

# 基于生态农业理论的人工湿地生态修复植物规划方法

王凯元

高台县黑河湿地国家级自然保护区管理局,甘肃 张掖 734300

**摘要:**通过分析生态农业与人工湿地的基本理论,提出了人工湿地植物选择的原则,包括适地适种、多样性维持、生态位互补和净化功能优化等;提出了挺水植物、浮叶植物和沉水植物合理搭配的植物配置策略,以及水位调控、施肥、修剪等植物生长管理措施。案例分析表明,基于生态农业理念的人工湿地生态修复植物规划对农业面源污染和生活污水具有良好的净化效果。研究表明,将人工湿地与生态农业相结合是控制农业面源污染、修复生态环境的有效模式。

**关键词:**生态农业;人工湿地;生态修复;植物规划

**中图分类号:**F323.22

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.07.016

## 0 引言

随着社会经济的快速发展,工农业生产对环境产生了巨大压力,农业面源污染日益严重,工业污水排放不达标,生态环境遭到破坏。传统的污水处理方法已不能满足当前环境治理的需求,迫切需要探索经济、高效、可持续的水环境修复技术。人工湿地以其投资省、运行费用低、处理效果好等优点成为污水处理和生态修复的理想选择<sup>[1]</sup>。生态农业是以生态学原理为指导,充分利用农业生态系统内部的物质循环和能量流动,实现农业的可持续发展。将生态农业理念引入人工湿地建设,合理选择和配置湿地植物,可显著提升人工湿地的净化功能和生态效益。国内外学者对人工湿地的研究日益深入,在植物选择、基质优化、系统构型等方面取得了丰硕成果。然而,如何将生态农业与人工湿地相结合,优化人工湿地植物配置,实现农业面源污染控制和生态环境修复,仍有待进一步探索。

## 1 生态农业与人工湿地的基本理论

### 1.1 生态农业的定义与原则

生态农业是一种以生态学原理为基础,遵循自然生态系统演替规律,充分利用生物多样性和生态位互补原理,通过农业系统内部的物质循环和能量流动,实现农业生产与生态环境协调发展的可持续农业模式。根据中国生态农业研究会的定义,生态农业是在因地制宜、合理利用当地资源的基础上,运用生态学原理和现代科学技术,充分发挥生态系统的自我调节功能,促进农业生态系统良性循环,实现农业的高产、优质、高效、生态、安全的综合目标。生态农业遵循多样性原则,通过构建多样化的农业生态系统,提高系统的稳定性和抗干扰能力;遵循物质循环原则,强调农业废弃物的资源化利用,减少外源

输入,提高资源利用效率;遵循协调发展原则,促进农业生产与生态保护的平衡,实现经济效益、社会效益和生态效益的统一。生态农业通过优化种植结构、培育生态种植模式、发展生态养殖业、建设生态能源系统等措施,促进农业生态系统的物质循环和能量流动,提高农业生态系统的自我调节能力,实现农业生产与生态环境的和谐共生。

### 1.2 人工湿地概念与功能

人工湿地是指在自然湿地功能的基础上,利用工程措施人为构建的、具有水质净化、水量调蓄、生物多样性维持等多重功能的生态系统<sup>[2]</sup>。人工湿地通常由基质、水体、湿地植物和微生物等组成,通过基质吸附、植物吸收、微生物降解等物理、化学和生物过程,实现对污水中氮、磷、有机物等污染物的去除。与传统污水处理技术相比,人工湿地具有投资低、运行费用省、管理简单、处理效果好等优点。

根据水流方式的不同,人工湿地可分为表面流人工湿地和潜流人工湿地<sup>[3]</sup>。表面流人工湿地中污水在湿地表面渗流,主要依靠植物吸收和微生物降解去除污染物;潜流人工湿地中污水在湿地基质中渗流,污染物去除主要通过基质吸附和微生物降解实现。除了具有显著的水质净化功能外,人工湿地还具有调蓄洪水、补充地下水、改善小气候、维持生物多样性等重要的生态功能。据估算,每公顷人工湿地每年可调蓄洪水量约1.5万m<sup>3</sup>,补充地下水约1000m<sup>3</sup>,固定二氧化碳约18t,释放氧气约13t。因此,人工湿地在污水处理、生态修复、水资源管理等方面具有广阔的应用前景。

## 2 人工湿地植物规划方法

### 2.1 植物选择原则

基于生态农业理念的人工湿地植物选择应遵

循适地适种、多样性维持、生态位互补、净化功能优化等原则<sup>[4]</sup>。综合考虑净化功能、生态效益和

景观价值，人工湿地植物的选择应遵循表 1 所列原则。

表 1 人工湿地植物选择原则

原则	内容	目的
适地适种	选择适应当地气候、水文、土壤等条件的植物	提高植物成活率和生长适应性
多样性维持	选择不同类型、不同功能的植物,构建多样化群落	提高系统稳定性和抗干扰能力
生态位互补	合理配置不同植物,优化种间竞争与互补关系	提高资源利用效率和生产力
净化功能优化	优先选择根系发达、耐污能力强的植物	提高污染物去除效率

2.2 植物配置策略

合理的植物配置是优化人工湿地净化功能和生态效益的关键。在植物配置过程中,应充分考虑不同植物的生态位互补和种间关系,构建多样化、稳定性强的植物群落<sup>[5]</sup>。一般来说,人工湿地植物配置可分为挺水植物区、浮叶植物区和沉水植物区。挺水植物生长在水位以上的区域,具有较强的氧传输能力,可为湿地微生物提供充足的溶解氧,如芦苇、香蒲、灯心草等;浮叶植物悬浮于水面,叶片下方的根状茎和须根能吸收水体中的氮、磷等营养物质,如荷花、睡莲等;沉水植物完全沉没于水下,对水体溶解氧和透光度要求较高,可通过光合作用为湿地水体补充溶解氧,如金鱼藻、苦草等。在植物配置时,挺水植物区、浮叶植物区和沉水植物区的面积比例可根据人工湿地的类型和污水特性进行调整,一般为 5:1:2 至 7:1:1。

除了不同类型植物的合理搭配外,种植密度也是影响人工湿地净化效果的重要因素。植物种植密度过低,不仅影响景观效果,而且难以发挥湿地的净化功能;密度过大,植物易发生自疏现象,影响植物生长和系统稳定性。以芦苇为例,在污水处理型人工湿地中,芦苇的最佳种植密度为 30~50 株/m<sup>2</sup>,太多或太少都会导致净化效果下降。因此,合理控制人工湿地关键植物的种植密度,对于优化系统净化功能具有重要意义。

植物配置除了考虑密度,还应注重种植方式的优化。传统的单一种植模式往往造成植物生长不良、病虫害多发等问题。而采用间作、混作等生态种植模式,则有利于实现种间优势互补,提高系统抗逆性<sup>[6]</sup>。如在芦苇中混种香蒲,不仅可抑制芦苇白茎病的发生,还能提高人工湿地对 COD 和氨氮的去除率。再如在浮叶植物区栽植凤眼莲,在沉水植物区混种苦草和金鱼藻,可在净化污水的同时改善水体溶解氧状况。在挺水植物区,香蒲与灯心草间作,不仅净化效果优于单一种植,而且其根际微生物活性显著提高,有利于促进污染物的生物降解。总之,采用多样化的植物配置模式,优化种间互作关系,是

提升人工湿地生态修复效能的有效途径。

2.3 植物生长管理

人工湿地植物的健康生长是保证系统稳定运行和发挥净化功能的前提。植物生长管理应遵循因地制宜、适时调控的原则,根据植物生长特性和人工湿地类型,采取针对性的管理措施。一般来说,植物生长管理主要包括水位调控、施肥、修剪和病虫害防治等内容。水位调控是影响湿地植物生长的关键因素,应根据植物耐水淹能力和人工湿地水力负荷情况,实施动态调控。如在植物生长初期,可维持较低水位,促进植物根系发育;在植物生长旺盛期,适当提高水位,促进植物吸收水体中的氮磷营养盐;在植物衰亡期,则应降低水位,加速枯枝落叶的分解。对于芦苇等挺水植物,生长季水位宜控制在 0.2~0.6 m;对于香蒲、灯心草等,生长季水位应维持在 0.1~0.3 m。水位调控得当,可显著促进人工湿地植物的生长发育,提高污染物净化效率。

植物生长还需适量施肥,尤其在植物生长初期和污水负荷较高时,适当补充氮、磷、钾等营养元素,可显著促进植物生长。但需注意,过量施肥易引起水体富营养化,施肥时间和用量应根据植物需肥规律和人工湿地的污水处理效果动态调整。一般在植物移栽期、分蘖期和抽穗期施肥效果较好,每次施氮量以 20~30 g/m<sup>2</sup> 为宜。

定期修剪和病虫害防治也是湿地植物生长管理不可忽视的环节。及时修剪枯枝落叶,既可保证植物生长空间,去除植株体内富集的氮磷等污染物,又能为微生物提供碳源,加速污染物降解。修剪量一般为植株体总量的 30%~40%,修剪后的植物残体应及时清理,避免再次释放污染物。对于多年生挺水植物,在每年春季萌发前宜进行一次修剪,将植株高度控制在 30 cm 以下;对于浮叶植物和沉水植物,可采取定期打捞的方式去除老化植株。在病虫害防治方面,要坚持“预防为主,综合防治”的原则,加强湿地日常管理,改善植物生长环境,提高植物抗性;发生病虫害时宜采用人工捕杀、诱捕等物理防治措施,慎用化学农药,以避免造成湿地水体和生物的二

次污染。

### 3 案例分析

#### 3.1 案例介绍

本文选取浙江省德清县某生态农业园的污水处理工程作为案例,分析基于生态农业理念的人工湿地设计和运行模式。该生态农业园占地约 42 hm<sup>2</sup>,以有机蔬菜种植、生态养殖和农事体验为主要特色,日接待游客可达 600 人次。园区排放的生活污水、农田排水和畜禽养殖废水若不经处理直接排放,将给周边环境带来巨大威胁。为了协调农业生产与生态保护的关系,农业园因地制宜地规划建设了“生态农业+人工湿地”的污水生态处理系统。该系统由 1 200 m<sup>2</sup> 表面流人工湿地和 4 500 m<sup>2</sup> 潜流人工湿地构成,总面积约 5 700 m<sup>2</sup>。其中表面流湿地起初级处理作用,主要去除污水中的悬浮物和部分有机物;潜流湿地进一步去除污水中的有机物、氮磷营养盐等。湿地基质采用园区就地取材的石子、砾石、沙等,成本低廉。在植物选择上,遵循了生态农业“因地制宜”的理念,以园区农田和菜地常见的芦苇、香蒲、灯心草、再力花、水芹等作为主要挺水植物,同时配置凤眼莲等浮叶植物和伊乐藻、金鱼藻等沉水植物,形成立体化的植物净化体系。湿地尾水部分回用于蔬菜地灌溉,其余排入附近水塘用于鱼虾养殖,实现了污水的梯级利用和资源化再生。该项目巧妙地将人工湿地建设与生态农业发展相结合,构建起“种养结合、农景互促”的生态农业新模式,具有很好的推广价值。

#### 3.2 效果评估

为评估基于生态农业理念的人工湿地植物配置方案对污水处理效果的影响,对该生态农庄人工湿地进行了为期 2 年的水质监测。结果表明,优化后的人工湿地植物群落对农庄污水中主要污染物的去除效果显著。如表 2 所示,经湿地处理后, COD 的平均去除率达到了 87.3%,出水浓度稳定在 25 mg/L 以下;氨氮的去除率为 81.6%,出水浓度控制在 5 mg/L 左右;总氮和总磷的去除率分别达到 75.8%和 72.4%,出水浓度分别低于 12.5 mg/L 和 1.5 mg/L,全面达到了地表水 IV 类水质标准,满足湿地尾水回用或达标排放的要求。相比于常规的单一植物配置模式,采用“挺水植物+浮叶植物+沉水植物”的立体种植模式,显著提高了人工湿地对有机物和氮、磷等营养盐的去除效果, COD 和总氮的去除率分别提高了 8.2 个百分点和 6.5 个百分点。此外,通过增加挺水植物密度、合理搭配不同植物品种等措施,也进一步促进了人工湿地植被的生长发育,

挺水植物的生物量较优化前提高了 25%以上,为微生物附着生长和污染物降解创造了有利条件。总之,基于生态农业理念的人工湿地植物规划,在提高污水处理效率、改善湿地生态功能等方面具有显著成效,值得在农村污水治理和湿地生态修复中推广应用。

表 2 优化后人工湿地污水处理效果

指标	进水浓度(mg/L)	出水浓度(mg/L)	去除率(%)
COD	196.2	24.8	87.3
氨氮	32.5	6.0	81.6
总氮	49.7	12.1	75.8
总磷	5.4	1.5	72.4

### 4 结语

基于生态农业理念的人工湿地生态修复植物规划是一种创新的污水处理与生态保护模式。通过科学选择和配置适应当地条件的湿地植物,优化植物生长管理措施,人工湿地可有效去除农业面源污染和生活污水中的有机物、氮磷等污染物,改善区域水环境质量。同时,多样化的植物群落及其营造的生境也大大提升了湿地的生物多样性和生态系统稳定性,为湿地生物提供了良好的栖息环境。案例实践表明,将人工湿地建设与生态农业发展相结合,是实现农业面源污染控制与生态环境修复双赢的有效途径。未来,人工湿地生态修复技术还需在植物选育、系统优化、成本控制等方面进一步完善,以期为农村人居环境改善和乡村生态振兴提供更多样、低成本的整体解决方案。

#### 参考文献:

[1] 孙丰霞,刘文蓉,彭辉,等. 八种湿地植物对净化生活污水的影响[J]. 吉林农业科技学院学报, 2024, 33(2): 1-5.

[2] 何艳芸,冯民权,王毅博. 不同植物类型的湿地系统氮磷去除效果及微生物多样性分析 [J]. 水电能源科学, 2024, 42(3): 59-63.

[3] 龚深,巢传鑫,邹冬生,等. 人工湿地中植物对污染物去除机理研究进展[J]. 湿地科学, 2023, 21(6): 927-935.

[4] 武圆梦,罗立群,唐娟. 徐州九里湖人工湿地生态修复的植物规划[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(6): 100-105.

[5] 王界贤. 污水处理导向下的湿地公园景观规划设计 [D]. 北京:北京林业大学, 2020.

[6] 季宛坤. 基于物种多样性的城市湿地公园植物景观规划研究[D]. 南京:南京农业大学, 2020.

作者简介:王凯元,男,1980 年生,工程师。研究方向为湿地,园林,林业。