



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

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

赵亚慧, 王宁, 查显宝, 冯长云, 于建光, 焦加国, 肖新

引用本文:

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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0043>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响

陈浩, 张秀英, 吴玉红, 李厚华, 郝兴顺, 王艳龙, 王薇, 张春辉

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 500–507 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0074>

秸秆还田配施石灰对水田土壤铜、锌、铅、镉活性的影响

倪中应, 沈倩, 章明奎

农业资源与环境学报. 2017, 34(3): 215–225 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0305>

玉米秸秆颗粒还田对土壤有机碳含量和作物产量的影响

张莉, 李玉义, 逢焕成, 王婧, 丛萍, 张珺瞳, 郭建军

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 160–168 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0137>

南方双季稻区生物质炭还田模式生态效益评价

陈春兰, 侯海军, 秦红灵, 王聪, 沈健林, 魏文学

农业资源与环境学报. 2016, 33(1): 80–91 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0180>

添加水稻秸秆对油菜(*Brassica napus* L.)幼苗生长的影响

余常兵, 胡威, 吕驰驰, 柯奇画, 李银水, 庞静

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 253–261 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0208>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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.

ZHAO Ya-hui, WANG Ning, ZHA Xian-bao, et al. Effects of plow tillage and different water and fertilizer management methods on the soil properties and rice yields of paddy under wheat straw returning[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(2): 195–201.

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

赵亚慧¹, 王 宁^{1,3}, 查显宝⁴, 冯长云⁵, 于建光^{1,2,3,4*}, 焦加国², 肖 新⁴

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2.南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 3.农业农村部江苏耕地保育科学观测实验站, 南京 210014; 4.安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 凤阳 233100; 5.江苏省仪征市陈集镇农业综合服务中心, 江苏 仪征 211408)

摘 要: 稻麦轮作系统中, 还田麦秸腐解产生的毒害物质会对水稻产生不利影响。为有效减缓秸秆还田带来的负面影响, 筛选适宜的耕作和水肥管理措施, 通过设置翻耕(FS+PT)、泡田换水(FS+WR, 2 d泡田后换水施肥)、延长泡田时间(FS+IP, 施肥后泡田7 d)、延长泡田时间并推迟施肥(FS+IP+FP, 泡田7 d后再施肥)处理的田间小区试验, 同时设置不施秸秆和化肥(CK)、单施化肥(F)、单施秸秆(S)以及施秸秆和化肥(FS)处理, 比较在施用秸秆和化肥的基础上, 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。结果表明: 延长泡田时间的两个处理(FS+IP和FS+IP+FP)能有效降低稻田田面水酚酸含量; 秸秆还田配合不同水肥管理措施处理稻田田面水氮磷含量明显低于F处理; 合理的施用秸秆能有效促进水稻生长发育, 特别是FS+PT处理, 其水稻有效穗数比秸秆还田FS处理提高19.9%, 其次为FS+WR处理, 比FS处理提高15.2%。研究表明, 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; 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。

关键词: 秸秆还田; 翻耕; 水肥管理; 田面水; 酚酸; 产量

中图分类号: S365

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2020)02-0195-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0043

Effects of plow tillage and different water and fertilizer management methods on the soil properties and rice yields of paddy under wheat straw returning

ZHAO Ya-hui¹, WANG Ning^{1,3}, ZHA Xian-bao⁴, FENG Chang-yun⁵, YU Jian-guang^{1,2,3,4*}, JIAO Jia-guo², XIAO Xin⁴

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China; 2. College of Resources and Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Scientific Observing and Experimental Station for Farmland Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 4. College of Resource and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 5. Agricultural Service Center of Chenji Town, Yizheng City of Jiangsu Province, Yizheng 211408, China)

Abstract: Toxic substances derived from returning wheat straw to paddy fields can adversely affect the growth of subsequent rice crops. Therefore, it is important to develop tillage methods and water and fertilizer management methods that mitigate the negative impacts of straw

收稿日期: 2019-01-21 录用日期: 2019-06-04

作者简介: 赵亚慧(1990—), 女, 山西长治人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: zhaoyahui0805@163.com

王 宁与赵亚慧同等贡献

*通信作者: 于建光 E-mail: yujg@jaas.ac.cn

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503136); 国家自然科学基金项目(41271308, 41601261); 安徽省自然科学基金项目(1608085MC59); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201710879020)

Project supported: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest in China(201503136); The National Natural Science Foundation of China (41271308, 41601261); The Natural Science Foundation of Anhui, China(1608085MC59); National Undergraduate Training Program for Innovation and Entrepreneurship(201710879020)

returning. Accordingly, the aim of the present study was to compare the effects of plow tillage and different water and fertilizer management methods on the physicochemical properties and rice yield of paddy fields. Field experiments involved eight treatments (control, fertilizer, straw, fertilizer+straw, plow tillage, water replacement, prolonged immersion, and prolonged immersion+postponed fertilizer). The phenolic acid content of the field surface water was effectively reduced by prolonged immersion. The nitrogen and phosphorus content of the field surface water was also significantly lower in the fields treated with straw returning and different water and fertilizer management methods than in the fertilizer-treated fields. The reasonable application of straw, especially under the plow tillage and water replacement treatments, could promote the growth of rice; as compared to the yields of rice grown under fertilizer and straw treatment alone, the addition of plow tillage and water replacement increased the number of effective spikes by 19.9% and 15.2%, respectively. In conclusion, the negative effects of wheat straw returning on rice growth could be effectively mitigated by a variety of methods, including plow tillage, water replacement, and prolonged immersion, which could further promote plant nutrient uptake and increase crop yield. Considering the comprehensive effects of environmental risk, plow tillage and prolonged immersion are better suited for situations in which wheat straw is returned to the paddy field.

Keywords: straw returning; plow tillage; water and fertilizer management; surface water; phenolic acid; yield

化肥的施用为水稻生长提供氮磷钾等必需元素,在促进水稻生长的同时也存在养分流失和水体富营养化等隐患^[1]。秸秆还田作为一种保护性耕作措施,具有提高土壤肥力、改善土壤微生物群落功能与结构等优势,近年来被广泛应用于替代化肥及解决化肥施用中出现的問題^[2-3]。但是不合理的秸秆还田,如携带病原菌秸秆直接还田,会引起土传病害等^[4]。此外,有研究表明麦秸直接还田造成作物扎根难等问题^[5],同时秸秆腐解产生的毒害物质(如酚酸等)可产生化感效应,抑制水稻生长发育,最终会造成作物减产^[6],因此设计合理的秸秆还田方式对保持土壤健康、促进水稻生长具有重要意义。水和肥是水稻生长发育中相互影响的两个关键因子,前人研究表明优化施肥结合节水灌溉可促进作物丰产,并降低稻田地表径流中氮、磷的流失量^[7]。土壤泡田是耕作的一项重要措施,一方面有助于降解麦秸腐解前期释放的毒害物质,从而减轻其对水稻生长发育的抑制作用,另一方面可软化稻田耕层,利于水稻扎根,促进分蘖,进而增加水稻种植的经济效益^[8];合理的水肥管理可有效减缓秸秆还田给水稻生长带来的负面效应。本研究试图通过泡田方式、泡田时间、施肥以及翻耕等调控措施及其组合,从田间水层毒害物质的变化特性、土壤肥力和作物养分吸收等方面,研究秸秆还田下不同水肥管理措施对水稻生长的影响,筛选适用于麦秸还田后的稻田水肥管理等调控措施,以期对稻麦轮作体系中麦秸还田工作提供理论依据及技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年在江苏省仪征市陈集镇进行,该

地区属亚热带季风气候,年平均气温15.2℃,年平均降雨量1014 mm。土壤基础理化性质:pH值5.2,有机质28.9 g·kg⁻¹,全氮2.0 g·kg⁻¹,速效磷21.5 mg·kg⁻¹,速效钾208.3 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验采用田间小区方式进行,供试水稻品种为当地主推品种(南粳9108),采用手工插秧,株行距为13 cm×30 cm。试验设置8个处理,每处理3次重复,每小区面积60 m²,随机区组排列,具体试验处理见表1。小麦秸秆切碎至10 cm左右,秸秆还田处理用量为6000 kg·hm⁻²,均匀撒布于田间。施肥处理小区施肥方案:基肥(复合肥N、P₂O₅、K₂O分别为15%、15%、15%)用量600 kg·hm⁻²,尿素用量60 kg·hm⁻²;第一次分蘖肥施尿素,尿素用量75 kg·hm⁻²,施用时间为插秧后5~7 d;第二次分蘖肥施尿素,尿素用量112.5 kg·hm⁻²,施用时间为第一次分蘖肥施后7~10 d;穗肥施复合肥和尿素,复合肥用量225 kg·hm⁻²,尿素用量150 kg·hm⁻²,施用时间为水稻倒3.5叶时。

1.3 样品采集与分析方法

水稻移栽前和收获后采集试验田0~20 cm土壤,用于测定土壤基础养分含量^[9];在水稻移栽后,分别在3、7、10、15 d和30 d时采集各小区的田面水水样至60 mL塑料瓶中,-20℃冰箱保存备用。水稻收获后在各小区收获定点的10穴水稻植株,调查每穴穗数、每穗粒数、千粒重等产量构成指标,获得理论产量。

采集的田面水样品经过滤纸初步过滤,并分成2份,一份用于测定总氮(TN)、总磷(TP)浓度,另一份样品经0.45 μm滤膜抽滤,用于测定田面水总酚酸含量。采用过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定TN,过硫酸钾消解-钼锑抗比色法测定TP。将收集的水稻

表1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatments	秸秆用量 Straw consumption/kg·hm ⁻²	肥料类型 Fertilizer type	处理描述 Treatments description
CK	—	—	不施麦秸、不施化肥
F	—	化肥	不施麦秸、施化肥
S	6000	—	施麦秸、不施化肥
FS	6000	化肥	施麦秸、施化肥
FS+PT	6000	化肥	施麦秸、翻耕、施化肥;麦秸通过翻耕深埋
FS+WR	6000	化肥	施麦秸、泡田换水后施化肥;施麦秸2 d、泡田后再换水施化肥(泡田2 d后面水排放并重新灌溉)
FS+IP	6000	化肥	施麦秸、施肥、延长泡田时间;施麦秸和化肥后提前泡田7 d(田面水不排放)
FS+IP+FP	6000	化肥	施麦秸、施肥、延长泡田并推迟施肥;施麦秸、泡田7 d后再施化肥(田面水不排放)

植株样品 105 ℃杀青 30 min, 70 ℃烘干至恒质量并测定, 植物样烘干后磨碎用于测定 TN、TP 和 TK, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮植株样品, 凯氏定氮法测定植株 TN 含量, 钒钼黄比色法测定植株 TP 含量, 火焰光度法测定植株 TK 含量^[9]。

1.4 数据处理

数据分析采用 Excel、Origin 和 SPSS 17.0 软件进行, 各指标不同处理间的统计差异采用 Duncan 法进行检验。

2 结果与分析

2.1 翻耕和不同水肥管理措施对稻田田面水总酚酸含量的影响

稻田田面水总酚酸含量随水稻移栽后天数推移呈现先减小后增加的趋势, 各处理酚酸含量在前 10 d 处于较高水平, 移栽后 15 d 时各处理酚酸达到最低值(图 1)。水稻分蘖期是决定穗数的关键时期, 一般移栽 10 d 左右开始分蘖, 由图 1 可知, 10 d 时, 与 CK 相比, F、S 和 FS 处理的酚酸含量分别增加 22.4%、25.9% 和 44.0%。FS 处理与 F、S 处理相比, 酚酸含量增加 17.7% 和 14.4%, F 与 S 处理间无显著差异($P>0.05$)。采取调控措施后的各处理相比 FS 均有所下降, 降幅大小顺序为 FS+IP>FS+IP+FP>FS+PT>FS+WR。延长泡田时间的 2 个处理(FS+IP 和 FS+IP+FP)稻田田面水酚酸含量较 CK 有所下降, 降幅为 49.8% 和 23.9%。泡田 2 d 换水处理(FS+WR)和翻耕处理(FS+PT)间无显著差异($P>0.05$)。

2.2 翻耕和不同水肥管理措施对稻田田面水总氮和总磷含量的影响

不同水肥管理条件下田面水总氮的含量基本呈

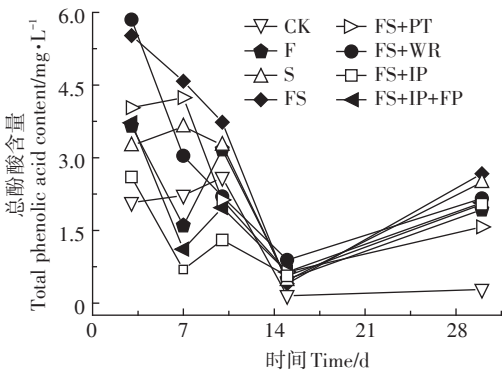


图1 翻耕和不同水肥管理措施对稻田田面水总酚酸含量的影响
Figure 1 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the total phenolic acids content in surface water of paddy field

降低-升高-降低的趋势(图 2)。施化肥各处理 7~15 d 总氮呈现急剧升高又急剧下降现象, 这可能与施化肥处理氮素在此期间从土壤中逐渐快速释放到田面水中并快速被作物吸收利用有关。在 3 d 时, 田面水总氮与 10 d 时呈现了一致的规律, 施肥处理 F 显著高于其他处理($P<0.05$), 说明秸秆还田能有效减少田面水总氮含量, 秸秆还田配施肥料的处理中总氮浓度大小顺序为 FS+WR>FS+IP+FP>FS>FS+PT>FS+IP, 但 FS、FS+IP、FS+IP+FP 处理间差异不大, 说明麦秸化肥同施的情况下, 相同泡田时间下化肥施用次序对田面水总氮无明显的影响。15~30 d 时各处理氮素浓度处于较低水平, 处理间无显著差异($P>0.05$)。

与 FS 相比, FS+PT 处理提高了稻田田面水总磷的浓度, 可能的原因是麦秸通过翻耕深埋时, 不同的耕作深度保肥作用不一致。FS+IP 比 FS+IP+FP 平均低 12.5%, 说明总磷浓度会受化肥施入时间的影响。

除F处理外,总磷在水稻移栽后10 d均达到最大值,秸秆还田处理中以FS+WR处理最低,与FS+IP处理间差异不显著($P>0.05$),说明泡田2 d后换水再施肥和延长泡田时间效果相近。15 d时,F处理达到最大值,其他处理间无显著差异($P>0.05$)。FS+WR处理在整个采样期间总磷呈下降趋势。FS+IP在3~10 d呈现平稳状态,之后开始下降,30 d比15 d总磷浓度下降48.3%。

2.3 翻耕和不同水肥管理措施对稻田土壤肥力的影响

有机质是土壤肥力的重要指标,提供植物所需的各种养分。与CK相比,秸秆与化肥配施处理除FS+IP+FP外均使土壤有机质含量增加,增幅顺序为FS+IP>FS+PT>FS+WR>FS(表2);FS+PT和FS+IP处理的全氮含量略高于CK处理,差异不显著($P>0.05$),其他处理与CK基本持平,可能的原因是作物携带及氮素转化造成的氮素利用率不高。F、S与CK处理的有效

磷含量接近,处理间差异不显著($P>0.05$),而FS处理的有效磷含量处于较高水平。延长泡田时间处理FS+IP+FP和FS+IP的有效磷含量分别比泡田2 d换水处理FS+WR提高76.2%和20.5%。相同泡田时间下化肥后施能提高土壤有效磷含量,增幅为46.2%。与CK相比,F、S和FS处理的有效钾含量有所下降,降幅分别为13.26%、9.81%和2.12%。翻耕处理FS+PT的速效钾含量最高,效果优于其他水肥调控措施。水肥调控处理中,随着泡田时间的增加速效钾含量降低。

2.4 翻耕和不同水肥管理措施对水稻植株养分吸收量的影响

由表3可知,秸秆与化肥配施处理中,作物对氮素的吸收顺序表现为FS+IP>FS+IP+FP>FS+PT>FS>FS+WR。FS+IP>FS>FS+WR,说明延长泡田时间及泡田换水影响氮素吸收利用;相同泡田时间下植物吸收氮素表现为FS+IP>FS+IP+FP;FS+PT与FS+IP+FP处

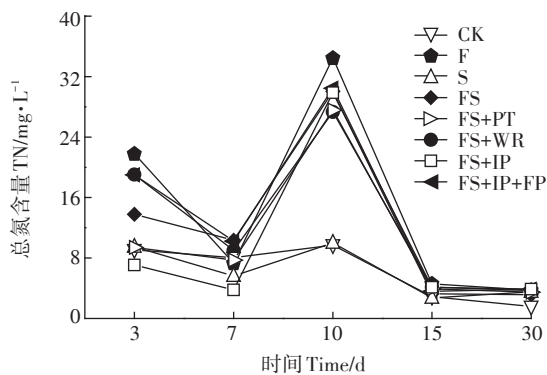


图2 翻耕和不同水肥管理措施对稻田田面水总氮含量的影响
Figure 2 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the total nitrogen content in surface water of paddy field

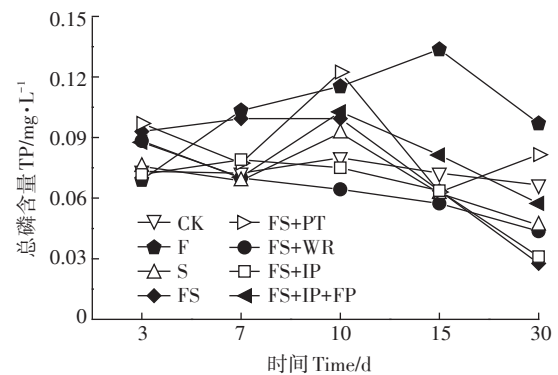


图3 翻耕和不同水肥管理措施对稻田田面水总磷含量的影响
Figure 3 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the total phosphorus content in surface water of paddy field

表2 翻耕和不同水肥管理措施对稻田土壤肥力的影响

Table 2 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the soil fertility in paddy field

处理 Treatments	pH值	有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	全氮 Total nitrogen/g·kg ⁻¹	有效磷 Available phosphorus/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available potassium/mg·kg ⁻¹
CK	5.33±0.11a	26.80±1.59a	1.61±0.01a	16.45±1.20ab	188.50±4.95abc
F	5.40±0.17a	25.63±2.51a	1.56±0.01a	14.95±0.35ab	163.50±7.78d
S	5.40±0.14a	25.65±5.44a	1.53±0.02a	14.40±5.37ab	170.00±12.7cd
FS	5.63±0.25a	26.90±2.20a	1.59±0.01a	19.60±5.51a	184.50±9.19bc
FS+PT	5.43±0.15a	28.97±3.80a	1.78±0.02a	16.30±2.68ab	204.33±4.94a
FS+WR	5.43±0.15a	27.73±0.97a	1.65±0.01a	9.25±1.34b	189.33±5.65ab
FS+IP	5.47±0.25a	29.23±2.80a	1.81±0.20a	11.15±6.58b	182.50±7.78bc
FS+IP+FP	5.60±0.02a	24.73±2.31b	1.54±0.01a	16.30±0.84ab	171.67±6.50bcd

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$ level. The same below.

理对氮素的吸收差异不大。FS+IP处理对植株吸收磷素的贡献最大,其次为FS+WR和F处理。磷素吸收与施肥存在密切关系,提高磷素有效性的同时促进作物吸收,翻耕处理FS+PT对磷素的吸收效果次于水分调控处理,水分调控处理中FS+IP>FS+WR>FS+IP+FP,肥料后施的处理中FS+WR>FS+IP+FP,说明泡田时间影响磷素的吸收但并非时间越长越好。水稻对钾素的吸收以FS+PT处理为最高,泡田处理间以FS+WR效果最为明显,FS+IP+FD>FS+IP处理说明相同的泡田时间下化肥后施有利于作物吸收钾。

2.5 翻耕和不同水肥管理措施对水稻产量及其构成因素的影响

有效穗数是水稻产量构成因素的重要指标。由表4可知,秸秆还田处理中有效穗数的多少顺序为FS+PT>FS+WR>FS+IP+FP>FS+IP>FS,说明翻耕调控效果优于水肥调控;泡田处理中FS+WR效果最好,分

别比泡田7 d处理(FS+IP和FS+IP+FP)高13万穗·hm⁻²和11万穗·hm⁻²;FS+PT处理的有效穗数高于FS+WR处理,可能是麦秸深施促进了水稻根系的发育,进而增加了水稻的有效穗数。穗粒数的多少与饱满程度也是水稻产量的重要影响因素,与CK处理相比,所有水肥调控处理穗粒数皆有不同程度的提高,FS+PT增幅最大,F处理最小,增幅分别为23.7%和4.5%;泡田处理FS+IP+FP、FS+IP基本无差异,说明泡田7 d下化肥的施入时间对穗粒数无影响。各处理间水稻千粒重无显著差异($P>0.05$)。所有水肥调控处理的产量均高于CK处理,其中单施化肥处理F比S处理高出13.2%,水肥调控处理中,不同泡田时间以FS+WR效果最为明显,但与最高产量FS+PT处理间无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

稻麦轮作系统中,秸秆还田虽然可提高土壤有机质含量并改善土壤结构,但同时不能忽视其负面效应,采取相应的措施有效减缓其负面效应显得尤为重要^[10]。麦秸分解过程中会产生酚酸,酚酸类物质能引起化感作用,其残留在土壤中可能会抑制下茬作物的生长^[11-13]。研究表明酚酸类物质对水稻生物量的累积、根系活力、叶绿素含量表现为低浓度促进、高浓度抑制;酚酸对水稻产生的化感效应与酚酸种类和浓度有关,不同酚酸对水稻的作用阈值不同,这往往会通过影响土壤中营养物质的有效形态、土壤酶活性等,影响作物的生长发育,进而影响作物产量^[6]。本试验结果显示施用麦秸同时施用化肥处理(FS)和施用麦秸处理(S)田面水中酚酸含量一直处于较高水平,而通过泡田换水、延长泡田时间和改变化肥施入土壤中的时间等不同的水肥管理措施,酚酸含量明显降低。泡田能提供厌氧条件,有研究表明厌氧条件下土壤水中碳的氧化态(芳香碳/羧酸碳)下降,伴随着羧酸类物质的降解^[14]。秸秆还田后泡田能提供厌氧条件,一方面减少酚酸的产生,另一方面促进厌氧微生物的活性,快速降解酚酸类物质。此外有研究表明,土壤中酚酸类物质很容易被土壤矿物(特别是含铝、铁矿物)吸附形成有机无机复合体,从而保存在土壤中^[15-16]。而厌氧条件下,这种有机无机复合体并不稳定,因此酚酸类物质易被析出,增加了被微生物分解的可能性^[17-18]。本试验结果表明泡田7 d处理(FS+IP+FP和FS+IP)酚酸类物质含量相对较少,说明延长泡田时间更利于酚酸物质的去除。

表3 翻耕和不同水肥管理措施对水稻植株养分吸收量的影响

Table 3 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the nutrient uptake by rice plants

处理 Treatments	全氮 Total nitrogen/ g·kg ⁻¹	全磷 Total phosphorus/ g·kg ⁻¹	全钾 Total potassium/ g·kg ⁻¹
CK	8.60±2.18bc	1.69±0.17bc	22.45±2.03bc
F	10.00±1.61abc	1.82±0.14ab	20.95±3.14c
S	7.05±0.23c	1.74±0.14bc	21.83±1.82bc
FS	9.32±1.02abc	1.61±0.10c	20.71±4.15c
FS+PT	9.76±1.16ab	1.21±0.23d	26.77±2.41a
FS+WR	8.05±1.76bc	1.85±2.76ab	26.49±2.76a
FS+IP	11.51±2.39a	1.94±4.07a	22.85±4.07abc
FS+IP+FP	10.05±1.65ab	1.69±0.32bc	25.25±2.51ab

表4 翻耕和不同水肥管理条件对水稻产量及其构成因素的影响

Table 4 Effects of plow tillage and different water and fertilizer managements on the rice yield and its components

处理 Treatments	有效穗数 Effective panicle number/10 ⁴ ·hm ⁻²	每穗粒数 Spikelets per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	理论产量 Grain yield/ kg·hm ⁻²
CK	364.45ab	83.64a	26.41a	8 055.71a
F	396.30ab	87.42a	26.22a	9 736.18a
S	366.82ab	101.66a	24.78a	8 600.69a
FS	347.80b	103.14a	26.15a	9 551.06a
FS+PT	417.17a	103.43a	25.57a	10 937.58a
FS+WR	400.52ab	102.99a	26.04a	10 871.41a
FS+IP	387.58ab	93.67a	26.57a	9 732.57a
FS+IP+FP	389.42ab	93.06a	26.36a	10 048.25a

秸秆还田能提高土壤有效养分含量,不同的水肥条件不仅影响麦秸分解有毒物质,而且也会影响养分供应,通过调节水肥情况可调控植株对氮、磷、钾等元素的吸收^[19-20]。虽然泡田能减少酚酸含量,但同时也活化养分,存在一定的养分流失风险。本试验结果表明,秸秆还田配合不同水肥管理措施时稻田田面水氮磷含量明显低于单施化肥处理(F),而且秸秆还田处理间差异不显著,说明秸秆还田有一定的保肥能力,泡田不会增加稻田养分的流失风险。秸秆还田前期总氮减少的原因可能是施入秸秆后能为微生物的生长提供充足的碳源,微生物为了满足自身对养分的需求,就需要从环境中补充氮源,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^[21]。土壤中养分的充足与否直接关系到水稻植株的生长状况,秸秆还田配合不同水肥管理措施对水稻吸收氮磷钾等养分的影响规律不一致,可能和化肥施入的时间有关。此外,秸秆直接还田容易造成扎根难等问题^[5],而且土层坚固不利于下茬作物扎根。从产量构成因素数据来看,秸秆还田处理(FS)有效穗数明显比施化肥处理(F)低,这与王宁等^[22]研究结果一致,而不论是翻耕深埋还是泡田皆能有效提高有效穗数,特别是翻耕处理(FS+PT)有效穗数达到417万穗·hm⁻²,秸秆翻耕深埋后从一定程度上改变了土壤的水肥条件,减少毒害物质的同时能有效减轻水稻扎根难的问题。泡田能软化土壤耕层,但并不是泡田时间越长越好,试验结果显示泡田7 d的处理(FS+IP+FP与FS+IP)水稻有效穗数低于泡田2 d的处理(FS+WR),这可能与泡田时间长导致土壤板结、插秧难度加大、插秧效果不好有关。尽管泡田换水(FS+WR)在促进水稻有效穗数、每穗粒数及理论产量增加方面均占优势,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,会对渔业及水体环境产生较大危害,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。

4 结论

(1)在全部施用秸秆和化肥时,通过翻耕、泡田换水、延长泡田时间、延长泡田时间并推迟施肥均可有效地降低水稻移栽前期稻田田面水中总酚酸含量,进而减轻秸秆还田后分解产生的酚酸类物质对水稻的化感抑制作用。

(2)相同泡田时间下施肥时间的先后对稻田田面水总氮、总磷浓度无明显影响,在满足水稻正常的生理生长需求的前提下不会引起养分的额外流失。

(3)翻耕、泡田换水、延长泡田时间、延长泡田时间并推迟施肥均可增加水稻有效穗数,尤其翻耕能显著增加水稻有效穗数,进而有效增加水稻产量。

(4)综合考虑生产与环境因素等,麦秸还田种植水稻时采用翻耕和延长泡田时间是综合效果较好的田间管理措施。

参考文献:

- [1] 郑小龙, 吴家森, 陈裴裴, 等. 生物质炭与不同肥料配施对水稻田面水养分流失风险的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 221-226.
ZHENG Xiao-long, WU Jia-sen, CHEN Pei-pei, et al. Effects of different nitrogen and biomass carbon fertilization on nutrient loss risk in field surface water[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(1): 221-226.
- [2] 王红新. 实施保护性耕作的目的及意义[J]. 吉林农业, 2018(19): 49.
WANG Hong-xin. The purpose and significance of implementing conservation tillage[J]. *Agriculture of Jilin*, 2018(19): 49.
- [3] 康国平. 秸秆还田研究进展[J]. 现代农业, 2018(1): 53-54.
KANG Guo-ping. Research progress in straw returning[J]. *Modern Agriculture*, 2018(1): 53-54.
- [4] 郭晓源, 景殿玺, 周如军, 等. 玉米秸秆腐解液酚酸物质含量检测及对玉米大斑病菌的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(4): 166-172.
GUO Xiao-yuan, JING Dian-xi, ZHOU Ru-jun, et al. Detection of phenolic acids in crop straw decomposed liquid and their effect on pathogen of northern leaf blight of corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(4): 166-172.
- [5] 焦忠恩. 关于水稻秸秆还田的思考[J]. 农业科技与装备, 2018(4): 73-74.
JIAO Zhong-en. Thinking about the rice returning straw[J]. *Agricultural Technology and Equipment*, 2018(4): 73-74.
- [6] 顾元, 常志州, 于建光, 等. 外源酚酸对水稻种子和幼苗的化感效应[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2): 240-246.
GU Yuan, CHANG Zhi-zhou, YU Jian-guang, et al. Allelopathic effects of exogenous phenolic acids composted by wheat straw on seed germination and seedling growth of rice[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2013, 29(2): 240-246.
- [7] 黄东风, 李卫华, 王利民, 等. 水肥管理措施对水稻产量、养分吸收及稻田氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 62-66.
HUANG Dong-feng, LI Wei-hua, WANG Li-min, et al. Effects of water and fertilizer managements on yield, nutrition uptake of rice and loss of nitrogen and phosphorus by runoff from paddy field[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(2): 62-66.
- [8] 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.

- CHEN Hui-zhe, XU Yi-cheng, XIANG Jing, et al. Effect of water soaking duration on soil bulk density and the quality of mechanized transplanting of rice under no-tillage condition[J]. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition)*, 2015, 36(3):79-82.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000:25-200.
- LU Ru-kun. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:25-200.
- [10] 于建光, 贺笑, 王宁, 等. 水肥管理减缓麦秸还田对水稻生长负面效应研究[J]. 土壤通报, 2016, 47(5):1218-1222.
- YU Jian-guang, HE Xiao, WAN Ning, et al. Study of mitigating the negative effect of returning wheat straw on the rice growth with fertilizer and water management in field[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47(5):1218-1222.
- [11] 贾春虹, 王璞, 赵秀琴. 免耕覆盖麦秸土壤中酚酸浓度的变化及酚酸对夏玉米早期生长的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(4):84-87.
- JIA Chun-hong, WANG Pu, ZHAO Xiu-qin. Change of phenolic acids concentration in soil under wheat straw mulch and the effect of phenolic acids on early growth stage of summer maize[J]. *Acta Agricultural Boreali-Sinica*, 2004, 19(4):84-87.
- [12] 郑皓皓, 胡晓军, 贾敬业, 等. 麦秸还田耕层酚酸变化及其对夏玉米生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(4):79-81.
- ZHENG Gao-gao, HU Xiao-jun, JIA Jing-ye, et al. Changes of the phenolic acid in plough layer and its effects on the growth and yield of summer corn with returning wheat straw[J]. *Chinese Journal of Eco-Agricultural*, 2001, 9(4):79-81.
- [13] 张晨敏. 低温纤维素降解菌的筛选及复合菌剂在秸秆还田中的应用[D]. 南京:南京农业大学, 2014.
- ZHANG Chen-min. Screening of bacteria decomposing low temperature cellulose and the application of composite microbial inoculants in straw returning to field[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [14] Keiluweit M, Wanzek T, Kleber M, et al. Anaerobic microsites have an unaccounted role in soil carbon stabilization[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1):1771.
- [15] Mikutta R, Schaumann G E, Gildemeister D, et al. Biogeochemistry of mineral-organic associations across a long-term mineralogical soil gradient (0.3-4100 kyr), Hawaiian Islands[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009, 73(7):2034-2060.
- [16] Kramer M G, Sanderman J, Chadwick O A, et al. Long-term carbon storage through retention of dissolved aromatic acids by reactive particles in soil[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(8):2594-2605.
- [17] Pan W, Kan J, Inamdar S, et al. Dissimilatory microbial iron reduction release DOC (dissolved organic carbon) from carbon-ferrihydrite association[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 2016, 103:232-240.
- [18] Keiluweit M, Bougoure J J, Nico P S, et al. Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(6):588-595.
- [19] 丁红利, 吴先勤, 张磊. 秸秆覆盖下土壤养分与微生物群落关系研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2):294-300.
- DING Hong-li, WU Xian-qin, ZHANG Lei. Study on the relationship between soil nutrients and microbial community composition after cornstalk mulching[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(2):294-300.
- [20] 肖新, 朱伟, 肖靓, 等. 不同水肥管理对水稻分蘖期根系特征和氮磷钾养分累积的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(4):903-908.
- XIAO Xin, ZHU Wei, XIAO Liang, et al. Effects of water and fertilizer managements on root characteristics and nitrogen, phosphorous and potassium uptakes of rice at tillering stage[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47(4):903-908.
- [21] 王静, 郭熙盛, 王允青, 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.
- WANG Jing, GUO Xi-Sheng, WANG Yun-qing, et al. Study on dynamics of nitrogen in different forms in surface water of paddy field under straw return[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2014, 45(4):410-418.
- [22] 王宁, 刘义国, 张洪生, 等. 氮肥与精量秸秆还田对冬小麦花后光合特性及产量的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(6):185-190.
- WANG Ning, LIU Yi-guo, ZHANG Hong-sheng, et al. Effects of coupling of precise straw-return and nitrogen fertilizer on photosynthetic characteristics after anthesis and yield of winter wheat[J]. *Acta Agricultural Boreali-Sinica*, 2012, 27(6):185-190.