

蓄雨灌溉对农田养分和水稻生长的影响

叶浩^{1,2}, 黄必善¹, 熊威¹, 王述斌¹

(1. 天门市农田灌溉排水试验站, 湖北 天门 431700; 2. 天门市水利和湖泊局, 湖北 天门 431700)

摘要:【目的】探寻蓄雨灌溉对农田养分及作物的影响。【方法】以水稻浅水勤灌为对照, 并基于浅水勤灌设置 3 种蓄雨上限 (TR1, 100 mm; TR2, 80 mm; TR3, 60 mm), 研究蓄雨灌溉对农田养分和水稻生长的影响。【结果】①4 个处理 0~20 cm (表层)、20~40 cm (深层) 土层土壤养分碱解氮、速效磷、速效钾无显著差异; ②TR1—TR3 处理表层碱解氮平均比深层高 20.0%, 表层速效磷比深层高 85.0%, 表层速效钾比深层高 66.8%。随生育期变化, 蓄雨灌溉处理表层土壤的碱解氮逐渐下降, 深层逐渐上升; 表层和深层土壤速效磷逐渐上升; 表层和深层速效钾逐渐下降; ③4 个处理的有效分蘖、穗长、结实率、千粒质量无显著差异。【结论】蓄雨灌溉可以提高表层碱解氮量、速效磷量和速效钾量, 其中蓄雨 80 mm 综合效益最佳。

关键词: 水稻; 农艺指标; 蓄雨灌溉; 土壤养分

中图分类号: S27; S31

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022317

叶浩, 黄必善, 熊威, 等. 蓄雨灌溉对农田养分和水稻生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 22-26.

YE Hao, HUANG Bishan, XIONG Wei, et al. Impacts of Rainwater Storage Irrigation on Farmland Nutrients and Rice Growth[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 22-26.

0 引言

良好的水土环境是作物健康生长发育的基本条件, 灌溉模式一定程度上会影响农田的水、土环境, 从而对作物生长发育产生不同影响。一般情况下, 稻田在淹灌期土壤呈还原状态, 排水、晒田期间土壤呈氧化状态^[1-2], 加深田间水层会影响土壤温度, 土壤温度将会影响土壤有机质的转变^[3], 还将对水稻的分蘖产生一定影响^[4]。灌溉模式影响土壤的孔隙性和肥力状况, 灌溉模式影响土壤的孔隙度及其水分传输和通气状况^[5], 湿润灌溉和干湿灌溉可以提高土壤全氮量、速效磷量、全磷量^[6]; 间歇灌溉有利于土壤对全氮、有机质的保持, 减轻磷素淋溶, 且拔节期以前间歇田面水总氮高于淹灌^[7]; 控灌中蓄节水灌溉模式能延长田间水的滞蓄时间, 提高氮肥的有效利用率, 降低田面排水的氮素浓度^[8]。不同的节水灌溉方式对土壤性状和水稻产量的影响不同, 采取合理的水分调控措施可为水稻优质高产提供保证^[9-10]。总之, 蓄雨灌溉作为一种区域性农业节水技术, 较为系统地研究其对农业水土环境和水稻生长的影响具有重要意义。目

前, 蓄雨灌溉模拟研究较多, 自然蓄雨灌溉实证研究尚比较缺乏。为此, 通过 2 a (2019 年和 2020 年) 连续试验, 探索蓄雨灌溉对稻田水土环境及其水稻生长的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设施与水稻种植

试验地点在湖北省天门市农田灌溉排水试验站, 该试验站地处江汉平原中部, 地理坐标为东经 113°19′、北纬 30°39′, 地面海拔高程 28.5 m, 气候属亚热带季风气候区。本站多年平均气温为 16.2 °C, 平均蒸发量为 1 061.5 mm, 平均降水量为 1 102.3 mm, 无霜期为 209~254 d。试验所在地地下水埋深受降水影响变幅较大 (0.18~3.15 m), 土壤质地为壤土, 土壤体质量为 1.37 t/m³, 田间持水率为 28.01%, 主要农作物制度为中稻与小麦轮作、小麦与棉花连套两熟。

2019—2020 年, 在可控制灌排的混凝土测坑中进行了水稻蓄雨灌溉试验。测坑面积 4 m² (2 m×2 m), 土层厚度 1.5 m, 土壤质地为中壤, 耕层碱解氮量 38.4 mg/kg, 有效磷量 20.2 mg/kg, 速效钾量 114.1 mg/kg, 全氮量 1.2 g/kg, 全磷量 0.3 g/kg, 全钾量 9.2 g/kg。

2019 年和 2020 年水稻本田期的降水量分别为 371.5、187.1 mm。试验用的水稻品种为 Y 两优 1928, 按当地习惯进行施肥管理。基肥为复合肥, N、P₂O₅、

收稿日期: 2022-06-14

基金项目: 湖北省水利厅重点项目 (HBSLKY201804); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0800503)

作者简介: 叶浩 (1990-), 男, 农艺师, 硕士, 主要从事农业水利与环境研究。E-mail: 1127559490@qq.com

K₂O量均为15%，施用量为750 kg/hm²；每年7月上旬使用尿素（分蘖肥）追肥，施用量75 kg/hm²。2019年和2020年水稻插秧时间分别为6月1日和6月8日，株、行距分别为16 cm和30 cm，2019年和2020年均于10月上旬收获。

1.2 试验设计

水稻蓄雨灌溉试验从水稻插秧开始，在研究区域降水相对集中的6—8月进行。试验以浅水勤灌为对照（CK，灌水下限和上限分别为10 mm和30 mm），降水时在浅水勤灌基础按蓄雨上限设3种蓄雨灌溉处理：TR1（蓄雨上限100 mm）、TR2（蓄雨上限80 mm）和TR3（蓄雨上限60 mm），无降水时，按照浅水勤灌方式灌溉，上述试验处理采取随机排列方式，每个处理3次重复。在试验过程中，当雨前田面水层与降雨叠加在一起超过设定的蓄雨上限时，通过测坑控制排水将多余的水量排除。

1.3 调查方案

1.3.1 水稻考种

水稻成熟后按处理取植株样，每测坑取3穴代表性植株进行考种，主要农艺性状指标包括：有效分蘖、每穗总粒数、每穗实粒数、千粒质量、产量。

1.3.2 土壤样品采集及测定

水稻苗期、分蘖期、拔节孕穗期、灌浆期、黄熟期及收获后，收获后各取1次0~20 cm（以下简称表层）、20~40 cm（以下简称深层）土壤样品。土壤指标测定参考鲍士旦《土壤农化分析》，其中碱解氮采用碱式

扩散法测定，速效磷采用NaHCO₃浸提比色法测定，速效钾采用NH₄OAC浸提火焰光度计法测定。

1.3.3 数据处理及分析

采用SPSS 21进行方差分析，利用Excel 2016制作图表。

2 结果与分析

2.1 蓄雨灌溉对速效养分的影响

由表1可知，2019年各处理灌溉模式下，各处理表层和深层土壤碱解氮量、速效磷量、速效钾量在5%水平无显著差异。TR1—TR3处理中相同处理表层碱解氮量、速效磷量和速效钾量均高于深层，CK、TR1、TR2、TR3处理表层碱解氮量分别比深层高-5.4%、21.9%、9.0%、2.2%，TR1—TR3处理表层土壤碱解氮量平均比深层土壤高11.0%，且蓄雨越深，表层土壤碱解氮量越高；CK、TR1、TR2、TR3处理表层土壤速效磷量分别比深层土壤高48.0%、36.1%、187.6%、51.2%，TR1—TR3处理表层土壤碱解氮量平均比深层土壤高91.6%，TR2处理表层速效磷量最高；CK、TR1、TR2、TR3处理表层土壤速效钾量分别比深层土壤高51.2%、78.2%、117.3%、65.0%，TR1—TR3处理表层土壤速效钾量平均比深层土壤高86.8%，TR2处理表层土壤速效钾量最高。综上所述，蓄雨处理速效养分高于CK，但各处理表层、深层土壤碱解氮量、速效磷量和速效钾量无显著差异，各处理表层土壤养分均高于深层，综合比较以TR2处理蓄雨灌溉效果最佳。

表 1 2019 年水稻黄熟期表层、深层土壤养分

处理	表层			深层		
	碱解氮量	速效磷量	速效钾量	碱解氮量	速效磷量	速效钾量
CK	40.3±5.5a	22.5±9.3a	188±38.8a	42.6±2.3a	15.2±2.8a	124.3±8.7a
TR1	43.9±11.4a	38.8±24.8a	196.9±77.5a	36±5.7a	28.5±17.4a	110.5±16.5a
TR2	37.4±3.3a	30.2±4.1a	194.3±26.5a	34.3±2.2a	10.5±3.6a	89.4±7.8a
TR3	42.7±5.1a	31.9±11.5a	179.8±28.4a	41.8±4.5a	21.1±7.6a	109±13.4a

2.2 蓄雨灌溉对碱解氮的影响及变化趋势

由图1（a）可知，2020年CK、TR2、TR3处理表层土壤碱解氮量先上升后下降，TR1处理却先下降后上升，但是各处理碱解氮无显著差异，4个处理碱解氮量表现为TR3处理>TR1处理>CK>TR2处理。由图1（b）可知，2020年CK、TR2处理深层土壤碱解氮量变化趋势为升降升，TR1处理先降后升，TR3处理先升后降，但各处理碱解氮量无显著差异，4个处理碱解氮量表现为TR3处理>TR1处理>TR2处理>CK。CK、TR1、TR2、TR3处理表层碱解氮量分别比深层高26.6%、44.4%、20.8%、21.7%，TR1—TR3处理表

层土壤碱解氮量平均比深层高29%，其中TR1处理表层土壤碱解氮量最高，与2019年规律一致。

综上所述，各处理表层、深层土壤碱解氮量在5%水平无显著差异，表层土壤碱解氮量大于深层土壤。

2.3 蓄雨灌溉对速效磷的影响及变化趋势

由图1（c）可知，2020年各处理表层土壤耕层速效磷量逐渐上升，各处理速效磷量无显著差异，4个处理速效磷量表现为TR3处理>TR1处理>CK>TR2处理。由图1（d）可知，2020年各处理深层土壤速效磷量逐渐上升，各处理速效磷量无显著差异。CK、TR1、TR2、TR3处理表层速效磷量比深层高90.6%、

87.5%、43.4%、104.3%，TR1—TR3处理表层碱解氮量平均比深层高78.4%，其中TR3处理表层速效磷量最高。综上所述，表层土壤速效磷量大于深层土壤，

随着时间变化土壤速效磷量缓慢增加，表层和深层各处理速效磷量无显著差异。

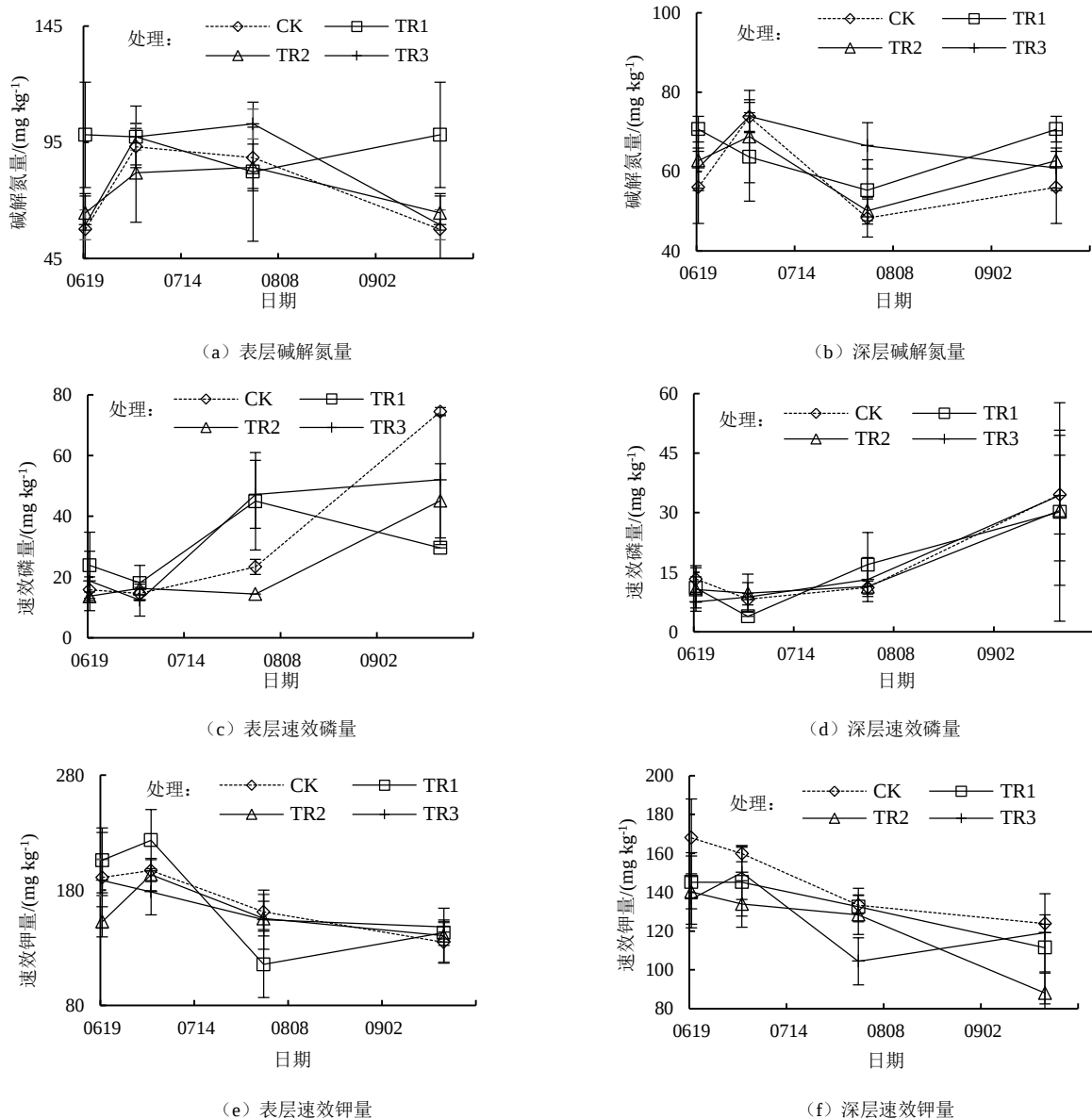


图1 蓄雨灌溉对土壤养分影响

Fig.1 Effects of rain storage irrigation on available nutrients

2.4 蓄雨对速效钾的影响及变化趋势

由图1(e)可知，2020年各处理表层土壤速效钾量逐渐下降，各处理速效钾量无显著差异，TR3、TR2处理速效钾量与CK相近，TR1处理略低于其他3个处理。由图1(f)可知，2020年各处理表层土壤速效钾量逐渐下降，各处理速效钾量无显著差异，4个处理速效钾量由高到低依次为CK、TR1、TR2、TR3处理。经统计可知，CK、TR1、TR2、TR3处理表层土壤速效钾量分别比深层高17.0%、28.8%、30.9%、31.3%，TR1—TR3处理表层土壤碱解氮量平均比深层土壤高30.3%。综上所述，随时间推移，各处理速效钾量逐渐下降；表层土壤速效钾量大于深层土壤；各处理

表层、深层土壤速效钾量无显著差异。

结合2019、2020年试验可知，TR1—TR3处理表层土壤碱解氮量比深层土壤高20.0%，表层速效磷量比深层土壤高85.0%，表层土壤速效钾量比深层土壤高66.8%，将各处理土壤碱解氮量、速效磷量、速效钾量加权求和，并将2a数据求平均，CK、TR1、TR2、TR3处理表层土壤养分综合得分为1.140、1.341、2.045、1.379，因此，蓄雨灌溉可以提高表层土壤碱解氮量、速效磷量和速效钾量，蓄雨80 mm灌溉综合效益最佳。

2.5 蓄雨灌溉对水稻的影响

由表2可知，2019年和2020年不同蓄雨模式下水稻各农艺性状无显著差异 ($P>0.05$)，结合2019年

和 2020 年本田期降水量分析，降水叠加常规灌溉能 因此最终对各指标无显著影响。
达到蓄雨次数仅 3~4 次，大部分时间为常规浅水灌溉，

表 2 各处理水稻农艺性状比较

Table 2 Comparison of agronomic characters of rice in different treatments

年份	处理	有效分蘖/枝	穗长/cm	结实率/%	千粒质量/g	产量/(kg hm ⁻²)
2019	CK	11.7±0.9a	25.7±0.4a	88.7±1.5a	27.1±0.6a	11 022.9±497.5a
	TR1	12.5±0.5a	28.4±3a	82.9±3.3a	25.6±0.6a	11 247.3±271.1a
	TR2	12.8±0.8a	26±0.3a	84.7±1.2a	26.2±0.2a	10 780.3±406a
	TR3	11.1±0.1a	25.8±0.4a	86.1±1.7a	25.7±0.3a	11 047.8±414.6a
2020	CK	15±0.9a	26.9±0.5a	86.3±2.8a	24.1±0.2a	10 795.9±143.9a
	TR1	13±0a	28.4±1.1a	90.7±0.9a	23.5±0.2a	10 716.7±1239.2a
	TR2	14.7±1.2a	28.8±0.4a	92.1±1.3a	24.1±0.2a	9 891.7±498a
	TR3	15.6±0.9a	28.5±0.5a	88.5±3.5a	23.7±0.3a	11 258.4±700.1a

3 讨论

随时间推移，蓄雨灌溉表层土壤的碱解氮逐渐下降，深层土壤逐渐上升，不同灌溉条件下，灌水量与氮素垂直运移成正比^[14]，表层氮素运移到深层，因此表层氮素呈下降趋势，深层呈上升趋势；蓄雨处理速效磷逐渐上升，磷素容易被胶体吸附，蓄雨一定程度上减少田面水磷素流失，最后吸附在土壤中，因此土壤中磷素量呈上升趋势；速效钾逐渐下降，由于钾素垂直运移较困难，我国土壤钾素缺乏，随着作物吸收利用，钾素呈下降趋势。依据有关标准^[15]，灌溉对农田水土环境影响应连续5 a以上试验观测，本试验年限较短，蓄雨效应未能累计，可能没有显著影响。

本研究表明，不同蓄雨灌溉模式对水稻主要农艺性状无显著影响，这与前人^[11-13, 16]研究一致，各处理仅在雨后蓄水，非长期淹水，稻田仍然保持湿润、露田、晒田条件，对水稻生长发育及产量无明显影响^[17]。

4 结论

1) 各蓄雨处理表层和深层土壤养分碱解氮量、速效磷量、速效钾量无显著差异。

2) 相同处理表层土壤碱解氮量、速效磷量、速效钾量高于深层，随时间推移，蓄雨灌溉处理表层土壤碱解氮量逐渐下降，深层土壤碱解氮量逐渐上升；表层、深层土壤速效磷量逐渐上升；表层、深层速效钾量逐渐下降。

3) 4个处理的有效分蘖、穗长、结实率、千粒质量和产量无显著差异，蓄雨灌溉对产量影响不大。综合所有数据来看，蓄雨80 mm灌溉综合效益最佳。

参考文献：

[1] 单世平, 黄军, 刘前刚, 等. 淹水条件对稻田土壤肥力及理化性质的

影响研究进展[J]. 农学学报, 2014, 4(10): 46-49.

- [2] 杨长明, 杨林章, 颜廷梅, 等. 不同养分和水分管理模式对水稻土质量的影响及其综合评价[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 63-70.
- [3] 沈征涛, 施斌, 王宝军, 等. 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 3 011-3 019.
- [4] 俄立生, 王欢. 水稻节水灌溉技术初探[J]. 黑龙江农业科学, 2013(3): 16-18.
- [5] 灵灵. 赛罕乌拉自然保护区不同植被类型下土壤水分特征及物理性状究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [6] 代家风. 不同耕作、秸秆覆盖及灌溉方式对水稻生长及土壤理化性状的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [7] 余双, 崔远来, 王力, 等. 水稻间歇灌溉对土壤肥力的影响[J]. 武汉大学学报(工学版), 2016, 49(1): 46-53.
- [8] 金斌斌, 邵孝侯, 徐朝辉, 等. 控灌中蓄及减量施肥对稻田氮素动态的影响[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(3): 84-88.
- [9] 方荣杰, 江斌伟, 粟世华. 稻田灌溉回归水对土壤及其水环境影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(S1): 151-153.
- [10] 彭如梦, 朱安, 张思洁, 等. 节水灌溉方式对水稻产量和稻田土壤性状的影响综述[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 31-35.
- [11] 郭相平, 袁静, 郭枫, 等. 水稻蓄水-控灌技术初探[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 70-73.
- [12] 袁静. 水稻蓄水控灌技术试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [13] 陈朱叶, 郭相平, 姚俊琪. 水稻蓄水控灌的节水效应[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 426-430.
- [14] 洪仁辉. 氮、磷、钾素在土壤中垂直运移研究现状[J]. 热带林业, 2011, 39(2): 14-17, 13.
- [15] 中华人民共和国水利部. 灌溉试验规范: SL 13—2015[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [16] 邢素林. 稻田不同水层深度与施肥对水稻产量及氮磷流失影响研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [17] 茆智. 水稻节水灌溉及其对环境的影响[J]. 中国工程科学, 2002, 4(7): 8-16.

Impacts of Rainwater Storage Irrigation on Farmland Nutrients and Rice Growth

YE Hao^{1,2}, HUANG Bishan¹, XIONG Wei¹, WANG Shubin¹

(1. Tianmen Experiment Station of Farmland Irrigation and Drainage, Tianmen 431700, China;

2. Tianmen Bureau of Water Resources and Lakes, Tianmen 431700, China)

Abstract: 【Objective】To provide scientific basis for rain storage irrigation, the trial explored the effect of rain storage irrigation on farmland nutrients and crops. 【Method】Under natural conditions, shallow water frequent irrigation was the control, based on shallow water frequent irrigation, three kinds of rain storage upper limits (TR1, 100 mm; TR2, 80 mm; TR3, 60 mm) were designed to study impacts of rainwater storage irrigation on farmland nutrients and rice growth. 【Result】①Rain storage irrigation has no effect on available nitrogen, available phosphorus, available potassium at the level of 5% in soil nutrients of 0~20 cm (surface soil) and 20~40 cm (deep soil); ②The available nitrogen of surface soil of TR1—TR3 was 20.0% higher on average than that of the deep soil; the available phosphorus of surface soil was 85.0% higher than that of the deep soil; the available potassium of surface soil was 66.8% higher than that of the deep soil. With the change of growth period, the available nitrogen of surface soil of the rain storage irrigation treatment decreased gradually, and the deep soil increased gradually. Available phosphorus of surface soil and deep soil gradually increased; available potassium of surface soil and deep soil decreased gradually; ③There was no significant difference in effective tillering, panicle length, seed setting rate and 1 000-grain weight among the four treatments at the 5% level. 【Conclusion】Rain storage irrigation can increase surface available nitrogen, available phosphorus and available potassium, and 80 mm rain storage has the best comprehensive benefit.

Key words: rice; agronomic indicators; rain storage irrigation; soil nutrient

责任编辑: 白芳芳