

城市水生昆虫的多样性及其综合利用

曹成全, 荣华 (乐山师范学院生命科学学院, 四川乐山 614004)

摘要 基于“现代城市昆虫学”的学科理念,从补充和完善“城市昆虫学”的角度,提出了“城市水生昆虫”的概念,分析了城市化进程对水生昆虫多样性的影响,并重点阐述了水生昆虫的价值和综合利用途径,包括环境保护、水生害虫、生物控制、食用药用、观赏旅游、文化科普、仿生研究、渔业资源等。

关键词 城市;水生昆虫;多样性;综合利用

中图分类号 Q968 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)24-0111-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Diversity and Comprehensive Utilization of Urban Aquatic Insects

CAO Cheng-quan, RONG Hua (School of Life Sciences, Leshan Normal University, Leshan, Sichuan 614004)

Abstract Based on the disciplinary concept of “modern urban entomology”, this paper proposed the concept of “urban aquatic insects” from the perspective of supplementing and improving “urban entomology”, analyzed the impact of urbanization process on the diversity of aquatic insects, and emphatically expounded the value and comprehensive utilization ways of aquatic insects, including environmental protection, aquatic pests, biological control, edible medicinal use, ornamental tourism, cultural popularization, bionic research, fishery resources, etc.

Key words City; Aquatic insects; Diversity; Comprehensive utilization

对城市昆虫群落的研究是城市生态系统研究中不可缺少的部分,人们应及时掌握城市昆虫群落结构及其发生发展规律,这样才可以为生产、科研等工作提供基础材料,为城市的建设与保护提供可靠的理论依据。城市昆虫是指在人居环境内发生危害、发育繁殖的一类昆虫。生活在城市生态系统中的昆虫,也可以在广义上理解为在城市或市郊生活、栖息的昆虫^[1]。城市昆虫学是研究城市环境中有害昆虫的种类、习性、发生规律及治理措施的一门学科^[2],但传统的城市昆虫学研究主要涉及储藏物害虫、城市园林花卉害虫、卫生害虫、为害建筑的白蚁类害虫和为害仓库、图书、干药材的仓库类害虫等^[1,3],基本没有涉及水生昆虫。水生昆虫与城市及城市化进程息息相关,在城市化进程中发挥着越来越大的作用,尤其是在当今更加重视水环境生态治理的社会背景下,水生昆虫的研究更应引起人们足够的重视。近几十年来,随着城市化进程的急剧推进,我国的城市昆虫学内涵和研究内容都应不断扩展和丰富。笔者基于“现代城市昆虫学”的学科理念,从补充和完善“城市昆虫学”的角度,提出“城市水生昆虫”的概念,分析了城市化进程对水生昆虫多样性的影响,并重点阐述了水生昆虫的价值和综合利用途径。

1 水生昆虫和城市水生昆虫

水生昆虫(aquatic insects)是指一类某个或多个发育阶段必须在水中或与水体有关的环境中完成的昆虫^[4-6]。其中,喜欢生活在与水体有关的环境中、偶尔落入或钻入水中,能短期在水中或水面生活的昆虫可称为“半水生昆虫(semi-aquatic insects)”^[7]。需要注意的是,有些昆虫虽然生活在岸边,但只在干沙岸或潮水冲击不到的地方栖息,故不属于半水生昆虫^[8-9]。

一般意义上的“水生昆虫”是指淡水水域的水生昆虫,几

乎在任何类型的淡水水体中都能找到水生昆虫^[9]。水生昆虫主要包括蜉蝣目(Ephemeroptera)、蜻蜓目(Odonata)、襁翅目(Plecoptera)、毛翅目(Trichoptera)、广翅目(Megaloptera)、半翅目(Heteroptera)、脉翅目(Neuroptera)、鳞翅目(Lepidoptera)、鞘翅目(Coleoptera)、双翅目(Diptera)、膜翅目(Hymenoptera)、直翅目(Orthoptera)、长翅目(Nannochoristidae)等13个目^[4-6,8-11]。

上述水生昆虫又分为“真正水生或全水生”和“半水生”两大类。严格意义上的全水生昆虫是指昆虫在整个生活史中的各虫期全部生活于水中,主要有半翅目的蝽蟓科(Nepidae)、划蝽科(Corixidae)、仰蝽科(Notonectidae)、负子蝽科(Belostomatidae)、龟蝽科(Gerridae)以及鞘翅目中的龙虱科(Dytiscidae)、沼梭科(Haliplidae)、水龟甲科(Hydrophilidae)和豉甲科(Gyrinidae)等。广义上讲,幼虫期为水生但成虫期为陆生的种类,也可称之为全水生昆虫。这些种类较多,比如一个目中几乎全部幼虫期均为水生的蜉蝣目、蜻蜓目、襁翅目、广翅目、毛翅目等;还有一个目中部分为半水生的类群,如脉翅目的水蛉科(Sisyridae)和溪蛉科(Osmyliidae);双翅目中很多科的幼虫以及半翅目和鞘翅目中一些种类^[4-6,8-11]。通常所谓的“半水生昆虫”主要是指那些喜在水面和岸边以及十分潮湿环境中生活的昆虫,如直翅目的部分种类昆虫(蚱和蚤蛄等)^[7]。

按照水生昆虫在水体中的栖息位置,又可分为漂浮型(如龟蝽、尺蝽、豉甲等)、自游型(如龙虱、水龟虫、划蝽等)、底栖型(包括爬行、匍匐、附着、穴居在水域底部石块间的爬沙虫、蜉蝣、石蝇、石蛾、扁泥甲等,或攀缘在水生维管束植物上的蜻蜓、蚊虫等)等类型^[8]。

2 城市化进程对水生昆虫多样性的影响

现代城市中有各种各样的水域环境,小到家庭或工厂的污水、积水,中到湿地^[12]和池塘,大到小溪沟、大河流等,在这些环境中生存的水生或半水生昆虫,统称为“城市水生昆虫”

或“城市水域环境昆虫”,包括河流昆虫、池塘昆虫、湿地昆虫、污水昆虫、水域观赏科普昆虫等。

城市化主要对昆虫的丰富度、空间分布、灭绝、食性及生态系统服务功能5个方面产生影响,城市地区昆虫种群数量的下降主要与城市化带来的环境污染(如大气污染、水体污染、光污染及热污染)、生境破碎化、道路硬化、人工建筑增加和入侵物种引入有关。目前城市绝大多数河段及周边水域都受到不同程度的污染,这大大降低了水生昆虫的存活力,甚至导致部分水生昆虫的灭绝^[13-15]。道路对昆虫的影响主要表现在人为干扰、道路硬化、绿化带建设等对昆虫生境和行为的改变^[1]。很多水生昆虫需要上岸在土中化蛹,这些硬化的道路等都极大地影响了水生昆虫整个生活史的完成。

受城市化的影响,现代城市中的水域环境与自然界的水体发生了变化,因此现代城市及其水域环境必然也会对水生昆虫的多样性和生存造成影响。城镇化强度的提高使城镇溪流表现出高氮、磷营养盐水平、物理生境退化、敏感底栖动物物种消失、耐污物种个体数量急剧上升等城镇溪流退化的共性现象^[16]。

城镇区域内常发性的洪水冲刷溪流堤岸及河床,造成溪流堤岸侵蚀,河道内沉积物增加,从而改变河道形态和适宜水生生物生活的生境;溪沟的渠道化、水电站或水利灌溉大坝建设、围湖造田、引种不慎、河岸植被人为退化及各种生产生活的污染,都严重影响了水生昆虫的多样性;暴雨还会使城市中娱乐场所和公园等土壤中的氮磷营养盐以及商业和工业场地内的有毒化学物质流进溪流;另外,城市水域环境还直接受到生活污水和工业废水污染、城镇化发展产生的重金属污染物和水中可溶性磷的增多甚至酸雨等诸多因素的影响^[16-17]。

随着城市溪流水文变化的加剧以及生境和水质的不断退化,包括水生昆虫在内的城市溪流生物丰富度下降、敏感物种消失和耐污种密度急剧增加。城市水体普遍受到污染,尤其是重金属污染和富营养化问题十分突出。水体的有机污染改变了水生昆虫摄食功能的组成,最终导致摄食功能群的分布非常不均匀。幼虫的生长除了受到水体底质的影响,还受溪流两岸营养物质的影响。下水道的不足和人工池塘的建立,为水生昆虫(如蚊、蚊等)创造了新的栖息地^[16]。农业面源水污染对水生昆虫也产生了重大影响^[18]。

水库建设对区域生态环境的影响主要表现在对周边生存的动植物生存环境的影响和泛洪区环境的影响:水库的修建使得水库所在地生物的栖息地被破坏,使得这些生物被迫重新寻找新的栖息地;水库的修建为浮游生物的生存提供了适宜条件,浮游生物数量剧增,微型无脊椎动物的数量急剧减少。水库的修建使得泛洪区地表景观被破坏,生物物种的多样性发生改变^[19]。

同时,由于很多水生昆虫的成虫阶段在陆地生活并且具有很强的趋光性,所以在城市化的进程中水域环境和城市灯光污染都会对水生昆虫的求偶、交配和产卵行为产生影响,如广翅目、毛翅目、鳞翅目、大蚊科、蚋科、食蚜蝇科、胡蜂总

科和负子蝽科等昆虫^[20];另外,水生萤火虫成虫靠发光求偶、交配繁殖,城市灯光污染还会影响萤火虫的生存,并降低其幼虫的存活能力^[21]。

3 水生昆虫的开发利用价值

水生昆虫尽管数量不多,但具有重要而特殊的生物学和生态学意义以及开发利用价值。

3.1 环境保护 水生昆虫(一般是幼虫或稚虫)的生长、繁殖、种类分布和群落结构受水体质量的直接或间接影响,同时具有诸多优点,因而在水质生物评价中得到了广泛应用^[22]。根据昆虫耐受性和敏感性的差异,用于水质监测的水生昆虫有蜉蝣目、襁翅目和毛翅目,这是分布广泛、对水质敏感、应用最多的三大类群;另外,在各种不同的水域中曾先后有人研究过鞘翅目、半翅目、双翅目、鳞翅目、蜻蜓目、广翅目、脉翅目等10多个目100多种水生昆虫,原则上都可以用于水质监测^[22-24]。此外,水生昆虫还可用作杀虫剂反应模型以及污染物的相对耐性测定(如重金属、有机物富集等)^[8,25]。

除了能监测水质外,还有些水生昆虫能净化水质,如腐食性的水龟甲(牙甲)在国外俗称“水中清道夫”,在生态系统中能起到净化、分解或还原作用^[9]。此外,还有广翅目幼虫和一些水生萤火虫幼虫也能取食水中的腐败动物尸体,从而促进水中腐败物的清理和水质的改善。部分水生昆虫以藻类、细菌及动植物碎屑等为食,因而在加速水体中有机物的物质循环和消除有机物富营养污染方面具有显著作用^[7]。蝇蛆、黑水虻等昆虫的幼虫都因为喜湿而成为处理餐厨垃圾和污水甚至粪便等很好的生物环保材料^[26]。

此外,水生昆虫作为其他动物的食物源,在湿地和水生环境中的食物链中起着重要的作用。许多鱼类、两栖类、鸟类等取食水生昆虫,水生昆虫对这些动物的生存至关重要^[8]。

3.2 水生害虫 许多水生双翅目昆虫是重要的疾病媒介,因此水生昆虫与医学昆虫学和寄生虫学有密切关系^[8]。

许多人类和家畜的主要害虫是水生昆虫。有些种类花费了人类大量的人力和物力,如疟疾、脑炎、黄热病等的传播与水生昆虫有关,它们是重要的媒介,此外还有大量的水生昆虫被认为是直接或间接的害虫(如蚊子、蠓等),它们的陆栖成虫叮人吸血,引起疼痛,有时引起过敏反应,大量的这类害虫可以造成一个区域不能定居、娱乐,或者导致家畜产量下降^[7-8,27]。

一些水生昆虫为水生作物的害虫,如一些水稻害虫,它们直接取食水稻或蛀入水稻茎内或潜入叶中。

此外,大量的水生昆虫既不是医学害虫也不是农业害虫,但偶尔也会引起危害,如有些非常小的水生昆虫通过过滤器进入饮用水中,在农业区当毛翅目昆虫大量发生时可能造成灌溉系统阻塞^[8]。

有些水生昆虫作为害虫,其数量极大,如某些蜉蝣和毛翅目等昆虫,从水生栖境中大量羽化出现,甚至在污水处理设施中大量繁殖,成群的个体大量羽化时会影响人们的生

活,数量大时甚至可能妨碍交通^[4]。

3.3 生物控制 利用水生昆虫在水中取食的特点,可将水生昆虫应用于水草的控制。在污水处理中,水生昆虫可以用于取食藻类、细菌及动植物碎屑等,以清洁水源^[8]。水生萤火虫幼虫能捕食田螺、钉螺甚至福寿螺等软体动物,可用于水田及池塘有害生物的防治和卫生害虫的防治^[28]。

水生昆虫应用于生物防治的研究非常少见。部分水生昆虫水生阶段为某些害虫的主要捕食者,或成虫阶段为一些害虫的天敌等,在自然界对害虫的种群具有一定的调节作用,有些种类已作为害虫天敌被保护和利用。蜻蜓除了捕食大量的蚊类、蝇类等卫生害虫外,尚可捕食蛾类、飞虱、叶蝉等水田、农作物害虫^[29]。随着人们对水生昆虫,尤其是幼虫和稚虫的生物学习性研究的深入,会有越来越多的生防昆虫被发现,从而为天敌昆虫和生物防治技术增加新的亮点。

3.4 食用药用 水生昆虫中也有许多具有食用和药用价值的种类。蜻蜓目稚虫是最广泛用作药食两用的水生昆虫之一。蜻蜓除了可制成珍馐佳肴外,还可以益肾强阴,主要治疗肾虚遗精、阳痿,还可以息风镇惊,用来止咳、治疗咽喉肿痛和百日咳等病症^[29]。

广翅目昆虫中的所有巨齿蛉和大型齿蛉,甚至所有的齿蛉科昆虫都可以取食,统称“爬沙虫”,是我国南方尤其是西南少数地区特有的药食两用昆虫,营养丰富,还能治疗小儿夜尿、老人尿频等疾病,被誉为“动物人参”或“水中人参”^[30]。“桃花虫”是湘西土家族苗族自治州一带苗族的上等好菜、招待贵客的特色美食,是指在当地三四月份桃花盛开的季节,人们在溪沟里采集到的多种水生昆虫幼虫或稚虫的混合物,广翅目昆虫幼虫是其中的主要组成部分,但也包括一些蜉蝣目、蜻蜓目、襁翅目、毛翅目等昆虫的幼虫或稚虫。

半翅目的水龟可以治疗痔疮等,负子蝽成虫是我国南方以及东南亚一带著名的食用昆虫。鞘翅目昆虫中可用作食用药用的主要是龙虱科昆虫^[9],包括俗称“桂花蝉”的印度田鳖,还有仰泳蝽、黄缘龙虱、金边龙虱、中华真龙虱、东方潜龙虱、三星龙虱与黄边大龙虱等,很多具有补肾、缩尿等功效。毛翅目幼虫石蚕也具有药用价值。

3.5 观赏旅游 水生昆虫中也有很多具有赏玩价值的类群,主要属于形体类、行为类、发光类观赏昆虫,可用于旅游开发。

蜻蜓目昆虫因其漂亮的外形和优美的飞翔姿势而成为经典的赏玩昆虫,也成为很多文艺作品讴歌的对象。除了昆虫自身有观赏价值外,有些水生昆虫还能创造出具有观赏价值的东西,如石蚕(毛翅目幼虫)可将水里的小沙粒或植物碎枝条、碎叶片用吐丝和黏液等建成一个圆柱形的小房子,藏在其中生活很久,羽化成虫后这些漂亮结实的“房子”在很多国家和地区被作为精美的饰品出售。某些广翅目成虫具有艳丽的外形,幼虫具有优美的泳姿,也可供观赏。

发光类水生昆虫除了某些能发光的蕈蚊外,主要是指水生和半水生的萤火虫类群。水生萤火虫的野外和室内养殖

技术都较为成熟,且养殖成本较低,特别适合用于城市景观尤其是湿地萤火虫景观的打造。

3.6 文化科普 很多水生昆虫除了可供赏玩外,还可作为科普教育的载体,尤其是在国家日益重视市民科普教育和全国大力推行青少年研学旅游的现在,要积极将其科普知识和科普教育融入昆虫赏玩中,让人们获得更多的科普知识,提高对昆虫和大自然的理解和热爱,既有社会效益,又能增加这些昆虫的资源化利用途径,提高经济效益。蜻蜓目昆虫特有的“心形”交配行为、水生萤火虫的发光行为、石蚕的筑巢行为等,都可用于科普教育。

在水生昆虫中,还有一些具有丰富多彩的文化故事,这些文化元素也是昆虫资源的一部分,尤其是在昆虫科普等工作中可以发挥作用,比如蜉蝣目的“蜉蝣”一词的出处和含义以及“朝生暮死”成语的由来^[9]。翅展达 21.6 cm 的越中巨齿蛉(*Acanthacorydalis fruhstorferi*)成虫被吉尼斯世界纪录管理团队认定为世界最大的现生水生昆虫,这是我国昆虫首次获得吉尼斯世界纪录。蜻蜓作为一种经典观赏昆虫,自古以来一直深受人们的喜爱,更是历来文人骚客笔下的题材。萤火虫(包括水生萤火虫)更是很多文学作品的绝佳题材,与萤火虫有关的诗词、典故、歌曲、影视作品等不胜枚举,“腐草为萤”是人们对萤火虫的误解,“囊萤夜读”带给人们刻苦学习的精神力量。在我国古代人们利用萤火虫照明,还将萤火虫包在豆荚里玩耍;非洲有些国家将萤火虫放在丝网兜里,拴在脚上走路照明;墨西哥妇女则有将萤火虫网在特殊的发髻里作为头饰的习俗。襁翅目的“襁”的意思是“衣裙上的褶子”,负子蝽因其雄性成虫独特的“负子”习性成为伟大父爱的象征等。

3.7 仿生研究 与水生昆虫有关的仿生学研究最多的是蜻蜓,其次是水龟,研究最少的是苍蝇和石蚕。但也有一些具有仿生研发潜力的水生昆虫,如广翅目幼虫的游泳和黏附等行为,都可以用于仿生研发水下机器人;直翅目中的蚤螬总科昆虫具有极强的地面弹跳、有趣的水上跳跃、特殊的筑巢习性等,也可作为良好的仿生和科普素材。

3.8 渔业资源 水生昆虫是经济鱼类的食料之一,对水域生态系统的食物链稳定起到一定的作用,所以有些水生昆虫(如广翅目幼虫、石蚕等)可用作钓鱼的饵料。同时,某些水生昆虫与渔业管理有关,因为它们捕食小鱼苗,如许多蜻蜓、水生蜡象^[9]、水生甲虫和广翅目昆虫的幼虫或稚虫甚至成虫等常攻击小鱼和鱼苗,虽然这种破坏作用不大,但常引起鱼类生物学家的关注^[8]。

4 结论与讨论

笔者首次尝试提出“城市水生昆虫”的概念,供同行们商榷讨论,旨在从现代城市学的角度简要梳理一些与城市生态系统有关的水生昆虫种类。笔者分析了城市化进程对水生昆虫多样性的影响,并在此基础上全面阐述了水生昆虫对城市的生态价值和产业利用价值,以唤起城市人们对水生昆虫的重视,加强研究、保护和合理开发利用的力度,最终使得昆虫与人类和谐相处,让水生昆虫造福人类。

目前,水生昆虫的食用、药用等资源化利用,基本全是依靠野外采集,极大地影响着野生水生昆虫资源。任何昆虫的资源化利用都是建立在昆虫较成熟的人工(规模化)养殖技术之上,但由于水生昆虫的特殊性和人们对水生昆虫研究的不足,目前国内外对水生昆虫的人工养殖技术掌握得非常有限。

现代城市中的水生昆虫除了具有上述开发利用价值外,还有很多其他价值值得深入挖掘。比如,蜻蜓还可用于地质灾害、天气预报、刑事案件侦破^[29]等方面研究,水生昆虫化石对于恢复远古时代水生环境有着重要意义^[31]。除了挖掘水生昆虫的利用价值为人类服务外,更重要的是要加大对水生昆虫资源的保护力度,尤其是在脆弱的城市水域环境中。

参考文献

- [1] 武正成, 武文卿, 李川. 城市化过程中的昆虫生态[J]. 山西农业科学, 2008, 36(2): 35-37.
- [2] 张宏宇. 城市昆虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [3] 邓望喜. 城市昆虫学[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [4] 津田松苗. 水生昆虫学[M]. 东京: 北隆馆出版社, 1962.
- [5] 刘健康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [6] 杨蓬芳, 田立新. 中国水生昆虫研究史梗概[J]. 昆虫知识, 1994, 31(5): 308-311.
- [7] 李金国. 低级溪流中水生昆虫的群落特征及水质生物评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [8] 颜忠诚, ZHONG H. 水生昆虫[J]. 生物学通报, 2004, 39(1): 15-18.
- [9] 张学祖. 水域生态系统中的水生昆虫[J]. 昆虫知识, 1988, 25(4): 241-246.
- [10] MORE J C, YANG L F, TIAN L X. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality [M]. Nanjiang: Hohai University Press, 1994.
- [11] MERRITT R W, CUMMINS K W. An introduction to the aquatic insects of north America [M]. Third Edition. Dubuque, Iowa: Kendall-Hunt Publishing Company, 1996.
- [12] 王薛娟, 徐可成, 阮超静, 等. 湿地昆虫多样性与保护研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 196-198.
- [13] 叶水送, 方燕, 李恺. 城市化对昆虫多样性的影响[J]. 生物多样性,

2013, 21(3): 260-268.

- [14] HARRIS H J, SAGER P E, YARBROUGH C J, et al. Evolution of water resource management: A Laurentian great lakes case study [J]. International journal of environmental studies, 1987, 29(1): 53-70.
- [15] JONES R C, CLARK C C. Impact of watershed urbanization on stream insect communities [J]. Journal of the American water resources association, 1987, 23(6): 1047-1055.
- [16] 刘东晓, 于海燕, 刘翔, 等. 城镇化对钱塘江中游支流水质和底栖动物群落结构的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1370-1376.
- [17] 张汲波. 城镇化对溪流底栖动物物种多样性和功能多样性影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [18] 常晓丽. 农业面源水污染对水生昆虫的波动性不对称的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [19] 郑晓团. 水库建设对生态环境的影响[J]. 河南水利与南水北调, 2017(4): 7-8.
- [20] LONGCORE T, RICH C. Ecological light pollution [J]. Frontiers in ecology and the environment, 2004, 2(4): 191-198.
- [21] ELBANNA S M, ZALAT S M, GILBERT F, et al. Patterns of resource use by milkweed insects in Sinai [J]. Egyptian journal of biology, 2009, 11: 58-70.
- [22] 黄小清, 蔡登程. 水生昆虫在水质生物监测与评价中的应用[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(2): 72-75.
- [23] 徐希莲. 水生昆虫与水质的生物监测[J]. 莱阳农学院学报, 2001, 18(1): 66-70.
- [24] 王备新, 杨蓬芳. 大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(4): 107-111.
- [25] 薛建, 安正帅, 牛长缨, 等. 水生双翅目昆虫监测水体重金属污染的研究[J]. 昆虫知识, 2008, 45(3): 378-383.
- [26] 刘玉升, 骆洪义, 叶保华. 餐厨废弃物的环境昆虫处理途径及资源化利用探讨[J]. 再生资源与循环经济, 2013, 6(4): 35-37.
- [27] 薛瑞德. 水生昆虫与人类健康的关系[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 1992, 3(6): 408-410.
- [28] 付新华. 中国大陆两种水栖萤火虫生物学及行为学研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [29] 朱翠, 李力. 蜻蜓目昆虫在生态及应用方面的研究[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2013, 16(1): 44-46.
- [30] 曹成全. 中国爬沙虫资源的开发利用现状及物种问题[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(21): 5061-5064.
- [31] 刘平娟, 黄建东, 任东, 等. 中国北方中生代晚期水生昆虫群落演替与环境变迁[J]. 动物分类学报, 2009, 34(4): 836-846.

(上接第 110 页)

参考文献

- [1] 陆建珍, 邢丽荣, 袁新华, 等. 青虾池塘养殖环境效率分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1097-1104.
- [2] 邹宏海, 龚培培. 青虾高效养殖致富技术与实例[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [3] 买占, 李诗琦, 郭超, 等. 汉江中下游浮游植物群落结构及水质评价[J]. 生物资源, 2020, 42(3): 271-278.
- [4] 朱浩, 刘兴国, 陈晓龙, 等. 大蓬湖湿地修复区浮游植物群落结构与水质环境因子分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 270-274.
- [5] 王晓清, 曾亚英, 吴含含, 等. 湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析[J]. 水生生物学报, 2013, 37(3): 488-494.
- [6] 李云梦, 郑侠飞, 王岩, 等. 绍兴市凡纳滨对虾围垦滩涂养殖池塘的理化环境和浮游植物[J]. 渔业现代化, 2017, 44(6): 1-8.
- [7] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [8] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

- [9] 徐润林, 白庆笙, 谢瑞文. 珠江广州市段 PFU 原生动物群落特征及其与水质的关系[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 479-485.
- [10] 唐金玉, 覃宝利, 叶建勇, 等. 江苏泗阳青虾养殖中期水体的理化环境和浮游植物[J]. 渔业现代化, 2019, 46(3): 41-51.
- [11] 刘军, 龚世园, 何绪刚, 等. 武汉日本沼虾食性的研究[J]. 淡水渔业, 2005, 35(1): 25-28.
- [12] 温周瑞, 谢平. 太湖日本沼虾与秀丽白虾的食性与食物碳源分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(29): 36-42.
- [13] NALEWAJKO C, MURPHY T P. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: An experimental approach [J]. Limnology, 2001, 2(1): 45-48.
- [14] 黄钰铃, 陈明曦, 刘德富, 等. 不同氮磷营养及光温条件对蓝藻水华生态的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(9): 93-100.
- [15] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. 水体 pH 和曝气方式对藻类生长的影响[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 161-163.
- [16] BOYD P W, LAW C S, WONG C S, et al. The decline and fate of an iron-induced subarctic phytoplankton bloom [J]. Nature, 2004, 428: 549-553.