

养殖废水资源化处理与氮磷回收技术探究

刘毓健

中核第七研究设计院有限公司 山西 太原 030012

摘要: 养殖废水氮磷浓度高、组分复杂,兼具污染治理与资源回收的双重属性。本文围绕养殖废水氮磷回收的技术体系与资源化路径展开分析,梳理了生物脱氮除磷、化学沉淀、膜分离与鸟粪石结晶等关键回收技术的运行逻辑,探讨了回收氮素制备液态肥、磷素制备缓释肥及鸟粪石作为土壤改良剂的施用特性,并从多技术耦合集成、运行参数调控、产物品质控制与经济性保障四个层面提出工艺优化方向。全链条工艺搭建与资源化产品适配,构成养殖废水从末端治理向资源转化升级的技术支撑。

关键词: 养殖废水; 氮磷回收; 资源化利用; 鸟粪石结晶; 工艺集成

引言: 养殖废水中氮磷组分浓度偏高、形态多样,传统末端排放模式既浪费可利用资源,又加重水体环境负荷。生物脱氮、化学沉淀、膜分离及鸟粪石结晶等回收技术各有所长,可针对不同形态氮磷实现定向富集。回收产物经加工后可转化为液态肥、缓释肥或土壤改良剂,贴合农业生产养分补给需求。围绕氮磷回收技术的工艺集成与资源化适配展开探讨,对推动养殖废水治理从单纯减排向资源循环转变具有现实意义。

1 养殖废水污染物特征与资源化处理需求

1.1 养殖废水中氮磷污染物的赋存形态

养殖废水中氮元素存在多种化学形态,各类含氮物质理化特性差异突出,在水环境内稳定程度、生物转化效率各不相同。无机氮是废水氮组分主要构成,包含氨氮、硝态氮、亚硝态氮,可直接参与水体微生物生化过程。有机氮附着剩余饵料、水生生物代谢产物与残体,分子结构稳定,依靠微生物降解才能完成形态转化^[1]。废水磷组分分为溶解磷、颗粒磷两类,溶解磷均匀分散于水体,迁移扩散性能良好。颗粒磷和水中悬浮固体结合紧密,难以脱离固相介质。两类磷形态在废水中的分布比例,会直接影响磷元素资源化回收工作开展难度。

1.2 有机物与悬浮物的协同污染特征

养殖生产过程持续产生的有机污染物,多来源于养殖生物代谢排泄物与未被利用的养殖饵料,这类物质持续溶于水后,会改变水体原有物质结构与理化属性。水体中留存的细小固态悬浮颗粒,会和有机污染物形成相互作用的污染体系,悬浮颗粒可为有机物质附着提供载体,提升有机污染物在水体中的留存时长。有机物质的持续分解消耗水体溶解氧,改变水体氧化还原环境,

间接推动悬浮颗粒的胶体化稳定留存。两类污染组分的相互作用会加剧水体污染程度,改变水体基质环境,增加单一污染物分离处理的技术难度,对水体净化与资源转化形成明显制约。

1.3 废水水质的时空波动规律

养殖生产全程会持续改变废水各项水质指标。各阶段生物代谢速率、投喂饲料总量存在明显区分,直接左右水中各类污染物产出总量与组分构成。养殖场外部气象条件波动,会调整水体微生物活动水平,污染物分解、堆积速度随之发生改变。不同时段采集水样检测可见,氮磷指标、有机物与悬浮固体浓度均存在显著起伏。场内不同养殖区块水体交换效率、养殖生物投放密度互不相同,各项水质参数在空间维度呈现分层差异。水质指标持续动态变动,对废水处理系统适配调节能力提出更为严苛的运行标准。

1.4 氮磷资源化回收的内在驱动逻辑

氮磷元素属于养殖生产体系中的核心营养元素,废水体系中留存的过量氮磷,具备可挖掘的资源利用价值。水体中富集的氮磷组分经过专业化分离与提纯处理后,可转化为适配农业生产与生态培育的营养原料,实现废弃水体组分的二次利用。水体中过量留存的氮磷组分会破坏水环境生态平衡,针对性开展氮磷回收处理,能够从源头弱化水体污染的潜在影响^[2]。

2 养殖废水氮磷回收关键技术体系

2.1 生物脱氮除磷技术的运行机制

生物脱氮除磷技术依托微生物群落的代谢功能完成水体氮磷组分的转化与去除。体系内各类功能菌种拥有

专属代谢特征,能够匹配养殖废水各类污染物质的净化处理要求。硝化菌种对水中氨氮开展分步氧化反应,完成低价氮元素向硝态氮的转化过程。反硝化菌种消耗水体留存有机碳基质,氧化形态氮元素经还原反应生成气体从水中逸出。具备聚磷性能的微生物在厌氧条件释放细胞储存磷,曝气环境下大量吸收水中溶解磷,不断提高菌体内部磷蓄积水平。

2.2 化学沉淀法回收氮磷的技术路径

化学沉淀法依托靶向投加化学药剂,改变养殖废水水体的酸碱环境与离子平衡状态,促使水体中溶解态氮磷离子发生化合反应。水体中的磷酸根离子可与金属离子结合生成难溶性固态沉淀物,游离氮组分可通过药剂反应实现固化转化。反应生成的固态物质具备稳定的物化结构,可通过常规固液分离方式从水体中剥离。药剂投加量与水体环境参数可调控反应进行程度,充分反应后的固相产物可通过后续提纯处理,完成氮磷资源的有效回收,如图1所示。

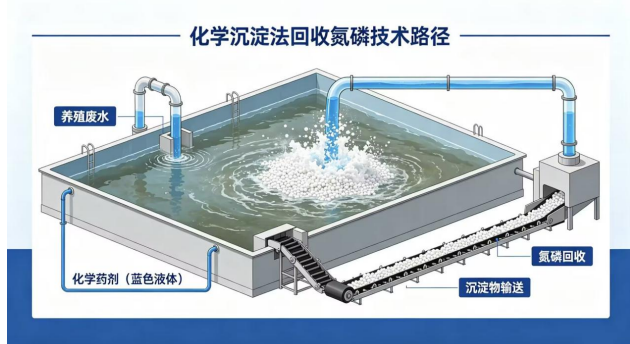


图1

2.3 膜分离技术对氮磷的浓缩富集方式

膜分离技术依靠功能膜材料的孔径筛分与电荷截留特性,对养殖废水内部的氮磷组分进行分级截留与浓缩处理。功能膜可拦截水体中结合态氮磷大分子物质,允许水体小分子溶剂透过膜体结构。溶解态离子型氮磷组分可通过膜电荷效应实现选择性截留,逐步提升膜腔内部的氮磷离子浓度。水体杂质的分级分离过程可持续缩减废水体系的氮磷体量,截留富集后的高浓度氮磷原液,能够为后续资源化回收工序提供优质原料。膜体结构的筛选特性可规避杂质干扰,保障氮磷富集物料的纯度水平。

2.4 鸟粪石结晶法回收磷的技术原理

鸟粪石结晶法基于离子配位结晶原理实现养殖废水磷素的专项回收,调控水体镁离子、铵根离子与磷酸根

离子的浓度配比,可为晶体生成提供基础离子条件。稳定的水体酸碱环境能够推动离子自发配位结合,生成结构规整的鸟粪石晶体。晶体颗粒会逐步凝聚沉降,形成易于分离的固态结晶产物。该技术依托离子自发结晶的理化特性,可针对性捕捉水体低浓度溶解态磷,有效解决常规工艺对微量磷组分回收难度较高的问题,实现水体磷资源的高效富集与固化回收。

3 氮磷回收产物的资源化利用途径

3.1 回收氮素制备液体肥料的加工方式

养殖废水分离提纯后的氮素组分可依托精细化加工工艺转化为液态肥产品,适配现代农业的规模化种植养分供给需求。浓缩得到的高含氮原液先静置分层再过滤除杂,去除水中悬浮颗粒物与微量干扰物质,保证加工原料纯度符合生产标准^[3]。完成前置净化的氮原液结合田间施肥标准调整各类营养物质含量,调配形成均一稳定的液体养分基底。整套物料混合工序在封闭无害化设备内运行,各营养物质充分混匀,长期存放不会出现理化性质大幅波动。最终产出的液态氮肥水溶性表现优异,养分分布均匀便于作物根系吸收,能够配合各类水肥一体化设备施用,满足集中化农业种植的追肥供给需求。

3.2 回收磷素制备缓释肥料的转化路径

从养殖废水中富集提取的磷素原料可通过固化改性工艺完成缓释肥料的工业化转化,提升磷素养分的利用效率。提纯后的固态磷素物料可经过研磨细化处理,优化物料粒径结构,提升后续改性反应的均匀程度。改性处理可调整磷素物料的内部结构,降低养分瞬时释放速率,形成具备缓释特性的养分基质。物料成型工序可将改性磷素原料加工为规整颗粒形态,强化肥料结构稳定性。改性与成型处理可改变原生磷素的释放特性,延长养分释放周期,弱化高频次施肥带来的资源损耗,适配长效养分供给的种植场景。

3.3 鸟粪石作为土壤改良剂的施用特性

鸟粪石结晶产物含有丰富的磷素、镁素与氮素营养组分,可直接作用于土壤基质实现土质优化与养分补给。晶体结构具备稳定的理化属性,可在土壤环境中缓慢分解,逐步释放内部封存的各类营养元素。缓慢分解的特性可以维持土壤内部养分含量的平稳状态,规避速效肥料施用带来的养分快速流失问题。晶体颗粒填充于土壤孔隙结构内部,可优化土壤团粒结构,提升土壤透气与保水能力。自然分解过程不会产生有害残留物质,

能够持续优化土壤基质的营养结构与物理属性。

3.4 回收产物与种植体系的养分匹配方式

各类氮磷回收产物的养分组成存在明显差异,可结合不同种植体系的养分消耗规律完成精准适配。液态氮肥养分释放速率偏高,适合作物生长旺期频繁追肥操作,填补作物生长阶段出现的营养缺失。缓释磷肥以及鸟粪石类回收品养分释放节奏温和,能够持续供给作物全周期基础营养。按照栽种作物吸收营养的固有特点调整各类回收产物施用占比,搭建分层供给的营养施用方案。

4 氮磷回收技术的集成优化与实施保障

4.1 多技术耦合的工艺集成路径

单一氮磷回收工艺存在处理短板,各类废水处理与资源回收技术可通过流程重组实现工艺互补。前置分离技术可完成养殖废水内部大颗粒杂质与高分子污染物的剔除,降低后续精细回收工序的运行负荷^[4]。中端富集技术可对水体低浓度氮磷组分进行浓缩提质,为结晶与固化反应提供优质物料条件。末端资源化转化技术可将富集后的氮磷物料加工为稳定可利用的营养产物。差异化技术单元的有序衔接能够梳理废水处理与资源回收的整体流程,弱化单一工艺的运行局限,搭建适配养殖废水连续化处理的完整工艺体系。

4.2 运行参数对回收效率的影响调控

工艺运行过程中的环境与设备参数会直接干预氮磷组分的转化与回收水平。水体酸碱数值的浮动会改变化学反应的进行程度,影响磷素结晶与氮素固化的推进状态。温度数值的变化可干预微生物代谢活性与离子扩散速率,改变氮磷转化的整体进度。物料投加剂量与水力停留时长能够调控组分反应充分度,影响水体氮磷剔除与富集程度。对各类关键参数进行精细化调控,可稳定工艺运行状态,维持氮磷回收过程的有序推进,提升工艺体系的运行稳定性。

4.3 回收产物品质的稳定控制方法

氮磷回收产物的品质波动多源于废水杂质残留与工艺运行状态偏差。预处理层级可设置多级净化工序,拦截水体残留杂质,规避杂质组分混入回收产物内部。反应过程可设置参数恒定管控模式,维持反应环境的稳定状态,减少产物结构与组分的异常波动。产物成型后可

通过精细化筛分与纯化工序,剔除不合格物料,统一产物组分结构与理化属性。标准化的工序管控模式可以弱化外界因素带来的品质干扰,维持回收肥料与土壤改良物料的品质均匀性。

4.4 全链条运行的经济性与可行性保障

养殖废水氮磷回收体系的长期运行需要依托合理的工艺配置与能耗管控模式。精简冗余工艺单元可以压缩设备运维与人力投入成本,提升整体运行的经济适配度。优化物料利用模式可以提升药剂与能源的利用效率,减少资源消耗带来的成本增量。资源化产物的有效利用可以搭建废水处理与资源再生的循环体系,提升整套工艺的应用价值^[5]。科学的工艺配置与能耗管控方式能够提升技术体系的落地适配性,支撑氮磷回收工艺在养殖水处理领域的常态化应用。

结束语

养殖废水氮磷回收技术已形成生物、化学、膜分离与结晶法并行的多条技术路线,各类工艺在不同污染场景下各有适用边界。多技术耦合的集成路径能够弥补单一工艺的处理短板,运行参数的精细化调控与产物品质的标准化管控可维持工艺体系的稳定运行。回收产物与种植体系的养分匹配进一步拓展了资源化利用的实际价值,全链条经济性优化则为技术落地提供持续支撑。各环节协同推进,方能实现养殖废水氮磷的高效回收与长效利用。

参考文献

- [1] 孙旭,谢彤,张超杰,等. 光合微生物在畜禽养殖废水资源化处理中的研究进展 [J]. 工业水处理,2024,44(10):40-51.
- [2] 丁义展,谭晓波. 畜禽养殖废水处理与资源化利用技术研究进展 [J]. 现代农业研究,2025,31(7):85-91.
- [3] 吴薇,石莹. 设施水产养殖系统中废水处理与资源化利用 [J]. 农业工程技术,2023,43(33):92-93.
- [4] 章春生,何婷,王乐朴,等. UASB+ 两级套环 A/O 工艺处理生猪养殖废水资源化利用及工程实践 [J]. 绿色科技,2025,27(10):134-138,144.
- [5] 戈拯,李冰鑫,韩晓宇,等. 基于厌氧氨氧化工艺的畜禽养殖废水处理技术研究进展 [J]. 北京工业大学学报,2025,51(7):883-896.