

农村生活污水水肥一体化 灌溉回用潜力分析

姚路路¹, 王 巍², 蔺素丽³, 常雅军²

(1. 宿迁经济技术开发区渔樵种植专业合作社, 江苏 宿迁 223800;
2. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 3. 大禹节水集团股份有限公司, 甘肃 酒泉 735008)

摘要:为高效资源化利用农村生活污水,本研究采用水肥一体化供试装置,对农村生活污水水肥一体化灌溉回用潜力进行了分析。结果显示,经供试装置处理后,农村生活污水的COD显著降低,DO显著提升,减少了粪大肠菌群和蛔虫卵数,提高了水资源利用的安全性。同时确保了处理后的水中氮、磷养分含量,对小麦进行水肥一体化灌溉,满足了小麦生长养分需求,确保了土壤安全性和小麦的产量和品质需求。

关键词:农村生活污水; 污水处理; 生活污水灌溉

中图分类号:TV138 文献标识码:A 文章编号:1007-7839(2024)08-0058-0006

Analysis on the potential of integrated irrigation of water and fertilizer for rural domestic sewage reuse

YAO Lulu¹, WANG Wei², LIN Suli³, CHANG Yajun²

(1. Yuqiao Cultivation Specialized Farmers' cooperatives, Suqian National Economic And Technological Development Area, Suqian 223800, China; 2. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing Botanical Garden MEM.SUN YAT-SEN, Nanjing 210014, China;
3. Dayu Water Conservation Group Co., Ltd., Jiuquan 735008, China;)

Abstract: In order to efficiently utilize rural domestic sewage as a resource, this study uses an integrated water and fertilizer supply system to analyze the potential for irrigation reuse of integrated water and fertilizer in rural domestic sewage. The results indicate that after treatment with the experimental system, the COD of rural domestic sewage significantly decreased, while DO increased significantly, reducing the levels of the fecal coliform and the roundworm egg count, thereby enhancing the safety of water quality utilization. Meanwhile, the water quality post-treatment ensures nitrogen and phosphorus nutrient content, enabling integrated water and fertilizer irrigation for wheat cultivation, which meets the wheat's nutrient requirements, ensuring soil safety and meeting the production and quality needs of wheat.

Key words: rural domestic sewage; sewage treatment; domestic sewage irrigation

收稿日期: 2024-02-27

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021051)

作者简介: 姚路路(1984—),女,硕士,主要从事资源利用和污染水体资源化利用工作。E-mail: 1826785227@qq.com

通信作者: 常雅军(1980—),女,副研究员,博士,主要从事水生植物资源开发与利用,污染水体的生物生态修复及其机理。E-mail: changyj@cnbg.net

农村生活污水是潜在的农业灌溉水源,尤其是富含氮、磷、钾等的农村生活污水,不仅可为农作物生长提供必需的营养元素,而且也可提高土壤肥力、改善土壤理化性质,降低富营养化水体污染环境的隐患^[1-2]。因此,农村生活污水的水肥一体化灌溉回用,在实现水资源和营养盐循环利用的同时,可有效增加农业用水供水量,减少生产成本,兼顾农业经济收益与生态效益。

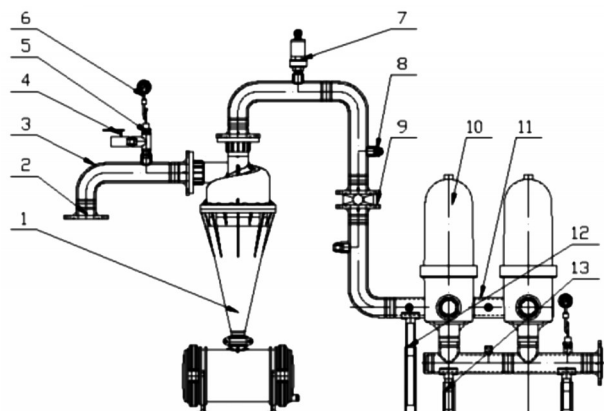
本研究采用水肥一体化灌溉回用供试装置,对农村生活污水进行水肥一体化灌溉处理,并对处理前后的水质、土壤以及农作物生长情况进行了检测分析,旨在为我国农村生活污水的资源化灌溉回用提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 水体过滤器处理生活污水的效果试验

1.1.1 供试装置

研究设计了符合高氮磷水质使用的离心叠片组合过滤器,其整体方案如图1所示。离心叠片手动过滤器主要由离心过滤器、叠片过滤器、储砂罐、连接管件、蝶阀等配件组装而成,设计时将各部件模块化拆解设计,全部实现利用常规注塑机注塑成型。



1-离心过滤器组合; 2-连接法兰; 3-连接弯头; 4-球阀; 5-对丝; 6-压力表; 7-排气阀; 8-补芯; 9-蝶阀; 10-叠片过滤器组合; 11-连接三通; 12-长支腿; 13-短支腿

图1 离心叠片组合过滤器结构示意图

1.1.2 试验设计与评价方法

供试装置于2022年底落地在南通市海安镇长塔村,进行生活污水处理。对供试装置处理的生活污水水体进行为期3个月的跟踪检测,在2023年4月20日、2023年5月10日和2023年6月2日分别对

供试装置处理生活污水的进水口(进水)以及出水口(出水)的水体进行取样检测,样品存于15 L灭菌的白色塑料桶中,并将其置于4℃冰箱中保存,检测水体基础指标、污染物指标和营养指标。

1.2 处理后生活污水灌溉小麦的效果试验

1.2.1 供试植物

供试植物为镇麦12号。

1.2.2 栽培试验与评价方法

在供试装置周边划出3块(3 m²×4 m²)试验样地,种植“镇麦12号”小麦,分别使用常规水体(CK)、进水口水体(进水)和出水口水体(出水)水体进行浇灌,待小麦成熟后,对小麦样地土壤进行取样,将样品置于-80℃冰箱中保存,检测营养元素(氮、磷和有机质以及病原微生物(16S)),并对试验小麦取样,进行拷种(株高、根重、茎重、穗重和千粒重)和品质检测(直链淀粉、总淀粉和粗蛋白含量)。

1.3 数据处理

16S微生物数据分析使用Python、R和Perl软件的版本分别为3.6.13、4.0.3和5.26.2。所有数据图表均在WPS Office 2023及Origin 2021软件中处理绘制,采用SPSS 26.0对实验结果进行单因素方差分析、显著性分析($P < 0.05$)及相关性分析,数值以平均值±标准误差表示。

2 结果与讨论

2.1 供试装置处理生活污水前后变化差异

为明确供试装置对农村生活污水的处理效果,对水体的各项指标进行为期3个月的检测。如表1所示,农村生活污水经试验装置处理后显著提高了水体中DO、C和ORP,并且显著降低了水体中COD。其中DO含量的提高尤为显著($P < 0.05$),由 1.69 ± 0.06 mg/L、 1.37 ± 0.01 mg/L和 1.56 ± 0.05 mg/L,分别提高至 5.61 ± 0.03 mg/L、 2.18 ± 0.09 mg/L和 2.66 ± 0.04 mg/L,极大提高了水体自净作用。同时,COD含量由 54.67 ± 3.18 mg/L和 29.67 ± 0.67 mg/L,分别降低至 42.67 ± 3.53 mg/L和 12.67 ± 2.19 mg/L,水体COD显著降低,水质得到有效改善。

另外,如图2所示,与农田灌溉水质标准(GB 5084—2021)对比发现,农村生活污水中所含的硫化物、石油类、挥发酚等污染物含量均低于农田灌溉水质标准。同时,经供试装置处理,进一步降低了LAS、硫化物、石油类、挥发酚等污染物的含量。尤其是粪大肠菌群和蛔虫卵数的含量下降显著,由

表1 农村生活污水处理前后基础水体指标对比

| 指标 | T/℃ | $\rho(\text{DO})/(\text{mg/L})$ | $\text{C}/(\mu\text{s}/\text{cm})$ | SAL/ppt | pH | ORP/mV | $\rho(\text{COD})/(\text{mg/L})$ |
|------------|-----|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------|------------|----------------------------------|
| 2023-04-20 | 进水 | 17.43±0.03 | 1.69±0.06 | 52.77±0.03 | 0.03±0.00 | 7.59±0.02 | 52.77±0.03 |
| | 出水 | 17.27±0.03 | 5.61±0.03** | 53.07±0.03** | 0.03±0.00 | 7.65±0.01 | 82.77±0.27** |
| 2023-05-19 | 进水 | 22.50±0.00 | 1.37±0.01 | 55.00±0.00 | 0.03±0.00 | 7.51±0.03 | 62.67±1.52 |
| | 出水 | 22.40±0.10 | 2.18±0.09** | 55.13±0.03* | 0.03±0.00 | 7.43±0.01 | 69.60±0.49* |
| 2023-06-02 | 进水 | 22.23±0.03** | 1.56±0.05 | 55.47±0.03 | 0.03±0.00 | 7.44±0.02* | 69.03±1.05 |
| | 出水 | 21.90±0.00 | 2.66±0.04** | 55.90±0.00** | 0.03±0.00 | 7.37±0.01 | 72.03±0.50 |

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

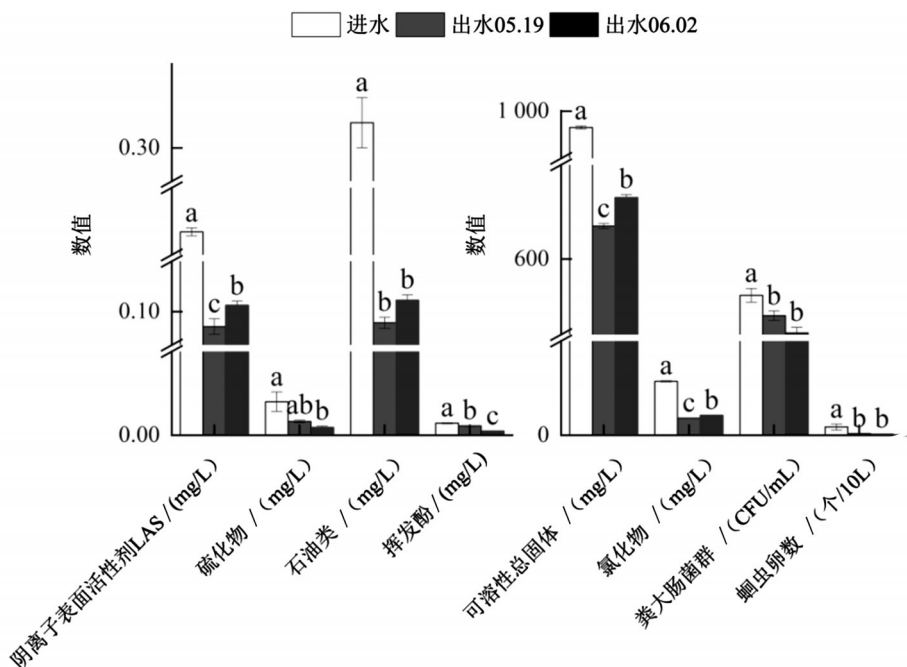


图2 农村生活污水指标

523.33±14.53 CFU/mL和17.67±6.49个/10L分别降低至443.33±12.02 CFU/mL和2.33±0.33个/10L。因此,采用水肥一体化供试装置,在一定程度上降低了农田灌溉水体的使用风险,提高了农作物的安全性。

试验期间,水体中TN和TP含量处理前后无显著变化(图3),表明该装置保留了水体原有的氮磷养分。然而,出水 NH_4^+-N 含量显著低于进水含量,由27.38±0.58、33.70±0.96和21.93±0.54 mg/L,分别降低至0.2±0.02、16.55±0.12和4.39±0.13 mg/L;出水 NO_3^--N 含量显著高于进水含量,由7.43±0.41、2.57±0.07和4.23±0.28 mg/L提高至14.57±0.71、12.93±

0.41和15.00±0.15 mg/L, NO_2^--N 含量整体上与之相似,显著高于进水水体含量,表明该装置使生活污水中的 NH_4^+-N 转化为 NO_3^--N 和 NO_2^--N ,氮元素的总量基本维持不变。

DO作为反应水质状况的重要指标,对维持水体生态系统的平衡至关重要;COD能有效反映水体受还原性物质污染的程度,是衡量水体受还原性物质污染程度的重要指标之一;当COD过高时,水体中DO降低,水体自净能力降低。供试装置提高了农村生活污水的水体DO,降低了水体COD含量,减少了污染物含量,确保了氮磷养分含量。此外, NH_4^+-N 是一种有效态氮素,可被植物直接吸收利

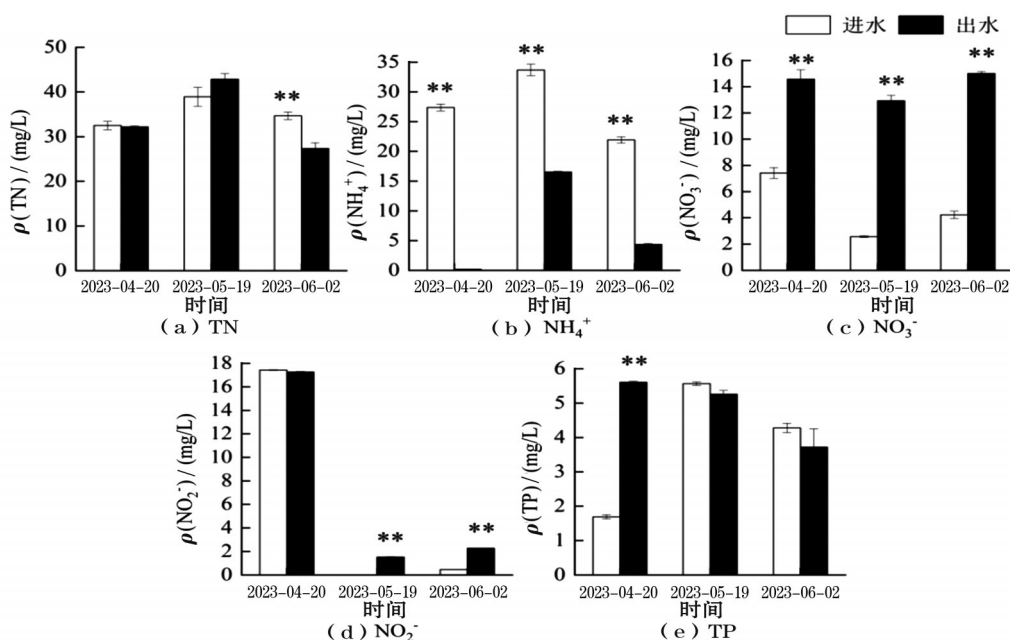


图3 农村生活污水水体营养元素变化

用,促进植物的生长;然而,过量的铵会对植物产生植物毒性效应,进而抑制植物生长。由此可见,供试装置对生活污水的处理,不仅有效降低了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 对农作物的毒害风险,而且确保了用生活污水灌溉回用的农作物氮素利用水平,有利于植物营养物质和水资源的供应。

2.2 生活污水灌溉小麦土壤元素变化

为明确经供试装置处理的生活污水灌溉利用对农田土壤的影响,对灌溉前后的农田土壤营养元素进行了检测。如图4所示,出水组灌溉的农田土壤中全氮和全磷含量显著低于进水灌溉组,分别为 4.00 ± 0.10 和 785.67 ± 19.10 g/kg;土壤有机质和有

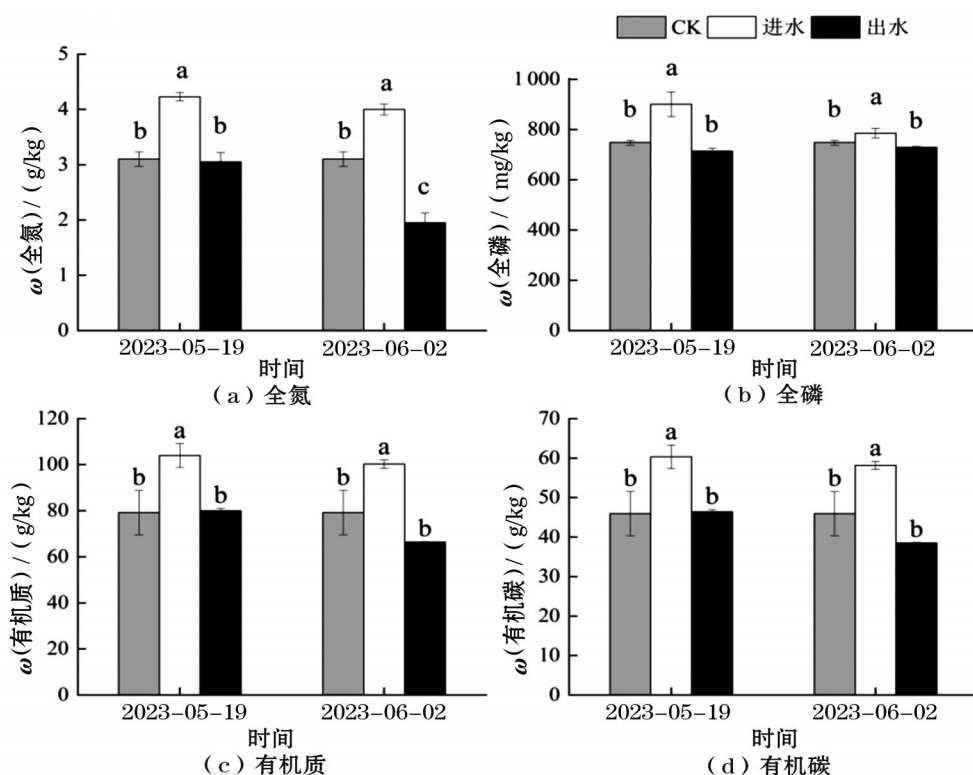


图4 小麦土壤营养元素变化

机碳结果与前者一致,分别为 100.25 ± 1.83 和 58.14 ± 1.06 g/kg。此外,与对照组相比,出水组灌溉的农田土壤中全氮、全磷、有机质和有机碳的含量无显著差异。该现象可能是未经处理的生活污水中全氮、全磷等营养物质未经转化,降低了植物吸收利用的效率,导致水体中的营养物质滞留在土壤中,增加了土壤中营养物质的含量。然而,处理过的生活污水中的营养物质则与前者相反,植物可以有效吸收利用,且与对照组无显著差异。

如图5所示,进水灌溉和出水灌溉的土壤所含 human pathogens pneumonia 的表达量显著低于对照组,其表达量分别为 70.00 ± 6.66 和 68.00 ± 14.22 ;且

土壤所含 human pathogens all 的表达量与对照组相比亦无显著差异。此外,进水组与出水组灌溉的土壤所含病原微生物的表达量之间无显著差异;对 human pathogens all 的表达量而言,出水组略高于进水组,这可能是由于高浓度 NH_4^+-N 破坏了病原微生物的细胞壁和细胞膜结构、干扰病原微生物的代谢过程,从而抑制了土壤病原微生物的生长和繁殖^[3-5]。与我国《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)相比,经生活污水灌溉的土壤所含的病原微生物不会对人体健康造成威胁,且营养水平及安全性满足我国农用地土壤污染风险管控标准要求。

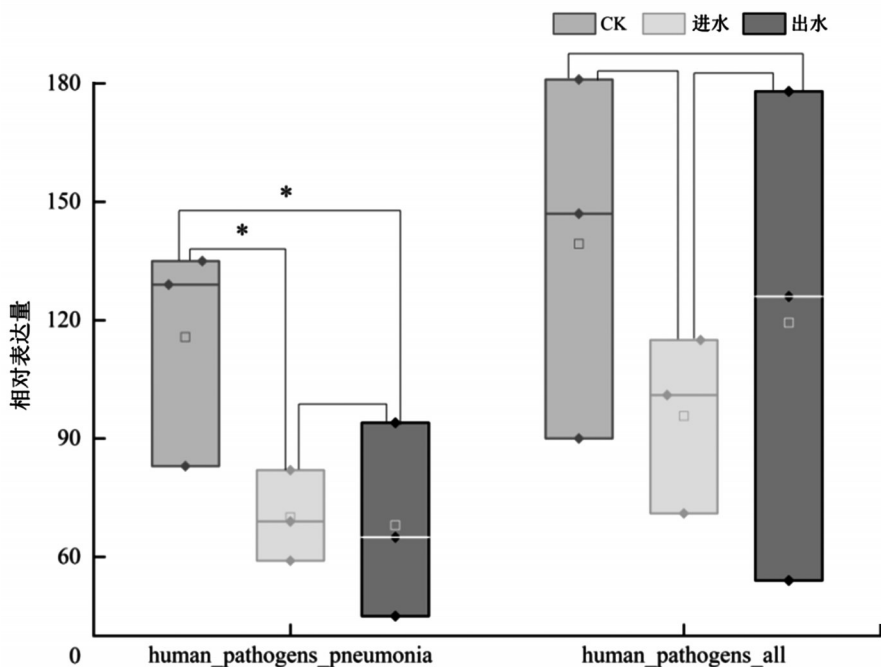


图5 小麦土壤中病原微生物的比较

2.3 生活污水灌溉小麦指标变化

为明确经处理后的生活污水灌溉利用对农作物生长的影响,对装置进水、出水灌溉的小麦进行生长指标和品质检测(图6)。出水组中小麦株高、根重以及茎重与进水组无显著差异,且小麦穗重和千粒重则显著高于进水组,分别为 10.79 ± 0.94 和 60.30 ± 0.51 g,表明处理后生活污水灌溉小麦,促进了小麦生长,提高了小麦产量。同时,出水组中小麦直链淀粉含量、总淀粉含量和粗蛋白含量与对照组无显著差异,表明处理后生活污水灌溉小麦,对小麦营养物质没有负面影响,其品质可达到我国小麦标准(GB/T 1351—2023)要求。这可能是未经处理的生

活污水中 NH_4^+-N 含量较高,不利于小麦对氮元素的吸收利用。高浓度 NH_4^+-N 会导致植物中毒,使得植物叶片褪绿、农作物产量下降和资源分配变化等。因此,经试验装置处理后的生活污水可用于农田小麦灌溉,既可为小麦提供生长所需水源,又可满足小麦生长的营养需求,确保小麦的产量和品质。

3 结 语

随着我国乡村振兴战略实施工作的稳步推进,农村生活污水处理工作取得了显著成效。但是,从碳减排和资源化利用的角度,将农村生活污水处理与高效节水灌溉技术有机结合的措施比较有限。

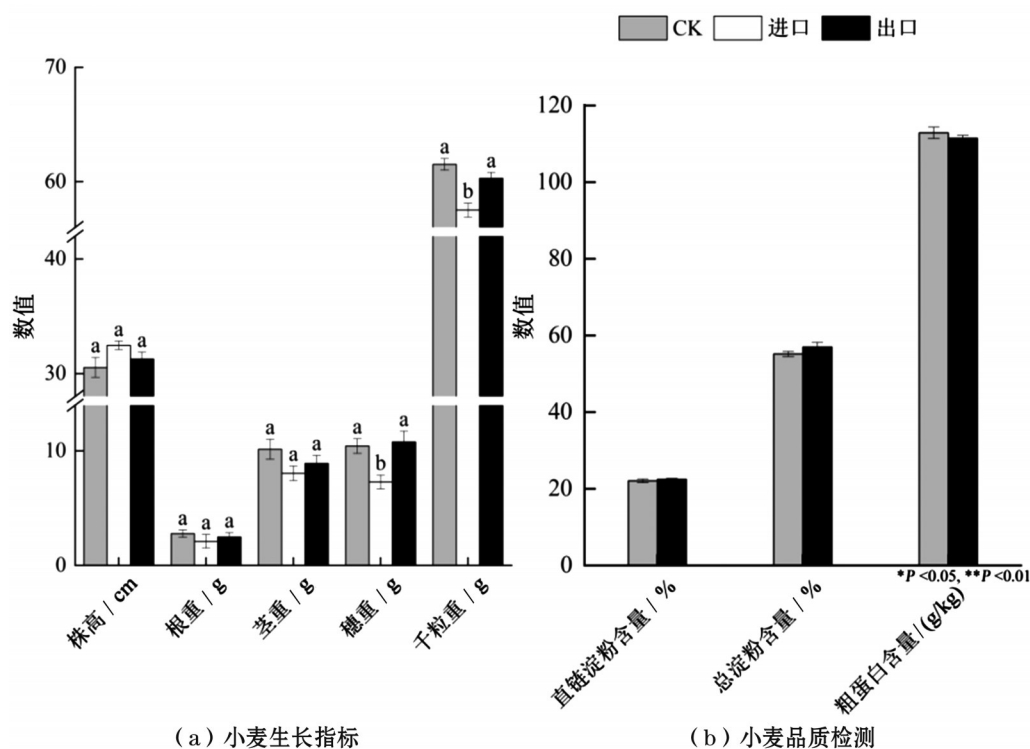


图6 小麦生长以及品质指标

本研究基于水肥同步供应装置研发,形成“农村生物污水处理-资源化安全性利用-高效节水灌溉-农作物安全生产”为一体的现代农业新技术,发现农村生活污水在通过水肥一体化供试装置后,水体DO显著提高、COD显著降低,进一步降低了水体中硫化物、石油类、挥发酚、可溶性总固体等物质含量,有效改善了农村生活污水水质,确保了生活污水灌溉回用的农作物氮素利用水平,有利于植物营养物质和水资源的供应,提高了灌溉利用后的农作物生长和食用安全性,对土壤养分、小麦产量无负面影响,小麦中蛋白含量达到了我国小麦生产标准(GB/T 1351—2023)要求。因此,本研究表明农村生活污水水肥一体化灌溉回用潜力显著,基于水肥一体化灌溉技术,可实现生活污水就地回用、重点河道源头保护、氮磷循环入土、农作物安全生长、水资源循环利用的生态循环模式,本研究为江苏省乡镇生

活污水用于农田灌溉提供了数据支撑和技术参考。

参考文献:

- [1] 李厚昌. 农村分散式生活污水处理尾水的稻田高效利用技术研究[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [2] 徐珊珊,侯朋福,范立慧,等. 生活污水灌溉对麦秸还田稻田氨挥发排放的影响[J]. 环境科学,2016,37(10): 3963-3970.
- [3] 陈红菊,王慧,孔维祎,等. 氨氮降解菌的筛选、鉴定与复合菌水质调控效果研究[J]. 水生生物学报,2019,43(4):875-883.
- [4] 楼菊青,李佳萍,王析镭. 氨氮对反硝化型甲烷厌氧氧化细菌的影响机理研究[J]. 环境科学学报,2018,38(8): 3036-3044.
- [5] 刘吉宝,牛雨彤,郁达伟,等. 零价铁对厌氧消化过程中氨氮抑制解除的影响[J]. 环境科学,2020,41(8):3731-3739.