

# 基于再生水的北京农村水景观构建策略与措施

李冰心, 张雄, 李阳 (北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司, 北京 100084)

**摘要** 从北京市水资源现状和农村再生水回用情况出发, 结合对北京农村水景观构建现状的调研, 对北京市农村水景观构建存在的问题进行了分析, 从而证明再生水回用于农村水景观建设的必要性。针对古村落、农业观光园、城乡接合部和生态涵养村 4 种北京农村类型, 阐述了基于再生水的北京农村水景观构建策略与措施, 并分析了北京市农村再生水构建水景观的社会效益、经济效益与环境效益。

**关键词** 再生水; 农村; 回用; 水景观

中图分类号 TU 982.29 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)17-0082-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Strategies and Measures for the Construction of Rural Water Landscape Based on Reclaimed Water in Beijing

LI Bing-xin, ZHANG Xiong, LI Yang (Beijing ZEHU Waterfront Ecological Environment Treatment Corp., Beijing 100084)

**Abstract** Based on the analysis of the current situation of water resources and the reuse of rural reclaimed water in Beijing, combined with the investigation of the current situation of rural water landscape construction, the problems of the rural water landscape construction in Beijing were analyzed, thus proving the necessity of reclaimed water reused in the rural water landscape construction. Aiming at the four types of rural areas in Beijing: Ancient villages, agricultural tourism parks, rural-urban continuum, and ecological conservation villages, the construction strategies and measures of rural water landscape in Beijing based on reclaimed water were demonstrated, and the social benefits, economics benefits and environmental benefits were analyzed.

**Key words** Reclaimed water; Rural area; Reuse; Water landscape

水资源短缺已成为制约北京市经济与社会发展的主要因素, 目前再生水回用已经成为提高水资源利用率和控制水污染的重要途径。近年来, 北京农村生活污水处理设施的覆盖率和再生水回用率大幅提高, 但再生水一般直接排入郊区河道, 进行二次景观利用的较少。而北京农村水景观目前有待修复和提升, 因此, 可利用再生水对北京农村水景观进行构建, 以实现水资源高效利用、创造亲水休闲空间和提升农村生态效益, 从而推进美丽乡村的建设。

### 1 北京农村再生水回用现状

北京是一个严重缺水的城市, 境内没有较大的流域, 地下水的使用已严重超支<sup>[1]</sup>。根据《北京市水资源公报(2018年度)》, 2018年北京市水资源总量为 35.46 亿 m<sup>3</sup>, 按照年末常住人口 2 154.2 万计算, 北京市人均水资源占有量为 165 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>, 是中国和世界人均水资源占有量的 7.50% 和 1.88%。为了解决水资源供需的差距, 北京在加强利用常规水资源(地表水、地下水与南水北调工程引水)的同时, 采取一系列措施发展再生水回用, 以满足多种需求<sup>[3]</sup>。

20 世纪 80 年代, 北京市开始利用再生水, 2001 年北京市进入再生水大规模处理与回用阶段。北京市 2018 年总供水量中, 再生水占 27%, 再生水量达到 10.8 亿 m<sup>3</sup><sup>[2]</sup>, 目前, 北京市是中国第二大再生水使用省/直辖市<sup>[4]</sup>。

在再生水的利用类型方面, 87.12% 的再生水用于水质为 IV 类、V 类的河湖环境用水<sup>[4]</sup>, 再生水回用可有效解决北京约 374 hm<sup>2</sup> 湖面、290 km 河道和永定河的环境用水问题<sup>[5]</sup>; 9.66% 的再生水用于工业<sup>[4]</sup>, 主要作为热电厂冷却用水<sup>[5]</sup>;

3.17% 的再生水用于市政杂用<sup>[4]</sup>, 包括道路冲刷、绿地浇洒与降尘、汽车冲洗、建筑公厕及建筑施工降尘等<sup>[5]</sup>; 0.05% 的再生水用于农林牧业<sup>[4]</sup>, 主要作为农灌区的灌溉用水。

北京市农村再生水回用途径以农业灌溉和郊区河道补水为主, 也有部分地区将再生水回用于工业和市政杂用。例如, 延庆区再生水利用量为 711.3 万 m<sup>3</sup>, 主要用于河湖补水、工业和市政杂用, 其中, 70% 左右的再生水排入妫水西湖和谷家营湿地, 作为生态补水; 12% 的再生水作为 2 家单位的空调系统用水; 4% 的再生水用于园林绿化<sup>[6]</sup>。大兴区的再生水主要用于农业灌溉和河道补水。南红门灌区每年再生水利用量为 1.09 亿 m<sup>3</sup><sup>[7]</sup>, 从而减少了农业灌溉对地下水的开采。此外, 再生水在大兴区多个公园也得到利用, 形成了当地重要的地表水景观<sup>[8]</sup>。念坛公园、小龙河和北区公园的水体的生态需水量(包括蒸发渗漏、水质维护)主要来源于再生水<sup>[7]</sup>。房山区良乡污水处理厂的再生水主要回用于刺猬河补水<sup>[9]</sup>。通州区的再生水主要用于农业灌溉和河湖补水。近几年, 通州区将再生水回用于北运河、温榆河等河道, 实现“五河十渠”互连互通, 同时再生水为河渠周围的田地提供农业灌溉用水<sup>[10]</sup>。

### 2 北京农村水景观构建现状和存在的问题

农村水景观构建, 狭义上指利用农村水系(池塘、河流、湿地等)及其周边环境, 营造出优美的景观效果; 广义上指通过农村水环境综合整治、生态保护与修复、水景构建与提升等一系列措施, 实现水生态系统在水源涵养、生物多样性保护、微气候调节、环境美化等方面的生态服务功能<sup>[11]</sup>。

为研究不同类型村落水景观构建情况, 探索美丽乡村水景观构建模式, 课题组先后对北京门头沟区的韭园村、灵水村、岭角村; 延庆区的下湾村、下德龙湾村; 昌平区的香堂文化新村以及大兴区的东辛屯村、留民营村进行农村水景观观

**基金项目** “十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017-ZX07102004-003)。

**作者简介** 李冰心(1992—), 女, 湖南岳阳人, 硕士, 从事水环境保护与修复研究。

**收稿日期** 2021-01-12

状调研。基于北京村落水景观类型的考察,发现古村落、农业观光园、城乡接合部和生态涵养村 4 种类型最为普遍,居民的诉求也最高。

**2.1 古村落** 经过实地调查,北京市古村落水景观的特点是自然风光秀美,生态基底较好,但是水域污染日益严重,水体面积减少,水体净化方式落后,水岸自然生态景观逐渐消失,水域景观破碎度增加,连续性降低。古村落外围的大量滨水岸线为硬质混凝土岸线,类型为生产形或防护形岸线,缺乏生活岸线。

**2.2 农业观光园** 农业观光园的水景观以环境美化功能为主,主要形式包括跌水、喷泉、小溪等,同时为游客创造多种水上活动,如池塘垂钓、水上乐园等<sup>[12]</sup>。经过实地调查,北京市农业观光园水景存在的问题为:缺乏生态水景的设计与构建,未进行水循环设计,较少利用再生水和雨水。驳岸为生态性与景观性差的硬质驳岸,形式单一。农业观光园的水体一般为水体流动性差的封闭性水域,易发生富营养化,而后期缺乏运维管理,造成水质进一步恶化。

**2.3 城乡接合部** 城乡接合部具有明显的城乡过渡性特征,受城市及乡村人为活动的双重影响,现有水生态、水景观正被低质量的城市化所侵蚀。同时,由于城镇开发与基础设施建设加快、气候变化、降水量少等原因,区域水资源紧缺,因此,充分利用再生水及雨水对于打造城乡接合部水景观尤为重要。

**2.4 生态涵养村** 生态涵养村多数建设于水库水源保护区、生态环境保护区、生态经济林区等周边地区,具有水源涵养、水土保持、固碳富氧、生物多样性保护等多种生态系统服务功能<sup>[13]</sup>。但经调查发现,生态涵养村受农村生活污水、禽畜粪便、生活垃圾等面源污染的影响,出现了水体水质恶化与生态环境退化的情况。因此,生态涵养村的水生态与水景观有待修复和提升,从而保障其生态涵养的功能。

### 3 基于再生水的水景观构建策略与措施

根据上文对北京农村再生水回用现状的分析,北京市农村再生水回用途径以农业灌溉和郊区河道生态补水为主,进行农村内部二次景观利用的较少。同时根据对北京农村水景观构建的现状调研,大部分北京农村水资源短缺,水生态与水环境被破坏,再生水回用于农村水景观建设为大势所趋。

目前基于对村落水景观类型的考察,古村落、农业观光园、城乡接合部和生态涵养村 4 种类型最为普遍,居民的诉求也最高,因此,研究再生水回用于以上 4 种水景观模式的构建中,对新农村的发展、居民宜居指数提升和文化的传承是非常有意义的。针对不同类型与不同水资源情况的村落,水景观构建的策略与需要注意的问题各有不同。

**3.1 基于再生水的水景观构建策略** 基于再生水的水景观构建应以实现水资源高效利用、创造亲水休闲空间和提升农村生态效益为主要目标,推进美丽乡村建设。基于再生水的水景观构建应遵循因地制宜、水系安全、生态优先、乡土自然的原则,首先应符合村镇规划,充分考虑场地水源条件、气候

及排水条件;其次不应妨碍防洪排涝安全,保证村庄居民人身和财产安全;此外应改善水体的水质与水生态功能;最后,需注重保护原有自然生态景观,避免农村生态环境城市化。

**3.1.1 古村落。**古村落水景观的营造,应尊重自然,保护现状资源,融入生态设计,利用水源满足人居生产生活需求、早蓄涝泄的安全要求,因地制宜进行村落布水,秉承古朴、自然、生态、低碳的营造理念,打造集生态、科普、休闲、展示、游览多功能于一体的新农村古村落。古村落历史悠久,风水是古村落理水造景的朴素理念<sup>[14]</sup>,应充分开发与利用古村落原有的井、渠、塘、堰、碓、缸等水景观设计元素,桥、亭、水街、驳岸、埠头等饰水元素要与古村落原有的风格和谐统一。

**3.1.2 农业观光园。**农业观光园最主要的功能为农业生产和休闲观光,水景观设计时应注重水体的生产型和体验型的功能划分<sup>[15]</sup>,其水景观构建策略主要包括养殖生产水景观构建、生活区(农家乐)水景观构建、观光型水景观构建与体验型水景观构建。

养殖生产水景观以农业生产为基础,应重点打造生产水体的水景观,如莲花种植池和鱼类养殖池等。生活区(农家乐)水景观应打造与生活区域紧密相关的自然水景观,如房前屋后的溪流、池塘等,也包括具有汇集、消纳雨水功能的雨水花园、植草沟、旱溪等弹性水景观。观光型水景观打造的重点为农业观光园内具有自然基底的河流、湖泊、潭瀑等。体验型水景观强调参与体验性,需要设置利于体验活动开展的服务设施。

**3.1.3 城乡接合部。**城乡接合部的水景观构建应以建设兼顾城市服务功能与乡村旅游休闲功能为目标,同时加强和保障城乡接合部水体景观水质,建设水清、水净、水美的自然与服务功能为一体的水生态景观环境。

**3.1.4 生态涵养村。**生态涵养村水景观的构建应以自然为主、生态优先,在保证对自然的干预最小的前提下,进行低影响、低维护的生态水景观开发建设,水景观构建的内容主要包括对河、湖、坑塘等水质的改善,生态边坡与生态驳岸的构建,水生态系统的构建与恢复,乡土文化与景观小品的融合等。

**3.2 基于再生水的水景观构建措施** 将再生水回用于新农村建设的水景观中,通过水质净化与改善措施、水生态系统的构建与恢复、生态边坡与生态驳岸的构建、乡土文化与景观小品等措施,同时构建良好的水质保障体系,保障再生水回用于北京市农村水景观的过程中水质良好且稳定。

**3.2.1 水质改善措施。**优良的水环境不仅是实现水生态功能的基础,也是构建水景观的前提。由于村落生活污水的排放及净化处理的不完善,可能造成对现状水环境的污染。因此,基于再生水的水景观的建设首先要在保护河湖水库水源水的同时,加强对村落内部及周边水系水质的改善和提升,同时保障进入水体的再生水水质稳定。

为保障和维持水景观水体水质,营造健康、生态的水环境特征,通过构建表流湿地、生态缓冲带、生态浮岛、植草沟、雨水花园等生态净化工程,综合实现再生水水源水质长效稳

定,径流雨水污染的截流净化。

(1)表流湿地。表流湿地利用生态系统中物质循环的原理,通过沉积物和土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物协同作用,对在介质表面漫流的污水进行处理,从而获得水质净化与再生水回用的最佳效益,同时具有一定的生态景观效果<sup>[16]</sup>。

(2)生态缓冲带。河岸生态缓冲带能恢复乔-灌-草植物群落,减缓地表径流速度,截留氮、磷、农药、化肥等污染物<sup>[17]</sup>。生态缓冲带坡度一般为2%~6%。

(3)生态浮岛。生态浮岛直接安放于水体中,能去除水体中污染物,为水生动物和鸟类、昆虫提供栖息地,从而提高生物多样性,实现生态恢复和景观改善,同时具有造价低廉的优点<sup>[18]</sup>。

(4)植草沟。可在水域外围、道路旁设置生态植草沟。植草沟通过植被的滞留、过滤与吸附功能,降低径流流速、净化水质、收纳雨水、补充地下水,具有一定的错峰调蓄能力。

(5)雨水花园。雨水花园能有效净化雨水中的污染物,同时降低径流流速、削减径流总量及峰值流量,具有较好的景观美学价值和生态价值<sup>[19]</sup>。

**3.2.2 水生态系统的构建与恢复。**水生态系统的构建与恢复是维持和保证水系生态功能发挥、水质保持和恢复的要素,也是农村水景观建设的重要内容。水生态系统的构建与恢复包括基底环境条件的营造、水生植被的构建、水生生物链的构建以及动物栖息地构建与恢复。

基底环境的营造主要根据现状基底和目标基底条件,构建河流型、湖泊型甚至农田型的适应现状的、可适宜生物生存的生态型基底。水生植被的构建应根据不同水系类型和基底环境,按照“湿生-沼生-挺水-浮叶-沉水”植物的生态演替式或“挺水-沉水”“挺水-浮叶”等不完全演替式的模式进行构建。生物生态链的构建则根据生物链的层级关系,构建完整生态链结构。生物生境的构建,则根据鸟类、鱼类、两栖类、爬行类等适宜栖息的生存环境进行建设,营造生境岛、深潭、浅滩等,必要时可设置人工栖台、栖架、鱼巢等。

**3.2.3 生态边坡与生态驳岸的构建。**生态边坡与驳岸应根据水系类型及功能需求的不同,选择不同生态类型的材料进行建设,如木桩、枝条、块石、石笼、生态袋等。同时结合景观功能和水土保持、水质净化的功能需求,选择本土的适生植物、水土保持与涵养型植物和观赏性强等功能植物,按照“乔-灌-草”的演替原则或“乔-草”“灌-草”的不完全演替模式进行合理配置和种植。生态边坡与驳岸能将滨水区植被与堤岸内植被连成一体,同时为动物提供栖息地,构成一个完整的水生态系统<sup>[20]</sup>。

**3.2.4 乡土文化与景观小品构建。**通过充分研究乡村本土文化并进行深入挖掘,并将其与景观小品融入,以充分发挥乡土文化的特征和内涵,加强水景观小品建设的融合感,提升水景观建设服务、旅游及经济价值。

增设公共景观设施,营造宜人的公共场所,主要采用乡土化的材料,彰显区域特色,为居民提供文化休闲活动和交

流的场所。

#### 4 北京市农村再生水构建水景观的效益分析

**4.1 社会效益** 农村水景观建设是美丽乡村建设与生态文明建设的重要内容<sup>[21]</sup>,能改善农村居民的生活环境,调节农村居民的心情,促进农村居民身体健康,从而促进社会主义新农村的建设。将再生水回用于北京市农村水景观构建,可实现农村水资源的可持续利用,也符合中国特色社会主义可持续发展观的要求。

**4.2 经济效益** 再生水构建水景观投入成本低,由于北京市农村生活污水排放指标与景观用再生水水质指标的要求差距不大,通常只需在处理后的农村生活污水后加入景观化处理技术便可满足景观用再生水的水质要求。景观化处理技术本身也属于水景观的一部分,工艺简单、设备少、处理效果好、工程投资与运行费用低,运维管理简便<sup>[22]</sup>。此外,水景观建成后也会给农村带来一定的经济效益,可以推动乡村旅游、观光休闲农业发展,使农民收入增加,从而改善民生。

**4.3 环境效益** 在环境效益方面,将农村再生水回用于水景观的建设能促进农村生活污水处理,避免对土壤与地下水的污染,保护农村生态环境。同时能美化村容村貌,使农村环境更加干净、整洁。再生水回用于水景观的建设不但能实现污水资源化、缓解北京的水资源压力,还能避免将再生水进行农业灌溉带来的潜在环境影响,回用于农业灌溉可能会污染地下水,甚至影响人民健康,安全性难以保障<sup>[22]</sup>。

#### 5 小结

北京农村水资源极度匮乏,散排水浪费严重,再生水、雨水没有得到有效利用。同时,存在驳岸硬质化、水景人工化,水质污染严重、水体缺乏维护管理等问题,对农村生态环境具有负面影响。因此,亟需在有限的条件下,修复和提升北京市农村水生态与水环境。再生水来源丰富,拥有很大的开发与利用潜力,且具有显著的经济、社会和生态环境效益。在当前北京水资源严重短缺的大背景下,利用再生水资源进行水景观建设对于实现水资源可持续利用、改善农村生态环境、加快美丽乡村建设具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] YI L L, JIAO W T, CHEN X N. An overview of reclaimed water reuse in China[J]. *J Environ Sci (China)*, 2011, 23(10): 1585-1593.
- [2] 北京市水务局. 北京市水资源公报(2018年度)[R]. 2019.
- [3] WANG J H, SHANG Y Z, WANG H, et al. Beijing's water resources: Challenges and solutions[J]. *J Am Water Resour Assoc*, 2015, 51(3): 614-623.
- [4] ZHU Z F, DOU J. Current status of reclaimed water in China: An overview[J]. *J Water Reuse and Desalination*, 2018, 8(3): 293-307.
- [5] 王佳, 李雪, 潘涛, 等. 北京市再生水回用策略分析[J]. *给水排水*, 2013, 49(S1): 208-213.
- [6] 田月兰. 延庆区再生水利用现状与发展分析[J]. *北京水务*, 2016(1): 30-33.
- [7] 张鹏卿, 张平, 杨再俊, 等. 大兴区再生水利用模式与政策研究[J]. *北京水务*, 2013(1): 42-45.
- [8] 康勇, 陈丽华, 米硕成. 再生水在城镇景观生态建设中的应用: 以北京市大兴区南红门灌区为例[J]. *北京水务*, 2007(2): 45-48.
- [9] 余化龙. 北京市房山区再生水利用现状与展望[J]. *北京水务*, 2007(5): 17-20.
- [10] 林广杰, 韦玲, 田浩春. 通州区新河灌区再生水利用成效与建设管理经验[J]. *北京水务*, 2012(3): 48-51.
- [11] 陈菁, 吕萍. 农村水景观建设[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011.

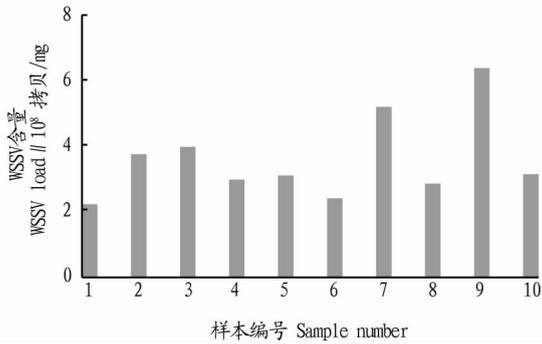


图1 感染试验克氏原螯虾鳃组织 WSSV 含量

Fig. 1 The WSSV load in gill tissue in *Procamburus clarkii* after artificial infection

增加。克氏原螯虾的死亡率始终低于 WSSV 含量为  $10^6$  拷贝/mg 的检出率,一个原因是克氏原螯虾繁殖不同步,成虾养成的时间不同,采取轮捕的方式上市,4月中旬之前,水温较低,WSSV 复制速度慢,虾携带病毒含量低,此前出售的虾未发病;4月下旬后水温上升,WSSV 复制加快,克氏原螯虾携带 WSSV 的量大幅度增加。另一个原因是携带大量 WSSV 也未必导致敏感宿主发病、死亡<sup>[7]</sup>,人工感染试验中濒临死亡的克氏原螯虾鳃组织中 WSSV 含量达  $10^8$  拷贝/mg,表明采集的克氏原螯虾鳃中 WSSV 含量均未达到导致其死亡的程度。维氏气单孢菌和 WSSV 共同感染鳃导致克氏原螯虾死亡率达 100%,比单独 WSSV 感染的死亡率(83.3%)高<sup>[8]</sup>。肝胰腺中气单孢菌属和柠檬酸杆菌属细菌大量增殖导致克氏原螯虾患病<sup>[9-11]</sup>。健康克氏原螯虾的肠道存在一定量气单孢菌属、柠檬酸杆菌属和志贺氏菌属条件致病菌<sup>[12]</sup>,由于细菌间的协同作用,正常情况下不会对机体健康造成危害<sup>[13]</sup>。但 WSSV 感染会破坏甲壳动物中肠表皮完整性<sup>[14]</sup>,肠道中存在的条件致病菌最容易在该处定殖、繁殖,造成以条件致病菌大量增加为特点的肠道菌群失调。因此,携带 WSSV  $10^6$  拷贝/mg 以上的克氏原螯虾是否发病死亡,还取决于其机体免疫力及肠道、肝胰腺和鳃组织中条件致病菌的增殖。

2018 年 WSSV 在全国 13 个省养殖的克氏原螯虾中检出

率为 46.3%,呈广泛流行趋势<sup>[2]</sup>。但白斑综合征疾病只是零星发生,表明该病可控,主要从调控养殖水环境、增强克氏原螯虾免疫和调控虾肠道菌群入手。每隔 10 d 用一次分解底改,晴天施用芽孢杆菌制剂,阴雨天施用过碳酸钠制剂,可以将稻田的环境因子(pH、氨氮、亚硝酸盐)控制在合理范围内。稻田每隔 10 d 用碘制剂消毒一次,消灭养殖水体中的致病菌。用乳酸菌拌料投喂调节虾肠道菌群。

#### 参考文献

- [1] SHEN H S, HU Y C, MA Y C, et al. In-depth transcriptome analysis of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): 1-15.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 中国水生动物卫生状况报告 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [3] 王忠发, 何伟贤, 许文军. 白斑综合征病毒引起小龙虾疫病爆发流行的病原学研究 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2007, 17(8): 1397-1399.
- [4] 丁正峰, 薛晖, 夏爱军, 等. 白斑综合征病毒在养殖克氏原螯虾中感染流行研究 [J]. *南京农业大学学报*, 2008, 31(4): 129-133.
- [5] QIU L, CHEN M M, WAN X Y, et al. Characterization of a new member of Iridoviridae, shrimp hemocyte iridescent virus (SHIV), found in white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Scientific reports*, 2017, 7(1): 1959-1985.
- [6] OIE. Manual of diagnostic tests for aquatic animals [EB/OL]. [2020-07-28]. <http://www.oie.int/en/standard-setting/aquatic-manual/access-online>.
- [7] TSAI M F, KOU G H, LIU H C, et al. Long-term presence of white spot syndrome virus (WSSV) in a cultivated shrimp population without disease outbreaks [J]. *Disease aquatic organism*, 1999, 38: 107-114.
- [8] YUAN G L, ZHU L, JIANG X Y, et al. Diagnosis of co-infection with white spot syndrome virus and *Aeromonas veronii* in red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J/OL]. *Aquaculture*, 2020, 532 [2020-07-28]. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736010>.
- [9] 陈红莲, 宋光同, 何吉祥, 等. 克氏原螯虾弗氏柠檬酸杆菌的分离鉴定与药敏试验 [J]. *淡水渔业*, 2014, 44(1): 73-77.
- [10] 彭博文, 杨移斌, 艾晓辉, 等. 克氏原螯虾源维氏气单孢菌分离鉴定及药敏特性研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 2018(4): 108-114.
- [11] 唐庆权, 韩阳, 许晓牧, 等. 克氏原螯虾肝胰腺病原菌的分离鉴定和药敏试验 [J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(21): 96-98.
- [12] SHUI Y, GUAN Z B, LIU G F, et al. Gut microbiota of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in integrated crayfish-rice cultivation model [J]. *AMB Express*, 2020, 10(1): 1-11.
- [13] ZHU J Y, DAI W F, QIU Q F, et al. Contrasting ecological processes and functional compositions between intestinal bacterial community in healthy and diseased shrimp [J]. *Microbiology ecology*, 2016, 72(4): 975-985.
- [14] PILOTTO M R, GONCALVES A N A, VIEIRA F N, et al. Exploring the impact of the biofloc rearing system and an oral WSSV challenge on the intestinal bacteriome of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Microorganisms*, 2018, 6(3): 1-16.

(上接第 84 页)

- [12] 尹丹红, 徐峰, 黄腾飞. 农业观光园水景设计 [J]. *乡村科技*, 2016(20): 85-86.
- [13] 齐静, 袁兴中, 刘红, 等. 重庆市三峡库区水源涵养重要功能区生态系统服务功能时空演变特征 [J]. *水土保持通报*, 2015, 35(3): 256-260.
- [14] 宋潇璐. 浙江古村落水景观设计研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013.
- [15] 于兰岭. 农业观光园景观资源评价与景观营造研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [16] 范旭红. 人工湿地污水处理系统及其应用 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [17] 汤家喜, 孙丽娜, 孙铁珩, 等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2012, 21(8): 1514-1520.

- [18] 童国璋, 叶旭红. 生态浮岛技术概述及应用前景 [J]. *江西科学*, 2010, 28(4): 470-472, 486.
- [19] 王佳, 王思思, 车伍, 等. 雨水花园植物的选择与设计 [J]. *北方园艺*, 2012(19): 77-81.
- [20] 伊红珊. 城市水景的生态驳岸施工设计 [J]. *河北林业科技*, 2009(2): 33-35.
- [21] 俞卫军, 高永胜. 美丽乡村水景观构建的初步研究 [J]. *中国水能及电气化*, 2017(8): 58-61, 66.
- [22] 贺东升, 冯建国, 薛正旗. 农村生活污水景观化处理的原理和可行性研究 [J]. *中国农业资源与区划*, 2013, 34(1): 13-17.
- [23] 黄冠华. 再生水农业灌溉安全的有关问题研究 [J]. *中国农业科技导报*, 2007, 9(1): 26-35.