

DOI: 10.5846/stxb201806151338

孙晋芳,袁兴中,刘红,武帅楷.云梦泽圩田的生态模式设计研究.生态学报,2019,39(21): - .

Sun J F, Yuan X Z, Liu H, Wu S K. A study on polder design in Yunmeng Marsh based on ecological models. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(21): - .

云梦泽圩田的生态模式设计研究

孙晋芳^{1,2}, 袁兴中^{1,2,*}, 刘红^{1,2}, 武帅楷^{1,2}

1 重庆大学 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室/建筑城规学院, 重庆 400044

2 长江上游湿地科学研究重庆市重点实验室, 重庆 401331

摘要:云梦泽圩田是儒家井田制文化与云梦泽地区水文环境相结合的产物,是人们在长期治田治水实践中创造的一种独特的农田开发形式,然而,圩田这种土地利用方式利弊并存,如何挖掘这种传统水利田的生态智慧使之继续发挥作用是一个亟待解决的现实问题。本研究以湖北朱湖湿地公园内的圩田恢复区为研究对象,以生态学思想为指导,从单纯的治田治水理念拓展为水利、生态、经济、文化与社会发展并重的多重理念,充分挖掘蕴含圩田之中的生态智慧,提出了“湖—圩”共生复合生态系统的生态模式,主要包括:小微湿地群模式、水陆界面生态调控模式、柔性设计模式和“河流—湿地”复合体模式。这些模式有助于云梦泽地区蓄洪防旱、水质净化、景观优化,以及生物生境等综合生态服务功能的实现,并促进云梦泽地区圩田景观文化传承与生态环境的协同共生,从而实现了智慧圩田的生态模式。这些生态模式是对圩田系统生态结构设计思路与方法的全新探索,可以为长江中下游地区圩田的景观保护与生态模式设计提供工程示范与参考。

关键词:云梦泽;圩田;小微湿地群模式;柔性设计模式;“河流-湿地”复合体模式

A study on polder design in Yunmeng Marsh based on ecological models

SUN Jinfang^{1,2}, YUAN Xingzhong^{1,2,*}, LIU Hong^{1,2}, Wu Shuaikai^{1,2}

1 State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control/Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China

2 Chongqing Key Laboratory of Wetland Science Research in the Upper Reaches of the Yangtze River, Chongqing 401331, China

Abstract: Polders are a product of a combination of the Confucian well field system and the hydrological environment of the Yunmeng Marsh area. Polders represent a unique form of farmland development created by people through long-term land management, including water control and harnessing paddy fields. However, there are several coexisting advantages and disadvantages of this mode of land use, so how to utilise the ecological wisdom from traditional paddy field use is a problem that must be solved urgently, so it can continue to play a role into the future. This study takes the polder restoration area in Zhuhu Wetland Park in Hubei Province as its research subject. In this study, a multifunctional polder system was designed based on ecological principles, with ecological, economic, cultural and social development benefits in addition to conserving water for flood prevention. Through fully evaluating the ecological wisdom of the polder system, a complex symbiotic “lake-polder” ecosystem in the ancient Yunmeng Marsh area was proposed, including the micro-wetland model, the land and water interface ecological regulation model, the flexible design model and the river-wetland complex model. These models were beneficial to the realization of comprehensive ecological services, such as flood control, water purification, landscape optimization and biological habitat provision, and promotion of the co-existence between the cultural heritage and ecological environment of the polder landscape, thus realizing the ecological model of intelligent polder in the Yunmeng Marsh area. This study represents a new exploration of the ecological structure of the polder system, providing an

基金项目:国家科技重大专项(2013ZX07104-004-05)

收稿日期:2018-06-15; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1072000659@qq.com

engineering demonstration and a reference for the landscape protection and ecological model design of polders in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key Words: Yunmeng Marsh; polders; micro-wetland model; flexible design model; river-wetland complex model

圩田是儒家井田制文化与云梦泽地区水文环境相结合的产物,作为云梦泽地区经济的主体,圩田不仅是简单的经济生产单元,而且是一个复杂的社会经济文化复合体。圩田的开发十分适合云梦泽地区水环境的特点,它的产生及发展有其自然与经济的合理性,是人类适应自然的产物^[1],在抗御旱涝、稳产高产和缓解人口压力方面发挥着非常重要的作用。然而,圩田这种土地利用方式利弊并存,过度开发势必会带来严峻的生态环境问题。近年来,随着长江中下游地区生态环境的不断恶化,江汉平原云梦泽地区的水灾频发。由于圩田抗洪能力低下,其弊端突出,各地掀起了“退圩还湖”、“退田还湖”工程,对圩田景观造成了巨大的冲击。面对人们对云梦泽地区生态环境问题的日益关注和对历史景观形态的尊重,如何挖掘这种传统水利田的生态智慧使之继续发挥作用是一个亟待解决的现实问题。

1 云梦泽圩田

1.1 云梦泽

据史料记载,“云梦”一般指春秋、战国时期楚王狩猎区,范围非常广阔,涉及今湖北东南部大半个省,而且包括多种地貌形态,如山地、丘陵、平原与湖泊等。而“云梦泽”是云梦的一部分,专指狩猎区内的湖泊部分,范围仅在今江汉平原之内^[2](图1)。考古和地质资料表明,在地质构造上,江汉平原属第四纪强烈下沉的拗陷区,云梦泽就在此基础上发育形成。由于长江上游的泥沙源源充填,河床淤积而抬高,水位也逐渐上升,当水位漫出河槽时,便形成了云梦泽^[3]。云梦泽的发育、形成与演变经历了漫长的过程,气候变化和地质构造运动是主要驱动力,而各历史时期的洲滩围垦活动则加快了云梦泽的演变进程。

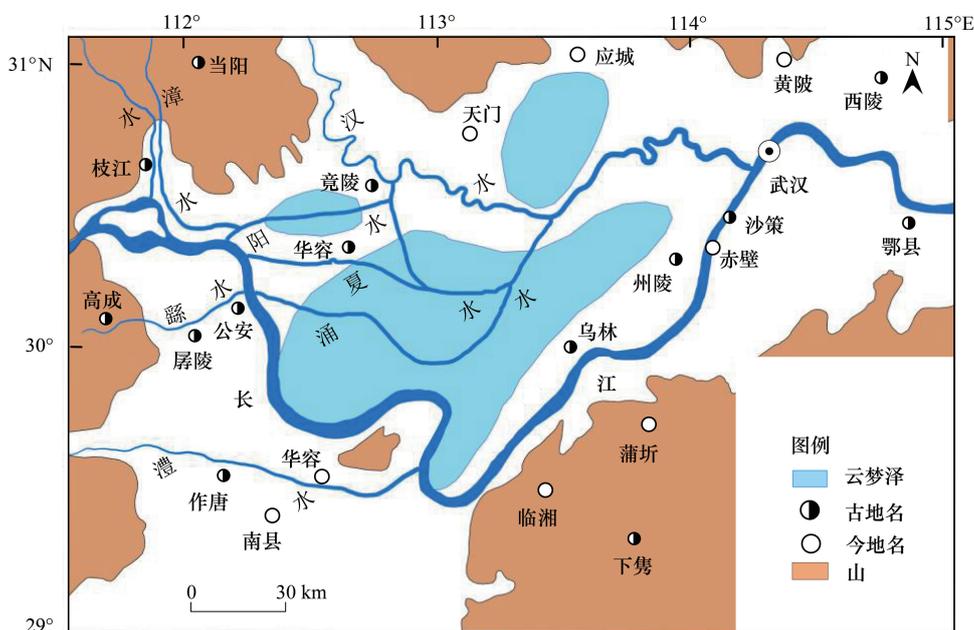


图1 先秦时代云梦泽的位置

Fig.1 Location of Yunmeng Marsh in Pre-Qin era

1.2 圩田

圩田(又称围田、圩垸或围垸)是一种在浅水沼泽地带或河湖洲滩上通过围堤筑圩,围田于内,挡水于外;

设涵闸,围内开沟渠,实现排灌的水利田^[4]。圩田是人们在长期治田治水实践中创造的一种独特的农田开发形式,它广泛分布在长江中下游地区的江南地区和江汉平原,是这些地区重要的土地利用方式。但是,圩田的过度开发势必会带来严峻的生态环境问题。第一,圩田改变了江汉平原云梦泽地区的地形起伏。沿江筑堤后,堤内河、湖漫滩辟为圩田,使沉积中断,而堤外漫滩继续受沉积,于是先围垦的圩田高程较低,而后围垦的圩田高程较高,使云梦泽地区形成中央低、四周高的碟形洼地。第二,圩田改变了江汉平原云梦泽地区的水文环境。因筑堤把河、湖漫滩围成圩田,使穴口数量减少且淤塞,分流受阻,汉水、荆江汛期又得不到调蓄,导致水位上升,加之云梦泽地区地势低洼,因此造成该地区水灾严重^[5]。另外,汉江堤与荆江大堤虽阻止汉江、荆江水补给内荆河,但由于内荆河地处江汉平原的最低点,可以得到两江入渗的地下水补给,因而导致江汉平原云梦泽地区涝灾时间延长。第三,大量构筑圩田,影响到江汉平原云梦泽地区江湖的生态关系。大规模的圩田垦殖活动,导致湖泊退化,行洪通道缩减,调蓄能力急剧衰退,使洪水威胁愈演愈烈^[4]。

本研究选取湖北朱湖湿地公园内的圩田恢复区作为研究对象,以生态学思想为指导,从单纯的治田治水理念拓展为经济、水利、生态、文化与社会发展并重的多重理念,通过对圩田系统的解读和研究,充分挖掘蕴含圩田之中的生态智慧,提出了云梦泽圩田的生态模式。这些模式有助于云梦泽地区蓄洪防旱、水质净化、景观优化、以及生物生境等综合生态服务功能的实现,并促进云梦泽地区圩田景观文化传承与生态环境的协同共生。

2 云梦泽圩田生态模式的设计

2.1 研究区概况

朱湖国家湿地公园位于孝感市孝南区(113°53'33"—114°07'59"E,30°47'01"—30°51'28"N),东起府河东堤,西至农联垸泵站,南以朝阳泵站为界,北至卧龙潭泵站,规划总面积 5156hm²(图 2)。湿地公园所在地孝南区属亚热带季风区大陆性气候,多年平均气温 16.2℃,无霜期 245 天,多年平均降水量 1146mm;湿地公园所在区域属丘岗平原地貌区,地形起伏小;湿地公园内主要河流为澠河、府河和沧河,近南北走向,河床两侧为宽缓的河谷,河漫滩发育,平均过洪流量 4600m³/s;主要土壤类型为潜育性水稻土和潮积土,理化性能好,有机质含量高。公园范围内共有植物 73 科 202 属 259 种,其中自然植被以双穗雀稗(*Cynodondactylon*)、钻叶紫菀(*Aster subulatus*)、稗(*Echinochloacrusgalli*)等草本植物群落为主;公园范围内共有脊椎动物 194 种,其中鱼类 41 种,两栖动物 8 种,爬行动物 11 种,鸟类 129 种,兽类 5 种^[6]。

研究区为朱湖国家湿地公园内的圩田恢复区,恢复区长边约 600m,宽边约 400m,总面积 237186m²,包括圩田基塘系统和疏林岛屿。圩田基塘系统形似“龟甲”,长轴 315m,短轴 240m,周围分布 10m 宽的开阔水面,面积 49900m²。

2.2 云梦泽圩田的生态模式

依据湿地生态系统的设计原则,综合考虑圩田恢复区对水环境、滨水景观,以及生物生境功能的需求,2015 年 12 月,本研究设计了云梦泽地区圩田系统的 4 种生态模式,即:小微湿地群模式、水陆界面生态调控模式、柔性设计模式和“河流-湿地”复合体模式(图 3)。

2.2.1 小微湿地群模式

小微湿地是指自然界在长期演变过程中形成的较稳定的小型自然湿地^[7],如小湖泊、池塘、洼地、鱼塘、沟渠等,它们发挥了蓄洪防旱、净化污染、调节微气候、提供生物生境等多种生态服务功能。本研究基于圩田的微地貌特点,运用生态学原理,充分挖掘基塘生态智慧,在云梦泽地区圩田科学设计小微湿地群模式,即基塘系统。基塘系统的“基”是指分隔基塘的土埂,“塘”是指池塘。基塘是自然湿地系统中常见的结构,指面积在 1m²—2hm²/5hm²之间,且一年之中至少存在 4 个月的淡水水体^[8-9],在全球范围内,基塘覆盖的总面积比湖泊还大^[10]。我国古代历史上就有“桑基鱼塘”、“陂塘”与“双千田”的传统农耕文化理念,其中蕴含着深刻的基塘生态智慧。2004 年,欧洲许多国家联合成立欧洲基塘保护网络会议(Conference of the European Pond

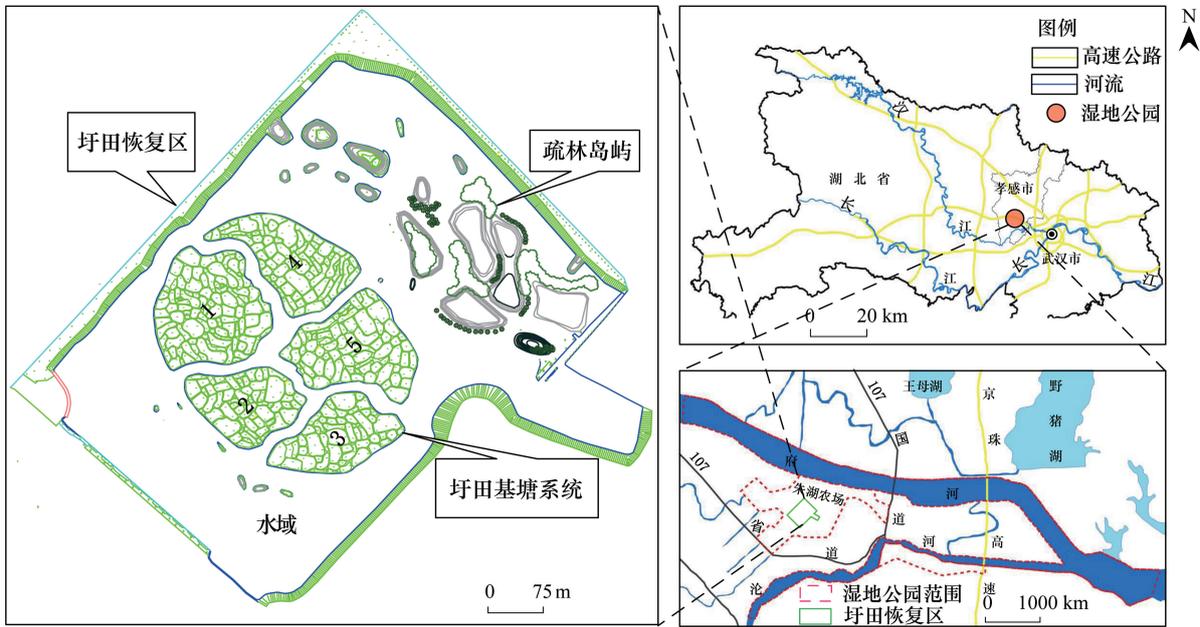


图2 研究区域

Fig.2 Location of the study area

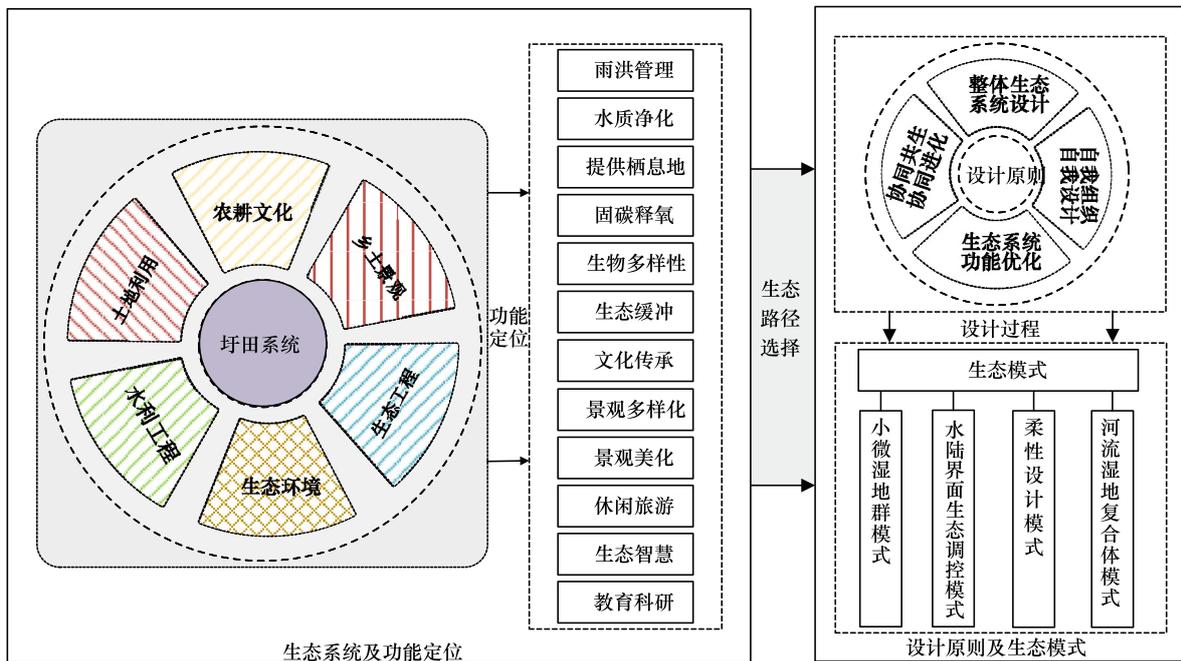


图3 圩田系统生态模式概念图

Fig.3 The Concept Map of Ecological pattern of the polder system

Conservation Network),并在日内瓦成功召开第一次 EPCN 会议,其主题就是“保护和监测池塘生物多样性”^[11-12]。

受国内外基塘理念的启发,本课题组综合考虑三峡库区消落带水位变动及景观特征,在澎溪河进行了消落带基塘工程试验,取得了显著的经济效益、环境效益与景观效益^[13-15]。本研究将这些理念进一步应用于云梦泽圩田系统的生态修复,提出了圩田基塘系统。圩田基塘系统位于圩田恢复区中部,海拔 19.9—21.0m,该系统所在的湖水水位低于湖岸基准面 1.0m,水深 2.0m,共 5 块圩田,圩田之间的水道宽 6m(图 2)。圩田从边

缘到中心分为高、中、低圩田,外部边缘呈圆弧状,每块圩田由一系列相互串连的基塘组成,共 357 个大小各异、深浅不一的基塘。圩田圩堤的顶部设计宽度 1.0m,内部田埂设计宽度 0.6—0.8m。圩田圩堤高出湖水水面 80cm,圩田地下水水位高,旱季湖体水面与圩田水位相平或稍低,雨季则高于圩田(图 4)。圩田中基塘的平均面积 177m²,平均设计直径为 7.5m,设计水深 0.4—1.0m,总体上大基塘水深,小基塘水浅。圩田基塘系统内的湿地植物以自然生长和人工配置乡土植物为主,主要配置水稻(*Oryza sativa*)、香蒲等,植物布局或疏或密、或高或低、或呈团块状,或呈片状;塘基之上是自然生长的钻叶紫菀、双穗雀稗、稗等植物。

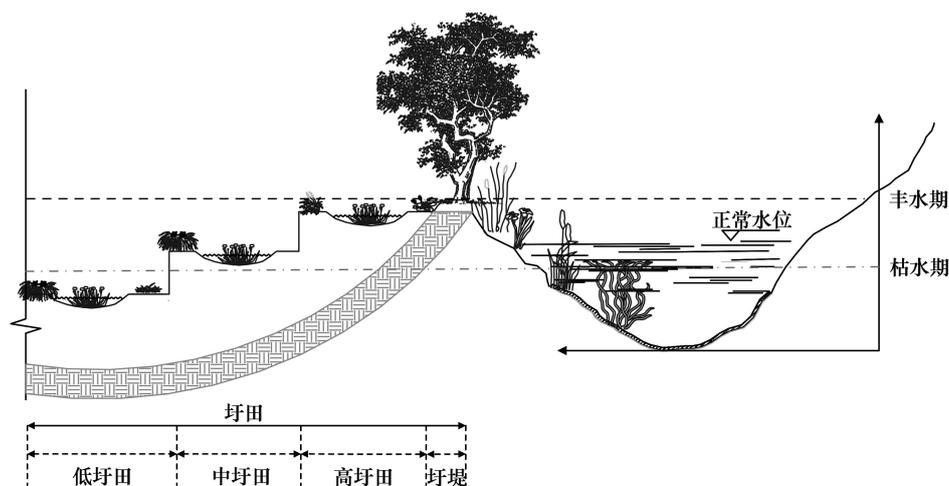


图 4 圩田高度与水位关系图

Fig.4 Relation of polder height and water level

2.2.2 水陆界面生态调控模式

水陆界面是介于陆地与水体之间的过渡地带,是雨洪进入受纳水体的缓冲带,缓冲带中的土壤、微生物、植物根系可以吸收、截留水体中的大量营养物质,降解雨水径流中携带的污染物^[16]。水陆界面缓冲带设计的好坏直接影响它对地表径流污染物的防治效果,因此,构建水陆界面缓冲带已经成为一种常用的生态调控模式。圩田恢复区湖岸平均边坡系数为 1:8,海拔 19.2—22.0m 之间平均坡面宽度约为 0.8m。圩田湖体的混凝土硬质驳岸主要分布在西岸,湖体的北岸、南岸和东岸为自然土质的生态驳岸。硬质化的驳岸设计是为了满足游人游憩亲水的需求,而水陆界面生态调控模式主要是针对自然土质的生态驳岸进行设计的。

第一,本研究对圩田湖体生态缓冲带进行如下植物配置:沿岸带以乔灌木为主,比如,落羽杉(*Taxodium distichum*)和池杉(*Taxodium ascendens*),这些植物为湿地动物提供了栖息和避难场所,在设计中要注意植物群落与周边环境的融合;水深约为 0.2m 左右的区域,土壤润湿,水分适中,配置芦苇、水葱、千屈菜(*Lythrum salicaria*)等湿生植物;水深 0.2—0.5m 的区域,则配置浮叶植物和漂浮植物,从而形成显明的景观层次,比如丛植睡莲(*Nymphaea tetragona*)、泽泻和水芹(*Oenanthe javanica*)等;水深在 0.5m 以上的区域,为提供丰富的植物生境,满足深水生境植物生长的需要,可以丛植多样的水生植物类型,如金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)等沉水植物,睡莲、芡实(*Euryale ferox*)等浮叶植物,莲、香蒲等挺水植物。此外,利用湿地植物营造的生境类型,可以增加植物景观层次,美化湿地景观。

第二,本研究对圩田湖体水陆界面生态调控模式的设计考虑到动物栖息和捕食的需求,结合水底形态的设计,形成浅水区和深水区,并在水底放置石块群来改变水深和水流速度,从而增加栖息地多样性为底栖动物如鱼类等提供生存空间;在浅水放置木质物残体,如枯树枝、倒木等,形成复杂的水下生态空间,为鱼类产卵、庇护及幼鱼哺育提供良好场所;考虑到水禽的取食和活动,通过延缓岸带坡度营造一定的漫滩区域,并在浅水区大量种植芦苇,圩田湖面与茂密的芦苇,构成开阔、幽深、狭长、曲折的多种形态的生境类型,为湿地水禽营造栖息空间。

2.2.3 柔性设计模式

从柔性设计理念到应用再到柔性管理模式,体现了柔性概念在湿地恢复中的应用过程,本研究中的云梦泽圩田恢复过程中,柔性设计模式主要表现在以下几个方面:

第一,驳岸的柔性化设计。在确保安全性的前提下,驳岸设计充分体现其生态性,对圩田湖体和圩田边岸的岸线进行柔化处理,以自然土质或具有多腔穴空间的干砌块石护岸,通过抛置圆石、卵石,营造鱼类栖息繁衍的生境,并丛植大量水生植物,比如菖蒲、芦苇等植物,利用植物发达的根系实现固岸护坡,增强驳岸对水体的抗冲刷能力(图5)。另外,驳岸设计过程中注重增加了透水性和透气性,透水性、透气性水陆界面,不仅可以增强岸坡与水体之间的物质、能量交换,而且也保障了水陆界面湿地的生物过程等,体现了柔性设计的理念。

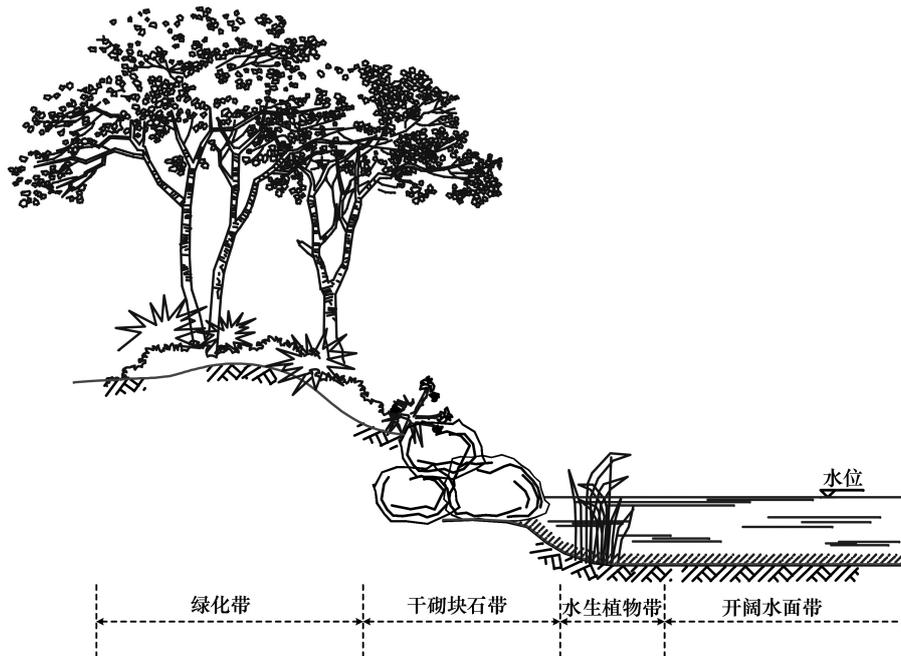


图5 生态驳岸的柔性设计模式

Fig.5 Flexible design model of ecological revetment

第二,柔性材料与柔性景观的构建。水陆界面缓冲带设计中增加透水铺装,提高渗滤效率,设计断续多孔的生态挡水墙、自然化的支渠和毛渠、生态基塘、植物篱等柔性景观,提高水网和植草沟渠密度,提升圩田系统的雨洪控制能力,同时为动物、植物、微生物的生长、生存创造良好的生态环境。另外,本研究中柔性景观的构建注重选用透水、透气的柔性材料代替高耗能、高污染的钢筋、水泥等传统硬性材料,主要包括自然土质、植物、木材、毛石、卵石、石笼、生态袋、麻椰毯等自然材料。对于坡度较小、岸坡较稳定的滨岸区域,采用单纯植物措施防护。适度扩大开阔水面,在圩田湖体洪水位和常水位之间的湖滨带依次种植湿生植物、挺水植物、浮叶植物、沉水植物,形成良好的水下生态空间,为鱼类提供栖息及觅食生境,也为产粘性卵的鱼类提供产卵附着基质。

2.2.4 “河流—湿地”复合体模式

云梦泽地区地势平坦,河网密布,孝南区境内有府河、沧河、澧河、界河4条干流和近40条支流,交汇于孝南区南部,经府河至谏家矶汇入长江。圩田恢复区濒临府河、沧河,其中,府河是境内最大的河流,河床平均宽度达800m,过洪量 $8000\text{m}^3/\text{s}$,沧河位于府河南侧,是孝感城区生活及工业用水的重要水源之一。府河在枯水期水质符合IV类标准,丰水期水质符合III类标准,主要超标指数为氨氮、总磷、高锰酸盐指数,影响府河水质的主要原因是周边工业污水的影响;沧河在枯水期水质符合III类标准,丰水期水质符合II类标准。目前,国内

外有关“河流—湿地”复合系统的生态实践案例较少,主要的做法是通过天然的沼泽、湖泊、河道改造建成人工湿地,用于湖泊、河流水体的修复^[17-18],因此,我们基于府河、沧河流域的地形地貌与水质特征,兼顾水生态修复规划,设计的“河流—湿地”复合体模式主要包括:

第一,充分利用地形起伏与水文环境,合理布局水闸、泵站、渠道等,对河流、湖泊、圩田基塘各地貌单元进行水系连通,形成一个集引、蓄、灌、排功能于一体连贯完整的水生态系统(图6)。雨季时,基塘内多余的雨水会被水泵送到位于高地势的沟渠排走,最终排放到外部湖体;旱季时,可以从外部湖体引入湖水,补充水量以防止基塘水位下降。水系连通使河流、湖泊、圩田基塘之间物质流、能量流和信息流的交换成为可能,从而提高了整个水生态系统的承载力。

第二,构建自然、生态、多变的一体化景观网络系统。打破单一线性结构,利用点、线、面相结合的方式,形成自然、生态、多变的一体化景观网络系统,包括:溪流、河流、湖面、生态基塘、沟渠、水车等湿地景观。景观网络系统将水系统与圩田基塘绿地景观作为重要且能够独立运行的单元统筹规划设计,圩田内的各个基塘之间相互连通,并与沟渠系统(由青瓦层铺设的沟渠)交织在一起,形成圩田内部的径流—储水—渗滤网络系统(图7)。该系统将每块圩田作为独立的水系统,以控制地下水和地表水水位的稳定性。此外,在景观网络系统中,有作为临时性储存暴雨雨水的圩田湖体、基塘,也有用于季节性调节水量的沧河、府河,还有用作净化水体的圩田绿地景观^[19]。

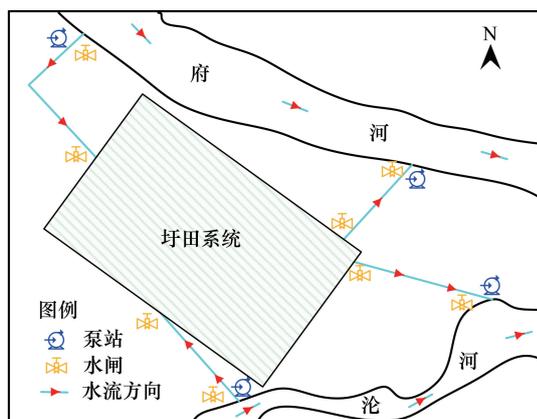


图6 “河流—湿地”复合系统示意图

Fig.6 The diagram of River-Wetland complex system

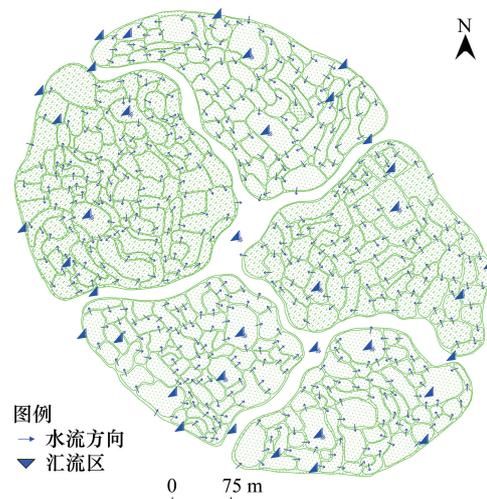


图7 圩田内部的径流-储水-渗滤网络系统

Fig.7 Runoff storage water infiltration network system in polder

第三,设计末端控制多级净化治理体系。污染物进入接纳水体后,利用生态学原理,对“河流—湿地”复合系统中的上游河流、湖泊、圩田基塘和下游河流等接纳水体进行分级净化,形成末端控制四级净化治理体系(图8)。汇水通过沧河、府河上游河流,经上游河流一级自我净化之后排入圩田湖体,经圩田湖体的二级自我净化后排入圩田基塘系统进行三级净化,利用圩田基塘系统的湿地植被将水体净化,之后一部分水被再次抽入府河、沧河的下游河道,进入下流河流的四级自我净化,另一部分水则储存起来作为旱季的应急水源。

3 评价与讨论

2017年10月,我们对圩田恢复区内的生态系统进行了综合调查,并运用SPSS20.0对植物群落类型和水文因子进行了对应分析(CA),制作了二者的二维排序图。CA排序图中箭头表示水文因子,以植被群落类型在水文因子箭线及延长线上的投影点距水文因子箭头的距离判断两者的相关性大小,植被群落类型投影点与水文因子箭头的距离越近,说明植被群落类型与水文因子的相关性越大。在对圩田恢复区进行综合调查与分析的基础之上,我们对圩田系统的生态模式进行了评价。

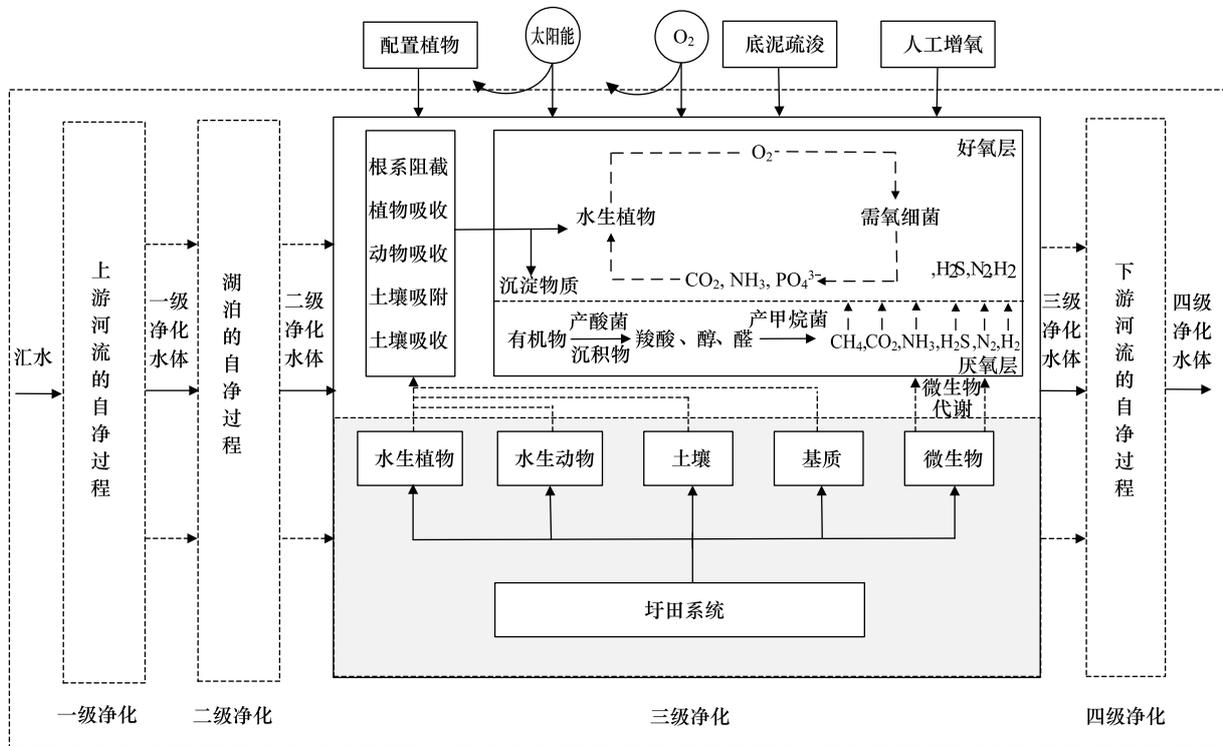


图 8 “河流—湿地”复合系统末端控制多级净化治理体系

Fig.8 Terminal control and multistage water purification system for River-Wetland complex system

在小微湿地群的生态模式中,从植物种类来看,圩田 1 的种类最多,有 24 种,圩田 3 的植物种类最少,有 17 种(表 1);从植被群落类型来看,圩田 4 最多,共 6 个植被群落类型(表 2);从水文因子来看,圩田 3 和圩田 4 受人为干扰较小,但水文条件差异较大,二者植被群落类型与水文因子的对应分析结果表明,植被群落类型

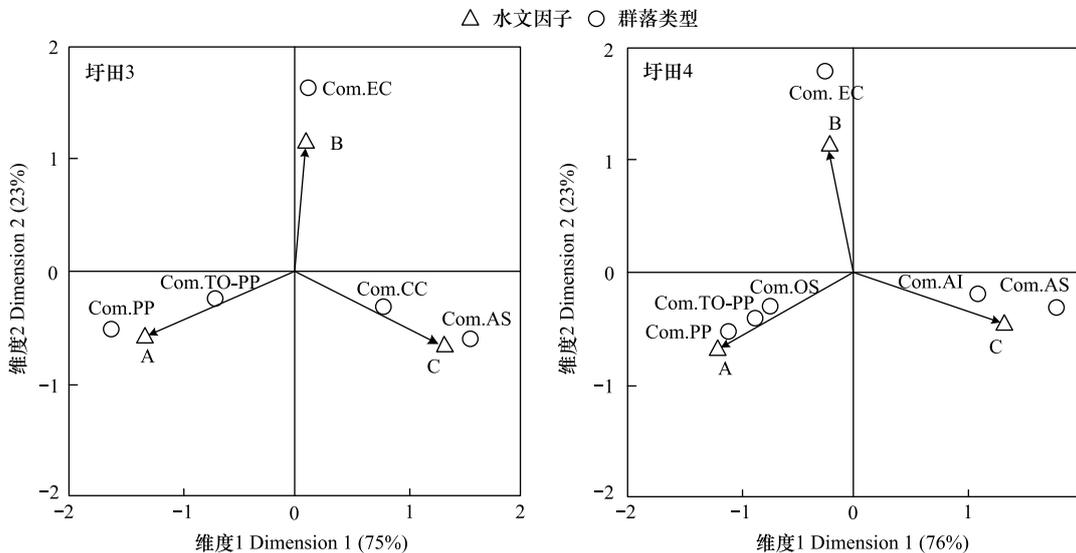


图 9 圩田 3 和圩田 4 植被群落类型与水文因子的 CA 排序图

Fig.9 CA biplots between vegetation community types and hydrological factors in polder 3 and 4

Com.EC: 稗群落 (Com. *Echinochloa crusgalli*); Com.PP: 双穗雀稗群落 (Com. *Paspalum paspaloides*); Com.AS: 钻叶紫菀群落 (Com. *Aster subulatus*); Com.CC: 小蓬草群落 (Com. *Conyza canadensis*); Com.AI: 合萌群落 (Com. *Aeschynomene indica*); Com.OS: 稻群落 (Com. *Oryza sativa*); Com.TO-PP: 香蒲+双穗雀稗群落 (Com. *Typha orientalis-Paspalum paspaloides*); A: 浅水; B: 湿润; C: 干旱

与水文因子之间存在着显著的相关关系(图 9)。另外,随着时间的演替,人为配置的植物景观出现萎缩,比如香蒲群落等植物群落正在被双穗雀稗群落替代,这表明基塘植物群落的时空变化能较好的反映水文环境的变化特征与规律。因此,在小微湿地群的生态模式设计中,我们遵循了这些规律,合理地选择与配置了植物,从而使圩田生态系统能恢复到长期自我维持的、稳定的状态。“缮完堤防,疏凿淤泮”,圩田基塘系统是古代劳动人民治水治田的伟大创举,体现了人民尊重自然、顺应自然、融入自然的理念以及与自然和谐共处的生态智慧^[20]。基塘系统理念在五代时期就应用于圩田系统,五代时期的吴越发明“塘浦制”,五里七里一纵浦,七里十里一横塘,横塘纵浦之间筑堤作圩,使田成于圩内,水行于圩外,形成塘浦圩田系统^[21]。目前,越来越多的研究证明,相同区域内基塘密布的圩田湿地比同等面积的整片湖泊能够发挥更大的作用^[22-26]。与整片湖泊相比,圩田湿地的生境异质性强,而生境异质性与物种多样性呈正相关^[27-28],物种多样性促进了生态系统多功能的实现^[29-30]。通过生境异质性,更稳定的种群可以为不那么强壮的种群提供救援^[31]。Kindvall^[32]研究发现,微尺度生境异质性降低了种群的时间变异性和灭绝风险。因此,在小微湿地群模式中,基塘作为一种小型淡水水体,在维持生物多样性和珍稀物种、蓄洪防旱、降解污染、控制土壤侵蚀以及参与生物地球化学循环等方面发挥着非常重要的作用,是圩田生态系统中不容忽视的重要组成^[10, 33-38]。

表 1 圩田基塘系统植物的科、属、种组成

Table 1 Numbers of plant family, genus, species in in polder-pond system

圩田类型 Polder type	基塘个数 Dike-pond	科 Family	属 Genus	种 Species	圩田类型 Polder type	基塘个数 Dike-pond	科 Family	属 Genus	种 Species
圩田 1	95	12	22	23	圩田 4	73	8	18	19
圩田 2	65	12	23	24	圩田 5	72	10	20	20
圩田 3	52	8	16	17					

表 2 圩田基塘系统植物群落结构特征

Table 2 Characteristic of community compositions in polder-pond system

圩田类型 Polder type	群落名称 Community	基塘个数 Dike-pond	群落盖度 Coverage/%	伴生种数量 Accompanion
圩田 1	双穗雀稗群落 Com. <i>Paspalum paspaloides</i>	27	90—100	6
	稻群落 Com. <i>Oryza sativa</i>	20	80—90	4
	稗群落 Com. <i>Echinochloa crusgalli</i>	13	85—95	5
	香蒲群落 Com. <i>Typha orientalis</i>	14	80—90	3
	双穗雀稗+香蒲群落 Com. <i>Paspalum paspaloides-Typha orientalis</i>	21	90	5
圩田 2	香蒲+双穗雀稗群落 Com. <i>Typha orientalis-Paspalum paspaloides</i>	31	80—90	6
	钻叶紫菀群落 Com. <i>Aster subulatus</i>	24	90—95	5
	细柄黍群落 Com. <i>Panicum psilopodium</i>	10	80	4
	稗群落 Com. <i>Echinochloa crusgalli</i>	8	90	4
圩田 3	双穗雀稗群落 Com. <i>Paspalum paspaloides</i>	16	85—90	5
	双穗雀稗+香蒲群落 Com. <i>Paspalum paspaloides-Typha orientalis</i>	7	85—90	6
	小蓬草群落 Com. <i>Conyza canadensis</i>	7	80—90	5
	钻叶紫菀群落 Com. <i>Aster subulatus</i>	14	90—95	5
	稗群落 Com. <i>Echinochloa crusgalli</i>	10	90	3
	稻群落 Com. <i>Oryza sativa</i>	8	70—80	4
	双穗雀稗群落 Com. <i>Paspalum paspaloides</i>	12	85—95	5
圩田 4	合萌群落 Com. <i>Aeschynomene indica</i>	13	85—95	6
	双穗雀稗+香蒲群落 Com. <i>Paspalum paspaloides-Typha orientalis</i>	9	80—95	5
	钻叶紫菀群落 Com. <i>Aster subulatus</i>	21	95	4
	稗群落 Com. <i>Echinochloa crusgalli</i>	8	80	4
	稻群落 Com. <i>Oryza sativa</i>	31	60—85	4
圩田 5	双穗雀稗群落 Com. <i>Paspalum paspaloides</i>	15	90	5
	双穗雀稗+香蒲群落 Com. <i>Paspalum paspaloides-Typha orientalis</i>	18	85—95	5

在水陆界面生态调控模式中,植物配置主要考虑驳岸高程与水位变动对植物生长的影响,因此,本研究选用了具有较强抗逆抗寒能力以及根茎发达的植物^[39]。Muscutt 等^[40]研究发现,与狭窄的单一草本缓冲带相比,乔木、草本混生的宽阔水陆界面缓冲带有更强的污染物降解能力。因此,本研究中生态驳岸的设计、以及乔灌草形成的复杂结构,能够通过渗滤、拦截与蒸腾等作用有效地阻止雨洪直接进入水体,从而起到对雨洪的控制作用。另外,本研究水陆界面缓冲带的地形与植物景观异质性,可以为动物提供更多样的微环境。Benton 等^[41]研究发现,在景观尺度上,保护或增加被物种使用的生境异质性,将会促进种群稳定性的潜力。这表明,生境异质性提供的微环境与小气候,可以缓冲物种对各种极端气候变化的影响^[42-43],并产生更稳定的种群动态。

在柔性设计模式中,驳岸的设计、材料的选取,以及景观的构建,均充分体现了圩田系统的生态性。大自然构造的图形,例如,岸线、植物、自然土、毛石等,在经典的欧几里得几何学中无解,是因为他们符合分形几何学,它们是粗糙的、支离破碎的,其特点是它们的长度呈现无标度无穷大^[44]。本研究的柔性设计模式就是基于分形几何学与系统动力学原理,以自然为师,模仿自然之道,利用具有分形几何特征的柔性材料,设计一系列不规则的、支离破碎的并具有自相似性的多层次复杂分形景观,目的是使具有复杂网络结构的圩田系统呈现无标度性的幂律分形序(即混沌状态)^[45],而处于混沌状态的圩田系统会通过渗透过程达到临界状态^[46]。此时,圩田系统会自发演化并维持这种临界状态,从而使得圩田系统更有韧性、自适应性与自组织性,进而更快的演化成一个生物孵化器^[46],为湿地动植物提供更加优质的栖息空间。

在“河流—湿地”复合体模式中,圩田恢复区设计的浅水区、深水区、生态基塘、湖泊、河流、沟渠、疏林、岛屿、圩田、湿地植物等一系列生态元素,将水体与绿地景观实现系统整合,形成了一个可以应对多种环境变化的复杂动态系统。水流在连通水系内河流、湖泊、圩田基塘等各地貌单元的过程中发挥了重要作用,通过对雨季和旱季的基塘水位调控,可以形成与气候相适应的可持续和高弹性的雨水管理系统,从而实现对清洁雨水的季节性储存,并在极端降水条件下实现雨洪调蓄。Maestri 等^[47]研究认为植被、塘、渗透系统、湿地系统及其组合是减少和控制雨水径流污染物进入接纳水体较为有效的方法。另外,更重要的是,本研究中的多级净化体系采用了一个更容易操控与管理的基塘工程端口,与河流、湖泊相比,基塘的规模尺度小,其形态与大小很容易修整与转化,养护成本低,养护和管理较容易。由于基塘生态系统在小尺度上表现出“瞬变态特征”^[48],短期内就能形成基塘生态系统的人为操作响应效果^[12],因此,人们可以通过这个端口对基塘实施植物配置、底泥疏浚和人工增氧等措施,进一步提高圩田系统的水体净化能力。

4 结论

云梦泽圩田的生态模式设计,是对圩田系统空间格局的复合化设计与利用,充分挖掘了蕴含圩田之中的生态智慧。小微湿地群模式、水陆界面生态调控模式、柔性设计模式和“河流—湿地”复合体模式四种生态模式充分结合了江汉平原云梦泽地区的地形地貌及水文特征,增加了圩田系统空间尺度和景观尺度上的生境异质性,形成了合理的物质、能量和信息的相互转化与循环,有助于云梦泽地区蓄洪防旱、水质净化、景观优化、以及生物生境等综合生态服务功能的实现,可以为长江中下游地区圩田的景观保护与生态模式设计提供工程示范与参考。

圩田是云梦泽地区自然与文化特质的体现,是自然、经济与文化协同进化的反映,它赋予了个人与地方以身份感和认同感。作为景观设计工作者,在设计过程中应注意系统统筹、从多角度去思考,尊重自然、尊重历史,并以生态学原理为指导进行设计,充分挖掘蕴含圩田之中的生态智慧,提高圩田生态系统的生命力,促进云梦泽地区圩田景观文化传承与生态环境的协同共生。

参考文献(References):

- [1] 王毅,于秀波,摆万奇.长江中游地区退田还湖、生态建设与垵塘经济发展//国情报告第三卷2000年(上).北京:清华大学国情研究中心,2012.

- [2] 张修桂. 云梦泽的演变与下荆江河曲的形成. 复旦学报: 社会科学版, 1980, (2): 40-48.
- [3] 方金琪. 冰后期海面上升对长江中下游影响的探讨. 地理学报, 1991, 46(4): 427-435.
- [4] 庄华峰. 古代江南地区圩田开发及其对生态环境的影响. 中国历史地理论丛, 2005, 20(3): 87-94.
- [5] 林承坤. 古代长江中下游平原筑堤围垸与塘浦圩田对地理环境的影响. 环境科学学报, 1984, 4(2): 101-110.
- [6] 刘欢. 湖北孝感朱湖国家湿地公园的建设现状、问题及对策[D]. 武汉: 华中师范大学. 2015.
- [7] 任全进, 季茂晴, 于金平. 小微湿地的作用及营造方法. 现代农业科技, 2015, (13): 225-225, 230-230.
- [8] Biggs J, Walker D, Whitfield M, Williams P. Pond action: promoting the conservation of ponds in Britain. *Freshwater Forum*, 1991, 1(2): 114-118.
- [9] 袁兴中, 杜春兰, 袁嘉. 适应水位变化的多功能基塘系统: 塘生态智慧在三峡水库消落带生态恢复中的运用. *景观设计学*, 2017, 5(1): 8-21.
- [10] Downing J A, Prairie Y T, Cole J J, Duarte C M, Tranvik L J, Striegl R G, McDowell W H, Kortelainen P, Caraco N F, Melack J M, Middelburg J J. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51(5): 2388-2397.
- [11] Oertli B, Céréghino R, Hull A P, Miracle R. Pond conservation: from science to practice. *Hydrobiologia*, 2009, 634(1): 1-9.
- [12] Boix D, Biggs J, Céréghino R, Hull A P, Kalettka T, Oertli B. Pond research and management in Europe: "Small is Beautiful". *Hydrobiologia*, 2012, 689(1): 1-9.
- [13] 袁兴中, 熊森, 李波, 徐静波, 刘红, 王强. 三峡水库消落带湿地生态友好型利用探讨. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 28(4): 23-25.
- [14] 李波, 杜春兰, 袁兴中, 肖红艳. 反季节水位变动背景下的护岸功能型生态结构设计研究. *风景园林*, 2014, (6): 69-73.
- [15] 王晓锋, 刘红, 袁兴中, 任海庆, 岳俊生, 熊森. 基于水敏性城市设计的城市水环境污染控制体系研究. *生态学报*, 2016, 36(1): 30-43.
- [16] Li B, Xiao H Y, Yuan X Z, Willison J H M, Liu H, Chen Z L, Zhang Y W, Deng W, Yue J S. Analysis of ecological and commercial benefits of a dike-pond project in the drawdown zone of the Three Gorges Reservoir. *Ecological engineering*, 2013, 61: 1-11.
- [17] Coveney M F, Stites D L, Lowe E F, Battoe L E, Conrow R. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration. *Ecological Engineering*, 2002, 19(2): 141-159.
- [18] Jing S R, Lin Y F. Seasonal effect on ammonia nitrogen removal by constructed wetlands treating polluted river water in southern Taiwan. *Environmental Pollution*, 2004, 127(2): 291-301.
- [19] 斯蒂芬·奈豪斯. 圩田景观: 荷兰低地的风景园林. 韩冰, 译. *风景园林*, 2016, (8): 38-57.
- [20] 刘国栋, 田昆, 袁兴中, 孙晋芳. 中国传统生态智慧及其现实意义——以丽江古城水系为例. *生态学报*, 2016, 36(2): 472-479.
- [21] 王建革. 泾、浜发展与吴淞江流域的圩田水利(9-15 世纪). *中国历史地理论丛*, 2009, 24(2): 30-42.
- [22] Oertli B, Joye D A, Castella E, Juge R, Cambin D, Lachavanne J B. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation*, 2002, 104(1): 59-70.
- [23] Søndergaard M, Jeppesen E, Jensen J P. Pond or lake: does it make any difference? *Archiv für Hydrobiologie*, 2005, 162(2): 143-165.
- [24] Williams P, Whitfield M, Biggs J, Bray S, Fox G, Nicolet P, Sear D. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation*, 2004, 115(2): 329-341.
- [25] Downing J A, Cole J J, Middelburg J J, Striegl R G, Duarte C M, Kortelainen P, Prairie Y T, Laube K A. Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(1): GB1018.
- [26] Park M, Chung G, Yoo C, Kim J H. Optimal design of stormwater detention basin using the genetic algorithm. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 2012, 16(4): 660-666.
- [27] Weibull A C, Bengtsson J, Nohlgren E. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity. *Ecography*, 2000, 23(6): 743-750.
- [28] García-Llamas P, Calvo L, De la Cruz M, Suárez-Seoane S. Landscape heterogeneity as a surrogate of biodiversity in mountain systems: what is the most appropriate spatial analytical unit? *Ecological Indicators*, 2018, 85: 285-294.
- [29] Hector A, Bagchi R. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, 2007, 448(7150): 188-190.
- [30] Soliveres S, Manning P, Prati D, Gossner M M, Alt F, Arndt H, Baumgartner V, Binkenstein J, Birkhofer K, Blaser S, Blüthgen N, Boch S, Böhm S, Börschig C, Buscot F, Diekötter T, Heinze J, Hölzel N, Jung K, Klaus V H, Klein A M, Kleinebecker T, Klemmer S, Krauss J, Lange M, Morris E K, Müller J, Oelmann Y, Overmann J, Pašalić E, Renner S C, Rillig M C, Schaefer H M, Schloter M, Schmitt B, Schöning I, Schrupp M, Sikorski J, Socher S A, Solly E F, Sonnemann I, Sorkau E, Steckel J, Steffan-Dewenter I, Stempfhuber B, Tschapka M, Türke M, Venter P, Weiner C N, Weisser W W, Werner M, Westphal C, Wilcke W, Wolters V, Wubet T, Wurst S, Fischer M, Allan E. Locally rare species influence grassland ecosystem multifunctionality. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*,

- 2016, 371(1694): 20150269.
- [31] Hanski I. Habitat connectivity, habitat continuity, and metapopulations in dynamic landscapes. *Oikos*, 1999, 87(2): 209-219.
- [32] Kindvall O. Habitat heterogeneity and survival in a bush cricket metapopulation. *Ecology*, 1996, 77(1): 207-214.
- [33] Wood P J, Greenwood M T, Agnew M D. Pond biodiversity and habitat loss in the UK. *Area*, 2003, 35(2): 206-216.
- [34] Williams P, Whitfield M, Biggs J. How can we make new ponds biodiverse? A case study monitored over 7 years. *Hydrobiologia*, 2008, 597(1): 137-148.
- [35] Downing J A. Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot. *Limnetica*, 2010, 29(1): 9-24.
- [36] Le Viol I, Mocq J, Julliard R, Kerbiriou C. The contribution of motorway stormwater retention ponds to the biodiversity of aquatic macroinvertebrates. *Biological Conservation*, 2009, 142(12): 3163-3171.
- [37] Florencio M, Díaz-Paniagua C, Gómez-Rodríguez C, Serrano L. Biodiversity patterns in a macroinvertebrate community of a temporary pond network. *Insect Conservation and Diversity*, 2014, 7(1): 4-21.
- [38] Davies S R, Sayer C D, Greaves H, Siriwardena G M, Axmacher J C. A new role for pond management in farmland bird conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 233: 179-191.
- [39] Vymazal J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*, 2011, 674(1): 133-156.
- [40] Muscutt A D, Harris G L, Bailey S W, Davies D B. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1993, 45(1/2): 59-77.
- [41] Benton T G, Vickery J A, Wilson J D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(4): 182-188.
- [42] Liu G D, Sun J F, Tian K, Xiao D R, Yuan X Z. Long-term responses of leaf litter decomposition to temperature, litter quality and litter mixing in plateau wetlands. *Freshwater Biology*, 2017, 62(1): 178-190.
- [43] Liu G D, Sun J F, Tian K, Yuan X Z, An S B, Wang H. Litter decomposition of emergent plants along an elevation gradient in wetlands of Yunnan Plateau, China. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(5): 760-771.
- [44] Barton C C, LaPointe P R. Fractals in the earth sciences; Fractals in petroleum geology and earth processes. *Geoscience Canada*, 1997, 24(1): 70-72.
- [45] Chatterjee S, Yilmaz M R. Chaos, fractals and statistics. *Statistical Science*, 1992, 7(1): 49-68.
- [46] Mary Kay B A. Dynamical systems, fractals and chaos. *Science & Technology Libraries*, 1989, 9(3): 57-62.
- [47] Maestri B, Lord B N. Guide for mitigation of highway stormwater runoff pollution. *Science of the Total Environment*, 1987, 59: 467-476.
- [48] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 31-36.