

中国鲷亚目鱼类的研究进展

Research progress of Soleoidei in China

商晓梅^{1,2}, 马爱军¹, 王新安¹

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

中图分类号: S96 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)12-0142-07
doi: 10.11759/hyxx20131014001

近年来, 为了中国海水鱼类养殖业的可持续发展, 广大渔业工作者致力于高价值、优良新品种的开发研究。在中国北方, 主要集中研究鲆鲽类海水鱼, 如牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)和半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)等, 促进了中国沿海养殖业的发展。2009年中国鲆鲽类总产量 89 600 t, 2011年其高达 120 000 t, 鲆鲽鱼产业产值超过 100×10^8 元^[1]。鲆鲽鱼类在鱼类学分类上属于鲆形目(Pleuronectiformes), 包括鲆亚目(Pleuronectoidei)和鲷亚目(Soleoidei)。鲷亚目中很多鱼类都是可供开发养殖的重要资源, 其中, 半滑舌鲷是第一种在中国实现规模化苗种繁育、人工养殖的鱼种, 也是目前鲷亚目鱼类中主要的研究对象。对其他鲷亚目鱼类如黑鳃舌鲷(*C. roulei*)、中华舌鲷(*C. sinicus*)等也曾开展类似的研究^[2]。鲷亚目鱼类实现工厂化养殖的优势是从受精卵到仔鱼阶段可得到稳定而高的成活率, 商业开发前景广阔。作者介绍了鲷亚目鱼类在中国的分类分布与研究概况, 综述了鲷亚目鱼类的重点研究对象——半滑舌鲷的养殖现状、研究进展、存在问题以及下一步研究的重点和方向, 展望了鲷亚目鱼类的发展前景, 以期为中国鲷亚目经济鱼种的养殖与研究提供参考与借鉴。

1 鲷亚目的分类与分布

鲷亚目隶属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲆形目(Pleuronectiformes), 包括鲷科(Soleidae)和舌鲷科(Cynoglossidae)^[2]。鲷科的眼位于头右侧, 体形卵圆形, 有或无胸鳍, 尾舌骨钩状; 舌鲷科的眼位于头左侧, 无胸鳍, 尾舌骨浅叉状, 体形稍狭长^[3]。鲷亚目全世界目前有记录的包含 35 属 130 种^[4], 中国鲷科有 9 属 18 种, 舌鲷科有 3 属 32 种^[3](表 1)。在中国

广泛分布的鲷亚目鱼类主要是舌鲷科, 有宽体舌鲷(*C. robustus*)、半滑舌鲷、短吻三线舌鲷(*C. abbreviatus*)、褐斑三线舌鲷(*C. trigrammus*)和在渤海自然分布广、产量高的短吻红舌鲷(*C. joyneri*)。鲷科和舌鲷科生活在相对温海水中, 后者更易分布在河口区, 部分种类能适应海、淡水生活。由于舌鲷科鱼类生活于中国近海的底层水域, 活动范围小、洄游距离短、围捕率高、食谱广、生长迅速、初次性成熟早、对环境的适应能力强, 是中国近海海湾主要增养殖对象。

2 鲷亚目鱼类的研究现状

中国对鲷亚目的研究主要集中在舌鲷科, 包括半滑舌鲷、宽体舌鲷、中华舌鲷、短吻红舌鲷和日本须鲷(*Paraplagusia japonica*)等, 以及从国外引进的鲷科的欧洲鲷(*Solea solea*)和塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)等。

早期对鲷亚目的研究多集中于基础研究, 包括分类、资源、年龄与生长、摄食习性和食性等方面。60年代初郑葆珊等^[5]对条鲷属进行了重新定义, 并对其分布及种类做了详细的归纳总结。杨东莱等^[6-10]对舌鲷科的半滑舌鲷、短吻红舌鲷、宽体舌鲷以及窄体舌鲷(*C. gracilis*)等生物学特征, 包括年龄、生长、个体繁殖力和形态特征等多方面进行了初步的研究与报道。对鲷亚目繁殖生物学的研究始于 20 世纪 80 年代末、90 年代初, 姜言伟等^[11]对渤海半滑舌

收稿日期: 2013-10-14; 修回日期: 2014-03-26

基金项目: 青岛市基础研究资助项目(12-1-4-12-(1)-jch); 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-50-G01)

作者简介: 商晓梅(1986-), 女, 山东省临沂人, 博士研究生, 主要从事鱼类生物学研究, E-mail: shangxiaomei1987@126.com; 马爱军, 通信作者, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn

表 1 中国鲷亚目分类系统^[2]

科	属	种名	分布
鲷科	鲷属	1. 卵鲷(<i>Solea ovate</i>)	海南、广西、广东、福建到浙江南部海区
	长鼻鲷属	2. 异吻长鼻鲷(<i>Soleichthys heterorhinos</i>)	中国台湾省野柳、南湾、宜兰等
	豹鲷属	3. 眼斑豹鲷 (<i>Pardachirus pavoninus</i>)	海南、广西、广东及台湾等海区
	栉鳞鲷属	4. 褐斑栉鳞鲷(<i>Aseraggodes kobensis</i>)	海南、广西、广东、台湾到浙江三门东及上海东等海区
		5. 网纹栉鳞鲷 (<i>A. kaianus</i>)	东海东南部、台湾及广东
	圆鳞鲷属	6. 黑点圆鳞鲷 (<i>Liachirus melanospilus</i>)	台湾、广东、广西及海南等海区
	钩嘴鲷属	7. 日本钩嘴鲷 (<i>Heteromycteris japonicus</i>)	海南、广西、广东及台湾等海域, 东海东南部亦有分布
		8. 人字钩嘴鲷 (<i>H. matsubarai</i>)	南沙群岛海区
	箬鲷属	9. 东方箬鲷 (<i>Brachirus orientalis</i>)	海南、广西、广东、福建及台湾西侧等近海
		10. 异鳞箬鲷 (<i>B. pan</i>)	海南琼海及广东汕头、汕尾等海区
		11. 环纹箬鲷 (<i>B. annularis</i>)	中国台湾省南部东港等海区
		12. 纵带箬鲷 (<i>B. swinhonis</i>)	采自中国香港
	条鲷属	13. 峨眉条鲷(<i>Zebrias quagga</i>)	海南、广西、广东及台湾等海区
		14. 日本条鲷 (<i>Z. japonicas</i>)	浙江舟山及台湾东港等海区
		15. 纓鳞条鲷 (<i>Z. crossolepis</i>)	海南、广西北部湾到广东及台湾北部等浅海
		16. 带纹条鲷 (<i>Z. zebra</i>)	海南、广西、广东到辽宁各海区
	角鲷属	17. 角鲷 (<i>Aesopia cornuta</i>)	海南、广西、广东、福建南部及台湾等海区
单臂鲷属 (曾记录有一种)	18. 毛鳍单臂鲷 (<i>Monochirus trichodactylus</i>)	中国香港海区	
舌鲷科	须鲷属	1. 长钩须鲷 (<i>Paraplaguisa bilineata</i>)	海南、广西、广东、福建及台湾等地区
		2. 短钩须鲷(<i>P. blochi</i>)	海南、广东、福建东南及台湾等海区
		3. 日本须鲷(<i>P. japonica</i>)	海南、广西、广东大陆沿岸到台湾北侧及浙江等海区
		4. 栉鳞须鲷(<i>P. guttata</i>)	广西、广东、海南岛、台湾、浙江及江苏等海区
	舌鲷属	5. 宽体舌鲷(<i>Cynoglossus robustus</i>)	渤海、黄海、东海到粤东沿岸
		6. 少鳞舌鲷 (<i>C. oligolepis</i>)	海南、广西、广东、福建到台湾及浙江舟山等近海
		7. 印度舌鲷(<i>C. arel</i>)	中国台湾西侧到广东近海
		8. 大鳞舌鲷 (<i>C. macrolepidotus</i>)	海南、广西、广东及台湾(基隆、台南)等处
		9. 黑尾舌鲷 (<i>C. melampetalus</i>)	海南、广西、广东到浙江宁波等海区。为中国特有种
		10. 高眼舌鲷(<i>C. monopus</i>)	广东近海(罕见)
		11. 西宝舌鲷 (<i>C. sibogae</i>)	中国仅见于海南海区
		12. 考普斯舌鲷(<i>C. kopsii</i>)	中国台湾东北、北、西及西南深海区
		13. 线纹舌鲷 (<i>C. lineolatus</i>)	广东、广西及海南近海; 为中国特产鱼类
		14. 南洋舌鲷(<i>C. lida</i>)	中国台湾南部近海
		15. 斑头舌鲷(<i>C. puncticeps</i>)	海南、广西、广东到福建及台湾等近海
		16. 中华舌鲷 (<i>C. sinicus</i>)	广西、广东到浙江舟山群岛等近海
		17. 双线舌鲷(<i>C. bilineatus</i>)	海南、广西、广东到福建、台湾等近海
		18. 断线舌鲷(<i>C. interruptus</i>)	广东、福建、台湾岛、浙江南部等近海
		19. 黑鳍舌鲷(<i>C. nigropinnaatus</i>)	海南、广西、广东到浙江等海区。可达象山以东及台州以东, 水深 60~100 m 海区
		20. 短吻红舌鲷(<i>C. joyneri</i>)	广东珠江口附近到黄海及渤海, 在北方很常见
		21. 长吻红舌鲷(<i>C. lighti</i>)	珠江口附近到东海及黄、渤海, 在黄、渤海较常见

科	属	种名	分布	
舌鳎科	舌鳎属	22. 半滑舌鳎(<i>C. semilaevis</i>)	厦门附近到东海、黄海及渤海, 在黄渤海较常见	
		23. 黑鳃舌鳎(<i>C. roulei</i>)	海南、广西、广东到舟山群岛以南等近海	
		24. 小鳞舌鳎(<i>C. microlepis</i>)	中国台湾(罕见)	
		25. 窄体舌鳎(<i>C. gracilis</i>)	珠江口附近到河北、辽宁等近海及江河下游	
		26. 褐斑三线舌鳎(<i>C. trigrammus</i>)	广西、海南、广东到台湾、福建及浙江等海区	
		27. 短吻三线舌鳎(<i>C. abbreviatus</i>)	东海、黄海到渤海, 少数可达珠江口附近	
		28. 紫斑舌鳎 (<i>C. purpureomaculatus</i>)	海南东北到东海及黄、渤海(在北方较常见)	
		29. 东亚单孔舌鳎 (<i>C. itinus</i>)	粤西到粤东及中国台湾东北部	
		无线鳎属	30. 东方无线鳎 (<i>Symphurus orientalis</i>)	南海北部(中国台湾省东港、高雄等)到黄海东部
			31. 西方细纹无线鳎 (<i>S. hondoensis</i>)	东海东南部
32. 九带无纹鳎 (<i>S. novemfasciatus</i>)	中国台湾西南部东港海区, 很罕见			

鳎的生殖习性、产卵习性作了相关研究及报道, 90年代初中国水产科学研究院黄海水产研究所对半滑舌鳎人工育苗技术进行了初步研究, 培育出变态苗数千尾^[12]。倪海儿^[13]对短吻舌鳎的个体生殖力和宽体舌鳎个体生殖力、性腺周年变化、卵母细胞发育及产卵类型等^[14-15]方面做了详细的研究, 为其人工养殖和近海资源增殖提供了重要的理论依据。随后广西海洋研究所开始了宽体舌鳎人工繁殖技术的初步研究, 在亲鱼培养、催熟、产卵、孵化、仔稚鱼培养及苗种培育等方面做了大量的工作, 为此后进一步的研究以及人工养殖奠定了基础^[16]。21世纪初中国从欧洲引进塞内加尔鳎, 雷霖霖^[17]和刘新富等^[18]对其生物学特性和养殖技术进行了综述, 后对其全人工养殖亲鱼进行了繁育技术研究, 通过人工催产的方法成功并稳定的获得了塞内加尔鳎批量受精卵, 苗种生产量达到连续超过100万尾的规模化育苗水平^[19-21]。徐如卫等^[22]对其进行了幼鱼含肉率测定、肌肉营养成分分析, 对该鱼品质、营养价值作出了初步评定, 为其营养生态生理研究及最佳饲料配方提供理论基础。中国相继引进欧洲鳎, 对其生物学特性、育苗及养殖进行了初步研究, 在山东、河北等地对其养殖的模式和技术进行了初步探索, 已经取得了一定的突破^[23-24]。

随着分子生物学的发展以及其在水产养殖方面的应用, 科研人员相继开展了鳎亚目的物种分类鉴定和系统进化关系、遗传育种以及功能基因的一些相关研究, 功能基因研究大部分集中于半滑舌鳎性别相关的基因方面, 这些功能基因的鉴定有助于半滑舌鳎全雌鱼苗的培育, 同时为鳎亚目渔业发展提供了宝贵的分子生物学依据。

3 半滑舌鳎养殖现状与研究进展

半滑舌鳎隶属硬骨鱼纲、鲽形目、鳎亚目、舌鳎科、舌鳎属, 俗称“龙利、龙鳞、鳎米、鳎板、牛舌头、鳎目和鞋底鱼”等, 是一种广温、广盐的暖温性底层大型经济鱼类^[25-26]。其分布范围很广, 渤海、黄海、东海、南海北部均产, 平时行动缓慢, 多蛰伏于海底泥沙中, 匍匐于底部摄食。在自然海区主要摄食底栖虾类、蟹类、小型贝类及沙蚕类等^[27,28]。半滑舌鳎是中国现有的舌鳎属种类中个体最大的一类, 生长速度快, 出肉率高, 肉质细嫩, 味道鲜美, 高蛋白低脂肪^[2], 目前市场成鱼售价200元/kg左右, 利润丰厚, 市场供不应求, 人工养殖前景广阔, 成为鳎亚目鱼类中最主要的增养殖对象和进行深入研究的对象。

3.1 育苗和养殖现状

半滑舌鳎是中国目前鲆鲽类养殖产量仅次于大菱鲆和牙鲆的鱼种。90年代初, 中国水产科学研究院黄海水产研究所开始对半滑舌鳎早期发育及人工育苗技术进行研究。2003年半滑舌鳎生殖调控及规模化人工繁育技术研究获得了重大突破, 相关的基础理论研究和生产技术等方面取得了诸多研究成果, 人工养殖技术也初步建立, 大大促进了半滑舌鳎的养殖与产业化发展。2005年山东省青岛市相继开展了半滑舌鳎陆基工厂化养殖及池塘养殖模式试验^[29]。2006年半滑舌鳎沿海地区工厂化人工养殖已初步形成, 实现了工厂化养殖与全人工繁殖^[30]。随后养殖技术相继推广到辽东半岛、河北、天津沿海地区以及江苏、浙江、福建等南方沿海地区^[31]。目前半滑舌鳎的养殖以工厂化养殖为主, 池塘养殖为辅。2011年末,

半滑舌鳎工厂化养殖面积达 678 000 m², 位居中国鲆鲽类工厂化养殖面积的第二位。2012 年, 半滑舌鳎工厂化养殖面积增加到 800 000 m², 而山东地区的养殖面积占总养殖面积的 89.1%, 是主要的养殖地区。目前, 中国半滑舌鳎商品鱼产量接近 10 000 t, 出口日本、韩国等 14 个国家和地区。其成鱼售价比较平稳, 与大菱鲆和牙鲆相比, 净利润较高, 经济效益相当可观。

近年来, 随着中国半滑舌鳎养殖规模的不断扩大, 养殖需苗量呈不断上升趋势。半滑舌鳎苗种生产多采用工厂化育苗方式^[32]。育苗区主要集中在山东、河北和天津, 其中山东莱州明波水产有限公司是国家级半滑舌鳎原种场, 在半滑舌鳎苗种生产和推广中起了重要的作用。目前, 苗种成活率已有较大提高, 人工育苗技术已逐步完善且形成了比较规范的技术流程^[33-34]。2009 年中国苗种总产量达 2.5×10⁷ 多尾, 2011 年末苗种产量已达 5×10⁷ 尾。根据目前发展趋势, 近一两年的国内苗种生产总量将有可能达到 10⁸ 尾。丰富的苗源, 将有助于中国半滑舌鳎养殖产业的快速发展。

3.2 研究进展

3.2.1 亲鱼生殖调控产卵、胚胎发育与孵化条件的研究

近年来, 由于半滑舌鳎自然资源不断减少, 成为阻碍其养殖业发展的瓶颈之一^[35]。为解决人工调控半滑舌鳎亲鱼自然产卵的关键技术问题, 研究者们对半滑舌鳎亲鱼暂养、驯化、强化培育及调控产卵、产卵规律和采卵技术、卵子质量的变化等方面做了较为系统的研究, 发现半滑舌鳎卵巢产卵类型与塞内加尔鳎相同, 都属于非同步发育分批产卵^[36]。实验通过调控亲鱼培育的温度、光照等环境条件, 促进了亲鱼性腺发育, 使其能够自然产卵, 而且产卵期比在自然海区条件下延长了近 1 个月, 为苗种生产、获取大批量受精卵和合理安排育苗布池时间提供了有利的条件^[36-39]。研究发现受精卵适宜孵化水温为 22~23℃, 随着温度升高受精卵孵化时间逐渐缩短, 孵化率为 82% 以上, 而且畸形率最低^[40-42]; 孵化的适宜盐度为 25~35, 在此范围内卵内渗透压的稳定性最好, 孵化率可达到 88% 以上^[41-43]; 不同的光照节律和光照强度对胚胎的孵化率和初孵仔鱼畸形率影响不大, 对胚胎发育速率和孵化时间却具有明显的延滞或促进作用^[41, 42]。目前, 中国已突破了亲鱼人工条件下产卵关键技术, 且能够获得大批量的优质受精卵, 为规模化育苗及养殖业的发展奠定了基础。

3.2.2 与摄食行为等相关的研究

半滑舌鳎成鱼摄食习性特殊, 因此人工养殖条件下的饵料投喂非常困难, 致使其生长缓慢, 摄食率低, 严重制约了半滑舌鳎的推广养殖。马爱军等^[44]研究发现半滑舌鳎具有独特的摄食节律: 随着仔稚鱼的生长, 日摄食节律有明显变化, 摄食高峰由午前推延至黄昏, 而成鱼夜间摄食。随后王新安等^[45-47]对摄食行为和与摄食可能相关的器官进行研究, 发现嗅觉、味觉和侧线在半滑舌鳎的摄食中具有重要作用, 侧线起主要作用, 并推断半滑舌鳎摄食机制具有两种模式: (1) 对运动状态饵料, 利用机械感觉定位(侧线), 利用化学感觉识别(口咽腔味蕾); (2) 对静止状态饵料, 利用化学感觉定位(嗅觉), 利用机械感觉识别(无眼侧乳头状突)^[48]。这些有关摄食方面的研究为半滑舌鳎的繁育及养殖提供了重要的基础理论依据。

3.2.3 饲养和饲料营养组分的研究

半滑舌鳎具有与其他鱼类不同的特殊的摄食习性, 探明其营养需求及摄食诱导机理是解决人工配合饲料研制和苗种饵料转换的关键所在。路宇明等^[49-50]通过研究不同营养组合对半滑舌鳎幼鱼生长的影响发现, 不同营养元素蛋白质、糖类、脂类按一定水平组合有利于半滑舌鳎生长。贾磊等^[51]通过研究不同脂肪含量的配合饲料对半滑舌鳎苗种生长的影响发现, 脂肪含量为 10.9% 的配合饲料喂养的半滑舌鳎生长情况优于其他两种更高脂肪含量的配合饲料。王新安等^[45-47]通过行为学实验研究发现, 半滑舌鳎对甜菜碱的反应较其他试验用的氨基酸敏感, 推断在半滑舌鳎的不同生长阶段, 特别是在仔鱼期和变态后阶段, 以甜菜碱加一种氨基酸或单独的甜菜碱作为诱食剂可以大大提高半滑舌鳎的摄食率。尽管目前半滑舌鳎各个生长阶段的配合饲料和饲养方式的研究已经稍有成效, 但是依然存在许多的问题与不足, 例如不同的养殖模式营养需求也不尽相同, 需要因地制宜, 对症下药的方式进行饲料营养添加。

3.2.4 雌核发育及全雌苗种培育技术研究

半滑舌鳎雌鱼生长速度是雄鱼的 3~4 倍, 目前雄性比例过高依然是影响半滑舌鳎养殖业发展的关键问题^[52]。北戴河中心实验站科研人员利用被紫外线灭活的同源精子和异源精子激活舌鳎卵子、采用冷休克抑制第二极体排放, 成功地诱导了受精卵染色体的加倍, 获得了减数分裂型雌核发育二倍体, 成功培育出半滑舌鳎雌核发育仔鱼约 40 000 尾, 养

成半滑舌鲷雌核发育幼鱼 20 尾(全长 6 cm 以上); 随后采用冷休克抑制普通舌鲷受精卵释放第二极体, 成功诱导了半滑舌鲷三倍体, 成功培育出半滑舌鲷三倍体仔鱼约 50 000 尾, 养成半滑舌鲷三倍体幼鱼 200 多尾(全长 6 cm 以上)^[53]。而分子技术的应用进一步加快了实现全雌化生产的脚步, 李静等^[54]利用 AFLP(amplified fragment length polymorphism, AFLP) 分子标记技术获得了 5 个雌性特异性标记; 然后对雌性特异性标记 *CseF783* 进行了基因克隆, 对其在遗传性别鉴定中的应用进行的初步研究, 结果表明雌性个体比例达到 41.7%^[55]。Chen 等^[56]创建了通过 PCR 方法鉴定半滑舌鲷 ZZ(含有两条相同的雄性染色体)雄鱼和 ZW(含有 1 条雄染色体和 1 条雌染色体)雌鱼遗传性别的技术手段, 并通过半滑舌鲷性别连锁微卫星标记的筛选, 建立了 ZZ 雄鱼、ZW 雌鱼和 WW(含有两条相同的雌染色体)超雌遗传性别鉴定的分子技术。研究发现了多个与半滑舌鲷性别相关的基因, 如 *Foxl2*^[57]、*Dmrt1*^[58-59]、*Sox9a*^[59]等, 进一步研究发现 *Dmrt1* 在雄性性腺中特异表达, 但其是否可作为雄性鉴别依据还有待研究证实。这些基础研究和培养技术的建立为实现半滑舌鲷全雌化生产提供了有利的技术支撑。

3.2.5 人工养殖技术和养殖模式的研究

半滑舌鲷工厂化养殖早期采用“温室大棚+深井海水”工厂化流水养殖模式, 但是随着养殖规模的不断扩大, 水资源的日益匮乏和自然海区污染的逐渐加重, 这种初级的工厂化模式发展面临着挑战和瓶颈。21 世纪初, 研究者们相继对陆基工厂化循环系统的精养和池塘改进模式养殖进行探索试验。张永举等^[60]开展了陆基工厂化养殖和池塘养殖模式试验。梁友等^[29, 61]对半滑舌鲷在室内水泥池和池塘两种条件下养殖进行了初步的生长比较试验。郑春波等^[62]在半滑舌鲷池塘养殖中发现适当混养中国对虾 (*Penacus orientalis*), 既节省饲料又改善池底环境, 并可取得鱼、虾双丰收的成效。养殖模式的多样化将进一步推动半滑舌鲷养殖产业的发展。

3.2.6 物种资源保护与增殖技术的研究

目前中国对半滑舌鲷遗传背景知识所知甚少。种质资源积累了由自然产生和人工引起的遗传变异, 蕴藏着具有重要价值的基因, 是进行新品种选育和发展农业生产的物质基础。周丽青等^[63]对半滑舌鲷野生雌性和雄性成鱼进行了染色体核型的研究, 发现染色体数为 42, 核型为 $2n=42t$, 臂数 $NF=42$, 具有

异型性染色体, 属于 ZW/ZZ 型, 雌性成鱼都呈现异型染色体(ZW), 雄性成鱼都呈现同型染色体(ZZ)。对半滑舌鲷染色体核型的分析可为该种鱼的资源调查和保护提供遗传学依据。近年来, 韩志强等^[64-65]采用 AFLP、RAPD(Random Amplified Polymorphic DNA, RAPD)和线粒体细胞色素 b 基因(*Cytb*) 片段序列分析技术对 2 个半滑舌鲷野生群体和 1 个养殖群体遗传变异进行了研究。庄志猛等^[66]采用同工酶方法对半滑舌鲷 2 个野生群体的遗传多样性做了研究, 发现中国半滑舌鲷的群体遗传多样性水平较低, 群体间无明显的遗传分化。分析原因可能是由于半滑舌鲷亲鱼数量少, 形成遗传瓶颈, 丧失稀有位点或稀有单倍体造成的。有关半滑舌鲷遗传多样性以及群体内和群体间遗传分化水平的研究, 为其生物资源的种质保存、遗传改良及进一步的开发利用提供科学依据。

4 鲷亚目鱼类前景展望

中国鲷亚目鱼类具有自然分布广和品种多的特点, 但是有关鲷亚目鱼类种质资源方面的研究还相对较少。今后应从不同海域、不同种类对群体间个体特征、组织生化特征、细胞遗传、种群结构及多样性等方面对鲷亚目鱼类进行全面研究, 分析和评价中国鲷亚目鱼类种质资源, 有利于保护和合理利用种质资源、保护生物多样性、维护水域生态平衡。

对半滑舌鲷养殖研究已经有很长一段时间, 但由于其生态学、生理学的特殊性, 其商业养殖仍还有很多需要解决的问题。例如, 半滑舌鲷的营养需求特别, 需要形成专用的人工配合饲料提高鱼苗成活率和饵料利用率; 雄性比例过高也严重制约着半滑舌鲷养殖业的发展, 近来有研究发现半滑舌鲷的不同家系间在表型雌鱼比例和性逆转比例上存在显著差异, 这样有利于通过家系选育来提高半滑舌鲷养殖群体的雌鱼比例, 同时也通过家系选育、对半滑舌鲷亲本进行管理, 以防止近交衰退。目前半滑舌鲷的养殖模式主要是工厂化流水养殖模式, 由于该养殖模式破坏环境, 不利于可持续发展。未来半滑舌鲷的养殖模式应向多样化发展: (1)因地制宜, 例如在江苏浙江一带发展池塘混养; (2)流水养殖模式转变为循环水养殖模式, 可以降低对环境破坏力, 节水节能。不同养殖模式出现的同时为病害防治技术的研究提出了新的难题, 需要根据不同养殖模式研究出病害防治配套技术, 这是稳定经济鲷亚目养殖业发展的

重要课题之一。

从养殖方面来看, 鲷亚目鱼类普遍具有生长快、适应范围广、抗逆性强、性状稳定、食物层次低、食物选择性差和具有较高的经济价值等特点, 是在中国沿海均能开展养殖的理想的优良品种。中国鲷科有 9 属 18 种, 舌鲷科有 3 属 32 种, 可供开发的品种也很多。李思忠^[2]在《中国动物志》鲷形目鱼类的经济意义及增殖途径中特别提出牙鲆是近海养殖的良好对象, 对于黑鳃舌鲷、中华舌鲷、华鲆(*Tephri-nectes sinensis*)、黄盖鲷(*Pseudopleuronectes yokohamae*)及高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)等亦应开展类似研究。鲷亚目作为优良的海水养殖鱼种, 前景广阔。随着鲷亚目鱼类野生资源量急剧下降, 发展鲷亚目鱼类养殖和增殖技术研究是未来的发展方向之一。半滑舌鲷人工繁殖育苗技术已成熟, 养殖效果好, 经济效益高, 而且适合于多种模式养殖, 其稚幼鱼人工配合饵料和养成鱼的配合饵料研制也有提高, 养殖技术研究相对系统、全面, 可为其他鲷类的养殖开发提供参考与借鉴。相信不久的将来鲷亚目其他优良鱼种将为养殖业增加新的亮点。

参考文献:

[1] 杨德利, 曾鸣谦. 鲆鲷类产业发展现状及趋势分析[J]. 广东农业科学, 2013, 9: 124-127.

[2] 李思忠, 王惠民. 中国动物志[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 94-98.

[3] 孟庆闻. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 973-982.

[4] Nelson J S. Fishes of the world (4th Edition) [M]. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2006: 442-450.

[5] 郑葆珊, 张有为. 中国条鲷属鱼类的研究, 包括南海一新种的描述[J]. 动物分类学报, 1965, 2(4): 267-278.

[6] 杨东莱, 吴光宗, 庞鸿艳. 渤海湾半滑舌鲷及焦氏舌鲷的鱼卵和仔稚鱼的形态[J]. 海洋科学, 1983, 7(2): 29-32.

[7] 窦硕增, 杨纪明. 渤海石鲷、星鲷、高眼鲷及焦氏舌鲷的食性[J]. 水产学报, 1992, 16(2): 162-166.

[8] 倪海儿, 郑忠明. 几种舌鲷的形态和生长特性的比较[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 61-64.

[9] 倪海儿, 龚启祥, 郑忠明, 等. 东海宽体舌鲷年龄与生长的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1995, 14(4): 255-260.

[10] 倪海儿. 短吻舌鲷生长特性的研究[J]. 生物数学学报, 2003, 18(3): 378-383.

[11] 姜言伟, 万瑞景. 渤海半滑舌鲷的生殖习性及其产卵生

态的研究[J]. 海洋水产研究, 1988, 9: 185-192.

[12] 姜言伟, 万瑞景, 陈瑞胜. 渤海半滑舌鲷人工育苗工艺技术的研究[J]. 海洋水产研究, 1993, 14: 25-33.

[13] 倪海儿. 短吻舌鲷个体生殖力和雌雄个体性状差异的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1989, 8(1): 9-15.

[14] 倪海儿. 东海宽体舌鲷的个体生殖力[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 318-323.

[15] 倪海儿, 於宏, 郑忠明. 东海宽体舌鲷卵巢周年变化的组织学观察[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 1999, 18(1): 34-43.

[16] 蔡德建, 蒋艳. 宽体舌鲷人工繁殖技术的研究现状与发展前景[J]. 大众科技, 2010, 7: 151.

[17] 雷霖霖. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 666-674.

[18] 刘新富, 雷霖霖. 地中海鲷生物学特性及工厂化养殖技术[J]. 科学养鱼, 2005, 10: 22-23.

[19] 刘新富, 柳学周, 连建华, 等. 塞内加尔鲷规模化人工繁育技术研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 10-16.

[20] 徐如卫, 徐镇, 江锦坡, 等. 南方地区地中海鲷的引养[J]. 宁波大学学报(理工版), 2009, 22: 490-494.

[21] 张凯. 塞内加尔鲷工厂化引种繁育技术[J]. 河北渔业, 2010, 7: 13-15.

[22] 徐如卫, 徐镇, 江锦坡, 等. 地中海鲷鱼幼鱼肌肉营养成分的测定[J]. 水产养殖, 2010, 31(9): 4-7.

[23] 仲雷. 欧洲鲷的生物学特性及其育苗和养殖[J]. 齐鲁渔业, 2008, 25(3): 14-15.

[24] 洪幼林. 欧洲鲷的育苗和养殖简述[J]. 河北渔业, 2005, 2: 51-53.

[25] 牛化欣, 常杰, 马甦, 等. 半滑舌鲷生物学及养殖生态学研究进展[J]. 水产科学, 2007, 26(7): 425-426.

[26] 雷霖霖. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 614-683.

[27] 王兴强, 顾夕章, 阎斌伦, 等. 半滑舌鲷生物学及其养殖生态研究[J]. 渔业经济研究, 2006, 4: 15-17.

[28] 窦硕增, 杨纪明. 渤海南部半滑舌鲷的食性及摄食的季节性变化[J]. 生态学报, 1992, 12(4): 368-376.

[29] 梁友, 柳学周. 半滑舌鲷室内水泥池和池塘养殖技术的初步研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 69-73.

[30] 孙中之, 柳学周, 徐永江, 等. 半滑舌鲷工厂化人工育苗工艺技术研究[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 244-248.

[31] 柳学周. 半滑舌鲷繁殖及养殖技术(上)[J]. 科学养鱼, 2006, 10: 16-17.

- [32] 柳学周. 半滑舌鳎繁殖及养殖技术(中)[J]. 科学养鱼, 2006, 11: 14-15.
- [33] 马峰, 刘振华, 尹灵. 半滑舌鳎人工育苗技术研究[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(10): 46-48.
- [34] 张志勇, 张曹进, 刘海林, 等. 南黄海半滑舌鳎人工育苗试验[J]. 水产养殖, 2006, 27(1): 35-36.
- [35] 柳学周, 孙中之, 马爱军, 等. 半滑舌鳎亲鱼培育及采卵技术研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 25-32.
- [36] 柳学周, 徐永江, 刘乃真, 等. 半滑舌鳎卵巢发育组织学和形态数量特征研究[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(6): 25-35.
- [37] 柳学周, 庄志猛, 马爱军, 等. 半滑舌鳎繁殖生物学及繁育技术研究[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 15-24.
- [38] 庄志猛, 万瑞景, 陈省平, 等. 半滑舌鳎仔鱼的摄食与生长[J]. 动物学报, 2005, 51(6): 1023-1033.
- [39] 宫春光. 半滑舌鳎工厂化养殖中的病害防治研究[J]. 中国水产, 2005, 12: 54-55.
- [40] 杜伟, 蒙子宁, 薛志勇, 等. 半滑舌鳎胚胎发育及其与水温的关系[J]. 中国水产科学, 2004, 11(1): 48-53.
- [41] 柳学周, 徐永江, 马爱军, 等. 温度、盐度、光照对半滑舌鳎胚胎发育的影响及孵化条件调控技术的研究[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(6): 1-6.
- [42] 张鑫磊, 陈四清, 刘寿堂, 等. 温度、盐度对半滑舌鳎胚胎发育的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(3): 342-348.
- [43] 柳学周, 徐永江, 马爱军, 等. 半滑舌鳎胚胎发育及仔鱼生长与盐度的关系[J]. 海洋科学, 2005, 29(11): 39-43.
- [44] 马爱军, 柳学周, 徐永江. 半滑舌鳎早期发育阶段的摄食特性及生长研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 130-137.
- [45] 王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 半滑舌鳎摄食行为感觉作用的研究[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(6): 555-560.
- [46] 马爱军, 王新安, 庄志猛. 半滑舌鳎侧线器官和无眼侧皮肤表面的特殊结构[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1113-1120.
- [47] Ma A J, Wang X A. The functional morphology of the olfactory organ of the tongue sole, *Cynoglossus semilaevis*[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(2): 209-217.
- [48] 马爱军, 王新安, 周洲. 半滑舌鳎摄食机理及营养策略[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(4): 124-130.
- [49] 路宇明, 邢克智, 白东清, 等. 不同营养组合对半滑舌鳎生长的影响[J]. 饲料工业, 2010, 31(4): 29-31.
- [50] 王孟华. 不同脂肪含量的配合饲料对半滑舌鳎苗种生长的影响[J]. 福建水产, 2011, 33(2): 53-57.
- [51] 贾磊, 刘皓, 陈京华, 等. 不同饲料对半滑舌鳎摄食、生长及饲料利用的比较研究[J]. 天津水产, 2010, 4: 27-35.
- [52] 胡乔木, 王凯琳, 陈松林. 半滑舌鳎 *Dmrt1* 蛋白表达、纯化及功能[J]. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1132-1138.
- [53] 赵春民, 杜伟, 高晓东. 我国鲆鲽类全雌苗种技术研究最新进展[J]. 中国水产, 2011, 6: 59-62.
- [54] 李静, 陈松林, 邓思平, 等. 半滑舌鳎雌性特异扩增片段长度多态性标记的筛选与应用[J]. 水产学报, 2007, 31(5): 591-597.
- [55] 马洪雨, 陈松林, 李静, 等. 半滑舌鳎雌性特异 AFLP 标记 *CseF783* 的克隆及其在遗传性别鉴定中的应用[J]. 遗传, 2009, 31(1): 88-94.
- [56] Chen S L, Ji X S, Shao C W, et al. Induction of mitogynogenetic diploids and identification of WW superfemale using sex-specific SSR markers in half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. Marine Biotechnology, 2012, 14(1): 120-128.
- [57] Dong X L, Chen S L, Ji X S, et al. Molecular cloning, characterization and expression analysis of *Sox9a* and *Foxl2* genes in half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 30(1): 68-77.
- [58] 邓思平, 陈松林. 半滑舌鳎 *Dmrt1a* 基因的 cDNA 克隆及其表达[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 577-583.
- [59] 孙业盈, 张全启, 齐洁, 等. 半滑舌鳎 *DMRT1* 基因的克隆与表达分析[J]. 武汉大学学报, 2008, 54(2): 221-226.
- [60] 张永举, 郑炯, 曾志海. 北方池塘生态养殖半滑舌鳎技术[J]. 中国水产, 2007, 10: 28-29.
- [61] 李凯, 黄大宏. 半滑舌鳎工厂化养殖试验[J]. 科学养鱼, 2006, 6: 34-36.
- [62] 郑春波, 姜启平, 张开富. 半滑舌鳎与中国对虾池塘混养技术[J]. 水产养殖, 2006, 6: 17-18.
- [63] 周丽青, 杨爱国, 柳学周, 等. 半滑舌鳎染色体核型分析[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 417-419.
- [64] 韩志强, 庄志猛, 高天翔, 等. 半滑舌鳎 DNA 的群体遗传变异[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 192-200.
- [65] 杨奔, 尤锋, 李军, 等. 半滑舌鳎和塞内加尔鳎养殖群体遗传变异的 RAPD 分析[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 506-511.
- [66] 庄志猛, 韩志强, 马爱军, 等. 黄、渤海半滑舌鳎种群遗传结构的同工酶分析[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 10-16.

(本文编辑: 谭雪静)