

石 吕,薛亚光,韩 笑,等. 淹水条件下不同麦秸还田方式对田面水氮磷及 COD 浓度的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):247-252.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.02.040

# 淹水条件下不同麦秸还田方式对田面水氮磷及 COD 浓度的影响

石 吕,薛亚光,韩 笑,石晓旭,魏亚凤,杨美英,刘 建

(江苏沿江地区农业科学研究所/南通市循环农业重点实验室,江苏如皋 226541)

**摘要:**通过盆栽模拟淹水试验,设置秸秆不还田、仅秸秆泡田、覆盖、秸秆混施 8 cm、秸秆混施 16 cm、秸秆混施 24 cm 和秸秆混施 30 cm 共 7 个处理,研究在不同麦秸还田方式下,秸秆泡田耕作过程中 0~60 h 田面水氮磷及化学需氧量(COD)动态释放特征。结果表明,秸秆混施还田处理下,上覆水总氮浓度、硝态氮浓度和 COD 总体呈下降趋势。仅秸秆泡田处理上覆水总氮、铵态氮、总磷平均浓度均显著高于覆盖处理( $P<0.05$ ),而覆盖处理总氮、铵态氮、总磷和 COD 的平均浓度又显著高于不同秸秆混施深度处理。不同秸秆混施深度处理的总氮、铵态氮和硝态氮平均浓度均表现为秸秆混施 30 cm 处理>秸秆混施 24 cm 处理>秸秆混施 16 cm 处理>秸秆混施 8 cm 处理。与秸秆不还田处理相比,仅秸秆泡田处理和覆盖处理显著提高了上覆水总氮、铵态氮、总磷和 COD 的平均浓度,却显著降低了硝态氮的平均浓度;秸秆混施处理则显著提高了上覆水总氮和硝态氮的平均浓度,对铵态氮、总磷和 COD 的平均浓度则无显著影响。本试验条件下,秸秆全量还田情况下,应避免秸秆随意丢弃或覆盖还田,建议采用浅耕 8 cm 左右并延长泡田时间至 2.5 d 后再进行适当排水栽插,可有效减少稻季田面水径流养分流失和降低面源污染风险。

**关键词:**淹水条件;麦秸还田方式;氮;磷;COD

**中图分类号:**S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)02-0247-06

稻田作为河网地区主要农田,其径流中氮、磷流失是导致水网富营养化的重要面源污染物之一;降低稻田水的氮、磷浓度是减少稻田向水网排放氮、磷的重要途径,对减缓河湖水网的富营养化、改善水质具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。水稻高质机插过程一般包括麦秸切碎匀铺、上水泡田、旋耕埋草和精细整地 4 个步骤<sup>[3]</sup>。其中,上水泡田是一项重要的耕作措施,一方面有助于降解麦秸腐解前期释放的毒害物质,另一方面可软化稻田耕层,有利于水稻扎根,促进分蘖<sup>[4]</sup>。但并不是泡田时间越长越好,泡田时间过长会导致土壤板结、插秧难度增加和插秧效果差等问题<sup>[5]</sup>。秸秆还田后,在稻田泡田期经过自然分解,会释放出氮、磷和有机质等物质,从而构成农业面源污染的重要组成部分,导致水体恶化<sup>[6-7]</sup>,同时秸秆分解出的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  发生氨挥发,生成  $\text{NH}_3$  等

恶臭气体<sup>[8]</sup>。近年来,关于秸秆还田对径流氮、磷及 COD 流失已有较多报道<sup>[9-11]</sup>。有研究发现,泡田换水在促进水稻增产方面占有优势,且这种措施在实际生产中也已应用,但由于其在泡田 2 d 后要排放富含营养物及秸秆淋洗物的田面水至沟渠湖泊中,会对渔业及水体环境产生较大危害,存在一定的径流风险,因此仍不推荐将其作为减缓麦秸还田负面效应的有效措施<sup>[5]</sup>。而机插作业时若遇田面水过多或大雨等情况,须酌情减少排水量,以提高机插质量。此外,部分农民认为上茬稻秸还田会影响栽插效率和质量,便随之将其丢弃堆放到河沟里,经雨水冲刷亦会导致水污染。而这种污染程度如何?与秸秆还田相比如何?前人研究较少。

为此,本研究通过盆栽模拟试验,在淹水条件下进行不同麦秸还田方式对稻田水的氮、磷及 COD 养分浓度动态变化特征的定量研究,为合理界定秸秆还田的正、负效应,稻田径流养分流失控制和水质环境保护提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

秸秆取自于江苏沿江地区农业科学研究所试

收稿日期:2021-05-17

基金项目:国家重点研发计划子课题(编号:2016YFD0300903-02);

国家自然科学基金青年科学基金(编号:31601254)。

作者简介:石 吕(1991—),男,江苏泰州人,硕士,助理研究员,主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail:840241001@qq.com。

通信作者:刘 建,硕士,研究员,主要从事耕作栽培学研究。

E-mail:ntliuj@sina.com。

验田收获后的小麦作物,风干、粉碎至 8~10 cm,其全氮、全磷含量分别为 6.11、0.38 g/kg。沙壤土采自江苏沿江地区农业科学研究所试验田水稻土,风干、过筛 5 mm,pH 值 8.49、有机质含量 9.03 g/kg、全氮含量 0.54 g/kg、碱解氮含量 32.20 mg/kg、全磷含量 0.66 g/kg、速效磷含量 8.37 mg/kg。

### 1.2 试验地点与方法

试验于 2020 年 6 月在江苏沿江地区农业科学研究所盆栽场进行。采用盆栽试验,盆钵规格为高度 41 cm、内径 31.5 cm、外径 32 cm,每盆装土 30 kg。麦秸还田量为 7 500 kg/hm<sup>2</sup>,设置 5 个不同的麦秸还田深度处理,分别为 0 cm(覆盖)、秸秆混施 8 cm、秸秆混施 16 cm、秸秆混施 24 cm 和秸秆混施 30 cm,同时设置秸秆不还田和仅秸秆泡田 2 个对照,共计 7 个处理,每个处理 4 盆。上水后始终保持 8 cm 的水层,表面覆盖具孔塑料薄膜,以减少水分蒸发。分别在淹水后 6、12、18、24、30、36、42、48、60 h 采用 50 mL 医用注射器,小心抽取上覆水,并注入 250 mL 塑料瓶中,取样后立即带回实验室放入 4℃ 冰箱保存,并尽快测定。同时以等量水进行补充,确保系统质量一致性,试验重复 3 次。采集水样中总氮(TN)含量采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定;铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)含量采用钠氏试剂分光光度法测定;硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)含量采用酚二磺酸分光光度法测定;总磷(TP)含量采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定;化学需氧量(COD)采用重铬酸钾法<sup>[12]</sup>测定。

### 1.3 数据分析

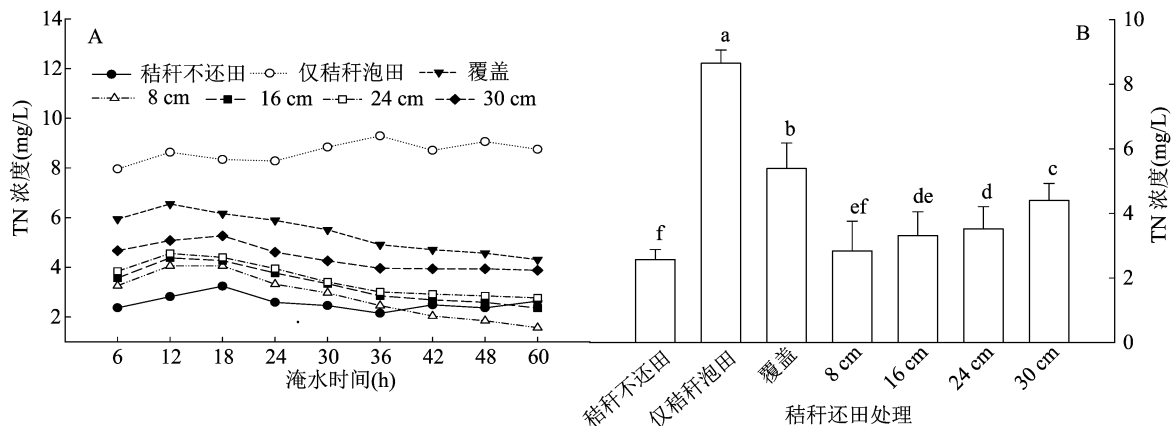
采用 Excel 2003 和 sigmaplot10.0 进行数据处理与作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度的影响

从图 1-A 可以看出,不同处理上覆水 TN 浓度范围为 1.57~9.29 mg/L。所有处理上覆水 TN 浓度在淹水后 12~18 h 首次达到峰值,之后至 60 h 内呈下降趋势(秸秆不还田处理和仅秸秆泡田处理有阶段性波动上升趋势),TN 浓度动态趋势值总体表现为仅秸秆泡田处理>覆盖处理>秸秆混施 30 cm 处理>秸秆混施 24 cm 处理>秸秆混施 16 cm 处理>秸秆混施 8 cm 处理>秸秆不还田处理,其中秸秆不还田处理在 39~60 h 内稍高于秸秆混施 8 cm 处理。图 1-B 为不同处理上覆水 TN 浓度动态平均值,除秸秆混施 8 cm 处理与秸秆不还田处理、秸秆混施 16 cm 处理与秸秆混施 8 cm 处理、秸秆混施 24 cm 处理与秸秆混施 16 cm 处理间无显著差异外,其余各处理间均差异显著( $P<0.05$ )。与秸秆不还田处理相比,仅秸秆泡田处理、覆盖处理、秸秆混施 30 cm 处理、秸秆混施 24 cm 处理、秸秆混施 16 cm 处理和秸秆混施 8 cm 处理上覆水 TN 浓度分别增加 236.78%、109.99%、71.33%、37.16%、29.02% 和 10.70%。可以看出,不同秸秆还田处理显著增加上覆水 TN 浓度(秸秆混施 8 cm 处理除外),其中仅秸秆泡田处理增幅最大。

从图 2-A 可以看出,仅秸秆泡田处理上覆水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度在 6~60 h 呈波动性变化趋势,覆盖处理上覆水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度在 6~18 h 急剧下降,之后保持相对平稳,其他 5 个处理则始终无明显变化。图 2-B 为不同处理上覆水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度动态平均



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下图同  
图1 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 TN 浓度的影响

值,总体表现为仅秸秆泡田处理 > 覆盖处理 > 秸秆不还田处理 > 秸秆混施 30 cm > 秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆混施 8 cm 处理的趋势,其中仅秸秆泡田处理显著高于其他 6 个处理,6 个处理间无显著差异。与秸秆不还田处理相比,仅秸秆泡田处理和覆盖处理上覆水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度分别增加 1 015.64% 和 159.19%; 秸秆混施 30 cm

处理、秸秆混施 24 cm 处理、秸秆混施 16 cm 处理和秸秆混施 8 cm 处理上覆水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度分别降低 4.67%、6.88%、14.46% 和 24.93%。可以看出,仅秸秆泡田处理和覆盖处理分别明显增加了上覆水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度,其他处理则降低了上覆水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度(差异均未达显著水平)。

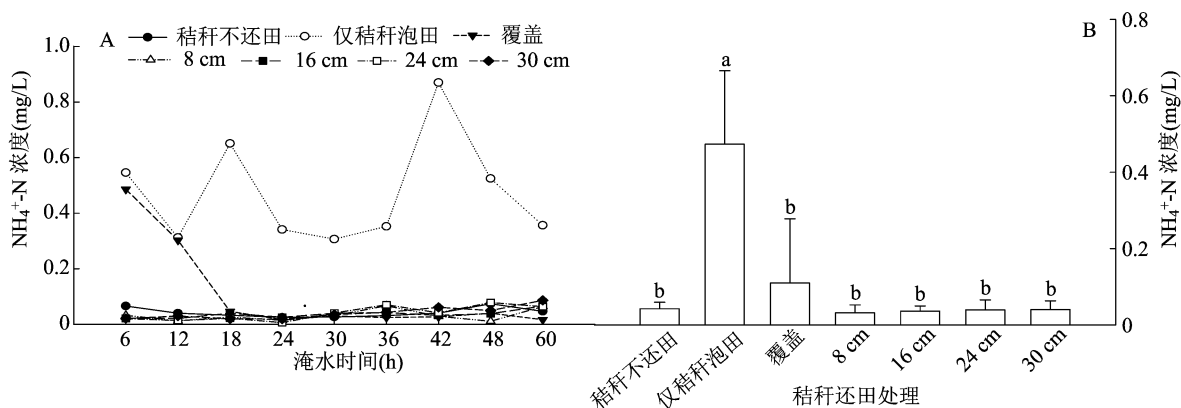


图2 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度的影响

从图 3 - A 可以看出,秸秆混施 30 cm 处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度始终最高,其他几个处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度在 6 ~ 24 h 区间内,表现为秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 8 cm 处理 > 秸秆不还田处理 > 仅秸秆泡田处理 > 覆盖处理,24 ~ 60 h 内则表现为秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆不还田处理 > 秸秆混施 8 cm 处理 > 覆盖处理 > 仅秸秆泡田处理;其中不同秸秆混施还田深度处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度始终呈下降趋势,而秸秆不还田处理、仅秸秆泡田处理和覆盖处理则总体表现为“降—升—降”的趋势。图 3 - B 为不同处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度动态平均值,表现为秸秆混施 30 cm 处理 > 秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆混施 8 cm 处

理 > 秸秆不还田处理 > 覆盖处理 > 仅秸秆泡田处理,部分处理间差异显著。与秸秆不还田处理相比,仅秸秆泡田处理和覆盖处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度分别降低 78.11% 和 77.67%; 秸秆混施 30 cm 处理、秸秆混施 24 cm 处理、秸秆混施 16 cm 处理和秸秆混施 8 cm 处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度分别增加 90.99%、44.42%、41.00% 和 0.44%。可以看出,仅秸秆泡田和覆盖处理显著降低了上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度,其他处理则与之相反,显著增加了上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度(秸秆混施 8 cm 处理除外)。

## 2.2 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 TP 浓度的影响

从图 4 - A 可以看出,秸秆不还田处理和秸秆混施 8、16、24、30 cm 处理上覆水中 TP 浓度范围为

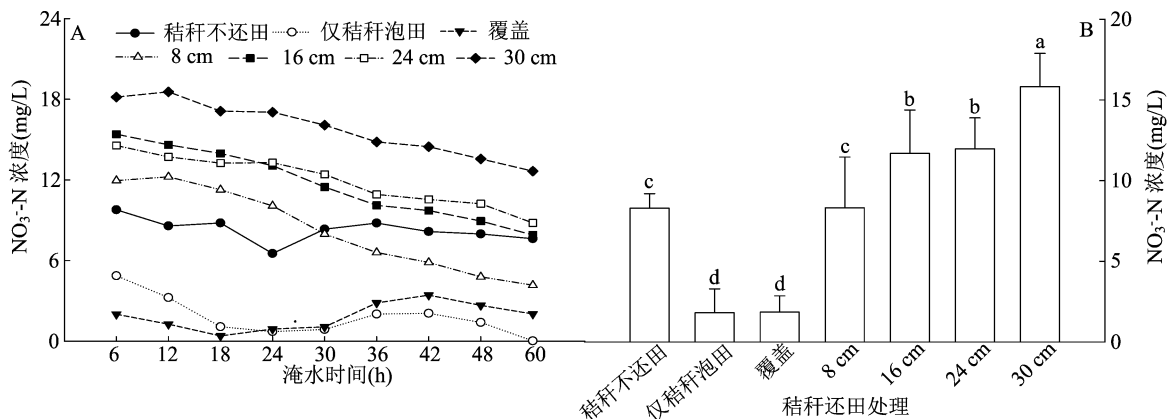


图3 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度的影响

0.05 ~ 0.52 mg/L, 覆盖处理上覆水 TP 浓度范围为 0.61 ~ 1.17 mg/L, 仅秸秆泡田处理上覆水 TP 浓度范围为 1.30 ~ 1.99 mg/L; 所有处理上覆水的 TP 浓度在淹水后 6 ~ 12 h 骤降, 之后至 60 h 内, 仅秸秆泡田处理总体呈波动性上升趋势, 覆盖处理先升高后降低, 其他 5 个处理基本无明显变化。不同处理上覆水 TP 浓度动态平均值均表现为仅秸秆泡田处理

显著高于覆盖处理, 两者又显著高于其他 5 个相互间无显著差异的处理 (图 4 - B); 与秸秆不还田处理相比, 仅秸秆泡田处理和覆盖处理上覆水 TP 浓度分别显著增加 555.84% 和 216.25%。可以看出, 仅秸秆泡田和覆盖处理可显著增加上覆水 TP 浓度, 秸秆还田 8 ~ 30 cm 处理对上覆水 TP 浓度无显著影响。

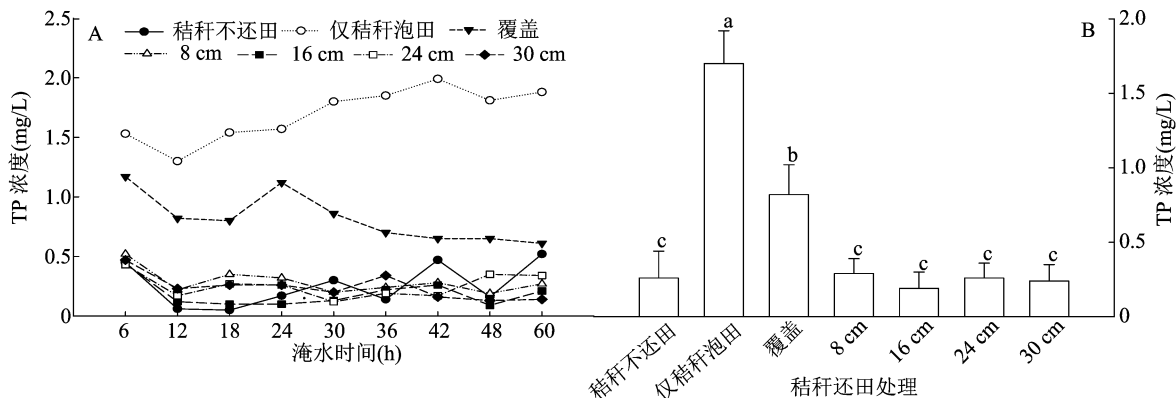


图4 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 TP 浓度的影响

### 2.3 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 COD 浓度的影响

从图 5 - A 可以看出, 仅秸秆泡田和覆盖处理上覆水 COD 浓度 60 h 内总体呈上升趋势, 其中秸秆泡田处理 30 ~ 42 h、覆盖处理 18 ~ 24 h 上覆水 COD 浓度均有所下降; 而秸秆不还田处理、秸秆混施 8 cm 处理、秸秆混施 16 cm 处理 30 ~ 36 h 和秸秆混施 24 cm 处理、秸秆混施 30 cm 处理 24 ~ 30 h 上覆水 COD 浓度骤降。COD 浓度动态平均值总体表现为覆盖处理 > 仅秸秆泡田处理 > 秸秆混施 8 cm 处理 > 秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 30 cm 处理 > 秸秆不还田处理 (其中淹水 30 h 时秸秆不还田处理上覆水 COD 浓度稍高于秸秆混施 24 cm 和 30 cm 处理)。图 5 - B 为不同处理上覆水 COD 浓度动态平均值, 与动态趋势值规律基本一致, 其中不同秸秆混施深度处理与秸秆不还田处理间无显著差异; 覆盖处理显著高于仅秸秆泡田处理, 同时两者又显著高于其他各处理。与秸秆不还田处理相比, 覆盖处理、仅秸秆泡田处理、秸秆混施 8 cm 处理、秸秆混施 16 cm 处理、秸秆混施 24 cm 处理和秸秆混施 30 cm 处理上覆水 COD 浓度分别增加 971.89%、842.83%、83.50%、49.77%、22.37% 和 10.66%。可以看出, 在秸秆不还田和秸秆混施还田情形下, 淹水 24 ~ 36 h 是上覆水 COD 浓度降低最明显时间段; 覆盖处理和仅秸秆

泡田处理始终增加上覆水 COD 浓度; 相比秸秆不还田处理, 不同处理均有增加上覆水 COD 浓度趋势, 其中覆盖处理最为显著, 仅秸秆泡田处理次之, 秸秆混施 30 cm 处理效应最低。

### 3 结论与讨论

杨志敏等研究发现, 淹水条件下, 上覆水 TN 浓度表现为持续下降, TP 浓度表现为急促上升后再持续下降, COD 浓度则为缓慢上升后再下降<sup>[13]</sup>。贾蕾等通过模拟田间施肥试验发现, 小麦和油菜 2 种秸秆翻埋还田后, 稻田水 TN 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度均持续下降, TP 浓度总体表现为下降趋势, 前 21 d 下降幅度最明显<sup>[14]</sup>。本研究发现, 不同秸秆混施深度处理在淹水 12 ~ 18 h 后上覆水 TN 浓度持续处于下降状态, 可能是因为施入秸秆后能为微生物的生长提供充足碳源, 而微生物为了满足自身对养分的需求, 就要不断从环境中补充氮源, 尽管秸秆在腐解过程中会分解释放部分氮素, 但释放出来的氮素很快又会被微生物吸收同化, 仅有很少部分可溶态氮素会进入到田面水中<sup>[15]</sup>; 不同秸秆混施深度处理上覆水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度总体表现为下降趋势,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TP 浓度则无明显变化规律, COD 浓度总体在淹水 24 ~ 36 h 表现为骤降趋势; 秸秆不还田、覆盖和仅秸秆泡田处理上覆水 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TP、COD 浓度均有波动性上升趋势, 其中仅秸秆泡田处

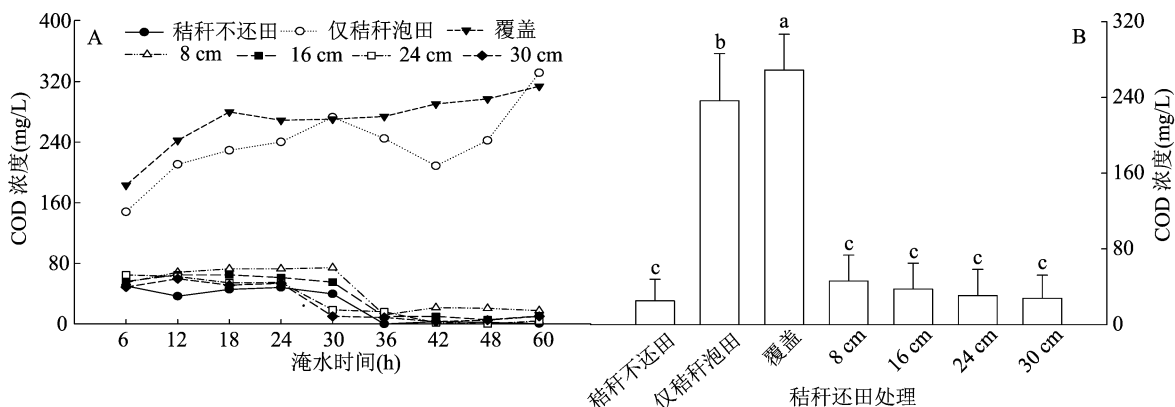


图5 淹水条件下不同麦秸还田方式对上覆水 COD 浓度的影响

理更为明显。

同时,本试验发现,仅秸秆泡田处理上覆水  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  平均浓度值均显著高于覆盖(COD 与之相反, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度两者之间无显著差异),而覆盖处理  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  和 COD 平均浓度值显著高于不同秸秆混施深度处理( $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度与之相反);不同秸秆混施深度处理  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均浓度值均表现为秸秆混施 30 cm 处理 > 秸秆混施 24 cm 处理 > 秸秆混施 16 cm 处理 > 秸秆混施 8 cm 处理,COD 趋势则与之相反, $\text{TP}$  浓度无明显变化规律,其中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  和 COD 平均浓度在不同秸秆混施深度处理间均无显著差异。而杨志敏等研究发现,淹水条件下,秸秆覆盖上覆水的  $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 、COD 浓度高于秸秆翻埋<sup>[13]</sup>。夏小江的研究则表明,不论秸秆还田与否,不同耕作方式下稻田径流水中氮磷养分浓度和径流流失量均表现为翻耕 < 旋耕 < 免耕,从控制氮磷养分径流流失的角度看,秸秆还田与翻耕结合更能有效地减少氮磷养分径流浓度和径流流失量,对农田有着显著的保肥作用<sup>[16]</sup>。本试验结果与之既有一定相似之处,也存在较大不同。相似可能因为淹水状态下,覆盖处理的秸秆基本上处于好气环境,淹水初期秸秆分解速度快,可溶性有机氮水解形成氨基酸态氮易溶于水,释放  $\text{NH}_4^+$ ,此时水溶液中受纳  $\text{NH}_4^+$  累积增多,相应  $\text{TN}$  浓度也会升高;而翻埋处理的秸秆没有直接接触水和大气,处于缺氧或厌氧状态,腐解缓慢,所释放的氮素随蒸散作用从淹水层向上层水移动,造成上覆水  $\text{TN}$  浓度缓慢上升<sup>[13]</sup>。可能因为深耕对土壤扰动强度较大,土壤中氮素向田面水中释放的  $\text{TN}$  也较多;浅耕对土壤扰动较小,其田面水中  $\text{TN}$  浓度较低<sup>[17]</sup>。田面水中硝态氮主要来自于田面水中硝化作用生成的和土壤中原有的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,免

耕处理  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度之所以低于浅耕处理和深耕处理,可能是因为淹水后随土壤溶液进入田面水的原始  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量相对较少所致<sup>[17]</sup>。从减少田面水中氮磷的绝对流失量出发,夏季浅耕不失为最佳清洁耕作模式;同时在滞水 5 d 后排水,能有效减少田面水中氮磷的流失量,减少稻田排水对面源污染的影响<sup>[17]</sup>。

众多研究表明,秸秆还田可降低稻田水  $\text{TN}$  和  $\text{TP}$  浓度、径流流失量及损失<sup>[11,16,18-20]</sup>,减少农田径流养分流失和对水网的潜在面源污染<sup>[19,21]</sup>。还有研究发现,秸秆还田显著降低径流总氮浓度,但增加总磷和 COD 的含量<sup>[9]</sup>。本研究发现,与秸秆不还田处理相比,仅秸秆泡田处理和覆盖处理显著提高了上覆水  $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  和 COD 的平均浓度,却显著降低了  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的平均浓度;秸秆混施处理则显著提高了上覆水  $\text{TN}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的平均浓度,对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  和 COD 的平均浓度则无显著影响。以上现象与杨志敏等的研究结果<sup>[13-14]</sup> 有相似之处。秸秆还田处理提高上覆水  $\text{TN}$  浓度原因:一是因为淹水条件下土壤微生物处于厌氧或缺氧状态,秸秆在土壤微生物作用下开始腐解,会直接释放一定的氮素进入淹水层,在蒸散作用下向上层水移动而使  $\text{TN}$  浓度偏高<sup>[13]</sup>;二是秸秆还田能明显提高土壤总水解氮含量,而土壤总水解氮即为上覆水  $\text{TN}$  的主要来源<sup>[22]</sup>;三是秸秆还田量太高,增加总氮浓度,在降雨条件下增加氮素流失<sup>[23]</sup>。秸秆在微生物作用下开始腐解释放腐殖酸到水中,降低了土壤 pH 值,使土壤中部分磷酸盐溶解从而导致  $\text{TP}$  浓度增加<sup>[13]</sup>。秸秆的添加增加了 COD 流失风险,是因为随着微生物分解秸秆中纤维素、半纤维素等组分,以及本身的新陈代谢、死亡等增加了 COD 含量<sup>[9]</sup>。赵亚慧等的研究表明,秸秆还田具有一定的保肥能

力,泡田不会增加稻田养分的流失风险,翻耕、泡田换水、延长泡田时间等水肥管理措施均能有效减缓麦秸还田对水稻生长带来的负面效应,进而促进植物养分吸收及增加作物产量<sup>[5]</sup>。考虑环境风险等综合效应,在麦秸还田时采用翻耕和延长泡田时间是较好的稻田田间管理措施。

综合考虑,本研究是未考虑施肥和水稻种植情况下的结果,且是在人为控制条件下的短期盆栽模拟试验,和大田实际情况存在一定差异,加之试验土壤类型和生态环境气候与前人有所区别,有些现象还需进行进一步定量研究和反复验证。本试验条件下,秸秆全量还田情况下,应避免秸秆随意丢弃或覆盖还田,建议采用浅耕 8 cm 左右并延长泡田时间至 2.5 d 后再进行适当排水栽插,可有效减少稻季田面水径流养分流失和面源污染。

#### 参考文献:

- [1] 张志剑,王珂,朱荫渭,等. 水稻田表水磷素的动态特征及其潜在环境效应的研究[J]. 中国水稻科学,2000,14(1):55-57.
- [2] 张志剑,董亮,朱荫渭. 水稻田面水氮素的动态特征、模式表征及排水流失研究[J]. 环境科学学报,2001,21(4):475-480.
- [3] 稽友权,高红权,董文霞. 涟水县机插粳稻绿色高质高效栽培技术[J]. 农业开发与装备,2019(8):196-197.
- [4] 陈惠哲,徐一成,向镜,等. 免耕条件下泡田对土壤容重及水稻机插质量的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2015,36(3):79-82.
- [5] 赵亚慧,王宁,查显宝,等. 麦秸还田下翻耕和不同水肥管理措施对稻田理化性质及水稻产量的影响[J]. 农业资源与环境学报,2020,37(2):195-201.
- [6] 张赟. 模拟水分对秸秆释放主要面源污染物的影响[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [7] 常志州,黄红英,靳红梅,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践:氮磷养分循环利用技术[J]. 农业环境科学学报,2013,32(10):1901-1907.
- [8] 冯绍元,郑耀泉. 农田氮素的转化与损失及其对水环境的影响[J]. 农业环境保护,1996,15(6):277-280.
- [9] 龚静静,靳玉婷,胡宏祥,等. 稻秸还田对油菜季径流氮磷及 COD 流失的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(4):24-29.
- [10] 朱坚,纪雄辉,田发祥,等. 秸秆还田对双季稻产量及氮磷径流损失的影响[J]. 环境科学研究,2016,29(11):1626-1634.
- [11] Wang J, Lü G, Guo X S, et al. Conservation tillage and optimized fertilization reduce winter runoff losses of nitrogen and phosphorus from farmland in the Chaohu Lake region, China [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2015,101(1):93-106.
- [12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 杨志敏,陈玉成,张赟,等. 淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征[J]. 生态学报,2012,32(6):1854-1860.
- [14] 贾蕾,张清东. 不同秸秆翻埋还田对农田水养分的动态影响[J]. 西南科技大学学报,2015,30(1):50-53,89.
- [15] 王静,郭熙盛,王青育,等. 秸秆还田条件下稻田田面水不同形态氮动态变化特征研究[J]. 水利学报,2014,45(4):410-418.
- [16] 夏小江. 太湖地区稻田氮磷养分径流流失及控制技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2012.
- [17] 冯国禄,杨仁斌. 耕作模式和滞水时间对稻田中氮磷动态变化的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2011,30(5):917-924.
- [18] 郭智,肖敏,陈留根,等. 稻麦两熟农田稻季养分径流流失特征[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1622-1627.
- [19] 朱普平,常志州,孙丽,等. 麦草还田及耕作方式对稻田水氮、磷浓度和水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学,2004(6):151-153.
- [20] 马南,陈智文,张清. 不同类型秸秆还田对土壤有机碳及酶活性的影响综述[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):53-57.
- [21] 龚静静,胡宏祥,朱昌雄,等. 秸秆还田对农田生态环境的影响综述[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):36-40.
- [22] 杨志谦,王维敏. 秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累与释放[J]. 土壤肥料,1991(5):43-46.
- [23] Yang H S, Xu M M, Koide R T, et al. Effects of ditch-buried straw return on water percolation, nitrogen leaching and crop yields in a rice-wheat rotation system[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2016,96(4):1141-1149.