

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.011

水位管理对稻田地表水总磷的影响

季亚辉^{1,2},俞双恩^{1,2}

(1.河海大学节水园区,江苏 南京 210098;2.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:通过蒸渗仪进行水稻水位管理试验,研究了稻田施肥后和水稻各生育阶段不同淹水深度的地表水总磷(TP)质量浓度变化.结果表明 施肥后,淹水深度和淹水时间对 TP 质量浓度均有影响,随着淹水时间的延长,TP 质量浓度不断增加 在水稻同一生育阶段,TP 质量浓度随淹水深度增加而减少,但淹水越深,单位面积释放出的 TP 越多 在水稻不同生育阶段,TP 释放量乳熟期最大,抽穗开花期次之,拔节孕穗后期最小 在水稻各生育阶段的淹水处理中,温度和淹水深度对 TP 释放量均有影响,当 2 个因素同时变化时,淹水深度对 TP 释放量影响明显.

关键词:水稻 水位管理 ;TP 质量浓度 ;TP 释放量
中图分类号: S143.2 S274.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)06-0777-04

农田径流磷素流失与湖泊水库富营养化现象的发生有着密切的关系,而降雨作用引起的地表径流是磷素流失的主要途径,在水稻生长期,降雨量比较集中,农田排水量大,在降雨初期排水会造成大量的磷素流失^[1].为了减少磷素的流失,可以控制降雨期间和雨后向排水沟的排水时间.本文针对以上问题,研究了不同受淹历时和受淹深度稻田地表水总磷(TP)变化特性,对合理制定农田排水方案、控制面源污染具有重要意义.

1 试验材料与试验方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2006 年 5~10 月在河海大学节水园区的节水与农业生态试验场内进行.河海大学节水园区位于北纬 31°86′、东经 118°60′.节水与农业生态试验场共有 32 个固定式蒸渗仪(有底 28 个,无底 4 个),分 2 组布置,每组 16 个,每个蒸渗仪的规格为 2.5 m×2 m×2 m(长×宽×高),中间设地下廊道及地下设备间,地面设移动式雨棚,蒸渗仪可以实现水位自动控制.蒸渗仪内 0~30 cm 土层土壤田间持水率为 25.28%,总孔隙度为 44.97%,pH 值为 7.78,土壤取自河海大学节水园区,为黏土,有机质质量分数 2.40%,全氮质量比 0.90 g/kg,速效氮质量比 27.65 mg/kg,全磷质量比 0.32 g/kg,速效磷质量比 12.50 mg/kg.

1.2 试验设计及试验方法

1.2.1 试验方案设计

分别在水稻拔节孕穗前期、拔节孕穗后期、抽穗开花期和乳熟期 4 个生育阶段进行淹水试验,在各生育阶段设置 2 种不同的农田淹水深度,其他生育期按浅湿灌溉要求进行水位管理.

灌溉水源为试验场内的地下水.各生育阶段控制受淹深度方案见表 1,控制受淹时间方案见表 2,每个方案设 2 个重复处理.水稻品种为太湖糯,5 月初播种,6 月 18 日移栽,10 月 24 日收割.试验期间共施肥 2 次,基肥为复合肥,

Table 1 Flooding depth control scheme					mm
方案	拔节孕穗前期	拔节孕穗后期	抽穗开花期	乳熟期	
A1	20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	
A2	150	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	
B1	- 200 ~ 20	20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	
B2	- 200 ~ 20	150	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	
C1	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	50	- 200 ~ 20	
C2	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	200	- 200 ~ 20	
D1	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	50	
D2	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	- 200 ~ 20	200	

注:表中数字正值为地表水层深度,负值为地下水距地表面的距离.

N,P₂O₅,K₂O 占的比例分别为 15%,15%,10%,施肥时间为 6 月 17 日,施肥量为 1.05 kg/hm².追肥为复合肥,施肥时间为 8 月 7 日,施肥量为 0.45 kg/hm².除灌水外,各方案农技措施保持一致.为了准确控制农田水位,在降雨时雨棚关闭.

1.2.2 水质分析方法

在施肥后和每次淹水开始至结束,上午 8 时分别采集淹水方案的稻田地表水样.取样时,用 50 mL 医用注射器,不扰动土层,随机小心地抽取蒸渗仪内 6 处表层水样,注入塑料瓶.水样取后即 在实验室进行水质分析.稻田地表水 TP 质量浓度(以下简称 TP 质量浓度)测定采用过硫酸钾氧化钼锑抗分光光度法^[2],测定仪器为岛津紫外分光光度仪 UV2800.

2 试验结果分析

2.1 施肥后不同淹水深度 TP 质量浓度的动态变化

8 月 7 日各试验方案施穗肥,并保持 20 mm 左右的水层.8 月 10 日开始 A1,A2 方案处理.从表 3 可以看出,施肥后的第 3 天由于 2 个方案水层深度相同,TP 质量浓度基本相同.8 月 10 日处理开始后,2 个方案 TP 质量浓度相差很大,A2 方案较 A1 方案 TP 质量浓度下降明显.整个淹水过程中 A1 方案和 A2 方案 TP 质量浓度的动态变化特征相似,稻田在淹水初期 TP 质量浓度随时间推移下降明显,这是由于表土对稻田地表水磷素的固定以及水稻生长吸收的影响.然后由于稻田地表长期淹水^[3],一部分 Fe³⁺ 被还原,从而使与之相结合的磷素被释放,同时淹水土壤的有机阴离子代换了部分被吸附的磷素,使土壤固磷能力下降,附着在土壤表层的磷素一部分分解游离到地表水中使 TP 质量浓度升高,这样 TP 质量浓度又随淹水时间增加而增加.受水面蒸发的影响,稻田淹水水位不断下降,到 8 月 19 日 A2 方案水位下降了 9.5 cm,由于复水水量比较大,A2 方案 TP 质量浓度明显下降,而 A1 方案淹水水位变化不大,复水水量比较小,到处理后期 TP 质量浓度基本没有变化.2 个方案主要受淹水水层深度的影响,TP 质量浓度是 A1 方案大于 A2 方案,但 TP 释放量是 A2 方案大于 A1 方案,在 8 月 17 日,A2 方案的 TP 释放量是 A1 方案的 4.2 倍.

2.2 同一生育阶段不同淹水深度 TP 质量浓度的动态变化

拔节孕穗后期不同淹水方案 TP 质量浓度的动态变化见表 4.从表 4 可以看出,2 个方案淹水开始之前 TP 质量浓度基本相同,然后随淹水时间增加而增加,这是由于蒸渗仪在淹水处理前田间没有水层,在淹水后就使土壤形成了一个干湿交替的土壤环境,这种干湿交替的环境使土壤磷素的有效性显著提高^[4-6],同时淹水时间的增加降低了土壤对磷素的固定能力,提高了磷素的溶解活性.但有关研究表明^[7],土壤释放的磷素达到最大后有下降的趋势,达到较稳定的解吸与吸附的动态平衡,所以 TP 质量浓度不会一直增加.淹水处理期间受水层深度的影响,B1 方案的 TP 平均质量浓度比 B2 方案高出 35.4%.2 个淹水方案 TP 释放量是 B2 大于 B1,在 8 月 27 日,B2 方案的 TP 释放量是 B1 的 11.6 倍.

由表 5 可以看出,到抽穗开花期 2 个方案 TP 质量浓度随淹水时间增加逐渐增加,这是由于施肥 1 月以后扰动表土层会导致 TP 质量浓度有明显的回升^[8].而 TP 质量浓度随受淹深度增加而减小.在淹水后期,由于要保持淹水水位进行复水,2 个方案 TP 质量浓度下降明显,之后趋于稳定.与前面生育阶段相似,淹水深

表 2 控制受淹时间方案

Table 2 Flooding time control scheme		
方 案	水稻生育阶段	受淹时间
A1,A2	拔节孕穗前期	8 月 10~20 日
B1,B2	拔节孕穗后期	8 月 20~29 日
C1,C2	抽穗开花期	9 月 4~10 日
D1,D2	乳熟期	9 月 20~25 日

表 3 施肥后 TP 质量浓度及 TP 释放量变化

Table 3 Change of TP concentration and TP release amount after fertilizer application				
日 期	TP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		TP 释放量/(g·cm ⁻²)	
	A1 方案	A2 方案	A1 方案	A2 方案
8 月 9 日	0.49	0.47		
8 月 11 日	0.38	0.17	0.008	0.025
8 月 14 日	0.43	0.27	0.009	0.040
8 月 17 日	0.55	0.31	0.011	0.047
8 月 20 日	0.55	0.22	0.011	0.038

表 4 拔节孕穗后期 TP 质量浓度及 TP 释放量变化

Table 4 Change of TP concentration and TP release amount at later period of jointing-booting stage				
日 期	TP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		TP 释放量/(g·cm ⁻²)	
	B1 方案	B2 方案	B1 方案	B2 方案
8 月 21 日	0.19	0.21	0.019	0.032
8 月 23 日	0.22	0.34	0.022	0.051
8 月 27 日	0.31	0.48	0.031	0.072

的方案 TP 释放量多,但是 C2 方案与 C1 方案差距比前 2 个生育期缩小,两者相差约 2.8 倍.

从表 6 可以看出,在乳熟期淹水开始之前,2 个淹水方案 TP 质量浓度相差不大,淹水开始后,D1 和 D2 这 2 个淹水方案 TP 质量浓度下降明显,之后随淹水时间增加而增加并趋于稳定.在 2 个方案的整个淹水过程中,D1 和 D2 方案的 TP 质量浓度变化幅度不大,D1 方案的 TP 质量浓度在 0.5 mg/L 左右,而 D2 方案的 TP 质量浓度在 0.4 mg/L 附近.到处理后期,2 个淹水方案 TP 质量浓度均下降,原因是在水稻生长初期^[9],施肥土壤向稻田地表水释放 TP,而到了水稻生长中后期,灌溉水的 TP 反而被田间吸收,由淹水释放出来的 TP 减少;而对 2 个淹水方案进行复水也降低了 TP 的质量浓度.TP 释放量随淹水深度增加而增加,D2 方案与 D1 方案的 TP 释放量相差 3.5 倍左右.

2.3 温度和淹水深度对水稻各生育阶段不同淹水处理 TP 释放量的影响

由表 7 可以看出:淹水方案 TP 释放量(淹水稳定后的 TP 平均释放量)是乳熟期最大,抽穗开花期次之,拔节孕穗后期最小,同一温度,TP 释放量是淹水深的大于淹水浅的.研究表明,温度的变化对土壤磷素的解吸量有着明显的影响^[10],土壤磷素的解吸反应是吸热反应,随着温度的升高,土壤向水体释放的 TP 逐渐增多,但本试验 B,C 淹水方案的 TP 释放量并没有随着温度的降低而降低,C 淹水方案的 TP 释放量明显大于 B 淹水方案.由此可见,在温度和淹水深度的共同作用下,淹水深度对 TP 释放量影响明显,TP 释放量随着淹水深度的增加而增加.由表 7C,D 淹水方案可以看出,水稻在不同生育阶段同一淹水深度下,TP 释放量 C1 方案略大于 D1 方案,原因是温度对 TP 释放量略有影响^[10],另外,到水稻生长中后期,灌溉水的 TP 反而被田间吸收,因此淹水释放出来的 TP 减少^[9].但是 D2 方案 TP 释放量却略大于 C2 方案,这是因为周期性的干湿交替比连续淹水能释放更多的 TP^[11],而且本试验在淹水处理之前,D 方案的蒸渗仪不断地进行着干湿交替,同时为满足水稻正常灌溉要求就要不断复水,这样对水稻表土层的扰动比较大,这 2 个原因使得乳熟期 TP 释放量略有提高.由表 7C,D 淹水方案还可以看出,周期性干湿交替对 TP 释放量的影响主要体现在淹水深度的方案中,对淹水浅的方案影响不大.

3 结 论

- a. 施肥后,TP 质量浓度随时间推移下降明显,之后随着土壤淹水时间的增加,TP 质量浓度也逐渐增加并趋于稳定.
- b. 在水稻同一生育阶段,TP 质量浓度随淹水时间增加而增加,随淹水深度增加而减小,而 TP 释放量却随淹水深度增加而增加.
- c. 在水稻不同生育阶段,温度和淹水深度均影响 TP 释放量,在 2 个因素同时改变的条件下,淹水深度对 TP 释放量影响明显,TP 释放量随水层深度的增加而增加.
- d. 各生育阶段,淹水条件下 TP 质量浓度均较高,从田面排水一方面造成了 TP 的流失,另一方面污染了

表 5 抽穗开花期 TP 质量浓度及 TP 释放量变化
Table 5 Change of TP concentration and TP release amount at heading-flowing stage

日 期	TP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		TP 释放量/(g·cm ⁻²)	
	C1 方案	C2 方案	C1 方案	C2 方案
9 月 4 日	0.32	0.25	0.016	0.050
9 月 5 日	0.69	0.50	0.035	0.100
9 月 7 日	0.80	0.57	0.040	0.113
9 月 8 日	0.33	0.28	0.016	0.056
9 月 10 日	0.32	0.24	0.016	0.048

表 6 乳熟期 TP 质量浓度及 TP 释放量变化
Table 6 Change of TP concentration and TP release amount at milky ripe stage

日 期	TP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		TP 释放量/(g·cm ⁻²)	
	D1 方案	D2 方案	D1 方案	D2 方案
9 月 19 日	0.58	0.54	0.029	0.108
9 月 20 日	0.50	0.31	0.025	0.063
9 月 21 日	0.48	0.38	0.024	0.076
9 月 22 日	0.52	0.46	0.026	0.092
9 月 23 日	0.55	0.43	0.027	0.087
9 月 24 日	0.56	0.48	0.028	0.097
9 月 25 日	0.38	0.38	0.019	0.076

表 7 不同温度及淹水深度下 TP 释放量变化
Table 7 Change of TP release amount under different temperatures and flooding depths

生育阶段	方案	平均温度/℃	淹水深度/mm	TP 释放量/(g·cm ⁻²)
拔节孕穗后期	B1	29.7	20	0.005
拔节孕穗后期	B2	29.7	150	0.052
抽穗开花期	C1	21.7	50	0.025
抽穗开花期	C2	21.7	200	0.074
乳熟期	D1	19.9	50	0.024
乳熟期	D2	19.9	200	0.081

地表水环境,所以要尽量通过渗漏排水,以减少磷素流失.

参考文献:

- [1] 邬伦,李佩武.降雨-产流过程与氮、磷流失特征研究[J].环境科学学报,1996,16(1):111-116.
- [2] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [3] 鲁如坤.土壤化学研究进展[J].土壤,1987,7(1):1-5.
- [4] 梁嘉陵.淹水条件下白浆土磷素有效化机理的研究[J].土壤通报,1997,28(5):217-218.
- [5] ZHANG Yong-song, LIN Xian-yong, NI Wu-zhong. Effects of flooding and subsequent air-drying on phosphorus adsorption and available phosphorus in the paddy soils[J]. Chinese J Rice Sci, 1998, 12(1): 40-44.
- [6] 张志剑,王光火,王柯,等.模拟水田的土壤磷素溶解特征及其流失机制[J].土壤学报,2001,38(1):139-143.
- [7] 缪绅裕,陈桂珠.模拟湿地系统中土壤氮磷释放的动态研究[J].生态学报,1998,17(2):24-28.
- [8] 张志剑,朱荫湄,王柯,等.水稻田土-水系统中磷素行为及其环境影响研究[J].应用生态学报,2001,12(2):229-232.
- [9] 欧阳喜晖,朱姝春.北京市水源保护区施肥及对水体污染控制研究[J].农业环境保护,1996,15(3):107-110.
- [10] 李志伟,崔力拓,耿世刚,等.影响土壤磷素解吸的环境因素研究[J].中国水土保持,2007,6(2):33-34.
- [11] MCDOWELL R W, SHARPLEY A N. A comparison of fluvial sediment phosphorus chemistry in relation to location and potential to influence stream P concentrations[J]. Aquatic Geochemistry, 2001, 7(1): 255-265.

Influence of water level management on total phosphorus concentration of surface water in paddy fields

JI Ya-hui^{1,2}, YU Shuang-en^{1,2}

(1. Water-saving Park, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : Through the experimental tests on paddy rice water level management by use of lysimeters, change of the total phosphorus (TP) concentration of surface water was studied at different water levels during various growth stages of the paddy rice after fertilizer application. The results show that, both the flooding time and flooding depth have influence on the TP concentration, and the TP concentration of surface water increases with time. At the same growth stage of the paddy rice, the TP concentration decreases with the increase of the flooding depth, but the larger the flooding depth, the more the TP release amount per unit area. At different growth stages of the paddy rice, the TP release amount at the milky ripe stage is the largest, that at the heading-flowering stage is the second and that at the later period of the jointing-booting stage is the least. As for the treatment of flooding of the paddy rice at different growth stages, both the temperature and the flooding depth have influence on the TP release amount, and the latter has obvious influence on the TP release amount when the two factors simultaneously change.

Key words : paddy rice ; water level management ; TP concentration ; TP release amount