

采煤沉陷积水区漂浮水稻驳岸收割装置设计与性能分析

李姝欣, 李小龙*, 云宇, 杨金香, 陈永胜, 吴玉丽, 梅朵朵, 骆皓仪

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年6月19日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月30日

摘 要

目的: 针对采煤沉陷积水区漂浮水稻收割效率低、成本高、无适配设备的问题, 结合水上种植环境, 设计集传送、调节、卷扬、分离功能于一体的漂浮水稻收割装置及配套收割技术。方法: 通过可调节工作平台固定联合收割机, 支腿高度可调节以保证收割头的作业距离。采用主辅结合的传送带结构输送浮板, 控制台调节传送带转速转向。卷扬装置通过钢索挂钩牵引浮板, 可调节支架借助工字架与液压支腿实现坡度与高度调节。分离装置基于机械结构完成种植杯与浮板脱离。结果: 研究大幅降低了漂浮水稻收割成本, 显著提升了生产效率。结论: 研究解决了常规陆地农机无法适配漂浮水稻收割的难题, 助力漂浮水稻在采煤沉陷积水区的规模化种植, 推动农业绿色可持续发展。

关键词

漂浮水稻, 采煤沉陷积水区, 联合收割机, 装置优化, 驳岸收割

Design and Performance Analysis of a Bank-Mounted Harvesting Device for Floating Rice in Coal Mining Subsidence Waterlogged Areas

Shuxin Li, Xiaolong Li*, Yu Yun, Jinxiang Yang, Yongsheng Chen, Yuli Wu, Duoduo Mei, Haoyi Luo

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: June 19, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 30, 2026

*通讯作者。

文章引用: 李姝欣, 李小龙, 云宇, 杨金香, 陈永胜, 吴玉丽, 梅朵朵, 骆皓仪. 采煤沉陷积水区漂浮水稻驳岸收割装置设计与性能分析[J]. 矿山工程, 2026, 14(4): 1160-1167. DOI: 10.12677/me.2026.144114

Abstract

Objective: To address the challenges of low efficiency, high cost, and lack of suitable equipment for floating rice harvesting in coal mining subsidence water areas, this study designs a floating rice harvesting device and its matching technology that integrates conveying, adjustment, winching, and separation functions, tailored to the aquatic cultivation environment. **Methods:** A combine harvester is fixed on an adjustable working platform, with telescopic support legs allowing height adjustment to ensure proper operating distance for the cutting header. A primary-auxiliary conveyor belt system transports the floating mats, while a control console regulates belt speed and direction. The winching device pulls the mats via steel cables and hooks, and an adjustable support frame, combined with I-beams and hydraulic legs, enables slope and height adaptation. The separation unit relies on a mechanical structure to detach planting cups from the floating mats. **Results:** The study significantly reduces harvesting costs and markedly improves operational efficiency. **Conclusion:** This solution overcomes the incompatibility of conventional land-based agricultural machinery with floating rice harvesting, thereby facilitating large-scale cultivation of floating rice in subsidence water areas and promoting green, sustainable agricultural development.

Keywords

Floating Rice, Coal Mining Subsidence Waterlogged Area, Combine Harvester, Device Optimization, Bank-Mounted Harvesting

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大面积的采煤沉陷易导致土地损毁、地面积水、植被破坏、基础设施受损,进一步加剧水土流失、生物多样性减少等生态环境问题,使得周边居民生活受到严重影响、城镇发展受到严重制约[1]。对于难以恢复为农用地的场地,可进行植被绿化,改善生态;对于采矿形成的塌陷积水区和废弃矿坑积水区可通过工程措施整理后发展水面种植和渔业养殖[2]。“漂浮水稻”具有优化沉陷区水质的潜力,能够有效吸收水体中的营养盐和其他物质,是一种可行的环境友好型种植方式。它不仅可以有效利用沉陷区水体资源,还能在一定程度上改善水质,兼具生态修复和资源可持续利用的潜力[3]。目前,漂浮水稻在采煤沉陷区的种植试验已颇具成效——2025年淮南市顾桥矿采煤沉陷积水区的种植实践即为一例,相关研究也正在持续开展[4][5]。但沉陷积水区漂浮水稻的收割仍面临多重难题:1) 水面作业不便,人工收割效率低、劳动成本高,且水上作业存在安全隐患;2) 缺乏适配浮板种植模式的专用收割设备,常规农机难以应用,严重制约规模化推广,亟需研发针对性机械化装备;3) 漂浮水稻同其他地区水稻收获作业环境等差异较大,水稻种植模式、收获时间、产量、作业地块沉陷程度等相差也较大,对联合收割机的适应性和可靠性也提出了更高的要求[6]。因此,研发一种与漂浮水稻种植模式相适应的收割技术极为迫切和必要。本研究旨在聚焦漂浮水稻收割的实际需求,解决常规农业机械在特定场景下的适配难题[7]。

2. 材料与方法

2.1. 漂浮水稻种植背景

漂浮水稻是指通过浮岛、浮床、漂浮板等技术将水稻种植在水面上的一种新型种植模式,能有效解

决采煤沉陷积水区耕地减少、生态破坏、产粮不足等问题，在应对洪水等灾害方面具有明显优势[8]。顾桥矿的水稻种植实验为纳米膜模式和稻鱼共生浮板模式。纳米膜模式采用单孔种植杯，上覆纳米膜，透水不透肥；稻鱼共生浮板模式采用 12 孔种植杯，上覆滤纸，透水性好[9]。为固定间隔并确保浮床间隔在水体扰动下不会发生过度变化，可采用尼龙绳将所有浮床平行串联，调整好间隔后，将尼龙绳两端固定在岸边[10]，种植杯内增添陶粒纳米膜等，可达到吸附杂质净化水体的作用[11]。每个种植单元外侧采用 PVC 空心管加固，浮板之间采用螺钉和扎带连接，在种植单元的四个角和中间位置抛掷水泥块，通过水泥墩沉桩的方式固定。具体种植效果图如图 1 所示。

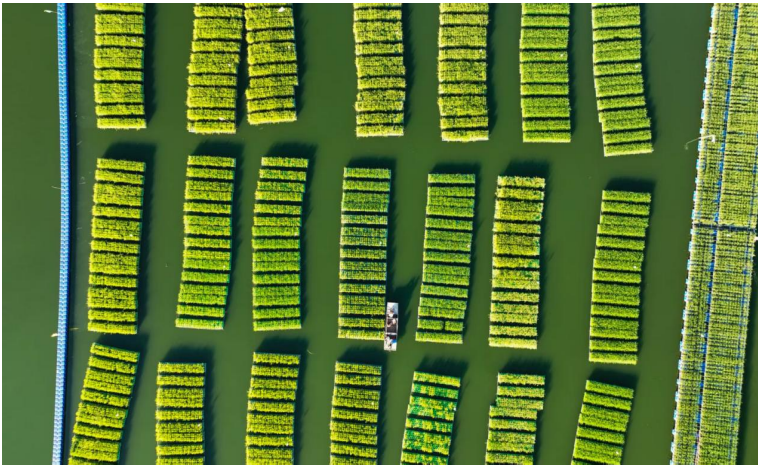


Figure 1. Aerial photograph of floating rice
图 1. 漂浮水稻航拍图

2.2. 岸边收割核心难点和设计思路

传统水稻收割方法并不适用于漂浮水稻，存在水稻位置不易固定、收割高度难以调整等问题；同时，还面临种植单元分离回收、调节适应岸边地形、适配水上作业等技术挑战。漂浮水稻在水面收割受风力和水力影响，难以保持统一固定位置，可能出现漏割或割茬不齐等问题。收割机割台若高度调整不当，则无法有效切割水稻，甚至造成浮板损坏。因此，操作人员需全面了解收割机的操作方式，确保正确作业，以充分发挥收割机的作用[12]。然而，当前漂浮水稻的收获仍依赖大量人工作业，包括卷扬和运输浮板、分离种植杯与浮板等，存在工作量大、耗时长、成本高等问题。

Table 1. Design steps and related operations
表 1. 设计步骤与相关操作

设计步骤	相关操作
浮板拖运	将拼接好的收割单元拖至平台前端
茎秆切割	启动联合收割机切割水稻茎秆
卷扬挂钩	人工将挂钩连接在浮板两侧
浮板提升	动力机构驱动卷扬装置提升浮板
爪钩锁扣	浮板到达传送平台入口时爪钩锁扣边缘
传送带输送	主辅传送带输送浮板至分离工位
杯板分离	传送带暂停施加压力使种植杯脱离

现有水生水稻收获装备可分为水上收割船、两栖履带收割机、浮箱采收设备三类。水上收割船吃水固定，难以适应沉陷区水深不均、岸线凹凸的复杂水域；两栖履带收割机在沉陷区饱和软淤岸基易下陷打滑，仅能在硬质陆域作业，无法匹配浮板水稻采收模式；传统浮箱采收设备缺少浮板牵引、岸边输送一体化机构，大面积连片水域连续作业效率不足。本文设计的驳岸可调收割装置配备多级伸缩支腿适配水位波动，集成浮板链一体化转运系统，有效弥补了现有装备不适用于采煤沉陷积水区浮板水稻采收的技术缺陷。设计思路见表 1。

2.3. 水稻单元构建与整体框架

本示例中漂浮水稻的最小种植单元为长 1 m、宽 0.5 m 的种植浮板。水稻收割单元的构建拼接如图 2 所示，将 12 块长为 1 m、宽为 0.5 m 的种植浮板长边对齐进行拼接，拼接处由螺母进行固定，构成长 6 m、宽 1 m 的小收割单元，便于种植浮板后续回收。具体设计步骤与相关操作见表 1。其中，小收割单元之间采用四角架拼接成一条漂浮水稻收割链。为防止漂浮水稻种植浮板在传送过程中发生脱落，四角架 7 的四只脚向内侧倾斜 5°；同时，考虑到收割装置的最大拉力以及浮板之间的承受能力，单次收割单元拼接数量不大于 4 个。

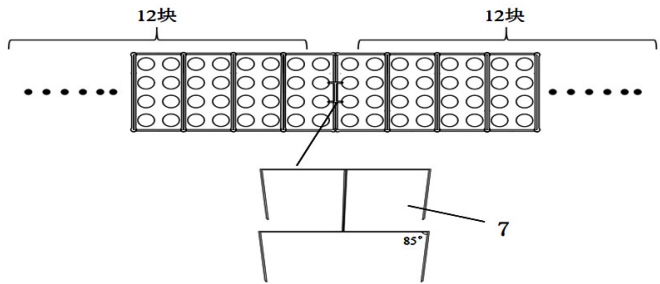


Figure 2. Schematic illustration for construction and assembly of floating rice harvesting units
图 2. 水稻收割单元的构建拼接示意图

基于联合收割机主体，设计了“传送、调节、卷扬、分离”集成系统，并明确了各模块的协同工作逻辑。该系统主要由收割装置、传送平台、可调节支架、卷扬装置、工作平台及分离装置组成：联合收割机固定于工作平台上，传送平台架设于可调节支架之上，其一端配置卷扬装置，另一端配置分离装置[13]-[15]。收割装置整体示意图如图 3 所示。

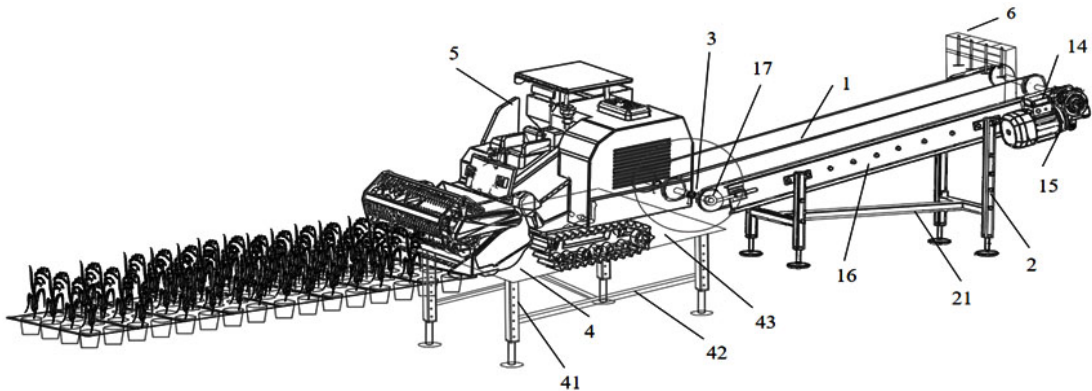


Figure 3. Schematic diagram of the whole harvesting device
图 3. 收割装置整体示意图

3. 结果与讨论

3.1. 关键部件

收割装置包括联合收割机 5、传送平台 1、可调节支架 2、卷扬装置 3、联合收割机工作平台 4、分离装置 6。联合收割机 5 置于联合收割机工作平台 4 上，传送平台 1 置于可调节支架 2 上，传送平台 1 的一端设置卷扬装置 3，另一端设置分离装置 6。卷扬装置 3 用于卷扬被联合收割机 5 收割后的漂浮水稻种植浮板；传送平台 1 用于传送被卷扬装置 3 卷扬的漂浮水稻种植浮板，并由分离装置 6 分离漂浮水稻种植浮板上的种植杯。

3.1.1. 联合收割机

联合收割机 5 的核心结构有切割器、拨禾轮、脱粒滚筒、清选装置、输送器及动力行走系统，能够完成水稻茎秆的切割与输送、谷粒的脱粒与分离、杂质清除以及整机田间移动等工作，通过各部件协同作业实现从水稻收割到清洁谷粒收集的全流程机械化操作[16]-[18]。

3.1.2. 传送平台

传送平台 1 包括位于两侧的护链板 16、主传送带 11，及位于主传送带 11 之间的辅助传送带 12、动力机构 15、控制台 14。在主传送带 11 一端的两个滑轮 17 上分别设置有一爪钩 13，用于辅助抓取被联合收割机 5 收割后的漂浮水稻种植浮板。辅助传送带 12 表面设有橡胶材质的突起，用于增加与漂浮水稻种植浮板之间的摩擦；动力机构 15 为传送平台 1 与卷扬装置 3 的动力系统，可以是电机等[19]。控制台 14 用于调节传送带的转速和转向，从而控制水稻收割速度。

3.1.3. 可调节支架

可调节支架 2 安装于传送平台 1 的下方，用于调节传送平台 1 的坡度和高度。具体地，可调节支架 2 与护链板 14 连接用于支撑传送平台 1，可调节支架 2 的支腿可上下调节，同时第一工字架 21 固定在四条支腿之间，用于加固可调节支架 2 的稳定性。在实际应用中，传送平台 1 设置卷扬装置 3 的一端高度略低于联合收割机 5 工作平台的高度，便于收割后的漂浮水稻种植浮板落在传送平台 1 上传送。

3.1.4. 联合收割机工作平台

联合收割机工作平台 4 包括钢板 43、位于钢板 43 四端的支腿 41，支腿 41 为可调节支腿，用于调节联合收割机 5 的高度。具体地，可调节支架 2 与可调节支腿可采用液压支腿等自动调节方式，也可以手动调节。为增加联合收割机工作平台 4 的稳定性，在四条支腿 41 之间设置第二工字架 42。联合收割机工作平台 4 岸边固定时，通过调节支腿使钢板 41 距离水面 5 cm 左右，确保种植浮板能够从联合收割机工作平台 4 下方顺利通过完成水稻收割的同时遗留较短的水稻根部。

3.1.5. 卷扬装置

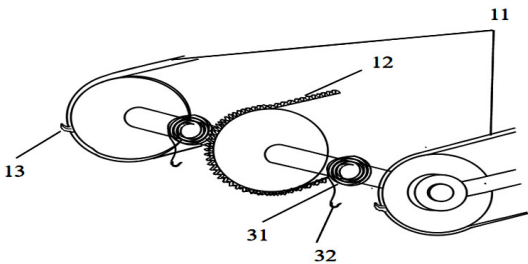


Figure 4. Schematic diagram of winch device
图 4. 卷扬装置示意图

卷扬装置如图 4 所示,包括钢索 31、挂钩 32,设置在设有爪钩 13 的两滑轮 17 之间的转轴上,可提升被联合收割机 5 收割后的漂浮水稻种植浮板。卷扬机的设计主要是总体方案的选型、计算各零件尺寸与零件强度校验,必须严格按照标准来计算。在标准减速器可以达到要求的情况下,可以确定机构传动比然后直接选择标准减速器。对于齿轮零件,需要详细计算所有的数据并校核[20]。

3.1.6. 分离装置

分离装置如图 5 所示,包括外框架 64、曲柄 61、连杆 62、齿扇 63、一组相互连接的等间距排列的压力杆 65 及对应的压力杆套筒 66。压力杆 65 共有四支,等间距排列在外框架 64 所在平面内,由连接杆 69 连接使其可以同步运动,压力杆 65 的下端设置有压盘 68,用于增大与种植杯的接触面积。压力杆套筒 66 共有四个,四支压力杆 65 分别穿过对应的压力杆套筒 66,四个压力杆套筒 66 由固定杆 67 连接固定在外框架 64 左右两侧,压力杆 65 可在压力杆套筒 66 中上下滑动。曲柄 61、连杆 62、齿扇 63 依次转动连接,齿扇 63 的扇柄处由滑轮结构固定在外框架 64 的一侧,齿扇与一个压力杆 65 齿啮接触连接,将动力传递给压力杆 65 使其在对应的压力杆套筒 66 中上下运动,压力杆 65 向下时压力盘 68 对种植杯施加压力使其脱离漂浮水稻种植浮板。

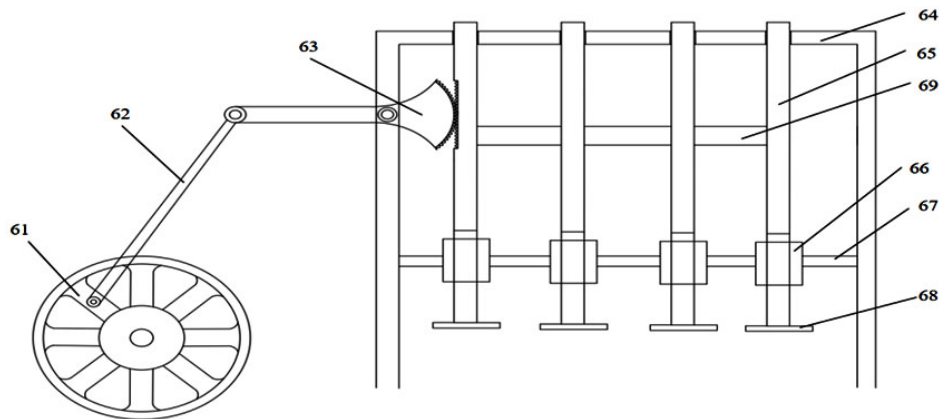


Figure 5. Schematic diagram of separation mechanism
图 5. 分离装置示意图

3.2. 收割流程

首先开展种植单元预处理工作,按照水稻成熟筛选标准挑选长势优良、完全成熟的漂浮水稻,将种植浮板沿长边拼接形成基础小收割单元,依靠四角架串联多个小单元组成连续收割链,整体转运至岸边等候机械化收割。

完成前期准备后开展收割装置布设,选取岸边地势平整区域布设联合收割机工作平台 4,依靠支腿 41 调控平台钢板 43 与水面间距约 5 cm,平台稳固后吊装联合收割机 5,保证收割头与平台平齐且外伸 10 cm,保障水稻进料切割顺畅。在工作平台 4 后侧开挖坡度 20°~30°的斜坡,于坡面架设传送平台 1,借助可调节支架 2 微调高度,使传送平台 1 进料端高程略低于收割机承载平台。

整机装配调试结束后启动收割作业,将组装完毕的收割单元牵引至工作平台 4 前端,开启动力机构 15,经由控制台 14 控制传送带反转,释放卷扬装置 3 的钢索 31,钢索穿过平台底部入水,利用挂钩 32 绑定收割单元两侧。启动联合收割机 5,切换传送带正向运转牵引浮板,收割单元送至传送平台 1 端头后摘除挂钩,依托主传送带 11 的爪钩 13 固定浮板,浮板随输送带后移过程中完成水稻切割收获。

水稻收割结束后进行杯板拆分,带种植杯的浮板沿传送平台 1 输送至分离装置 6 下方,由控制台驱

动压力杆 65 下行, 压盘 68 压紧种植杯, 借助机械压力实现种植杯和浮板分离。分离后的种植杯统一存放于岸边指定场地, 经清洗、晾晒实现循环复用, 无孔杯体结构能够有效避免破损, 配合专用晾晒架处理后可在下一生产周期继续投入种植。

最后对种植浮板与栽培基质统一回收资源化处理, 清理后的浮板可重复投入生产, 大幅缩减新材料采购成本; 从种植杯中脱出的土壤基质经过筛选、灭菌处理恢复栽培性能。整套回收方案既压缩生产投入、减少固体废弃物处置成本, 还能规避基质残留有害物质污染周边水土环境, 契合现代农业绿色可持续发展理念。

3.3. 技术成果

本研究设计了由联合收割机、传送平台、可调节支架、卷扬装置及分离装置构成的一体化收割装置, 通过模块化设计提升了各部件协同作业效率。传送平台辅助传送带表面的突起结构可有效增加摩擦力, 搭配主传送带滑轮上的爪钩装置, 实现收割浮板的稳定抓取与输送; 可调节支架与可调节支腿设计, 能灵活调整装置坡度与高度, 确保种植浮板顺畅通过; 卷扬装置通过钢索与挂钩的组合, 提升种植浮板以传送至分离装置; 分离装置采用曲柄-连杆-齿扇传动结构, 驱动压力杆与压盘上下运动, 实现种植杯与浮板的分离。

设计了漂浮水稻单元构建拼接方法, 将浮板对齐拼接成收割单元, 再通过四角架拼接形成收割链, 既便于种植浮板的规模化运输, 又能匹配收割装置的拉力负荷, 避免传送过程中发生脱落。此外, 收割装置中传送平台一端低于联合收割机工作平台的高度差设计, 结合 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的斜坡安放布局, 优化浮板从收割到传送的流畅性, 减少了机械卡顿风险。

设计通过机械结构与收割流程的双重创新, 增添了自动化抓取、智能传送、精准分离及地形自适应等功能, 实现了漂浮水稻的全流程机械化作业, 将传统低效率模式升级为机械化批量作业模式, 大幅提升漂浮水稻收割的工作效率, 为漂浮水稻在非传统耕地规模化种植提供了技术支撑[21][22]。

4. 结论

1) 本装置将联合收割机与传送平台、可调节支架、卷扬及分离装置优化组合, 可精准调控收割速率, 实现全流程机械化作业, 有效缩短作业时长、减少用工投入、降低人工成本。该改造突破了传统收割机的适用局限, 拓宽了设备应用场景, 提升了机具使用效益, 依托零部件优化创新探索了水上农业机械化新思路。

2) 岸边机械化收割漂浮水稻兼具生产、技术、生态与经济效益。机械化采收效率高, 减少了水上作业带来的水体污染, 从而保护水域生态; 同时, 减少粮食损耗, 稳固农户经济收入, 助力农业可持续发展与乡村振兴建设。

3) 本次研究完善了漂浮水稻机械化采收方案, 利于该项种养技术大范围落地推广。漂浮水稻可盘活闲置沉陷水域、抵御洪涝灾害, 配套收割技术能够充分挖掘其产能优势, 持续助推绿色农业长效发展。

基金项目

2025 大学生创新训练项目(202510361086) (S202510361180);

安徽省高潜水位矿区水土资源综合利用与生态保护工程实验室重点项目(2023-WSREPMA-01);

空间信息获取与应用安徽省联合共建学科重点实验室 2024 年度开放基金项目(2024tjxykjxx04)。

参考文献

- [1] 李凤明, 丁鑫品, 孙家恺. 我国采煤沉陷区生态环境现状与治理技术发展趋势[J]. 煤矿安全, 2021, 52(11): 232-239.

- [2] 张进德, 郝富瑞. 我国废弃矿山生态修复研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7921-7930.
- [3] 陈晓辉, 韦可民, 刘旭, 等. 漂浮水稻种植对沉陷区水体环境的影响研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2024, 44(6): 71-80.
- [4] 郎建, 李小龙, 张世文, 等. 基于机器学习的采煤沉陷区水体富营养化监测[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2024, 44(6): 99-108.
- [5] 李小龙, 陈永胜, 张世文, 等. 水样储存时间对“漂浮水稻”种植区水质检测影响[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2024, 44(6): 56-63.
- [6] 刘晓飞, 代占朝, 宋华, 等. 国内水稻联合收割机发展历程及趋势[J]. 拖拉机与农用运输车, 2024, 51(1): 1-4.
- [7] Guru, P.K., Sahu, P., Shukla, P., Diwan, P., Panwar, G., Tiwari, P., *et al.* (2025) A Critical Review on Rice Cultivation and Mechanization Level in Indian Perspective. *Results in Engineering*, **26**, Article 105632. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105632>
- [8] Ghosh, T.K., Singh, A.K., Mitra, S. and Karmakar, S. (2024) Gathering Insights of the Global Scenario of Floating-Bed Agriculture through Systematic Literature Review for Its Promotion in Indian Context. *Progress in Disaster Science*, **24**, Article 100367. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100367>
- [9] 李小龙, 云宇, 张世文, 等. 采煤沉陷区“漂浮水稻”生长特征及健康风险评价[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2025, 45(4): 9-18.
- [10] 朱志成. 水产养殖池塘水面种植水稻技术的应用研究[J]. 种子科技, 2023, 41(4): 49-51.
- [11] Zhao, X.H., Zhao, X.Y., Chen, C., *et al.* (2022) Ecological Floating Bed for Decontamination of Eutrophic Water Bodies: Using Alum Sludge Ceramsite. *Journal of Environmental Management*, **311**, Article 114845. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114845>
- [12] 胡宗军. 水稻收割机使用及关键技术分析[J]. 世界热带农业信息, 2025(6): 96-98.
- [13] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [14] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [15] 张留华. 联合收割机知识库系统设计及应用——基于乡村振兴背景[J]. 农机化研究, 2024, 46(10): 187-191.
- [16] 唐小涵, 金诚谦, 张国海, 等. 我国联合收获机脱粒分离装置的研究现状[J]. 农机化研究, 2022, 44(3): 1-9+15.
- [17] 徐立章, 李洋, 李耀明, 等. 谷物联合收获机清选技术与装置研究进展[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10): 1-16.
- [18] 杨俊茹, 高阳, 李瑞川, 等. 联合收割机液压部件监测系统设计与研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(1): 34-39.
- [19] 陈学亮. 高效节能型农业机械传动系统结构设计研究[J]. 机械管理开发, 2024, 39(12): 118-120+124.
- [20] 黄艳. 卷扬机传动装置的结构设计[J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37(2): 40-43.
- [21] Yang, M.D., Hsu, Y.C., Tseng, W.C., *et al.* (2025) Precision Assessment of Rice Grain Moisture Content Using UAV Multispectral Imagery and Machine Learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, **230**, Article 109813. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109813>
- [22] 吴海华, 李树君, 方宪法, 等. 我国农业装备产业升级研究[J]. 农业工程, 2014, 4(5): 5-9.