湖北梁子湖四种螺的形态与壳强度初步研究

朱挺兵[1,2],张丽红[1,2],程庆武[3],李 为[1],张堂林[1]

(1. 中国科学院水生生物研究所,武汉 430072; 2. 中国科学院大学,北京 100049;
3. 牛山湖渔场,武汉 430205)

摘要: 测定了湖北梁子湖的铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)、长角涵螺(*Alocinma longicornis*)、中华沼螺(*Parafossarulus sinensis*)和耳萝卜螺(*Radix auricularia*)的壳形态性状和壳强度。4种螺壳形态可量性状之间以及壳形态可量性状与壳强度之间均呈显著的正相关,且存在明显的种间差异。探讨了螺类形态和壳强度与反捕食功能的关系。

关键词: 梁子湖;螺类;壳强度;形态

中图分类号: Q13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)05-0091-05

螺类在食物链中大都处于初级消费者的地位,这表明螺类面临着各种捕食压力(DeWitt et al, 2000)。利用食螺动物进行捕食也是控制有害螺类过度增长的有效方式之一(刘颖芳 等, 2005)。因此,了解螺类的反捕食能力制约因素不仅有助于了解螺类的种群适合度,同时也能为螺类种群的管理提供参考。

形态和壳强度是决定螺类适合度的重要参数。螺类形态和壳强度的测定数据在理论研究和实际应用中具有一定的意义。一方面,基于形态和壳强度的螺类反捕食能力,可以用来阐释捕食者对螺类的选择性;另一方面,在某些经济软体动物的遗传育种中(Meyers et al, 2008),壳强度常作为评价其品质高低的一个参数。尽管国外已有一些关于螺类壳强度的报道(Blundon & Vermeij, 1983; Jory & Iversen, 1998; Brodersen & Madsen, 2003),但国内相关的研究十分缺乏。

在本研究中,测定了采自梁子湖的铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)、长角涵螺(*Alocinma longicorni*)、中华沼螺(*Parafossarulus sinensis*)和耳萝卜螺(*Radix auricularia*)的形态和壳强度,以期为螺类形态功能和反捕食能力研究积累基础资料。

1 材料与方法

1.1 螺类样本采集

在梁子湖岸边多草区,采用抄网收集铜锈环棱螺、长角涵螺、中华沼螺和耳萝卜螺,清洗后带回实验室测量。

1.2 形态和壳强度测量

用游标卡尺测量每种螺的壳高(Shell Hight, SH)、壳宽(Shell Width, SW)、厣长(Operculum Length, OL)、厣宽(Operculum Width, OW),精确到0.01 mm。用电子天平测量体重(Body Weight, BW),精确到0.01 g。

壳强度(Shell Strength, SS)以压碎螺壳所需要的力(牛顿,N)来表示(Blundon & Vermeij, 1983)。螺壳强度测定装置为温州山度仪器公司生产的SH500型推拉力计(精确度0.1N),主要由机台和推拉力计组成。机台底部为载物台,推拉力计固定于机台上,且保持传感器端朝下,传感器接一金属平推接头并正对载物台。测定时将螺平放于载物台上,加力使推拉力计向下移动,当平推接头碰触到载物台上的螺时,推拉力计开始记录挤压螺时的阻力。保持推拉力计向下压,直到螺壳刚好被压碎时停止加力,此时推拉力计将记录压碎螺壳过程中的最大力值,该最大力值即视为壳强度。测定过程中,所有螺的摆放位置均相同,且测定次序完全随机。

1.3 数据处理

最小二乘法拟合下列参数的关系方程:SH与SW、lgSH与lgBW、lgSW与lgBW、OL与OW、OL与SH、lgOL与lgBW、lgSH与lgSS、lgSW与lgSS、lgBW与lgSS、lgOL与lgSS。采用协方差分析比较两个回

收稿日期: 2013-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号30970553)和公益性行业(农业)科研专项(编号201203081-4)。

通讯作者: 张堂林。E-mail:tlzhang@ihb.ac.cn

作者简介: 朱挺兵,1987年生,男,江西南康人,博士研究生,研究方向为鱼类生态学。E-mail:zhutb@ihb.ac.cn

归方程之间的异同,若种间斜率不同,则认为种间的增长方式有差异;如果斜率相同但截距不同,则认为种间增长方式相同但相对值有差异。差异显著水平为 $P<0.05$。数据处理软件采用 SPSS13.0。

2 结果与分析

2.1 形态测量

收集的梁子湖铜锈环棱螺壳高 6.72 ~ 30.90 mm、体重 0.08 ~ 5.77 g,长角涵螺壳高 4.16 ~ 8.99 mm、体重 0.01 ~ 0.21 g,中华沼螺壳高 7.82 ~ 13.60 mm、体重 0.09 ~ 0.38 g,耳萝卜螺壳高 8.02 ~ 23.50 mm、体重 0.04 ~ 1.13 g。相对而言,铜锈环棱螺和耳萝卜螺属于大型螺类,长角涵螺和中华沼螺属于小型螺类。

表 1 列出了梁子湖铜锈环棱螺、长角涵螺、中华沼螺和耳萝卜螺的形态参数间的关系方程。在壳高与壳宽的关系方程中,中华沼螺的斜率值明显小于其他 3 种螺,表明其形态是 4 种螺中最狭长的,而其他 3 种螺的形态较为接近。在动物的体长 - 体重关系一般表达式($W = a + bL$)中,其 b 值接近 3.0(闫云君和梁彦龄, 2002),但本研究中,铜锈环棱螺($t_{237} = -140.610$, $P<0.001$)和中华沼螺($t_{215} = -168.665$, $P<0.001$)的 b 值都显著小于 3,而长角涵螺($t_{102} = 41.487$, $P<0.001$)和耳萝卜螺($t_{170} = 40.163$, $P<0.001$)的 b 值显著大于 3。

2.2 壳强度及与形态参数的关系

壳高、体重和厣长均表现出对壳强度的显著影响(图 1)。但是从散点图的离散性看,形态参数只解释了大部分壳强度的变化。表 2 列出了壳强度分别与壳高、壳宽、厣长和体重的关系方程。从各方程的截距可以看出,4 种螺类的壳强度存在显著的差异,从斜率看,4 种螺类的壳强度随形态参数增长的速率有所不同。以壳高与壳强度的关系方程为例,随着壳高的增加,中华沼螺的壳强度增长最快,耳萝卜螺增长最慢。

3 讨论

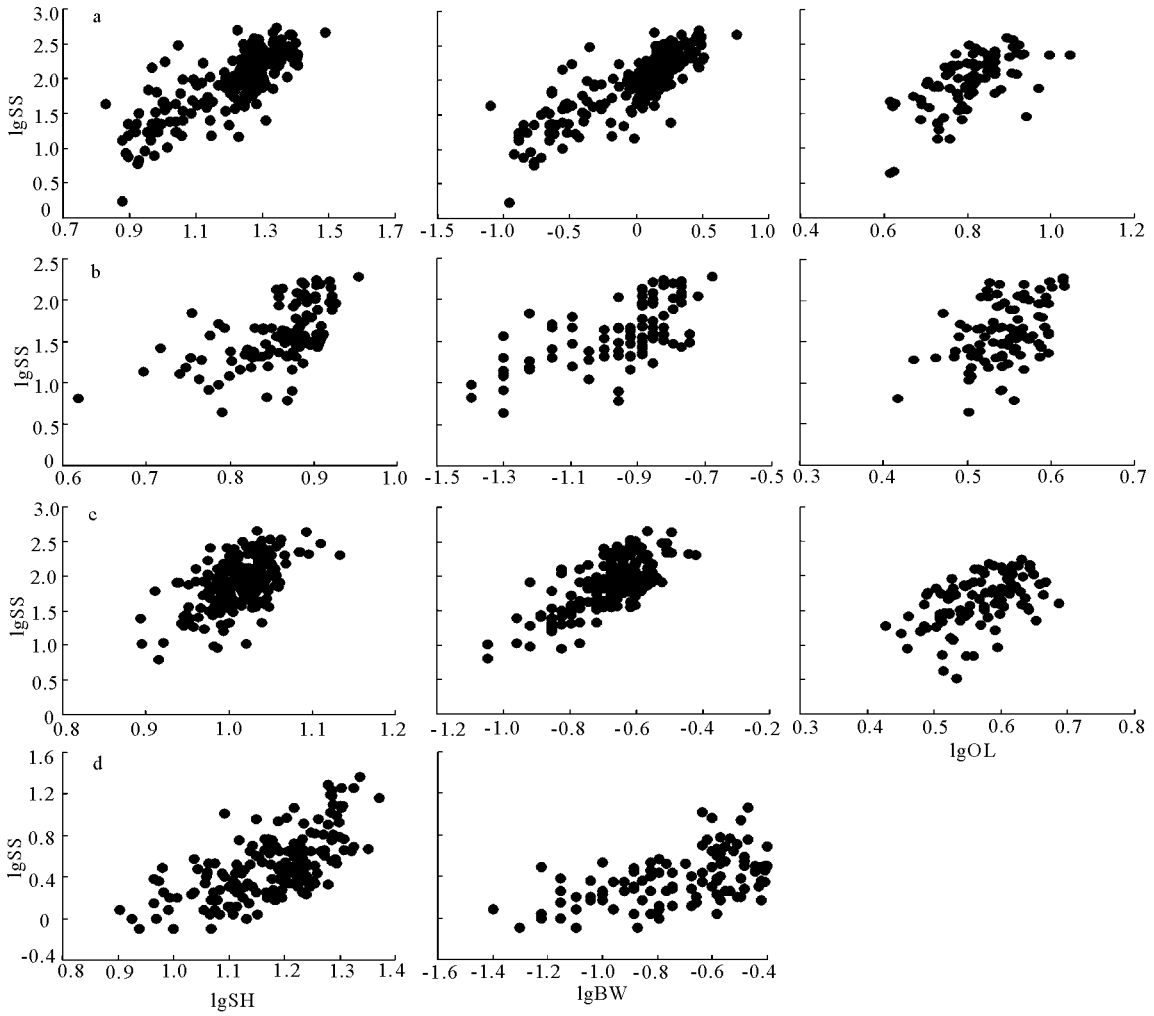
本研究表明,梁子湖铜锈环棱螺、长角涵螺、中华沼螺和耳萝卜螺的形态和壳强度存在较大的种间差异。长角涵螺和中华沼螺的个体小但相对壳强度较高,耳萝卜螺个体较大但壳强度最低,铜锈环棱螺个体较大同时壳强度也较高。

表 1 梁子湖 4 种螺的形态参数关系方程

Tab. 1 Relationship functions of morphology parameters of four species of gastropod in the Liangzi Lake

形态参数	种类	$Y = a + bX$				
		a (±SE)	b (±SE)	r^2	n	P
X = SH Y = SW	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	2.092 (0.096)^{b}	0.529 (0.005)^{c}	0.976	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	0.669 (0.139)^{c}	0.599 (0.019)^{a}	0.907	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	2.611 (0.244)^{a}	0.331 (0.024)^{d}	0.480	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	-0.672 (0.225)^{d}	0.592 (0.014)^{b}	0.909	171	0.000
X = lgSH Y = lgBW	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	-3.241 (0.025)^{b}	2.662 (0.021)^{c}	0.986	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	-3.975 (0.164)^{c}	3.501 (0.191)^{a}	0.769	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	-3.052 (0.110)^{a}	2.347 (0.108)^{d}	0.687	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	-4.324 (0.079)^{d}	3.228 (0.067)^{b}	0.931	171	0.000
X = lgSW Y = lgBW	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	-3.458 (0.022)^{b}	3.334 (0.022)^{b}	0.990	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	-3.757 (0.139)^{c}	3.989 (0.198)^{a}	0.800	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	-2.709 (0.118)^{a}	2.609 (0.152)^{b}	0.580	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	-3.168 (0.053)^{b}	2.894 (0.057)^{b}	0.938	171	0.000
X = OL Y = OW	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	1.016 (0.216)^{a}	0.612 (0.032)^{b}	0.785	103	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	0.241 (0.196)^{b}	0.721 (0.056)^{a}	0.626	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	0.098 (0.158)^{c}	0.725 (0.042)^{a}	0.750	101	0.000
X = OL Y = SH	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	2.092 (0.506)^{a}	1.648 (0.075)^{c}	0.828	103	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	0.035 (0.647)^{c}	2.056 (0.184)^{b}	0.554	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	0.337 (0.584)^{b}	2.350 (0.156)^{a}	0.697	101	0.000
X = lgOL Y = lgBW	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	-2.331 (0.083)^{a}	2.549 (0.102)^{c}	0.861	103	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	-3.010 (0.225)^{c}	3.756 (0.412)^{a}	0.451	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	-2.711 (0.153)^{b}	3.202 (0.268)^{b}	0.590	101	0.000

注:r^2 为回归系数,n 为样本量,相同回归方程不同种类的系数上标不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)



(a) 铜锈环棱螺,(b) 长角涵螺,(c) 中华沼螺, (d) 耳萝卜螺

图 1　梁子湖 4 种螺的壳形态参数与壳强度关系

(a) *B aeruginosa*,(b) *A longicornis*,(c) *P sinensis* , (d) *R auricularia*

Fig. 1　Relationships between shell morphology parameters and strength of four species of gastropod in the Liangzi Lake

表 2　梁子湖 4 种螺的壳强度与形态参数的关系

Tab. 2　Relationship between shell strength and morphology parameters of four species of gastropod in the Liangzi Lake

形态参数	种　　类	$Y = a + bX$				
		a (±SE)	b (±SE)	r^2	n	P
X = lgSH Y = lgSS	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	−1.064 (0.160)^{a}	2.505 (0.131)^{c}	0.608	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	−1.765 (0.466)^{b}	3.901 (0.543)^{b}	0.338	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	−3.730 (0.559)^{d}	5.560 (0.552)^{a}	0.322	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	−2.056 (0.222)^{c}	2.177 (0.188)^{d}	0.441	171	0.000
X = lgSW Y = lgSS	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	−1.323 (0.165)^{a}	3.189 (0.159)^{c}	0.631	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	−1.665 (0.409)^{b}	4.649 (0.585)^{b}	0.385	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	−2.230 (0.566)^{c}	5.297 (0.725)^{a}	0.200	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	−1.271 (0.154)^{a}	1.946 (0.168)^{d}	0.442	171	0.000
X = lgBW Y = lgSS	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	1.985 (0.016)^{c}	0.977 (0.045)^{b}	0.665	238	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	2.545 (0.135)^{b}	0.992 (0.135)^{b}	0.348	103	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	3.542 (0.115)^{a}	2.434 (0.168)^{a}	0.494	216	0.000
	耳萝卜螺 *R auricularia*	0.860 (0.034)^{d}	0.674 (0.055)^{b}	0.474	171	0.000
10 X = lgOL Y = lgSS	铜锈环棱螺 *B aeruginosa*	−0.431 (0.300)^{b}	2.982 (0.370)^{c}	0.405	97	0.000
	长角涵螺 *A longicornis*	−0.757 (0.464)^{c}	4.327 (0.851)^{a}	0.211	99	0.000
	中华沼螺 *P sinensis*	−0.182 (0.327)^{a}	3.190 (0.575)^{b}	0.237	101	0.000

注:r^2 为回归系数,n 为样本量,相同回归方程不同种类的系数上标不同字母表示有显著性差异($P < 0.05$)

形态对螺类反捕食能力的影响主要表现在直接影响捕食者对螺类的操纵。捕食者对螺类的破壳方式有2种:第1种是蟹的典型操纵方式,可以有多种攻击方式和破螺壳方式;第2种是硬骨鱼类的方式,使用口来压碎螺壳(Palmer, 1979)。第2种攻击方式容易受到口裂的限制。本研究中,中华沼螺是个体小的种类,很少有壳高超过15 mm的,但是在4种螺中其相对壳强度最大,尽管如此,还无法保证其不被捕食,因此相对较高的壳强度和密集的壳环纹可能是中华沼螺在反捕食功能方面对个体小的一种弥补。耳萝卜螺由于壳极薄,相对壳强度是最小的,而且随着个体的生长壳强度变化不大,表明壳强度对于其反捕食能力的作用十分有限。但是,耳萝卜螺壳口较宽,体型为圆胖型,可能增加了捕食者对其操纵难度(DeWitt, 1996; Palmer, 1977)。

外壳是螺类软体组织的主要保护器官。各类捕食者在捕食螺类时都要先将螺壳弄碎(Graveland et al, 1994),所以螺壳强度与螺类反捕食能力密切相关(Jordaens et al, 2006)。已有研究表明,龙虾不捕食壳最厚也即最硬的胀环螺(*Helisoma anceps*),但喜欢捕食壳最薄的灰陀螺(*Gyraulus parvus*),选择指数高(Nystrom & Perez, 1998)。本研究中4种螺的壳强度有明显的差异,预示着它们反捕食能力有可能不同。尽管小型的长角涵螺和中华沼螺具有相对高的壳强度,但因个体小仍然面临较大的捕食风险,例如,河蟹放养对自然水体中小型螺类的密度和生物量造成严重影响(许巧情, 2005)。

参考文献

刘颖芳, 彭宇, 刘凤想. 2005. 中国灭螺技术的研究进展[J]. 四川动物, 24:651 – 654.

许巧情, 王洪铸, 张世萍. 2003. 河蟹过度放养对湖泊底栖动物群落的影响[J]. 水生生物学报, 27(1): 41 – 46.

闫云君, 梁彦龄. 2002. 大型底栖动物体长体重关系和生化组成的研究[J]. 华中科技大学学报,30(11):114 – 116.

Blundon JA, Vermeij GJ. 1983. Effect of shell repair on shell strength in the gastropod Littorina irrorata[J]. Marine Biology, 76:41 – 45.

Brodersen J, Madsen H. 2003. The effect of calcium concentration on the crushing resistance, weight and size of *Biomphalaria sudanica* (Gastropoda: Planorbidae)[J]. Hydrobiologia, 490:181 – 186.

DeWitt TJ. 1996. Functional tradeoffs and phenotypic plasticity in the freshwater snail Physa[D]. Binghamton, New York: Binghamton University.

DeWitt TJ, Robinson BW, Wilson DS. 2000. Functional diversity among predators of a freshwater snail imposes an adaptive trade – off for shell morphology[J]. Evolutionary Ecology Research,2:129 – 148.

Donovan DA, Danko JP, Carefoot TH. 1999. Functional significance of shell sculpture in gastropod molluscs: test of a predator – deterrent hypothesis in *Ceratostoma foliatum* (Gmelin)[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology ,236:235 – 251.

Graveland J, Wal R, Balen JH, et al. 1994. Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils[J]. Nature, 368:446 – 448.

Jordaens K, Wolf HD, Vandecasteele B, et al. 2006. Associations between shell strength, shell morphology and heavy metals in the land snail *Cepaea nemoralis* (Gastropoda, Helicidae)[J]. Science of the Total Environment, 363: 285 – 293.

Jory DE, Iversen ES. 1998. Shell strength of queen conch, *Strombus gigas* L: aquaculture implications[J]. Aquaculture Research ,19:45 – 51.

Meyers MA, Lin AYM, Chen PY, Muyco J. 2008. Mechanical strength of abalone nacre: Role of the soft organic layer[J]. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 1:76 – 85.

Nystrom P, Perez J. 1998. Crayfish predation on the common pond snail (*Lymnaea stagnalis*): the effect of habitat complexity and snail size on foraging efficiency[J]. Hydrobiologia ,368:201 – 208.

Palmer AR. 1977. Function of shell sculpture in marine gastropods: hydrodynamic destabilization in *Ceratostoma foliatum*[J]. Science, 197:1293 – 1295.

Palmer AR. 1979. Fish predation and the evolution of gastropod shell sculpture: experimental and geographic evidence[J]. Evolution, 33:697 – 713.

(责任编辑 张俊友)

Primary Studies on the Morphology and Shell Strength of Four Species of Gastropods in the Liangzi Lake, Hubei

ZHU Ting-bing[1,2], ZHANG Li-hong[1,2], CHENG Qing-wu[3], LI Wei[1], ZHANG Tang-lin[1]

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, Wuhan 430072, P. R. China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, P. R. China;
3. Niushan Lake Farm, Wuhan 430205, P. R. China)

Abstract: The morphometric characteristics and shell strength of *Bellamya aeruginosa*, *Alocinma longicornis*, *Parafossarulus sinensis*, *Radix auricularia* collected from the Liangzi lake, Hubei in China were measured. For all of the four gastropod species, there were positive relationships among morphology parameters, as well as between each of morphology parameters and shell strength. There were interspecific difference in morphology parameters and shell strength. In addition, the effects of morphology and shell strength on the anti-predation abilities of gastropods were discussed.

Key words: Liangzi Lake; Gastropod; Shell Strength; Morphology