

入侵植物凤眼莲的生物学特性及生态管理对策

李礼¹, 林艺滨², 刘灿¹ (1. 重庆市生态环境监测中心, 重庆 401147; 2. 福建省三钢(集团)有限责任公司, 福建三明 365000)

摘要 介绍了入侵植物凤眼莲的生物学特性、入侵史与现状、研究现状, 综述了凤眼莲的生态管理对策, 包括人工和机械去除、化学防治、生物防治、综合防治, 并提出了资源化管理策略: 从单一的控制清除转变为有效利用; 开辟集景观美学、水体净化、农牧渔需求一体化的发展道路。

关键词 凤眼莲; 生物入侵; 生态学特征; 管理对策

中图分类号 X171.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)03-0060-03

Review on Biological Characteristics and Management Strategies of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

LI Li¹, LIN Yi-bin², LIU Can¹ (1. Ecological Environment Monitoring Center of Chongqing, Chongqing 401147; 2. San'gang (group) Co., Ltd. of Fujian Province, Sanming, Fujian 365000)

Abstract The research status of biological invasion characteristics, the history and current situation of invasive plant *Eichhornia crassipes* were introduced, the ecological management measures were reviewed including artificial and mechanical removal, chemical control, biological control and integrated control. The resource management strategies were put forward: from a single remove to an effective use; development of road meet the needs of landscape aesthetics, water purification, integration of agriculture, animal husbandry and fishery.

Key words *Eichhornia crassipes*; Biological invasion; Ecological characters; Management measure

生物入侵是指某种生物侵入原生境外的一定地域, 在新的区域内可以繁殖、扩散并维持下去^[1], 导致侵入地原有生物平衡受到严重影响和破坏^[2-3]。有意引种后缺乏有效管理是导致生物入侵的原因之一。笔者综述了凤眼莲的生态学特性及其控制利用有关研究进展, 探讨了凤眼莲综合利用的方向, 旨在为凤眼莲的有效利用提供参考。

1 生物学特性

凤眼莲[*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms]属雨久花科凤眼莲属的多年生漂浮性宿根大型水生草本植物, 又名凤眼蓝、水葫芦, 俗称水荷花、水仙子 and “猪耳朵”, 原产南美洲。须根发达且悬垂水中。单叶丛生于短缩茎的基部, 每株6~12叶片, 叶卵圆形, 叶面光滑; 叶柄中下部有膨胀如葫芦状的气囊, 基部具削状苞片。花茎单生, 穗状花序, 有6~12花朵, 花被6裂, 紫蓝色, 上有1枚裂片较大、中央有鲜黄色的斑点。花期8—10月, 部分地区4—10月, 每茬花4~5d, 第1茬花谢后4~5d, 本株又开第2茬花, 共开2~3茬。花两性, 雄蕊6枚, 雌蕊1枚, 花柱细长, 子房上位。一个花序大约可结300粒种子, 种子极小, 千粒重为0.4g左右, 呈枣核状, 黄褐色。

凤眼莲在很多淡水生境中都能生长繁殖, 包括浅水的季节性池塘、沼泽、缓慢流动的水体以及大的湖泊、水库和河流。气候对凤眼莲的生长影响很大。一般在气温达13℃或水温10℃时开始生长, 气温30~35℃或水温27~30℃时生长最为旺盛。7℃以上可安全越冬, 5℃以下需保护越冬, 若水温下降到冰点, 几小时就死亡。不耐霜冻, 遇霜即枯死。

凤眼莲具有无性和有性繁殖2种方式。无性繁殖属合轴分枝, 通过匍匐茎增殖, 由腋芽长出的匍匐枝形成新株。母株与新株的匍匐枝很脆嫩, 断离后又可成为新株^[4]。在适宜的条件下, 每5d可萌发1新植株, 90d内1株凤眼莲就能

繁衍出约25万棵幼株, 种群在200d后可达342万株左右, 覆盖水面约1.5万m²^[5]。凤眼莲也可通过开花结实产生种子进行有性繁殖。种子萌发需要湿润的环境(水面以上0~10cm)、适宜的温度(23℃以上)和充足的氧气, 自然条件下, 种子漂浮到河岸边干湿交替处或处于冬枯植株中露出水面的环境时, 温度适宜就可能萌发。萌发初期的凤眼莲植株很弱小, 种子萌发至植株叶柄气囊出现需30~45d。现实中自然条件难以满足种子萌发和幼苗生长的条件, 因此实生苗难以见到^[6-7]。

2 入侵现状与研究

2.1 入侵史与现状 凤眼莲原产南美洲, 1901年从日本以观赏植物引入我国台湾, 30年代作为畜禽饲料引入我国内地各省, 并作为观赏和净化水质的植物推广种植, 后逃逸为野生^[8-9]。由于其无性繁殖速度极快, 现已广泛分布于华北、华东、华中、华南和西南的19个省市, 尤以云南(昆明)、江苏、浙江、福建、四川、湖南、湖北、河南等省的入侵严重, 并已扩散到温带地区, 如锦州、营口一带均有分布^[10]。

2.2 研究现状 凤眼莲有着极强的耐贫瘠能力, 在N、P、Ca营养缺乏下不会对植株的生存产生极大的负面影响^[10], Ca营养的关键浓度为5mg/L^[11]。在较低的营养浓度下, 凤眼莲能够通过调节内部营养循环来满足其外界营养供给的不足^[12-13], 同时也会改变根系生理学特征来缓解低营养压力^[14]。

一般情况下, C₄植物要比C₃植物在光合作用上具有更高的净光合效率、高饱和点以及更低的CO₂补偿点和低蒸腾系数, 因此大部分杂草属于C₄植物, 但是凤眼莲却属于C₃植物^[15]。与喜旱莲子草相比^[16], 凤眼莲的叶面系数、叶绿素含量及光合速率均较高, 因此能高效地同化CO₂和累积干物质。此外, 同营养水平下相同器官凤眼莲的P浓度要比一般的漂浮水生植物低^[17], 且对吸收入体内的营养元素比其他漂浮植物用于贮存的更少^[18]。以上特征为其快速生长繁

作者简介 李礼(1983—), 男, 湖南湘潭人, 高级工程师, 博士, 从事生态环境监测与管理研究。

收稿日期 2017-11-15

殖奠定了生理基础。

生活在同一区域具有相同或相似生活型的物种,往往会因争夺空间、阳光和营养而发生竞争^[19],物种间竞争力的差异与形态可塑性密切相关。在密集的风眼莲群落中,其叶片往往是垂直向上伸展以增加光获取量,从而提高其在竞争状态下的光合效率^[20]。同时,对生境中 pH 变化的耐性也是影响竞争的一个重要因素。如大藻对 pH 变化范围的忍耐力较风眼莲窄,同时风眼莲最大生长速率时的 pH 为 7,大藻的 pH 为 4,因此在大多数自然生境中,大藻的生长受到限制,风眼莲会逐渐将之取代^[21]。竞争试验表明^[22],无论在何种 pH 条件下,风眼莲都能将大藻取代,风眼莲的竞争优势明显。

光是控制风眼莲种群叶表型的主要因子之一,光照不足将导致风眼莲的叶柄明显增长^[23],光质的改变是控制风眼莲叶表型的主要因素。当种群密度增加时,成熟叶片的阴蔽作用就会改变幼叶生长的光环境,促进幼叶生长出狭长的叶柄,将幼叶托到现存冠层之上,这在一定程度上不会对幼叶的成长起抑制作用^[24]。在一定范围内,叶长与种群密度存在着正相关关系,随着密度的增加而增大。高密度时种群密度与植株大小存在负相关关系,实质为种内竞争的结果^[6]。

研究表明,风眼莲的生长繁殖速率与水体营养水平呈明显的正相关^[25-27]。目前我国湖泊已有 65% 左右呈现富营养化状态,还有 29% 正转向富营养化状态,其营养水平基本上都在引起植物强烈反应的范围内,水体营养浓度的少许升高,将引起风眼莲生长繁殖的强烈反应^[10]。

正是由于风眼莲具备这些生态学特征,使得其在自然健康水体以及富营养化水体生境中能迅速生长,将生境内处于竞争劣势的物种淘汰。余国营等^[28]通过调查发现,40 年来滇池水生植被群落结构简单化和退化。风眼莲蔓延成灾后,滇池已由 60 年前的主要水生植物 16 种,水生动物 68 种,变成 20 世纪 80 年代大部分水生植物消亡,水生动物仅存 30 余种的局面,直接减少了当地物种种类和数量,优势种主要为风眼莲、稀罕莲子草和龙须眼子菜等耐污种^[29]。

植物修复技术已在世界范围内受到广泛的关注和实施^[30-32]。污染水环境的植物修复是指利用水生植物的生命代谢活动去除污水中重金属、富营养物质和耗氧有机物等污染物,使这些污染物在水生态环境中的浓度或毒害降低,目前这方面的研究取得了很大的进展^[33-35]。植物螯合肽(phytochelatin, PCs)普遍存在于各种高等植物中,对多种金属都具有解毒和积累作用。Grill 等^[36]研究表明,风眼莲在多种重金属诱导下均能产生 PCs,从而缓解这些重金属的毒害并将其储存在植物体内。而温度制约着风眼莲及其根区微生物的净化效能,随着温度的升高,净化速度加快^[37]。

研究表明,飘浮植物风眼莲不仅对水体中的铜和锌具有很强的吸收作用^[38-39],而且对有毒金属镍和锡也具有较强的去除能力^[40-41]。与其他水生植物相比,风眼莲根系对铜离子的生物富集系数相对较高,达到 2.5×10^3 ^[42]。同时,对钾素也有较高的富集作用,其钾含量远高于其他陆生植物^[43-44]。

3 生态管理控制对策

3.1 防治对策与效果 世界上许多国家每年因风眼莲入侵而遭到巨大的经济损失,我国每年的损失近 100 亿元^[45]。风眼莲的防治方法有多种,总体上分为人工和机械去除、化学防治、生物防治和综合防治 4 种。

人工或机械控制风眼莲的优点是相对直接、效果明显,打捞后再把风眼莲深埋或利用。在风眼莲入侵的初期阶段,生物量和入侵面积较小时,采用人工或机械打捞是较好的解决方法。但在我国存在着如下 3 方面问题:第一,每年耗资数亿元来进行打捞;第二,风眼莲的入侵蔓延有日益严重的趋势^[29],仅采用人工或机械打捞的速度远赶不上风眼莲繁殖生长的速度;第三,我国的河流、湖泊、池塘等湿地类型复杂,难以顾及所有区域。

化学控制风眼莲主要是利用除草剂喷洒,以达到根除目的。化学防治风眼莲,方法简便,效果迅速。但是无论哪一种除草剂,都存在安全性问题。首先是除草剂不仅会杀死本地的土著种,而且难以清除风眼莲种子;同时除草剂对湿地生态系统破坏性大,造成环境污染。

生物措施控制风眼莲是指利用风眼莲的天敌(如昆虫、真菌)取食或寄生风眼莲,以达到抑制风眼莲生长的目的,具有效果持久、对环境安全、防治成本低廉等优点。通常从释放天敌到获得明显的控制效果需要几年甚至更长的时间,因此引进天敌的手段不应成为唯一手段。同时,天敌的引进本身就存在很大的生态风险,引进天敌之前要做好战略环境影响评价与生物安全风险评价,科学设计防治方案,防止“引狼入室”^[2]。

综合防治是将生物、化学、机械和人工方法相结合,根据实际情况发挥各自优势,达到综合控制的目的。它强调相互协调,组成一个系统工程,以使效果最大化。

3.2 资源化探讨 风眼莲的资源化策略需要关注 2 个方面:一是针对目前已经在水生生态系统中造成危害的风眼莲,从单一的控制清除转变为有效利用;二是开辟风眼莲集景观美学、水体净化、农牧渔需求一体化的发展道路。

风眼莲可以作肥料、造纸、生产沼气等^[46-48],其中,利用风眼莲进行堆肥在发展中国家研究较多^[49-52],并且在一定程度上也不会对其他作物造成危害^[51,53]。但是,风眼莲的这些效益往往不高,由控制清除转变为有效利用需要靠经济杠杆与政策支持。

风眼莲的引进是基于其拥有美学价值、农牧业需求和水体净化能力,但是目前人们对风眼莲的利用尚未达到预期目的,反之却成为危害水生生态系统的入侵物种,造成这一结果的原因是多方面的,但是最主要的因素在于人们对其认识不全,管理不善。因此在考虑将其合理利用时,必须将控制防范放在管理的第一位。当前污水处理工程中未采用风眼莲,很重要的一个因素就是管理难以达到要求。

为此需要加强有关风眼莲的基础研究^[45]。目前风眼莲生物学、生态学的特征尚不清楚,特别是风眼莲种子存活规律、植株的克隆机理、存活和暴发的临界条件、入侵和扩

散的通道等问题尚需进一步研究,只有把凤眼莲的这些基本问题研究清楚,才能对其进行有效控制管理。基于目前的认识可知,凤眼莲有几个比较重要的生态学特征:两性繁殖、短期增殖(5 d)、不耐霜冻、冰点短时死亡。在利用凤眼莲时,结合其生态学特征,可以为完善管理提供可行的参考方向。

利用包括凤眼莲在内的水生植物来净化水体,关键是找到综合利用水生植物资源的最佳途径,促使其向有利方面转化,这样既可避免凤眼莲过度繁衍,保持水体的生态平衡,产生很好的环境效益,又有一定的经济效益。同时,还要考虑打捞的凤眼莲的处置问题,避免二次污染。周文兵等^[53]研究认为,开发以钾产品为龙头的无机化工产品商品化的重金属吸附剂或离子交换树脂可能是今后凤眼莲综合利用的方向。

参考文献

- [1] ELTON C S. The Ecology of Invasions by Animals and Plants[J]. London: Methuen, 1958.
- [2] 陈集双,姜永厚. 外来入侵生物控制[M]. 杭州:浙江大学出版社,2006.
- [3] 曾北危. 生物入侵[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [4] WASTON M A. Developmental constraints: Effect on population growth and patterns of resource allocation in a clonal plant[J]. Amer Natural, 1984, 123(3): 411-426.
- [5] BATANOUNY K H, EI-FIKY A M. The water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solms) in the Nile system, Egypt[J]. Aquat Bot, 1975, 1: 243-252.
- [6] CENTER T D, SPENSER N R. The phenology and growth of water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] in a eutrophic north-central Florida lake[J]. Aquat Bot, 1981, 10(1): 1-32.
- [7] 曹侃,王槐英. 水生作物栽培[M]. 上海:上海科学出版社,1983.
- [8] 刁正俗. 中国水生杂草[M]. 重庆:重庆出版社,1990.
- [9] 李振宇,解炎. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
- [10] 徐汝梅,叶万辉. 生物入侵理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [11] GOPAL B. Water Hyacinth[M]//Aquatic Plant Studies 1. Amsterdam, New York: Elsevier Science Publishers, 1987: 113-157.
- [12] AGAMI M, REDDY K R. Competition for space between *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. cultured in nutrient-riched water[J]. Aquat Bot, 1990, 38(2): 195-208.
- [13] AGAMI M, REDDY K R. Interrelationships between *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Hydrocotyle unbellata* L.[J]. Aquat Bot, 1991, 39(91): 147-157.
- [14] XIE Y H, YU D. The significance of lateral roots in phosphorus (P) acquisition of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. Aquat Bot, 2003, 75(4): 311-321.
- [15] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京:科学技术出版社, 1994.
- [16] 李学宝,何光源,吴振斌,等. 凤眼莲、水花生若干光合作用参数与酶类的研究[J]. 水生生物学报, 1995, 19(4): 333-337.
- [17] REDDY K R, AGAMI M, TUCKER J C. Influence of phosphorus on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) plants[J]. Aquat Bot, 1990, 37(4): 355-365.
- [18] REDDY K R, DEBUSK W F. Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants[M]//REDDY K R, SMITH W H. Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery. Orlando, F. L. Mabnolia Publishing, 1987: 337-357.
- [19] 孙濡冰,李博,诸葛阳,等. 普通生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 1993.
- [20] REDDY K R. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) biomass cropping system: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort [J]. Econ Bot, 1988, 38: 229-239.
- [21] CHADWICK M J, OBEID M A. A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* Solms. and *Pistia stratiotes* L. in water-culture [J]. Ecol, 1966, 54(3): 563-575.
- [22] Tag & Seed, M. Effect of pH on the nature of competition between *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* [J]. Aquat Plant manag, 1978, 16: 53-57.
- [23] PENFOUND W T, EARLE T T. The biology of water hyacinth [J]. Ecol Monogr, 1948, 18(14): 448-472.
- [24] JENNIFER H R, LEE D W. Light effects on leaf morphology in water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. Amer J Bot, 1986, 73(12): 1741-1747.
- [25] SHARMA B M, EDEM E S. Ecophysiological studies water hyacinth in the Nigerian waters [J]. Polish archives of hydrobiology, 1991, 38: 381-395.
- [26] SHARMA B M, OSHODE O O. Effect of nutrients on the biomass of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) [J]. Hydrobiologia, 1991, 38: 401-408.
- [27] PINTO-COELHO R M, GRECO M K B. The contribution of water hyacinth [J]. Ecol Monogr, 1999, 18: 448-472.
- [28] 余国营,刘永定,邱昌强,等. 滇池水生植被演替及其与水环境变化关系[J]. 湖泊科学, 2000, 12(1): 73-80.
- [29] 吴克强. 初谈滇池流域的生态失调[J]. 国内湖泊(水库)协作网通讯, 1993(1): 47-49.
- [30] 米玮洁,胡朝华,朱端卫,等. 植物修复机理研究进展[M]//段昌群. 生态科学进展: 第一卷. 北京:高等教育出版社, 2005: 371-411.
- [31] ROBINSON B, KIM N, MARCHETI M, et al. Arsenic hyperaccumulation by aquatic macrophytes in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand [J]. Environmental and experimental botany, 2006, 58(1/2/3): 206-215.
- [32] MISHIMA D, TATEDA M, IKE M, et al. Comparative study on chemical pretreatments to accelerate enzymatic hydrolysis of aquatic macrophyte biomass used in water purification processes [J]. Bioresource technology, 2006, 97(16): 2166-2172.
- [33] MEJÁRE M, BÜLOW L. Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals [J]. Trends in biotechnology, 2001, 19(2): 67-73.
- [34] FRITIOF A, KAUTSKY L, GREGER M. Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants [J]. Environmental pollution, 2005, 133(2): 265-274.
- [35] JAYAWEERA M W, KASTURIARACHCHI J C, KULARATNE R K A, et al. Contribution of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions to Fe-removal mechanisms in constructed wetlands [J]. Journal of environmental management, 2008, 87(3): 450-460.
- [36] GRILL E, WINNACKER E L, ZENK M H. Phytochelatin: The principal heavy-metal complexing peptides of higher plants [J]. Science, 1985, 230: 674-676.
- [37] 刘灵芝,陈志刚,陈玉玲. 污水净化过程中凤眼莲根区微生物的变化 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(2): 510-511.
- [38] 胡朝华. 以凤眼莲为主体的水生植物对铜污染与富营养化水体生物修复研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2007.
- [39] 史增奎,赵润潮. 凤眼莲对 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 富集能力的研究 [J]. 水利渔业, 2007, 27(4): 66-68.
- [40] CHUA H. Bioaccumulation of environmental residues of rare earth elements in aquatic flora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in Guangdong Province of China [J]. The science of the total environment, 1998, 214: 79-85.
- [41] SOLTAN M E, RASHED M N. Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentrations [J]. Advances in environmental research, 2003, 7(2): 321-334.
- [42] ZARANYIKA M F, NDAPWADZA T. Uptake of Ni, Zn, Fe, Co, Cr, Pb, Cu and Cd by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.]) in Mukuvisi and Manyame rivers, Zimbabwe [J]. Journal of environmental science and health, 1995, 30(1): 157-169.
- [43] 余有成. 水葫芦的营养成分及青贮方法 [J]. 国外畜牧学(饲料), 1989(1): 38-41.
- [44] 马镜波. 有机复混肥料的生产 [J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(3): 51-53.
- [45] 李博,廖成章,高雷,等. 入侵植物凤眼莲管理中的若干生态学问题 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2004, 43(2): 267-275.
- [46] 高雷,李博. 入侵植物凤眼莲研究现状及存在的问题 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 735-752.
- [47] 刘洁生,陈芝兰,杨维东,等. 凤眼莲根系丙酮提取物抑制赤潮藻类生长的机制研究 [J]. 环境科学学报, 2006, 26(5): 815-820.
- [48] 李菊娣. 凤眼莲的营养性评定与优化利用研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2006.
- [49] GAJALAKSHMI S, RAMASAMY E V, ABBASI S A. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth [J]. Bioresource technology, 2001, 76(3): 177-181.

鱼腹部进行按压,也很少或根本没有精液流出。通过切片观察到,精子细胞已经彻底成为完全成熟精子(图 2d),损伤的壶腹壁以及从小叶腔中释放的精子旋转流动成一片。在这期间精子具有非常强的嗜碱性,经过苏木精染色而成蓝色。

2.3.5 VI期精巢。出现在 6 月,表面看是象牙白色分支有所缩小状,细管状精子从精细小管内排出,所以在繁殖季节(6 月)后,观察精巢切片,显示还有很多精子和精子细胞位于壶腹腔内。

2.4 精巢发育的季节性变化 黄颡鱼的精巢发育也呈明显的季节性变化,黄颡鱼精巢在 3 月份开始发育,然后逐渐成熟,到了 6 月份,雄鱼的排精量最多,生殖力最高,有高峰,然后在 9 月份下降,精巢在 12 月份开始恢复饱满,接着在 3 月份又开始恢复,一个新的生理周期又开始运转。表 2 为黄颡鱼雄鱼周年变化。

表 2 黄颡鱼雄鱼周年变化

Table 2 Annual change of male *P. fulvidraco*

月份 Month	体长 Body length cm	体重 Body weight g	性腺重量 Gonad weight g	成熟系数 Maturity coefficient//%
3	22.10 ± 1.15 a	163.30 ± 22.28 b	0.40 ± 0.17 b	0.20 ± 0.09 b
6	23.00 ± 0.83 a	163.80 ± 18.91 b	0.80 ± 0.49 a	0.50 ± 0.20 a
9	22.10 ± 1.26 a	163.30 ± 21.71 b	0.50 ± 0.19 b	0.30 ± 0.12 b
12	22.10 ± 1.31 a	195.10 ± 29.54 a	0.30 ± 0.14 b	0.10 ± 0.56 b

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

3 讨论与结论

3.1 黄颡鱼雌鱼的产卵类型 关于黄颡鱼的产卵类型,现如今有 2 种不同的观点,李明锋^[3]认为是一次产卵类型,而胡成钰等^[4]、王卫民^[5]认为它是分批产卵类型,该研究结果表明黄颡鱼应为分批产卵类型,其原因是基于卵巢周年切片观察,产后 9 月的卵巢中,大多数为Ⅲ期卵母细胞和一些Ⅳ期卵母细胞,有少数Ⅰ、Ⅱ期卵母细胞,因此可以进行第 2 次排卵。

3.2 黄颡鱼精巢的结构特点 黄颡鱼精巢具有以下特点:精巢的形状平坦,显然从形式和功能上分成两个组成部分。生精区位于上部,储精囊在下部。上下两部高度分支,储精囊内的输精管远长于非鲇形目鱼类。对比鲇形目其他鱼类,大多数鲇形目其他鱼类精巢常见的特征黄颡鱼精巢均具有。鲇形目鱼类精巢通常是分支的,长吻鮠精巢的分支更特别,其分支之上还具有分支^[13]。而南方鲇精巢无明显周年变化,全年可产精子^[14];革胡子鲶等鱼的瓣状精巢虽然已经成熟,但精液不能被挤压出来^[15]。对比非鲇形目鱼类^[16]的形态黄颡鱼精巢有非常大的区别,非鲇形目鱼类精巢为细线状或直棍状,呈小叶型,有疣状突起,无分支,没有储精囊和典型输精管。黄颡鱼精巢呈扁平状,生成少量精子和长而高度

分支的储精囊,导致在繁殖季节黄颡鱼的精液尚未被挤出,而在生殖季节,非鲇形目鱼类的精巢可生产出众多精子,其排出体外只需通过短输精管即可,所以在生殖季节中精液可以被挤出。

3.3 黄颡鱼人工繁殖需要掌握理想时期 黄颡鱼适应性强、成活率高、生长速度快、经济价值高,使其成为我国重要的淡水经济鱼类。因此,黄颡鱼养殖业迅速发展,开始了大规模的人工繁殖^[17],但还存在一些困难,除了技术难点外,黄颡鱼生殖习惯和生理结构也有着重要的关系:①黄颡鱼雌性亲鱼精巢呈树状分支,在黄颡鱼性成熟的季节要进行人工催产、人工受精,不能像其他鱼类用力挤压腹部促进排精,而是要杀死雄鱼,去除精巢,切碎,以进行人工授精。如果不掌握好雄鱼精子的成熟时间,会造成人工繁殖失败,劳动强度增加,而且提高成本。②黄颡鱼雌鱼是分批产卵类型,掌握好雌鱼第 1、2 次排卵时间,可以增加产量。近年来,随着黄颡鱼人工繁殖技术的突破,全雄黄颡鱼养殖规模逐渐扩大。通过人工培育亲鱼提高精卵质量、调控生态因子等方式,黄颡鱼人工繁殖效率大大提高^[18]。

参考文献

- [1] 廖雨婷. 鲷爱德华氏菌感染黄颡鱼的病理形态学及病原分布研究[D]. 雅安:四川农业大学,2012.
- [2] 程炜轩,许国焯,熊达,等. 黄颡鱼黑色素细胞原代培养及迁移相关基因克隆分析[J]. 生态毒理学报,2014,9(6):1035-1040.
- [3] 李明锋. 瓦氏黄颡鱼研究进展及前景展望[J]. 现代渔业信息,2011,26(1):5-12.
- [4] 胡成钰,洪一江,林光华,等. 繁殖季节黄颡鱼[*Pseudobugrus fulvidraco* (Rich)]性腺的研究[J]. 江西科学,1993,11(3):159-163.
- [5] 王卫民. 黄颡鱼的规模人工繁殖试验[J]. 水产科学,1999,18(3):9-12.
- [6] 游鑫. 温度对黄颡鱼性腺分化、性激素及早期生长的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [7] 刘筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学[M]. 北京:农业出版社,1993:22-40.
- [8] 何德奎,陈毅峰,陈自明,等. 色林错裸鲤性腺发育的组织学研究[J]. 水产学报,2001,25(2):97-102.
- [9] 林丹军,张健,骆嘉. 人工养殖的大黄鱼性腺发育及性周期研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),1992,8(3):81-87.
- [10] 张耀光,谢小军. 南方鲇的繁殖生物学研究:性腺发育及周年变化[J]. 水生生物学报,1996,20(1):8-16.
- [11] 李建中,张轩杰,刘少军,等. 异源四倍体鲫鲤的性腺发育研究[J]. 水生生物学报,2002,26(2):116-122.
- [12] 尤永隆,林丹军,陈蓬云. 大黄鱼的精子发生[J]. 动物学研究,2001,22(6):461-466.
- [13] 王晓清,莫艳秀,钟蕾,等. 长吻鮠性周期变化的组织学研究[J]. 淡水渔业,2005,35(4):18-20.
- [14] 周剑,赵瀚,李华东,等. 南方鲇人工繁殖及苗种培育综述[J]. 四川农业科技,2016(8):44-46.
- [15] 王艳芳. 革胡子鲶的人工繁殖及苗种培育技术[J]. 渔业致富指南,2012(2):61-62.
- [16] 姚建伟,杨德国,刘阳,等. 长鳍吻鲈性腺发育的初步观察[J]. 淡水渔业,2016,46(2):107-112.
- [17] 张国松,陶攀峰,陈嘉玮,等. 黄颡鱼属鱼类遗传育种研究进展[J]. 水产科技情报,2015,42(3):123-128.
- [18] 叶金明,吴康,丛宁,等. 黄颡鱼一年二次人工繁殖性能的比较[J]. 水产养殖,2016,37(8):4-6.

(上接第 62 页)

- [50] GAJALAKSHMI S, RAMASAMY E V, ABBASI S A. Assessment of sustainable vermicomposting of water hyacinth at different reactor efficiencies employing *Eudrilus eugeniae* Kinberg[J]. Bioresource technology, 2001, 80(2):131-135.
- [51] GAJALAKSHMI S, ABBASI S A. Effect of the application of water hy-

acinth compost/vermicompost on the growth and flowering of *Crossandra undulataefolia*, and on several vegetables[J]. Bioresource technology, 2002, 85(2):197-199.

- [52] 周俊虎,戚峰,程军,等. 凤眼莲发酵产氢特性的研究[J]. 中国环境科学,2007,27(1):141-144.
- [53] 周文兵,谭良峰,刘大会,等. 凤眼莲及其资源化利用研究进展[J]. 华中农业大学学报,2005,24(4):423-428.