

两种福寿螺与中国圆田螺齿舌的 形态学特征比较

叶苗^{①②} 樊天骐^① 陈炼^{②③*} 陈燊^② 朱善良^② 吴军^③
陈干^② 徐海根^③ 刘燕^③

① 南京师范大学生命科学学院 南京 210023; ② 江苏第二师范学院生命科学与化学化工学院 南京 210013;

③ 环境保护部南京环境科学研究所 南京 210042

摘要: 齿舌作为软体动物独特的摄食器官, 是软体动物门重要的分类特征。利用扫描电镜对入侵物种福寿螺 *Pomacea canaliculata*、*P. maculata* 和本地物种中国圆田螺 (*Cipangopaludina chinensis*) 的齿舌形态进行了比较观察。两种福寿螺和中国圆田螺齿式均为 2.1.1.1.2。两种福寿螺齿舌的差异主要体现在中央齿的第一突起, *P. canaliculata* 中央齿第一突起宽而短, 不如 *P. maculata* 锋利。*P. canaliculata* 与 *P. maculata* 第一突起长与中央齿宽以及第一突起宽与中央齿宽的比值均具有显著差异。两种福寿螺与中国圆田螺齿舌的中央齿、侧齿、缘齿, 不论是从形态还是数量上都明显不同。两种福寿螺中央齿第一突起大而尖, 呈倒三角形, 两侧对称排列 3 个小齿; 中国圆田螺的中央齿第一突起短而宽, 呈方形, 两侧对称排列 4 个小齿。两种福寿螺的侧齿大突起内侧有 1 个小而尖的小齿, 大突起外侧另有 2 个小齿; 中国圆田螺侧齿上缘中间大突起外侧有 3 个小齿, 呈锯齿状。两种福寿螺的内缘齿和外缘齿相似, 缘齿上缘的中间尖齿尖锐, 旁边再形成一小齿; 中国圆田螺内缘齿上缘的中间尖齿突出, 外缘齿基部细长, 上缘有小的尖齿 8~10 个, 呈梳状。两种福寿螺与中国圆田螺的第一突起宽与中央齿宽之比、第一突起长与中央齿宽之比、第二突起宽与中央齿宽之比、第二突起长与中央齿宽之比均差异显著。食性不同可能是造成种间齿舌结构差异的原因之一。

关键词: 福寿螺 *Pomacea canaliculata*; 福寿螺 *P. maculata*; 中国圆田螺; 齿舌; 形态

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 01-97-11

Comparative Study on Morphology of Radula of *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and *Cipangopaludina chinensis*

YE Miao^{①②} FAN Tian-Qi^① CHEN Lian^{②③*} CHEN Yu^② ZHU Shan-Liang^② WU Jun^③
CHEN Gan^② XU Hai-Gen^③ LIU Yan^③

① College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023; ② College of Life Sciences, Chemistry and Chemical Engineering,

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31100274), 江苏省自然科学基金项目 (No. BK20131087), 江苏省高校自然科学基金项目 (No. 15KJB180004);

* 通讯作者, E-mail: chenlian_2004@163.com;

第一作者介绍 叶苗, 女, 硕士; 研究方向: 分子生态学; E-mail: 15971202188@163.com。

收稿日期: 2016-05-06, 修回日期: 2016-07-30 DOI: 10.13859/j.cjz.201701011

Jiangsu Second Normal University, Nanjing 210013; ③ Nanjing Institute of Environmental Sciences,
Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

Abstract: Radula as a unique feeding organ is a useful morphological character to identify molluscs. The scanning electron microscopy (SEM) was used for comparison of radula's morphology of two invasive species *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and one native species *Cipangopaludina chinensis*. The radulae were extracted from four individuals of each apple snails and three individuals of *C. chinensis*. Surrounding tissue on the radula was removed manually and then placed in 10% sodium hydroxide for approximately 24 hours to remove any remaining tissue. The radula was then dried briefly and fixed on the copper plate and coated with gold. A series of parameters of the central teeth (Fig. 1) from the three species were measured by the software SmileView. The data were analyzed by Statistica 10.0 software package. Results suggested that the radular formula of the three species was 2 · 1 · 1 · 1 · 2, including one central tooth, one lateral tooth and other two marginal teeth on each side (Fig. 3a, e, i). The main discrepancy between the two apple snails was the central teeth. The first cusp of the central tooth of *P. canaliculata* was shorter and wider, not as sharp as that of *P. maculata* (Fig. 3b, f). There were significant differences in the ratio of the length of the first cusp/the width of the central tooth, and the width of the first cusp/the width of the central tooth between the two apple snails ($P < 0.001$, Table 2). The morphology of lateral tooth and marginal tooth for the two apple snails were similar (Table 1). However, the number and morphology of the central teeth, lateral teeth and marginal teeth were different among these three species (Table 1, Fig. 3). The first cusp of the central tooth was triangle, and three small cusps arranged symmetrically on both sides between the two apple snails. The species of *C. chinensis* had a short, broad, square cusp of the central tooth, bounded by four short, pointed denticles on each side. There were one small sharp cusp inside the big cusp of lateral teeth and two small cusps outside of that in the two apple snails. Three small serrated cusps were observed beside the big cusp of lateral teeth in *C. chinensis*. The inner and outer marginal teeth were similar in the two apple snails. The central cusp of the marginal tooth was sharp, with a small cusp near it. The central cusp of the inner marginal tooth was extruded in *C. chinensis*, and the outer marginal tooth had 8 - 10 small pectinate cusps. There were significant differences in the ratio of the width of the first cusp, the length of the first cusp, the length of the second cusp, as well as the width of the second cusp to the width of the central teeth between apple snails and *C. chinensis* (Table 2). The morphology of the radula is related to diet in order to adapt a wide variety of foods. The two apple snails were polyphagous, mainly feeding on vegetal (primarily young rice-crops) and animal matter, while *C. chinensis* ate microorganisms in the soil and humus phytoplankton in the water. Different feeding strategies could be one of the factors influencing interspecific differences in radula.

Key words: *Pomacea canaliculata*; *P. maculata*; *Cipangopaludina chinensis*; Radula; Morphology

福寿螺属, 隶属于软体动物门 (Mollusca) 腹足纲 (Gastropoda) 中腹足目 (Mesogastropoda) 瓶螺科 (Ampullariidae), 属以下各物种尚无正式的中文译名, 统称为福寿螺或苹果螺, 仅周晓农等 (2009) 提出了若干

物种的中文译名建议。福寿螺原产于南美洲和中美洲, 研究表明该属物种被引入到淡水环境中后具有顽强的生命力, 能够快速传播 (Rawlings et al. 2007)。尽管福寿螺属内物种间存在一定的螺壳差异, 但高度保守的外部形态

特征对属内物种的识别造成困难 (Cazzaniga 2002)。例如 *Pomacea canaliculata* 与 *P. maculata* 亲缘关系较近, 后者过去被误认为是 *P. insularum* (Hayes et al. 2012), 二者在外部形态特征上非常类似, 是入侵能力最强、最难区分的两个种 (Hayes et al. 2009)。福寿螺 *P. canaliculata* 是世界 100 种恶性外来入侵物种之一 (Luque et al. 2014), 也是列入首批入侵中国的 16 种“危害极大的外来物种之一”。2012 年农业部将其列为第一批国家重点管理外来入侵物种, 目前已成为我国长江以南大部分省区的严重农业害虫 (郭靖等 2014)。过去认为最初引入到亚洲的福寿螺是一个单一的物种 *P. canaliculata*, 而 Hayes 等 (2008) 通过线粒体细胞色素氧化酶 I 亚基 (cytochrome oxidase subunit I, CO I) 基因序列分析了来自亚洲 164 个采样地和南美洲 57 个采样地的 783 个福寿螺个体, 结果表明, 亚洲地区引入的福寿螺外来种包括 *P. canaliculata*, *P. maculata*, *P. scalaris* 和 *P. diffusa* 4 个种。Lv 等 (2013) 通过比较原产地与入侵我国 10 个省市的福寿螺的线粒体 CO I 基因序列, 指出入侵我国的福寿螺除 *P. canaliculata* 外, 还包括 *P. maculata*。虽然这两种螺的卵块颜色和大小有差异 (Rawlings et al. 2007, Morrison et al. 2011), 但是随着卵的发育, 卵块的颜色会发生变化 (Morrison et al. 2011), 因此, 卵块不能作为物种鉴定的可靠依据。

中国圆田螺 (*Cipangopaludina chinensis*) 属软体动物门 (Mollusca) 腹足纲 (Gastropoda) 中腹足目 (Mesogastropoda) 田螺科 (Viviparidae) 圆田螺属, 为我国特有物种 (陈元晓等 2009)。其肉嫩味鲜, 营养丰富, 药食俱佳, 在中国各淡水水域均有分布, 生活在淡水湖泊、水库、沟渠、稻田、池塘内 (郭振华 1983), 主要以青苔、泥土中的腐殖质、微生物等为食 (张爱良 2004)。福寿螺也喜欢生活在水质清新、饵料充足的淡水中, 多集群栖息于池边浅水区, 或吸附在水生植物茎叶上, 或生

活在溪流渠道和稻田内 (Seuffert et al. 2010)。福寿螺与中国圆田螺的生活环境相似, 常在水沟、池塘和稻田等生境同域分布, 外形上有一定的相似性 (李小慧等 2009, Nurhasan et al. 2010, 罗明珠等 2015b)。中国圆田螺主要以多汁的水生植物叶片、藻类及泥土中的腐殖质为食, 即主要摄食富含淀粉类物质及纤维类的物质, 极少摄食含脂肪的物质 (张玺等 1960)。而福寿螺的食谱较广, 以动植物为食, 尤喜食水生维管束植物的嫩茎和幼叶 (敖鑫如 1990)。

齿舌是软体动物独特的摄食器官, 依靠肌肉的伸缩作用锉碎食物 (欧阳珊等 2001)。不同软体动物摄取的食物种类繁多 (巫文隆 1992), 为适应多样化的食物, 齿舌的形状会因为食性不同而存在差异, 因此齿舌是软体动物门重要的分类特征 (Fujioka 1985, Kantor et al. 2000, Franklin et al. 2007, 潘英等 2010)。不同种类的螺, 其齿舌的形态、齿片的排列方式不同 (Stella et al. 2015), 中央齿、侧齿、缘齿的形态和数目, 在腹足类分类中具有重要意义 (Claremont et al. 2013)。

本研究以入侵物种福寿螺和本地物种中国圆田螺为研究对象, 通过扫描电镜技术对其齿舌进行超微结构观察, 比较福寿螺及中国圆田螺齿舌的结构与功能, 并与国内外软体动物齿舌的相关研究结果相比较, 旨在为福寿螺和中国圆田螺摄食生理学研究提供理论依据, 同时为福寿螺和中国圆田螺种类鉴定提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究中, 两种福寿螺采自重庆开县, 中国圆田螺采自江苏南京, 带回实验室后统一用塑料盒饲养, 用曝气水换水, 以保证螺正常的活动。根据外部形态特征鉴别福寿螺和中国圆田螺 (张玺等 1960, 孙志坚等 2011)。由于福寿螺 *P. canaliculata* 和 *P. maculata* 的外部形态极其相似, 难以区分 (Hayes et al. 2009,

Matsukura et al. 2013), 参考 Hayes 等 (2012) 的方法先对两种福寿螺做形态鉴定, 再结合线粒体 *CO I* 基因序列进行物种鉴定。两种福寿螺各选择 4 个个体解剖获取齿舌, 中国圆田螺选择 3 个个体解剖获取齿舌。

1.2 实验方法

1.2.1 齿舌标本的制备与观察 选择大小一致的个体作为实验材料。福寿螺 *P. canaliculata* 的螺长 (41.98 ± 2.16) mm, 鲜重 (18.89 ± 0.36) g; *P. maculata* 的螺长 (41.67 ± 1.39) mm, 鲜重 (18.53 ± 0.52) g; 中国圆田螺的螺长 (42.29 ± 1.83) mm, 鲜重 (23.62 ± 0.83) g。观察其螺壳结构, 并用佳能数码相机 (Canon IXUS 115 HS, Japan) 拍照。解剖两种福寿螺和中国圆田螺, 取出齿舌囊。参考 Kongim 等 (2013) 的方法, 用双蒸水将齿舌囊冲洗干净, 放入 10% 的 NaOH 溶液中浸泡过夜, 期间震荡数次, 充分消化其他组织。取出齿舌, 用双蒸水冲洗两次, 将整条齿舌平展在硬纸板上, 用游标卡尺测量其长度与宽度。并将齿舌浸泡在 0.5 mol/L 磷酸缓冲液中清洗 10 min; 接着将齿舌放入 4% 的戊二醛固定液中, 于 4℃ 固定 3 h 以上; 取出齿舌用 0.2 mol/L 磷酸缓冲液清洗 3 次, 每次 15 min; 样品分别在 35%、50%、70%、85%、

95%、100% 的乙醇溶液中脱水 15 min; 样品干燥。将处理过的样品固定于铜板上, 放入镀膜机的真空罩内, 离子溅射金属膜; 镀膜后, 用扫描电镜 (JSM-5610LV, JEOL) 观察。

1.2.2 中央齿相关指标测量 用扫描电镜照片处理软件 SmileView (JEOL 日本电子) 对两种福寿螺、中国圆田螺中央齿的相关指标进行测量 (Anistratenko et al. 2013)。中央齿相关指标与中央齿宽的比值作为齿舌形态分析的度量值, 以消除样本个体大小差异对齿舌形态特征的影响 (图 1)。所得到的相关实验数据均使用 Statistica 10.0 (Tulsa, OK, USA) 软件包进行统计分析, 所有数据在进一步统计检验前, 用 Kolmogorov-Smirnov 和 Bartlett 方法分别检查数据的正态性以及方差均质性, 并采用反正弦数据转化。采用单因子方差分析 (one-way ANOVA) 检验不同物种各性状的差异, 发现有显著性差异时用 Tukey's 多重比较分析相应数据。描述性统计值用平均值 \pm 标准误表示, 显著性水平设置在 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 外部形态

两种福寿螺螺壳外形相似, 均呈椭球形,

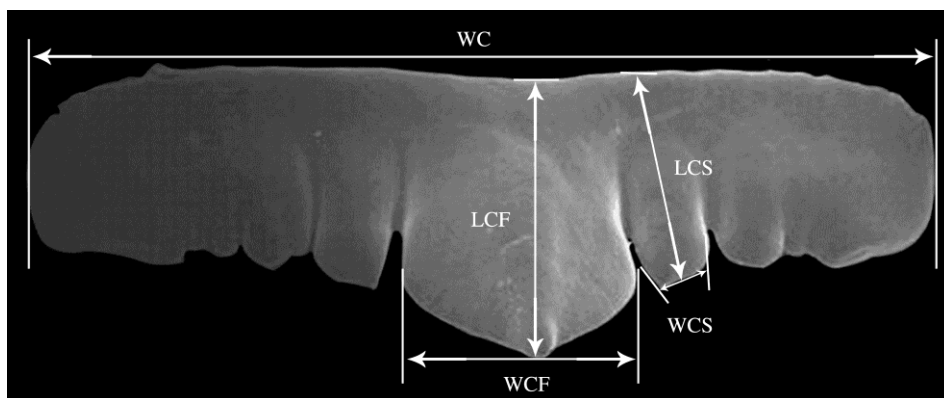


图 1 中央齿相关测量指标

Fig. 1 Measurements of the central teeth parameters

WC. 中央齿宽; WCF. 中央齿第一突起宽; LCF. 中央齿第一突起长; LCS. 中央齿第二突起长; WCS. 中央齿第二突起宽。

WC. Width of the central teeth; WCF. Width of the central teeth's first cusp; LCF. Length of the central teeth's first cusp; LCS. Length of the central teeth's second cusp; WCS. Width of the central teeth's second cusp.

棕黄色或黄褐色，表面光滑。螺体右旋，有 5~6 个螺层，均外凸，螺旋部低矮，体螺层膨大。脐孔大而深。缝合线深，凹入。壳口大，卵圆形。厣为褐色角质的薄片，具有同心圆形的生长纹，厣核偏于内侧中部（图 2）。中国圆田螺，外形呈宽圆锥形，有 6~7 个螺层。螺旋部的高度大于壳口的高度，体螺层膨大，壳顶尖锐。缝合线深。壳面呈黄褐色，具有细密而明显的生长线。壳口卵圆形，周缘完整，具有黑色框边，外唇简单，内唇上方贴覆在体螺层上，部分或全部遮盖脐孔，使脐孔呈缝状。厣角质，卵圆形，黄褐色，具有明显的同心圆生长纹，厣核靠近内唇中央（图 2）。

2.2 齿舌大小

两种福寿螺的齿舌质地较硬，中国圆田螺的齿舌质地柔软。两种福寿螺齿舌大小相似，*P. canaliculata* 齿舌平均长 10.96 mm，平均宽 2.24 mm；*P. maculata* 齿舌平均长 10.98 mm，平均宽 2.34 mm；中国圆田螺的齿舌大小只有福寿螺齿舌的 1/4 左右，齿舌平均长 8.83 mm，平均宽 0.65 mm。

2.3 齿舌形态

福寿螺和中国圆田螺的齿舌均呈带状，含有中央齿、侧齿和缘齿（图 3），这些齿以一定方式组成横列，再由许多横列构成一条齿舌（图 3a, e, i）。整条齿舌在非摄食或摄食后状



图 2 福寿螺和中国圆田螺的螺壳形态

Fig. 2 Shell morphology of *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and *Cipangopaludina chinensis*

a~d. 福寿螺 *P. canaliculata*; e~h. 福寿螺 *P. maculata*; i~l. 中国圆田螺 *C. chinensis*。

态下，齿面似一个凹槽，腹面可清晰地观察到每横列的分界及中央齿和侧齿的分界。每一横列中部都有一个中央齿，中央齿两侧对称排列 1 个侧齿和 2 个缘齿，齿式为 2.1.1.1.2。

两种福寿螺的中央齿中间有一宽大突起，称第一突起，第一突起大而尖，呈倒三角形，第一突起两侧对称排列 3 个小齿（表 1，图 3b, f）。*P. canaliculata* 的中央齿从基底部到顶端呈弧形弯曲，第一突起宽而短，不如 *P. maculata* 锋利，各突起间间隙形状不同。*P. maculata* 的第一突起角度小于 90°，而 *P. canaliculata* 的第一突起角度大于 90°。两种福寿螺的侧齿均位于中央齿外侧，上有一大的突起，大突起内侧有 1 个小而尖的小齿，大突起外侧另有 2 个小而尖的小齿，小齿尖端朝向中央（表 1，图 3c, g）。两种福寿螺的缘齿呈宽三角形，每侧有两个，分别为内缘齿和外缘齿，排列紧密，位于两个侧齿之间，外缘齿大约为内缘齿宽度的三分之一，缘齿上缘的中间尖齿尖锐，中间尖齿旁还有一小齿（表 1，图 3d, h）。

中国圆田螺中央齿位于每横排齿列的正中位置，中央齿呈弧形弯曲，中央齿上缘具尖齿 9 个，中间第一突起齿宽，呈方形，短而不突出，两侧对称排列 4 个细小尖齿（表 1，图 3j）。中国圆田螺的侧齿位于中央齿外侧，每侧 1 个，尖端水平位于两中央齿之间，侧齿上缘中间有一大的突起，大突起外侧有 3 个小而尖锐的小齿，小齿尖端朝向中央（表 1，图 3k）。中国圆田螺的内缘齿较外缘齿大，排列紧密，位于

两个侧齿之间，内缘齿上缘的中间尖齿突出，外缘齿基部细长，上缘的尖齿 8~10 个，呈梳状（表 1，图 3l）。

统计结果显示，两种福寿螺第二突起宽与中央齿宽之比和第二突起长与中央齿宽的比值无差异；*P. canaliculata* 和 *P. maculata* 第一突起长与中央齿宽之比和第一突起宽与中央齿宽的比值具有显著差异。两种福寿螺与中国圆田螺的第一突起宽与中央齿宽、第一突起长与中央齿宽、第二突起宽与中央齿宽以及第二突起长与中央齿宽之比均差异显著（表 2）。

3 讨论

3.1 福寿螺与中国圆田螺的齿舌比较

两种福寿螺齿舌的差异主要在中央齿，*P. canaliculata* 中央齿第一突起宽而短，不如 *P. maculata* 锋利，这与 Hayes 等（2012）通过扫描电镜观察到的两种福寿螺的齿舌结构一致。本研究结果表明，两种福寿螺在第一突起长与中央齿宽和第一突起宽/中央齿宽上有显著差异。由于本研究样本数量较少，是否可以通过中央齿舌第一突起差异区分这两种福寿螺还需要进一步研究。福寿螺与中国圆田螺齿舌的中央齿、侧齿、缘齿，不论是从形态还是数量上都明显不同。中国圆田螺的中央齿第一突起短而宽，呈方形，两侧对称排 4 个齿。这与 Anistratenko 等（2013）对欧洲四种田螺 *Viviparus viviparus*、*V. sphaeridius*、*V. ater* 和 *Contectiana listeri* 中央齿形态的描述相吻合，

表 1 福寿螺和中国圆田螺的齿舌数据

Table 1 Radular data among the species of *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and *Cipangopaludina chinensis*

物种 Species	侧翼尖齿 Flanking cusp						
	中央齿 Central tooth	侧齿 Lateral tooth		内缘齿 Inner marginal tooth		外缘齿 Outer marginal tooth	
		内 Inner	外 Outer	内 Inner	外 Outer	内 Inner	外 Outer
福寿螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	3	1	2	1	-	1	-
福寿螺 <i>P. maculata</i>	3	1	2	1	-	1	-
中国圆田螺 <i>C. chinensis</i>	4	3	3	4	4	-	8~10

表中“-”表示未发现相应的内缘齿或外缘齿。“-” notes that the inner marginal tooth or outer marginal tooth is not found.

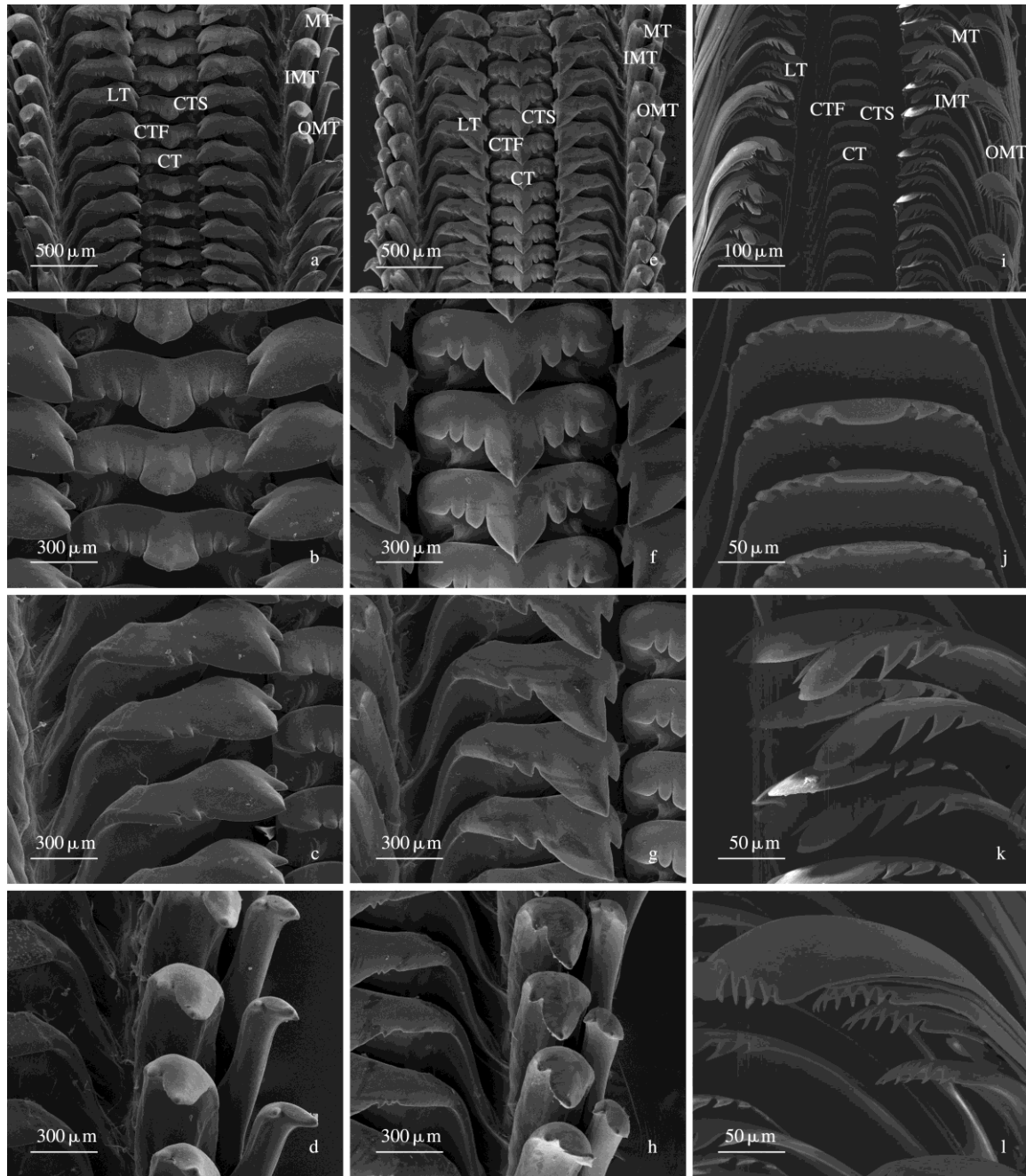


图3 福寿螺和中国圆田螺的齿舌形态

Fig. 3 Radular morphology of *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and *Cipangopaludina chinensis*

a ~ d. 福寿螺 *P. canaliculata* 的齿舌 ($\times 50$)、中央齿 ($\times 150$)、侧齿 ($\times 150$)、缘齿 ($\times 150$)；e ~ h. 福寿螺 *P. maculata* 的齿舌 ($\times 50$)、中央齿 ($\times 150$)、侧齿 ($\times 150$)、缘齿 ($\times 150$)；i ~ l. 中国圆田螺的齿舌 ($\times 100$)、中央齿 ($\times 500$)、侧齿 ($\times 500$)、缘齿 ($\times 500$)。a - d. Radula ($\times 50$), central teeth ($\times 150$), lateral teeth ($\times 150$), marginal teeth ($\times 150$) of *P. canaliculata*; e - h. Radula ($\times 50$), central teeth ($\times 150$), lateral teeth ($\times 150$), marginal teeth ($\times 150$) of *P. maculata*; i - l. Radula ($\times 100$), central teeth ($\times 500$), lateral teeth ($\times 500$), marginal teeth ($\times 500$) of *Cipangopaludina chinensis*.

CT. 中央齿；CTF. 中央齿第一突起；CTS. 中央齿第二突起；LT. 侧齿；MT. 缘齿；IMT. 内缘齿；OMT. 外缘齿。

CT. Central teeth; CTF. Central teeth's first cusp; CTS. Central teeth's second cusp; LT. Lateral teeth; MT. Marginal teeth; IMT. Inner marginal teeth; OMT. Outer marginal teeth.

表 2 两种福寿螺和中国圆田螺齿舌形态数据

Table 2 The morphological data of radula of *Pomacea canaliculata*, *P. maculata* and *Cipangopaludina chinensis*

形态指标 Morphological characters	福寿螺 <i>Pomacea canaliculata</i> (n = 4)	福寿螺 <i>P. maculata</i> (n = 4)	中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i> (n = 3)	统计结果 Statistical results
第一突起宽/中央齿宽 The width of the first cusp to the width of the central teeth	0.333 5 ± 0.000 76 ^b	0.246 7 ± 0.002 26 ^c	0.353 7 ± 0.004 62 ^a	$F_{2,8} = 487.32$ $P < 0.01$
第一突起长/中央齿宽 The length of the first cusp to the width of the central teeth	0.414 6 ± 0.002 35 ^a	0.326 3 ± 0.001 05 ^b	0.259 5 ± 0.003 21 ^c	$F_{2,8} = 1 198.23$ $P < 0.01$
第二突起宽/中央齿宽 The width of the second cusp to the width of the central teeth	0.137 4 ± 0.001 14 ^b	0.137 8 ± 0.000 36 ^b	0.165 5 ± 0.006 57 ^a	$F_{2,8} = 24.69$ $P < 0.01$
第二突起长/中央齿宽 The length of the second cusp to the width of the central teeth	0.316 8 ± 0.004 22 ^a	0.317 5 ± 0.001 27 ^a	0.220 3 ± 0.003 25 ^b	$F_{2,8} = 275.71$ $P < 0.01$

数据用平均值 ± 标准误表示, 对各形态特征的单因子方差分析结果用 F 统计值表示; 同一行中不同字母上标表示数据间差异显著 ($P < 0.05$)。

Data are expressed as Mean ± SE; F -values of one-way ANOVA are indicated in the table. The data with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

第一突起齿端较钝, 均为方形。两种福寿螺侧齿大突起内侧和外侧小齿的数目与中国圆田螺不同, 前者大突起内侧有小齿 1 个, 大突起外侧另有小齿 2 个, 而中国圆田螺侧齿上缘中间大突起外侧有 3 个小齿, 呈锯齿状。本研究基于扫描电镜观察到的中国圆田螺齿舌形态与刘彬 (1996) 对中国圆田螺齿舌形态的描述是一致的。此外, 两种福寿螺的缘齿形状也与中国圆田螺明显不同, 前者呈宽三角形, 缘齿上缘的中间尖齿尖锐, 中间尖齿旁还有一小齿, 后者内缘齿上缘的中间尖齿突出, 外缘齿上缘具有小的尖齿 8~10 个, 呈梳状。

3.2 齿舌结构与食性分析

齿舌是软体动物重要的器官, 位于口吻部的齿舌囊中, 是有关摄食的结构, 其齿片形态与软体动物的食性相符合, 齿舌会依循摄食对象的不同而有不同的形状、大小和齿式 (刘月英等 1979)。扫描电镜下观察到同一物种齿舌带前端的齿片有明显的磨损或划痕, 这是因为

齿舌带依附在有软骨的组织上, 借助相关肌肉的伸缩往返活动, 把进入口腔的食物锉碎 (蔡英亚等 1995), 齿舌带前端的齿片在锉磨食物过程中渐渐受到磨损, 而新的齿舌片又从后端不断分泌形成 (齐钟彦 1998)。齿舌带后段为新生齿, 尚未发育完整, 前段多磨损, 中段完整, 可用于样品制备 (王耀先等 1984)。因此在本研究中, 我们选择中段完整的齿舌带进行镜检。

福寿螺和中国圆田螺均属中腹足目, 为全型齿舌, 即具有中央齿、侧齿、缘齿, 齿舌比新腹足目种类齿舌要复杂 (李映溪等 1990)。福寿螺食性杂, 以动植物为食, Kwong 等 (2010) 对香港地区福寿螺的胃容物进行分析, 发现有非晶状的碎石、大型植物、蓝藻、硅藻、绿藻和无脊椎动物的碎屑, 表明福寿螺的食性广。福寿螺尤喜摄食水稻的幼嫩分蘖叶片, 近十几年来, 福寿螺对入侵地水稻造成了严重破坏, 造成水稻严重减产 (Carlsson et al. 2006,

王志高等 2009)。

福寿螺入侵对本地螺产生巨大危害, 可吞食扁卷螺 (*Planorbis caenosus*)、小椎实螺 (*Austropeplea ollula*)、瘤拟黑螺 (*Melanoides tuberculata*)、尖膀胱螺 (*Physa acuta*)、石田螺 (*Sinotaia quadrata*) 等多种淡水螺, 也吃小虾, 导致大量本地物种的减少或彻底消失 (Carlsson et al. 2004, Luque et al. 2014)。通常肉食性种类的齿舌相对简单但强壮, 齿片较少, 齿端具有钩、刺 (刘月英等 1979, 陈德牛等 1983)。本研究发现两种福寿螺的齿舌较发达, 齿片数目较少, 齿舌带相对简单且强壮。在其他肉食性螺类如管角螺 (*Hemifusus tuba*)、大角螺 (*H. colosseus*)、棘角螺 (*H. kawamurai*) 中也发现它们具有发达的齿舌和数目较少的齿片 (潘英等 2010)。此外, 福寿螺喜食幼嫩多汁的水生植物叶片, 这与中国圆田螺相似, 但是中国圆田螺主要摄食富含淀粉类及纤维类的物质, 极少摄食含脂肪和蛋白质的物质 (张玺等 1960)。

中国圆田螺所吃食物质地柔软, 常以泥土中的微生物和腐殖质及水中浮游植物、幼嫩水生植物、青苔等为食, 也喜食人工饲料, 如菜叶、米糠、麦麸等 (吕耀平等 2002, 王明宝等 2012)。同福寿螺相比, 中国圆田螺的齿舌很小, 大小约为福寿螺齿舌大小的 1/4 左右, 且质地较软, 这可能与食性相关 (蔡如星 1991)。草食性种类齿舌的齿片小而数目多, 小齿片细而狭长 (刘月英等 1979, 陈德牛等 1983)。中国圆田螺的齿舌带上无论横列还是纵列都有多个小齿片, 侧齿和外缘齿发达, 侧齿呈锯齿状, 外缘齿呈梳状, 小齿片细而狭长, 这与其草食性是一致的。其他草食性的软体动物如石鳖类中也发现它们取食时以尖利强大的内侧齿剪切食物, 以缘齿研磨食物, 侧齿和缘齿发达, 呈现草食性特征 (李进寿等 2004)。由于中国圆田螺一般吃小型水草和藻类, 食性较窄, 而福寿螺食性较广, 能以动植物为食, 所以对食物的利用能力、对环境的适应能力、对地域的占有能力和分布范围中国圆田螺都显

著弱于福寿螺 (罗明珠等 2015a, b)。

参 考 文 献

- Anistratenko V V, Ryabceva Y S, Degtyarenko E V. 2013. Morphological traits of the radula in viviparidae (Mollusca, Caenogastropoda) as a master key to discrimination of closely related species. *Vestnik Zoologii*, 47(2): 40–51.
- Carlsson N O L, BrÖnmark C. 2006. Size-dependent effects of an invasive herbivorous snail (*Pomacea canaliculata*) on macrophytes and periphyton in Asian wetlands. *Freshwater Biology*, 51(4): 695–704.
- Carlsson N O L, BrÖnmark C, Hansson L A. 2004. Invading herbivory: The golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology*, 85(6): 1575–1580.
- Cazzaniga N J. 2002. Old species and new concepts in the taxonomy of *Pomacea* (Gastropoda: Ampullariidae). *Biocell*, 26(1): 71–81.
- Claremont M, Vermeij G J, Williams S T, et al. 2013. Global phylogeny and new classification of the Rapaninae (Gastropoda: Muricidae), dominant molluscan predators on tropical rocky seashores. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66(1): 91–102.
- Franklin J B, Fernando S A, Chalke B A, et al. 2007. Radular morphology of *Conus* (Gastropoda: Caenogastropoda: Conidae) from India. *Molluscan Research*, 27(3): 111–122.
- Fujioka Y. 1985. Seasonal aberrant radular formation in *Thais bronni* (Dunker) and *T. clavigera* (Küster) (Gastropoda: Muricidae) thaid. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 90(1): 43–54.
- Hayes K A, Cowie R H, Thiengo S C, et al. 2009. A global phylogeny of apple snails: Gondwanan origin, generic relationships and the influence of outgroup choice (Caenogastropoda: Ampullariidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 98(1): 61–76.
- Hayes K A, Cowie R H, Thiengo S C, et al. 2012. Comparing apples to apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical Ampullariidae (Caenogastropoda). *Zoological Journal of Linnean Society*, 166(4): 723–753.
- Hayes K A, Joshi R C, Thiengo S C, et al. 2008. Out of South America: multiple origins of non-native apple snails in Asia. *Diversity and Distributions*, 14(4): 701–712.

- Kantor Y I, Taylor J D. 2000. Formation of marginal radular teeth in Conoidea (Neogastropoda) and the evolution of the hypodermic envenomation mechanism. *Journal of Zoology*, 252(2): 251–262.
- Kongim B, Sutcharit C, Naggs F, et al. 2013. Taxonomic revision of the Elephant Pupinid snail genus *Pollicaria* Gould, 1856 (Prosobranchia, Pupinidae). *ZooKeys*, 287: 19–40.
- Kwong K L, Dudgeon D, Wong P K, et al. 2010. Secondary production and diet of an invasive snail in freshwater wetlands: implications for resource utilization and competition. *Biological Invasions*, 12(5): 1153–1164.
- Luque G M, Bellard C, Bertelsmeier C, et al. 2014. The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions*, 16(5): 981–985.
- Lv S, Zhang Y, Liu H X, et al. 2013. Phylogenetic evidence for multiple and secondary introductions of invasive snails: *Pomacea* species in the People's Republic of China. *Diversity and Distributions*, 19(2): 147–156.
- Matsukura K, Okuda M, Cazzaniga N J, et al. 2013. Genetic exchange between two freshwater apple snails, *Pomacea canaliculata* and *Pomacea maculata* invading East and Southeast Asia. *Biological Invasions*, 15(9): 2039–2048.
- Morrison W E, Hay M E. 2011. Feeding and growth of native, invasive and non-invasive alien apple snails (Ampullariidae) in the United States: Invasives eat more and grow more. *Biological Invasions*, 13(4): 945–955.
- Nurhasan M, Maehre H K, Malde M K, et al. 2010. Nutritional composition of aquatic species in Laotian rice field ecosystems. *Journal of Food Composition & Analysis*, 23(3): 205–213.
- Rawlings T A, Hayes K A, Cowie R H, et al. 2007. The identity, distribution and impacts of non-native apple snails in the Continental United States. *BMC Evolutionary Biology*, 7: 97.
- Seuffert M E, Burela S, Mart í P R. 2010. Influence of water temperature on the activity of the freshwater snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae) at its southernmost limit (Southern Pampas, Argentina). *Journal of Thermal Biology*, 35(2): 77–84.
- Stella C, Paul P, Ragunathan C. 2015. Describing the Radular morphology by using SEM in *Muricanthus kuesterianus* (Tapparone-canefri 1875) Family: Muricidae, from Palk Bay-South East Coast of India. *Sustainability, Agriculture, Food and Environmental Research*, 3(1): 26–33.
- 敖鑫如. 1990. 福寿螺的生活习性及其养殖试验. 南昌大学学报: 理科版, 14(2): 30–34.
- 蔡如星. 1991. 浙江动物志: 软体动物. 杭州: 浙江科学技术出版社, 116–117.
- 蔡英亚, 张英, 魏若飞. 1995. 贝类学概论. 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 50–53.
- 陈德牛, 高家祥. 1983. 略谈软体动物的齿舌. *生物学通报*, (6): 25–26.
- 陈元晓, 陈英杰, 张闻, 等. 2009. 云南省 4 种淡水贝类的营养成分和经济价值. *四川解剖学杂志*, 17(2): 28–30.
- 郭靖, 章家恩. 2014. 福寿螺入侵机制的研究进展. *生态学杂志*, 33(3): 806–815.
- 郭振华. 1983. 贝类学论文集. 北京: 科学出版社, 81–86.
- 李进寿, 周时强, 柯才焕. 2004. 福建沿海多板类齿舌形态的比较研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, 43(4): 581–584.
- 李小慧, 胡隐昌, 宋红梅, 等. 2009. 中国福寿螺的入侵现状及防治方法研究进展. *中国农学通报*, 25(14): 229–232.
- 李映溪, 陆敏, 王春华, 等. 1990. 大连海产腹足类齿舌的扫描电镜观察. *辽宁师范大学学报: 自然科学版*, (1): 43–50.
- 刘彬. 1996. 4 种园田螺的分类指标研究. *西南农业大学学报*, 18(5): 496–499.
- 刘月英, 张文珍, 王跃先, 等. 1979. 中国经济动物志: 淡水软体动物. 北京: 科学出版社, 49–62.
- 吕耀平, 姚子亮, 叶小芳. 2002. 中华圆田螺稻田人工养殖试验. *水产科学*, 21(4): 23–24.
- 罗明珠, 章家恩, 胡九龙, 等. 2015a. 福寿螺和田螺的纤维素酶反应体系对不同 pH 和温度的响应. *华南农业大学学报*, 36(4): 55–58.
- 罗明珠, 章家恩, 胡九龙, 等. 2015b. 福寿螺和田螺消化酶活性比较. *生态学报*, 35(11): 3580–3587.
- 欧阳珊, 吴小平. 2001. 小型腹足类齿舌的扫描电镜观察. *动物学杂志*, 36(5): 2–4.
- 潘英, 李斌, 李广林. 2010. 我国角螺属不同群体齿舌形态的比较. *热带海洋学报*, 29(6): 125–129.
- 齐钟彦. 1998. 中国经济软体动物. 北京: 中国农业出版社, 102–105.
- 孙志坚, 曾清香, 张波, 等. 2011. 中国不同品系福寿螺主要形态

- 比较. 中国人兽共患病学报, 27(3): 184-189.
- 王明宝, 陈斌. 2012. 中华圆田螺特征特性及池塘人工养殖技术. 现代农业科技, (9): 343-347.
- 王耀先, 刘月英, 张文珍. 1984. 应用扫描电镜观察螺类齿舌. 动物学杂志, 13(4): 38-40.
- 王志高, 谭济才, 刘军, 等. 2009. 福寿螺综合防治研究进展. 中国农学通报, 25(12): 201-205.
- 巫文隆. 1992. 新腹足目贝类类缘关系研究——齿舌的分析结果. 电子显微学报, (5): 331-332.
- 张爱良. 2004. 田螺的利用及养殖要点. 特种经济动植物, (7): 12.
- 张玺, 刘月英. 1960. 田螺的形态、习性和我国常见的种类. 生物学通报, (2): 49-57.
- 周晓农, 张仪, 吕山. 2009. “福寿螺”学名中译名的探讨. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 27(1): 62-64.