. 2011. 黄河口径流变化对生态系统净生产力的影响研究. 环境科学学报, 31(6): 1311~1320
- 陈昌生,钟幼平,吴永沛,蔡慧农,郭彩华,郑立盛. 2000. 盐度对九孔鲍摄食、生长及存活的影响. 水产学报, 24(1): 41~45
- 杜美荣,方建光,葛长宇,毛玉泽,于守团,燕敬平,李锋. 2009. 盐度和饵料密度对栉孔扇贝稚贝滤水率的影响. 渔业科学进展, 30(3): 74~78
- 杨玲莉. 2007. 河口盐水入侵的数值模拟研究. 见:上海交通大学博士学位论文
- 赵慧霞,吴绍洪,姜鲁光. 2007. 生态阈值研究进展. 生态学报, 27(1): 338~345
- 袁有宪,陈聚法,陈碧鹃,曲克明,过锋,李秋芬,崔毅. 2000. 栉孔扇贝对环境变化适应性研究—盐度对存活、呼吸、摄食及消化的影响. 中国水产科学, 7(4): 73~77
- 崔保山,贺强,赵欣胜. 2008. 水盐环境梯度下翅碱蓬(*Suaeda salsa*)的生态阈值. 生态学报, 28(4): 1408~1418
- 董波,薛钦昭. 2000. 滤食性贝类摄食生理的研究进展. 海洋科学, 24(7): 31~34
- Alber, M. 2002. A conceptual model of estuarine freshwater inflow management. Estuaries, 25(6): 1246~1261
- Lindenmayer, D. B. and Luck, G. 2005. Synthesis: Thresholds in conservation and management. Biological Conservation, 124(3): 351~354
- May, R. M. 1977. Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable state. Nature, 269: 471~477
- Mohenberg, F., and Riisgard, H. U. 1979. Filtration rate using a new indirect technique in thirteen species of suspension-feeding bivalves. Mar. Biol. 54(2): 143~147
- Navarro, J. M. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 122(1): 19~33
- Zhuang, S. H. 2006. The influence of salinity, diurnal rhythm and daylength on feeding behavior in *Meretrix meretrix* Linnaeus. Aquaculture, 252(2~4): 584~590
- Wei, Y., Linda, J., Walters, Kimberly, R. S., and Eric, A. H. 2010. Exploring the survival threshold: A study of salinity tolerance of the non-native mussel *Mytella charruana*. Journal of Shellfish Research, 29(2): 415~422
- Winter, J. E. 1973. The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration measured by a continuous automatic recording apparatus. Mar. Biol. 22(4): 317~328