

单环刺螠生物学及生态学研究进展

刘 峰¹, 孙 涛¹, 纪 元¹, 王力勇², 于海瑞³

(1. 中国农业大学 烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2. 烟台市水产研究所, 山东 烟台 264000; 3. 潍坊学院, 山东 潍坊 261061)

摘要: 单环刺螠(*Urechisunicinctus*)是中国沿海分布的唯一无管螠目(Xenopneusta)种类, 具有较高的营养价值和经济价值。近年来由于过度捕捞, 单环刺螠自然资源破坏严重, 亟待开展人工养殖以满足人们的需求。本文综述了单环刺螠生物学和生态学方面的研究进展, 同时提出了单环刺螠的研究方向, 并分析了其养殖前景。

关键词: 单环刺螠(*Urechisunicinctus*); 生物学; 生态学

中图分类号: S966.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)10-0125-07

DOI: 10.11759/hyxx20170414001

单环刺螠(*Urechisunicinctus*), 属于螠虫动物门(Echiura)、螠纲(Echiurida)、无管螠目(Xenopneusta)、刺螠科(Urechidae)、刺螠属(*Urechis*), 是中国黄渤海沿岸潮间带和潮下带常见的底栖生物, 俗称海肠、海肠子^[1]。单环刺螠体壁肌中含有丰富的 I 型胶原蛋白^[2]和鲜味氨基酸^[3]; 体内存在速激肽^[4]、抗凝血肽^[5]等多种生物活性肽; 体腔液中可以分离出有高溶栓活性的纤溶酶^[6]; 内脏中二十二碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等不饱和脂肪酸含量也很高^[7]。单环刺螠浑身是宝, 具有很高的食用价值、药用价值和研究价值, 被称为“裸体海参”^[8]。近年来, 过度捕捞和环境污染严重破坏了单环刺螠的自然资源, 导致其捕捞量急剧下降, 价格一路飙升。单环刺螠极具养殖开发前景。随着人工育苗关键技术的突破^[9], 单环刺螠的人工养殖势在必行。本文回顾了单环刺螠生活习性、生长发育等生物学方面以及生态因子耐受、养殖模式探索等生态学方面的研究情况, 以期开展单环刺螠的养殖提供参考, 推动单环刺螠人工养殖的规模化和产业化。

1 生物学

1.1 形态特征和起源

单环刺螠成体体长 100~250 mm, 宽 15~30 mm, 体形为长圆筒状, 体色为肉红色^[10]。体前端是圆锥状的短吻, 体表密被环状排列的颗粒突起, 体后端为横裂形的肛门。短吻具有摄食和呼吸的功能, 吻的基部有一对腹刚毛, 中央为口, 后方是 2 对与肾管相连

的肾孔。肾管在繁殖期充满生殖细胞^[11]。单环刺螠无血管系统, 体腔内充满体腔液, 体腔液中含有体腔球(内含红色素)^[11]。单环刺螠为开放式循环系统, 中肠后端特化为呼吸器官, 消化道末端膨大为泄殖腔, 开口于肛门, 肛门周围有单环形排列的 9~13 根尾刚毛, 单环直径约为 7 mm^[10]。体壁含有发达的腺细胞, 可以分泌粘液保持体表湿润, 在 7℃、相对湿度 69.7% 环境中可以耐干露 72 h^[12]。体壁腹中线有一条纵贯体腔的腹神经索, 腹神经索两侧有许多细小的神经分支, 前段分叉并于吻处扩展为围咽神经环^[13]。

螠虫动物是否属于环节动物门存在较大的争议。由于体节不分节, 传统分类体系将螠虫动物划出环节动物门, 划为独立一门——螠虫动物门。但随着形态学研究的深入和分子生物学的发展, 越来越多的学者都倾向于螠虫动物起源于环节动物^[13]。螠虫动物与环节动物有很多相似的形态学特征: 螠虫动物刚毛和表皮的超级结构、担轮幼虫期有分节现象、

收稿日期: 2017-04-14; 修回日期: 2017-05-27

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2014GHY115028); 横向课题: 海洋生态养殖新模式与智能监控系统研究; 潍坊市科技发展计划项目(2015ZJ1042)

[Foundation: Projects of Science and Technology Development Program of Shandong Province, No. 2014GHY115028; Crosswise Tasks: Research on New Model of Marine Ecological Farming and Intelligent Monitoring System; Projects of Science and Technology Development Program of Weifang, No.2015ZJ1042]

作者简介: 刘峰(1977-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 副教授, 电话: 0535-6923183, E-mail: liufeng511@126.com; 于海瑞(1967-), 通信作者, 男, 山东寿光人, 博士, 教授, 电话: 0536-8785288, E-mail: yhr6003@hotmail.com

神经系统的发育机制等。分子生物学方面,线粒体基因排列顺序和基于氨基酸序列构建的系统发生树都显示单环刺螠可能起源于环节动物,姊妹群为环节动物门中的寡毛纲^[14-15]。

1.2 分布

单环刺螠栖息于泥沙底质,适应能力较强,广泛分布于俄罗斯、朝鲜半岛、日本和中国的黄渤海沿岸的潮间带下区和潮下带浅水区,洞穴呈“U”型^[10]。

1.3 食性与生长

单环刺螠为滤食性、渣食性动物,对食物颗粒没有选择性,具有连续摄食的特性^[1]。吻是摄食器官,表皮密生纤毛并形成许多纵行皱襞,相邻皱襞之间形成食物沟^[12]。由纤毛摆动形成的水流推动水中悬浮的单胞藻、小型浮游动物幼体、有机碎屑等食物沿着食物沟进入口^[12]。单环刺螠对饵料类型的要求很低,但对饵料规格(适口性)的要求较高。

单环刺螠生长速度较快,幼螠经半年集中养殖即可出售。北方池塘混养试验中,单环刺螠在未投喂情况下,经过6个月的养殖平均体质量达27.3 g/只,达到商品规格^[16]。单环刺螠体壁鲜质量与个体鲜质量的比率因季节而异,冬季体壁鲜质量约占个体鲜质量的39%~47%,春季仅占17%~27%^[12]。

1.4 繁殖与发育

单环刺螠为雌雄异体,一年中有春(4月中下旬~5月下旬)、秋(9月中旬~10月中旬)两个繁殖期,个体体长7 cm(体质量约20 g)以上时,便有性成熟的个体出现,性腺成熟期比繁殖期稍早^[17]。

单环刺螠精子呈鞭毛型,头部最前端是奶嘴状顶体,中端为环状线粒体,尾部轴丝为“9+2”型结构^[18]。温度、盐度、pH都对单环刺螠精子活力影响显著:在室温(20℃)下精子保存24 h后活力明显下降,低温(4℃)下精子可以保持活力达21 d;盐度25时,精子的运动时间和寿命显著增长,盐度15以下或35以上时,精子的活力显著降低,盐度45时,则无法激活精子;pH为6时,精子活动时间和激活率显著降低,pH为10时,精子运动时间明显减少,pH为7~9时精子活力差异不显著^[18]。低温、中盐、弱碱条件有利于精子的存活。

单环刺螠的卵巢由后肠壁外的结缔组织和生殖细胞构成,生殖细胞先在卵巢中发育,随后进入体腔进一步发育成熟,成熟的卵母细胞由肾管排出体

外,等待受精^[17]。单环刺螠的成熟卵呈卵圆形,均黄卵,卵内有生发泡和核仁,卵径约150 μm,个体怀卵量可以达 1.5×10^6 粒^[19]。

精卵结合后立即开始分裂发育,受精后约10 min受精膜举起;50 min时受精膜完全举起;60 min时排出第一极体;80 min时排出第二极体;100 min时进行第一次完全等裂;180 min时进行第二次经向卵裂;240 min时进行第三次螺旋卵裂,进入多细胞期,胚体在卵膜内发育^[13]。受精7.4 h后发育成囊胚;10 h后发育成原肠胚;15 h后胚体在卵膜内转动;23 h后胚体破卵膜而出,发育成早期担轮幼虫,开始浮游生活;19 d后发育为后期担轮幼虫,有分节现象,体腔内出现体腔球;25 d后发育成蠕虫状幼虫,转入底栖生活;40 d后出现吻部和尾刚毛,发育成幼螠,幼螠潜沙并营造“U”形隧道^[11]。

2 生态学

2.1 温度与溶氧

单环刺螠是变温动物,成螠忍受高、低温极限为32.5℃和-4℃,生存水温为-2~31℃,适温范围为8~26℃^[12],幼螠耐高温能力稍下降,水温超过31.6℃可导致死亡。当水温超过单环刺螠耐受的最高温度并使其产生不良反应后,即使降温,成活率也很低^[20]。单环刺螠胚胎发育速度与水温呈正相关,15~20℃时胚胎发育各阶段幼体的存活率相对较高,而5℃和30℃时胚胎不能发育^[21]。单环刺螠是喜低温的底栖生物,这与其在自然条件下的地理和生态分布相一致。

单环刺螠在溶氧量高于1.14 mg/L的海水中生活正常,可以忍受0.34~0.45 mg/L的低溶氧超过46 h,对低溶氧有较强的耐受力^[12]。当水中溶氧量降至0.64~0.71 mg/L时,单环刺螠在水中剧烈扭动,体色变浅,表现出明显的不适应;当溶氧量降至0.28~0.34 mg/L时,会窒息死亡^[22]。溶氧量(D)对单环刺螠的耗氧率(R_O)影响显著,耗氧率随溶氧的减少而下降,二者呈二次多项式关系: $R_O = aD^2 + bD + c$,单环刺螠规格越大, a 值越大, b 值越小, c 值变化不明显^[23]。

2.2 盐度与pH

单环刺螠生存盐度范围较广,在盐度15~36均能正常生活,适宜盐度为24.94~35.77^[12],幼螠在盐度20.8~35.2生长较快^[20]。当盐度低于生存范围时,单环刺螠吸水膨胀,钻沙能力减弱,体壁收缩减弱;当盐度超出耐受范围时,体壁收缩加快,脱水,体色变深,

代谢发生紊乱, 渗透调节机制失效, 引起死亡^[20]。一定盐度范围内, 单环刺螠的耗氧率(R_O)与盐度(S)成正比, 盐度 31 时, 耗氧率达到最大值, 此时单环刺螠的呼吸代谢最旺盛, 二者呈二次多项式关系: $R_O = -aS^2 + bS - c$, a 、 b 、 c 随单环刺螠规格的增大而减小^[23]。

水体 pH 的变化会对单环刺螠产生胁迫, 影响其生长和生理状况。单环刺螠在 pH 7.5~8.5 的弱碱性海水中生活较好, 成螠的 pH 适应范围为 4.46~9.5^[12], 幼螠的适应范围稍大^[20]。单环刺螠对 pH 适应能力较强, 对低 pH 的适应能力优于高 pH, 在 pH 适应范围之外, 若短时间内换水使 pH 恢复正常, 单环刺螠也可恢复正常^[20]。

2.3 有害物质

2.3.1 硫化物

硫化物(包括 HS^- 、 S^{2-} 、 H_2S)是养殖水体和底质中常见的有害物质, 对水生生物危害很大。在硫化物浓度为 50、150、300、600 $\mu\text{mol/L}$ 的环境下, 单环刺螠半致死时间(LT_{50})分别为 112、86、68、60 h^[24]。单环刺螠对低浓度硫化物有较强的耐受、代谢、利用能力, 高浓度暴露下, 耐受力减弱, 解除硫化物暴露后, 自我恢复能力较强, 属于中度耐硫生物^[24-27]。高浓度的硫化物会抑制单环刺螠体内细胞色素 C 氧化酶(Cytochrome c oxidase, CCO)的活性, 使呼吸链中的经典电子传递链受阻, 抑制 ATP 的合成, 导致有氧呼吸受阻^[25, 28]; 电子传递受阻引起呼吸链上游电子积累, 导致活性氧自由基(Reactive oxygen species, ROS)富集^[29]; 过多的活性氧自由基使线粒体膜的通透性改变, 细胞色素 C 释放, 引起 Caspase-3 表达量增加, 使 DNA 修复酶(Poly ADP-ribose polymerase, PARP)水解, 导致受损的 DNA 无法修复, 细胞发生凋亡^[30]; 组织细胞中有丝分裂原激活蛋白激酶(Mitogen-activated protein kinase, MAPK)通路被激活^[31], 子通路之一的 c-Jun 氨基末端激酶(c-Jun N-terminal kinase, JNK)通路被持续性激活, 磷酸化 JNK 含量升高^[32], 调控细胞凋亡, 损害机体。

当单环刺螠暴露在硫化物下, 它就会通过一系列应激反应使硫化物解毒: 体内交替氧化酶(Alternative oxidase, AOX)表达量增加, 通过备用的交替氧化途径传递电子, 减轻呼吸链上游电子的积累^[28, 33]; 中肠和后肠产生电子进入呼吸链, 补充下游电子^[34-35]; 后肠内超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性增强, 以清除细胞中多余的活性氧自由基^[30];

体壁和后肠合成并分泌硫双加氧酶(Sulfur dioxygenase, SDO)^[36]、硫琨氧化还原酶(Sulfidequinone-oxidoreductase, SQR)^[37]等用于氧化硫化物的关键酶; 体细胞以硫化物为底物合成 ATP 提供能量^[25]等。单环刺螠常被用作研究硫化物代谢的模式生物, 其耐硫机制是国内外研究的热点。

2.3.2 氨氮

氨氮可以通过体表渗入单环刺螠体内, 引起细胞溶血, 抑制细胞代谢, 毒害机体^[23]。单环刺螠在 NH_4^+ 质量浓度低于 0.4169 mg/L 的水体中生活正常; 当 NH_4^+ 质量浓度升至 1.318 mg/L 时, 会损害单环刺螠的某些组织, 减弱其代谢水平, 导致耗氧率显著降低; 若继续升高 NH_4^+ 质量浓度, 耗氧率急剧下降。 NH_4^+ 质量浓度(N)与耗氧率(R_O)呈幂函数关系: $R_O = aN^b$, 随单环刺螠规格的增大, a 值逐渐减小, b 值逐渐增大^[23]。

2.3.3 重金属

低浓度短时间重金属离子胁迫下, 单环刺螠可以通过提高超氧化物歧化酶(Superoxidative dismutase, SOD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GPx)等抗氧化酶的活性来适应胁迫; 但高浓度长时间胁迫下, 抗氧化酶活性下降, 活性氧自由基积累, 导致机体受到伤害^[38]。单环刺螠重金属中毒时会出现身体疲软、胴体充水、体表粘膜脱落、体壁变暗等现象^[39]。 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 对单环刺螠毒性大小依次为 $Hg^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+}$, 安全质量浓度分别为 0.077、0.141、0.179 mg/L, 均高于国家行业标准中海水养殖用水的水质要求^[39]。

2.3.4 久效磷

单环刺螠对久效磷(O, O-二甲基-2-甲基氨基甲酰基-1-甲基乙烯基磷酸酯)耐受能力很弱, 低浓度(< 150 ng/L)久效磷胁迫下, 体内乙酰胆碱酯酶(Acetylcholinesterase, AChE)活性显著下降, 抑制作用随久效磷浓度的增大而增强; 在 0~150 ng/L 时, 细胞色素 C 氧化酶的活性随久效磷浓度的增大而升高^[40]。久效磷会阻碍单环刺螠神经细胞中乙酰胆碱(Acetylcholine, ACh)水解, 导致神经传导功能紊乱; 还会破坏细胞内的线粒体, 引起细胞器质性损伤, 影响代谢, 最终影响单环刺螠的生活和生存^[40]。

2.4 密度与养殖

在人工养殖条件下, 密度也是影响单环刺螠生长状况的关键因素之一。目前单环刺螠养殖规模非

常有限, 养殖模式有室外池塘养殖、室内工厂化养殖、滩涂放养三种, 其中滩涂放养可自然繁殖附苗^[9], 也可按约 1.5×10^5 只/ha 投苗养殖。集约化养殖是指运用先进的管理技术和养殖设备, 实现高密度、高产量、高经济效益养殖^[41]。随着养殖技术的进步, 未来单环刺螠养殖也可向集约型发展。

综合生态养殖有利于环境稳定, 并且兼顾可持续发展的要求^[42], 有望促进单环刺螠的养殖。根据单环刺螠埋栖型生活习性以及滤食性的特点, 搭配合适的养殖种类进行混养, 不仅可以提高饵料利用率, 增加池塘利用层次, 还可以改善池底底质, 减少病害的发生。王淑芬等^[16]建立了以日本对虾为主养、套养单环刺螠的养殖模式。该模式中单环刺螠以对虾残饵、腐屑为食, 不需专门投喂, 既降低了养殖成本, 又净化了池底的生态环境, 投入产出比达 1 : 2.84, 取得了良好的经济效益和生态效益。

3 研究方向及展望

国内外学者对单环刺螠的生物学和生态学进行了不同程度的研究, 以此为基础取得了育苗技术的突破和养殖试验的成功^[9, 43]。单环刺螠育种和养殖技术的提高是其产业发展的关键。为实现单环刺螠养殖的健康可持续发展, 今后应加强以下方面的研究: 将自然资源保护与人工养殖结合起来, 有效保护单环刺螠的种质资源; 进一步开展单环刺螠发育繁殖、遗传多样性等方面的研究, 培育品质优良、抗逆性强的苗种; 开展营养学、免疫学方面的研究, 开发配合饲料, 加强病害防控, 以降低养殖成本和养殖风险; 建立综合生态养殖新模式, 逐步扩大养殖规模, 推动其向产业化方向发展; 大力开发深加工产品, 提取活性物质、研制保健品。

目前单环刺螠商品成品主要来自于野生资源, 自然捕捞量已经无法满足人们的需求, 人工养殖成为必然选择。因此, 发展单环刺螠养殖不仅能满足市场需求, 而且能获得较高的经济效益。研究单环刺螠的营养成分和活性物质, 可以为开发海洋药物提供新资源、新思路。

参考文献:

- [1] 李诺, 宋淑莲, 唐永政. 单环刺螠[J]. 生物学通报, 1998, 33(8): 12-14.
Li Nuo, Song Shulian, Tang Yongzheng. *Urechis unicinctus*[J]. Bulletin of Biology, 1998, 33(8): 12-14.
- [2] Kimura S, Tanaka H, Park Y H. Annelid skin collagen: Occurrence of collagen with structure of $(\alpha 1)_2\alpha 2$ in *Urechis unicinctus*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1983, 75(4): 681-684.
- [3] 李诺, 宋淑莲, 唐永政, 等. 单环刺螠体壁氨基酸组分与含量的分析[J]. 齐鲁渔业, 2000, 17(5): 26-27.
Li Nuo, Song Shulian, Tang Yongzheng, et al. Analysis of composition and content of amino acid in the body-wall muscle of *Urechis unicinctus*[J]. Shandong Fisheries, 2000, 17(5): 26-27.
- [4] Sung W S, Park S H, Dong G L. Antimicrobial effect and membrane-active mechanism of Urechistachykinins, neuropeptides derived from *Urechis unicinctus*[J]. Febs Letters, 2008, 582(16): 2463-2466.
- [5] Jo H Y, Jung W K, Kim S K. Purification and characterization of a novel anticoagulant peptide from marine echiuroid worm, *Urechis unicinctus*[J]. Process Biochemistry, 2008, 43(2): 179-184.
- [6] 郭金明, 韩宝芹, 刘万顺, 等. 单环刺螠纤溶酶的分离纯化及其性质的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(6): 951-954.
Guo Jinming, Han Baoqin, Liu Wanshun, et al. Isolation and purification of fibrinolytic enzyme from *Urechis unicinctus* and primary study of its character[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(6): 951-954.
- [7] 孟祥欣, 郭承华, 董新伟, 等. 单环刺螠(*Urechis unicinctus*)废弃内脏营养成分分析[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2008, 21(3): 232-234.
Meng Xiangxin, Guo Chenghua, Dong Xinwei, et al. Analysis of nutritional components in discarded internal organs of *Urechis unicinctus*[J]. Journal of Yan Tai University(Natural Science and Engineering Edition), 2008, 21(3): 232-234.
- [8] 杨桂文, 安利国, 孙忠军. 单环刺螠营养成分分析[J]. 海洋科学, 1999, 23(6): 13-14.
Yang Guiwen, An Liguang, Sun Zhongjun. Analysis of nutrient composition in *Urechis unicinctus*[J]. Marine Sciences, 1999, 23(6): 13-14.
- [9] 许星鸿, 霍伟, 孟宵, 等. 单环刺螠人工育苗及养殖技术[J]. 科学养鱼, 2016, 2: 53-55.
Xu Xinghong, Huo Wei, Meng Xiao, et al. The artificial breeding and aquatics technique of *Urechis unicinctus*[J]. Scientific Fish Farming, 2016, 2: 53-55.
- [10] 李凤鲁, 王玮, 周红. 黄渤海螠虫动物(螠虫动物门)的研究[J]. 中国海洋大学学报, 1994, 24(2): 203-210.
Li Fenglu, Wang Wei, Zhou Hong. Studies on the Echiurans (Echiura) of the Yellow sea (Huang Hai) and Bo Hai sea[J]. Periodical of Ocean University of Chian, 1994, 24(2): 203-210.
- [11] 李诺, 宋淑莲, 唐永政. 单环刺螠生活史研究[J]. 齐鲁渔业, 1995, 12(6): 24-27.

- Li Nuo, Song Shulian, Tang Yongzheng. The life history of the *Urechis unicinctus* (Von.Draschi) [J]. Shandong Fisheries, 1995, 12(6): 24-27.
- [12] 李诺, 宋淑莲, 唐永政. 单环刺螠增殖生物学研究[J]. 齐鲁渔业, 1998, 15(1): 11-14.
- Li Nuo, Song Shulian, Tang Yongzheng. Studies on culture and enhancement biology of *Urechis unicinctus*[J]. Shandong Fisheries, 1998, 15(1): 11-14.
- [13] 陈宗涛. 单环刺螠(*Urechis unicinctus*)早期发育的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- Chen Zongtao. Primary study on the early development in *Urechis unicinctus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [14] 吴志刚. 单环刺螠线粒体全基因组及其系统发生研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008.
- Wu Zhigang. From *Urechis unicinctus* mitochondrial genome and phylogenetic study[D]. Qingdao: Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [15] 申欣, 吴志刚. 单环刺螠线粒体基因组全序列的获得—长 PCR 结合鸟枪法测序[J]. 海洋科学, 2010, 34(12): 26-29.
- Shen Xin, Wu Zhigang. Complete mitochondrial genome sequence of *Urechis unicinctus* accomplished by long PCR combined with shotgun sequencing[J]. Marine Sciences, 2010, 34(12): 26-29.
- [16] 王淑芬, 唐永政, 李德顺, 等. 单环刺螠与日本对虾池塘混养试验[J]. 中国水产, 2016, 2: 85-86.
- Wang Shufen, Tang Yongzheng, Li Deshun, et al. Polyculture of *Urechis unicinctus* and *Penaeus japonicus* [J]. China Fisheries, 2016, 2: 85-86.
- [17] 李昀, 王航宁, 邵明瑜, 等. 单环刺螠生殖腺的发生及雌体的生殖周期[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(6): 81-84.
- Li Yun, Wang Hangning, Shao Mingyu, et al. Gonadal ontogenesis and annual development of ovary and oogenesis in *Urechis unicinctus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(6): 81-84.
- [18] 牛从从, 张志峰, 邵明瑜. 单环刺螠精子生物学特性和环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2005, 12(5): 556-561.
- NiuCongcong, Zhang Zhifeng, Shao Mingyu. Biological characteristics of *Urechis unicinctus* sperm and the effects of environmental factors on sperm vitality[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(5): 556-561.
- [19] 牛从从. 单环刺螠(*Urechis unicinctus*)生殖细胞的发生、成熟及环境因子对早期发育和变态影响的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- NiuCongcong. Primary study on ontogenesis, maturation of germ cells, and effect of environmental factors on early development and metamorphosis in *Urechis unicinctus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [20] 郑岩, 白海娟, 王亚平. 单环刺螠对水温、盐度和 pH 的耐受性的研究[J]. 水产科学, 2006, 25(10): 513-516.
- Zheng Yan, Bai Haijuan, Wang Yaping. Tolerance of *Urechis unicinctus* juveniles to temperature, salinity and pH value[J]. Fisheries Science, 2006, 25(10): 513-516.
- [21] 康庆浩, 郑家声, 金在敏. 单环刺螠(*Urechis unicinctus*)的人工苗种生产研究 I. 水温对胚胎发育及幼体培育的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2002, 32(2): 273-278.
- Kang Qinghao, Zheng Jiasheng, Jin Zaimin. Studies on the seed production of *Urechis unicinctus* I. Influence of water temperature on embryonic development and larval rearing[J]. Periodical of Ocean University of China, 2002, 32(2): 273-278.
- [22] 王力勇, 赵强, 张玉恒, 等. 单环刺螠的生活习性及其对环境因子的耐受性试验[J]. 齐鲁渔业, 2016, 33(7): 10-12.
- Wang Liyong, Zhao Qiang, Zhao Yuheng, et al. From *Urechis unicinctus* life habits and tolerance to environmental factors[J]. Shandong Fisheries, 2016, 33(7): 10-12.
- [23] 王爱敏, 冯俊荣, 杨秀兰. 氨氮及盐度对单环刺螠耗氧率的影响研究[J]. 齐鲁渔业, 2009, 26(5): 1-5.
- Wang Aimin, Feng Junrong, Yang Xiulan. Research on effects of Ammoni-N concentration and salinity to the oxygen consumption rate of *Urechis unicinctus* [J]. Shandong Fisheries, 2009, 26(5): 1-5.
- [24] 张志峰, 王思锋, 霍继革, 等. 单环刺螠对硫化物暴露的呼吸代谢适应[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 639-644.
- Zhang Zhifeng, Wang Sifeng, Huo Jige, et al. Adaptation of respiratory metabolism to sulfide exposure in *Urechis unicinctus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(4): 639-644.
- [25] Ma Z J, Bao Z M, Wang S F, et al. Sulfide-based ATP production in *Urechis unicinctus*[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(3): 521-526.
- [26] Wang S F, Zhang Z F, Cui H, et al. The effect of toxic sulfide exposure on oxygen consumption and oxidation products in *Urechis unicinctus* (Echiura: Urechidae)[J]. Journal of Ocean University of China, 2010, 9(2): 157-161.
- [27] Ma Y B, Zhang Z F, Shao M Y, et al. Sulfide: quinone oxidoreductase from echiuran worm *Urechis unicinctus*[J]. Marine Biotechnology, 2011, 13(1): 93-107.
- [28] Huang J, Zhang L T, Li J L, et al. Proposed function of alternative oxidase in mitochondrial sulfide oxidation detoxification in the Echiuran worm, *Urechis unicinctus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.

- ctus[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2013, 93(8): 2145-2154.
- [29] Cooper C E, Brown G C. The inhibition of mitochondrial cytochrome oxidase by the gases carbon monoxide, nitric oxide, hydrogen cyanide and hydrogen sulfide: chemical mechanism and physiological significance[J]. Journal of Bioenergetics and Biomembranes, 2008, 40(5): 533-539.
- [30] 李岳. 硫化物胁迫对单环刺螠(*Urechis unicinctus*)ROS介导的呼吸肠细胞凋亡初探[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Li Yue. Preliminary study on ROS mediated apoptosis in hindgut of *Urechis unicinctus* exposed to sulfide[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [31] 霍继革, 张志峰, 胡晓丽, 等. 硫应激单环刺螠差异表达的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(3): 457-462.
Huo Jige, Zhang Zhifeng, Hu Xiaoli, et al. Preliminary analysis of gene expression differences in sulfide stressed *Urechis unicinctus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(3): 457-462.
- [32] 刘树人, 刘晓龙, 李岳, 等. 单环刺螠呼吸肠 JNK 通路对硫化物的应激反应[J]. 中国海洋大学学报, 2016, 46(2): 76-82.
Liu Shuren, Liu Xiaolong, Li Yue, et al. Response of JNK pathway in the hindgut of *Urechis unicinctus* after sulfide stress[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(2): 76-82.
- [33] 任志强, 张立涛, 刘晓龙, 等. 单环刺螠中肠与后肠交替氧化酶对硫化物的应激反应[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(2): 66-71.
Ren Zhiqiang, Zhang Litao, Liu Xiaolong, et al. Response of alternative oxidase in the mid-gut and hindgut of *Urechis unicinctus* after sulfide stress[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(2): 66-71.
- [34] Ma Y B, Zhang Z F, Shao M Y, et al. Function of the anal sacs and mid-gut in mitochondrial sulphide metabolism in the echiuran worm *Urechis unicinctus*[J]. Marine Biology Research, 2012, 8(10): 1026-1031.
- [35] Ma Y B, Zhang Z F, Shao M Y, et al. Response of Sulfide: quinone oxidoreductase to sulfide exposure in the echiuran worm *Urechis unicinctus*[J]. Marine Biotechnology, 2012, 14(2): 245-251.
- [36] Zhang L T, Liu X L, Qin Z K, et al. Expression characteristic of sulfur dioxygenase and its function adaption to sulfide in echiuran worm *Urechis unicinctus*[J]. Gene, 2016, 593(2): 334-341.
- [37] 谭志, 马玉彬, 邵明瑜, 等. 单环刺螠硫醌氧化还原酶相互作用蛋白质的筛选[J]. 海洋科学, 2010, 34(8): 60-64.
Tan Zhi, Ma Yubin, Shao Mingyu, et al. Screening proteins interacting with sulfide: quinone oxidoreductase (SQR) of *Urechis unicinctus*[J]. Marine Sciences, 2010, 34(8): 60-64.
- [38] 李金龙, 秦贞奎, 史晓丽, 等. 铜离子对单环刺螠的毒性及对体壁抗氧化酶活性的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2012, (2): 77-82.
Li Jinlong, Qin Zhenkui, Shi Xiaoli, et al. Acute toxicity of Cu^{2+} and effects of antioxidant enzyme on *Urechis unicinctus* body wall[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012, (2): 77-82.
- [39] 唐永政, 宋祥利, 翟传阳, 等. 3种重金属离子对单环刺螠幼螠的急性毒性研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2017, 30(1): 31-35.
Tang Yongzheng, Song Xiangli, Zhai Chuanyang, et al. Acute toxicity of three heavy metal ions to *Urechis unicinctus* juveniles[J]. Journal of Yan Tai University(Natural Science and Engineering Edition), 2017, 30(1): 31-35.
- [40] 邱旭春, 朱丽岩, 刘光兴. 久效磷对单环刺螠体内几种酶活性影响的初步研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(9): 42-47.
Qiu Xuchun, Zhu Liyan, Liu Guangxing. The effects of monocrotophos on several enzyme activities in *Urechis unicinctus*[J]. Marine Sciences, 2006, 30(9): 42-47.
- [41] 王先起. 水产品集约化健康养殖的特点分析[J]. 民营科技, 2013, (7): 214.
Wang Xianqi. Analysis on the characteristics of intensive and healthy aquaculture of aquatic products [J]. Non-State Running Science & Technology Enterprises, 2013, (7): 214.
- [42] 杨正先, 孟范平, 朱小山, 等. 海水养殖业与可持续发展[J]. 海洋科学, 2004, 28(10): 63-66.
Yang Zhengxian, Meng Fanping, Zhu Xiaoshan, et al. Mariculture and sustainable development[J]. Marine Sciences, 2004, 28(10): 63-66.
- [43] 山东昌邑单环刺螠池塘养殖取得成功[J]. 中国水产, 2014, (12): 46.
The polyculture of *Urechis unicinctus* gets success in Shandong Changyi[J]. China Fisheries, 2014, (12): 46.

Advances in studies on the biology and ecology of *Urechis unicinctus*

LIU Feng¹, SUN Tao¹, JI Yuan¹, WANG Li-yong², YU Hai-rui³

(1. Yantai Research Institute, China Agricultural University, Yantai 264670, China; 2. Yantai Fisheries Research Institute, Yantai 264000, China; 3. Weifang University, Weifang 261061, China)

Received: Apr. 14, 2017

Key words: *Urechis unicinctus*; biology; ecology

Abstract: *Urechis unicinctus* is the only species of Xenopneusta distributed along the coast of China with a high nutritional and economic importance. In recent years, overfishing activities have led to the destruction of the natural resources of *U. unicinctus*, which has necessitated the need for artificial farming to meet the demands of people. This article summarizes the research findings on the biology and ecology of *U. unicinctus* at both local and international scales, puts forward the research direction, and analyzes the prospect of *U. unicinctus* breeding.

(本文编辑: 梁德海)