

稻田不同灌溉模式的节水减污效应分析 ——以浙江平湖为例

许怡¹, 吴永祥^{1,2*}, 王高旭¹, 刘培¹, 郭婷¹

(1. 南京水利科学研究所, 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘要:【目的】研究不同灌溉模式下水稻的节水及减污效应, 探寻适合平原河网区的水稻节水灌溉模式。【方法】在浙江平湖灌溉试验站设定常规灌溉、薄露灌溉和适雨灌溉3种模式, 测定了灌溉量以及排水和渗漏水样中的TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N和COD等。【结果】适雨灌溉灌水量相较于常规灌溉和薄露灌溉分别减少了67.4%和43.4%, 节水效果最好; 适雨灌溉排水量最少, 相较于常规灌溉和薄露灌溉, 适雨灌溉TN排放量分别减少了86.9%和90.7%, NH₄⁺-N排放量减少了96.7%和98.3%, COD排放量减少了61.5%和62.5%, TP和NO₃⁻-N的减排效果不明显。【结论】在本研究条件下, 适雨灌溉的节水减污效果更好。

关键词:灌溉; 适雨灌溉; 节水效应; 减污效应; 水稻

中图分类号: S274

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20180338

许怡, 吴永祥, 王高旭, 等. 稻田不同灌溉模式的节水减污效应分析——以浙江平湖为例[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 56-62.

0 引言

水稻是平湖市最主要的粮食作物, 2016年灌溉用水量占全市总用水量47.6%, 占全市农业总用水量的89.6%^[1]。水稻生产以传统淹灌为主, 不仅耗水量大, 田间排水量和渗漏量也较大, 由于地处平原河网区, 很容易产生面源污染^[2-4]。实施水稻节水灌溉模式不仅能够节约灌溉用水^[6-8], 还可以提高水肥利用效率, 减少稻田污染物的排放^[9-11]。经过多年的试验研究和实践总结出的节水灌溉模式主要有浅、湿、晒灌溉、间歇灌溉、湿润灌溉、适雨灌溉、薄露灌溉、控制灌溉等。肖万川等^[12]试验结果表明, 适雨灌溉的稻田灌溉次数及总灌水量较常规灌溉下降了60%和81.9%, 但产量并未出现明显下降; 迟俊民等^[13]研究发现水稻薄露灌溉水分利用率比淹灌提高41.1%; 姜萍等^[14]通过测坑试验发现间歇灌溉和湿润灌溉相较于常规灌溉在整个稻季TN的径流流失量减少了52.01%和38.24%, 渗漏流失量减少了15.88%和42.06%。虽然节水灌溉模式取得了良好的节水减污效果, 但是由于不同节水灌溉模式的田间水分控制标准不同, 往往适应于特定的地区和气候条件及土壤类型, 在已有的试验中, 多数只有某一种节水灌溉模式和常规灌溉进行的对比试验。本研究针对平湖市的基本情况, 在平湖灌溉试验站选择当地水稻种植中最常见的常规灌溉以及浙江省大力推广的薄露灌溉和近几年研究较多的适雨灌溉, 进行田间水稻试验, 研究对比3种灌溉模式的节水效应以及对氮、磷等污染物排放的规律, 探寻适合平原河网区的水稻节水灌溉模式, 以期为平湖市的农业水管理提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

水稻田间试验于2017年6—12月在浙江省平湖市黄姑镇赵家桥村农业排灌技术示范基地开展, 地理坐标为121°16' N, 30°36' E, 海拔4.1 m。试验区属亚热带季风气候, 年平均气温15.7℃, 多年平均降雨量1 195.2 mm。年平均日照时间2 075 h, 年平均降雨时间为140 d。土壤质地为粉质黏土, 土壤体积质量为

收稿日期: 2018-06-19

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2017YFC0405800); 水利部水资源节约与保护项目(Ss516014, Ss517007); 南京水利科学研究所基本科研业务费资助项目(Y517002)

作者简介: 许怡(1990-), 女, 博士研究生, 主要从事水资源规划与管理方面的研究。E-mail: xuyi@nhri.cn

通信作者: 吴永祥(1965-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水资源规划与管理方面的研究。E-mail: yxwu@nhri.cn

1.39 g/cm³。试验区共有 24 个试验小田块,每块小田面积为 6 m×11 m,其进水及排水全部采用无缝钢管,安装量水表、过滤器及控制闸阀,田埂为水泥砂浆砖砌,高出土壤表面约 20 cm。2017 年水稻生长季的降雨量为 681.7 mm,属于降水较多的丰水年份。

1.2 试验设计

水稻试验品种为秀水 12 号,为当地粳型单季晚稻,2017 年 6 月 29 日播种,全生育期施肥折纯为 N:241.5 kg/hm², P₂O₅: 150 kg/hm², K₂O: 60 kg/hm², 磷肥、钾肥全部施在基肥,氮肥按照基肥、分蘖肥、拔节肥 5:3:2 的比例进行施肥,7 月 20 日每块试验小田施入基肥,7 月 21 日秧苗移栽,8 月 6 日第 1 次追肥,9 月 5 日第 2 次追肥,12 月 4 日进行收割。试验共设置 3 个处理,即常规灌溉(W0 处理)、薄露灌溉(W1 处理)和适雨灌溉(W2 处理)。每个处理设置 3 个重复,共计 9 个试验小区,各处理随机排列。W0 处理按照当地农户灌溉习惯,作为对照,除返青期薄水、分蘖后期晒田及黄熟期自然落干外,其他生育阶段田间一直保有 20~40 mm 的水层,遇到降雨可适量蓄水;W1 处理在分蘖后期和黄熟期的水分管理与 W0 处理一致,其余生育阶段灌 20 mm 以下的薄水层,并适时落干晒田,雨后及时排水;W2 处理在分蘖后期和黄熟期的水分管理与 W0 处理、W1 处理相同,在其他生育期最大程度利用降雨,降雨时田间蓄水,无雨期减少灌溉量和灌水次数。不同灌溉模式的水稻各生育阶段田间水层控制标准见表 1。

表 1 不同灌溉模式的田间水分控制标准

灌溉模式	控制标准	返青期	分蘖期		拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
		0722—0802	前期 0803—0823	后期 0823—0831	0901—0917	0918—0926	0927—1009	1010—1204
W0 处理	上限	20 mm	40 mm	0 mm	40 mm	40 mm	40 mm	
	下限	5 mm	20 mm	80% θ	20 mm	20 mm	20 mm	自然落干
	耐淹水深	40 mm	80 mm	20 mm	80 mm	80 mm	80 mm	
W1 处理	上限	20 mm	20 mm	0 mm	20 mm	20 mm	20 mm	
	下限	5 mm	80% θ	自然落干				
	耐淹水深	40 mm	40 mm	20 mm	40 mm	40 mm	40 mm	
W2 处理	上限	20 mm	20 mm	0 mm	20 mm	20 mm	20 mm	
	下限	5 mm	80% θ	自然落干				
	耐淹水深	40 mm	200 mm	20 mm	200 mm	200 mm	200 mm	

注 灌溉上限为每次灌溉灌至的高度,低于灌溉下限则需要灌溉,耐淹水深为雨后田间可以存蓄的最大水量。 θ 为水稻根层土壤饱和含水率。

1.3 试验观测和水样检测

在水稻生长期,气象数据由试验站内小型气象站自动获取;稻田水位每天 08:00 由田间固定位置的水尺读取,灌水、降雨及排水前后加测;田面无水层时,取水稻根层土壤采用烘干法测定土壤含水率,灌水前后、降雨前后和生育阶段转化时加测;田间布设有底、无底测桶,每天 08:00 观测田间测桶内水位变化,有底、无底测桶内水层高度之差即为前 1 天的渗漏量,除排水以外的每天田间水层高度变化值减去渗漏量,即为蒸发蒸腾量,记录完之后,将测桶内水位调整至与田间一致。水样的采集主要包括排水水样和渗漏水样。每次排水时均采样;从返青期到乳熟期,每周用真空泵采集 1 次土壤渗漏水样,每次施肥前后加测,水样主要检测 TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 COD 等 5 个指标。

1.4 评价方法

各处理实际产量单打单收并换算成单位面积产量。节水效应分析主要包括田间水量平衡分析、水稻的水分生产率以及灌溉水有效利用率,田间水量平衡主要通过各处理的实际灌排情况进行分析;水分生产率、灌溉水分生产率、蒸发蒸腾量水分生产率计算式为:

$$\eta = \frac{G}{I+P-O}, \quad (1)$$

$$\eta_{\text{ir}} = \frac{G}{I}, \quad (2)$$

$$\eta_{\text{evp}} = \frac{G}{E}, \quad (3)$$

式中: η 为水分生产率(kg/m³); G 为田块产量(kg); I 为灌溉水量(m³); P 为天然降雨量(m³); O 为排水量(m³); η_{ir} 为灌溉水分生产率(kg/m³); η_{evp} 为蒸发蒸腾量水分生产率(kg/m³)。田间的灌溉水有效利用率及田间有效水利用率的计算式为:

$$\varphi = \frac{ET_c}{I}, \quad (4)$$

$$\varphi_e = \frac{ET_c}{I+P_e}, \quad (5)$$

式中： φ_e 为田间灌溉水有效利用率； ET_c 为水稻需水量(mm)； I 为进入田间的灌溉水量(mm)， φ_e 为田间有效水利用率； P_e 为保留在田间的有效降雨量(mm)。减污效应主要通过排水污染物负荷和渗漏污染物负荷进行计算，为每次的排水量或渗漏量乘以该次污染物浓度后相加得到。

2 结果与分析

2.1 产量分析

由表2可知，3种灌溉模式下水稻的产量基本一致，薄露灌溉的实际产量最高，常规灌溉次之，适雨灌溉最少，但是差异并不显著($P>0.05$)。理论产量上存在一定的差距，可能与各处理的穗数、实粒数的抽样随机性较大有关。3种灌溉模式的实际产量均在正常范围以内，不会因为灌溉模式的不同造成减产，都能满足水稻正常生长的需求。

表2 不同灌溉模式的水稻产量

灌溉模式	有效穗数/(株·hm ²)	实粒数/20穗	空秕率/%	千粒质量/g	理论产量/(kg·hm ²)	实际产量/(kg·hm ²)
W0处理	3 520 695a	113a	8.85a	22.47a	8 962.5b	8 094a
W1处理	3 716 220a	117a	7.93a	22.67a	9 910.5a	8 275.5a
W2处理	3 646 500a	113a	9.39a	22.43a	9 298.5b	7 987.5a

注 同列数字后不同字母，表示各处理间差异显著($P<0.05$)，下同。

2.2 节水效应分析

2.2.1 田间水量平衡分析

试验田的稻季水量分配情况如表3所示。从表3可以看出，2017年水稻生长季降雨较多且分布均匀，尤其在水稻需水量较大的分蘖期、拔节孕穗期及抽穗开花期雨量丰富，因此无论从灌溉次数还是从灌溉量上都较往年平均要少。与W0处理相比，W1处理和W2处理分别节水42.3%和67.5%，效果明显。水稻耗水量中，蒸发蒸腾量占比最大，W2、W0、W1处理的蒸发蒸腾量分别占其耗水量的65.9%、57.1%和49.8%。在气候条件相同、水稻生长情况相似条件下，水稻蒸腾量差距不大，蒸发蒸腾量的区别主要体现在水面蒸发量上。W0处理由于田间一直保有较高水层，蒸发量最大，W2处理将更多雨水积蓄在田间，导致水面蒸发较多，而W1处理田间水层较浅，蒸发量最少。排水量表现为W1处理>W0处理>W2处理，渗漏量表现为W0处理>W2处理>W1处理，这是由于W1处理只允许较少水量留存在田间，因此降雨后排水量多，但是日常渗漏量少；W2处理在田间积蓄了雨水，因此排水量最少，但是由于雨后田间水量多，在一定程度上增加了渗漏水量；W0处理的排水量介于W2处理和W1处理之间，但由于日常田水位较高，导致渗漏水量最大。2017年人工灌溉主要发生在水稻生育前期，排水主要发生在强降雨之后，灌溉的水量几乎不会被人为排出。W0、W1、W2处理的灌溉水量占总耗水量的比例分别为32.1%、21.7%、13.5%。在降雨较多的情况下，W2处理由于更多地利用了降雨量，因此对于灌溉的需求最小，节水效果最好。

表3 不同灌溉模式的稻季水量分配情况

灌溉模式	进水量/mm		耗水量/mm		
	降水量	总灌水量	排水量	渗漏量	蒸发蒸腾量
W0处理	681.7	262.8a	305.5b	45.8a	467.1a
W1处理	681.7	151.6b	326.6a	23.8c	347.6c
W2处理	681.7	85.8c	185.6c	31.7b	420.6b

2.2.2 水分生产率

2017年各处理的水分生产率如表4所示。从表4可以看出，W1处理的水分生产率最高，达到1.60 kg/m³，W2处理次之，为1.34 kg/m³，W0处理最少为1.25 kg/m³。虽然W2处理的灌溉水量最少，但是由于W1处理的排水量更多，因此在扣除排水量后，W1处理的水分生产率最高。从灌溉生产率来说，由于W2处理的灌溉量最少，因此灌溉水分生产率最高，达到了9.29 kg/m³，W1处理次之，为5.34 kg/m³，W0处理由于灌溉量最大，因此灌溉水分生产率在最低。从蒸发蒸腾量水分生产率来看，W1处理的蒸发蒸腾量最少，蒸发蒸腾量水分生产率最高，达到了2.24 kg/m³，W2处理次之为1.86 kg/m³，W0处理最低，为1.72 kg/m³。可见W2处理和W0处理多出来的蒸发蒸腾量并没有对水稻最终的产量产生积极的影响，无效蒸发居多。

表4 不同灌溉模式的水分生产率

灌溉模式	实际产量/(kg·hm ²)	降雨量/m ³	灌水量/m ³	排水量/m ³	蒸发蒸腾量/m ³	η /(kg·m ⁻³)	η_m /(kg·m ⁻³)	η_{evp} /(kg·m ⁻³)
W0处理	8 094.0a	454.7	174.5a	200b	312.9a	1.25c	3.08c	1.72c
W1处理	8 275.5a	454.7	102.5b	214.8a	243.9c	1.60a	5.34b	2.24a
W2处理	7 987.5a	454.7	57.2c	116.4c	286.3b	1.34b	9.29a	1.86b

2.2.3 灌溉水有效利用率

2017年平湖小田各田块的灌溉水利用率如表5所示。由表5可知,3种模式的灌溉水有效利用率均大于1,表现为W2处理>W1处理>W0处理。在扣除排水量后,有效水利用率表现为W1处理>W2处理>W0处理。W2处理对灌溉水的利用程度最高,但是在扣除排水之后低于W1处理,W1处理由于排水量较大,对田间水分的控制标准更为严格,因此有效降雨量较少;W2处理不仅高效地利用了灌溉水,而且更多地利用了降雨。

表5 不同灌溉模式的灌溉水利用率

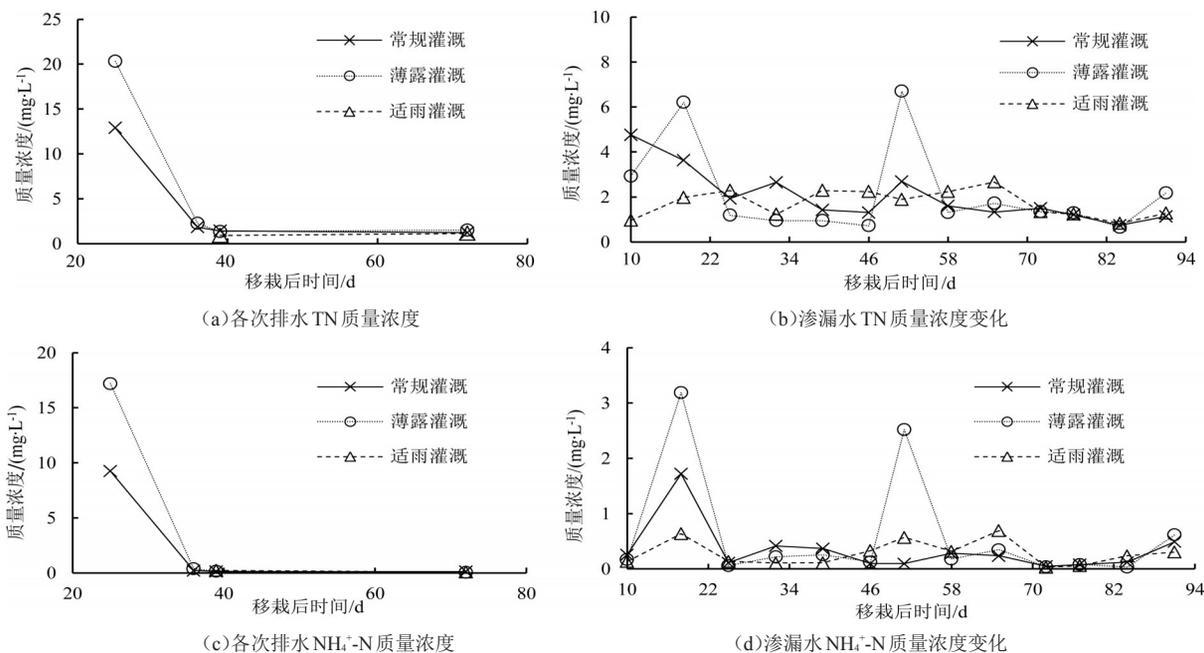
灌溉模式	灌水量/m ³	降雨量/m ³	排水量/m ³	有效总水量/m ³	作物需水量/m ³	φ	φ_c
W0处理	174.5a	454.7	200b	429.2a	221.6	1.27c	0.52c
W1处理	102.5b	454.7	214.8a	342.4c	221.6	2.16b	0.65a
W2处理	57.2c	454.7	116.4c	395.5b	221.6	3.87a	0.56b

2.3 减污效应分析

2.3.1 排水污染物负荷

在整个稻季,排污量的计算由排水量乘以各次排水污染物的质量浓度,图1为各处理排水和渗漏水样污染物质量浓度变化情况。从图1(a)、图4(c)、图4(e)、图4(g)、图4(i)可以看出,在水稻生长期,相同日期不同灌溉模式下的排水污染物浓度变化不大,但是各次之间差异较大。比如8月18日采样的排水中TN、NH₄⁺-N、COD的质量浓度明显高于其他日期的排水样,这是因为前期进行了1次追肥,施肥后不久遇到了强降雨,增加了排水,此时化肥还未完全被作物吸收,污染物质量浓度较高,TN、NO₃⁻-N的变化没有明显的规律性,因为追肥主要以氮肥为主,TP量主要和土壤中原有的量有关,同时由于硝化反硝化作用不确定性较大,NO₃⁻-N的量变化也不稳定。

由表6可知,从不同的灌溉模式上来看,W2处理的TN和NH₄⁺-N的排放量要远小于W1处理和W0处理,W1处理污染物负荷量最大。NO₃⁻-N的排放量上要比TN和NH₄⁺-N小很多,这是由于稻田中的NO₃⁻-N量较少,并且存在情况不稳定,因此随稻田排水带走的NO₃⁻-N量也比较小。NO₃⁻-N排放量表现为W2处理<W0处理<W1处理,这与TN及NH₄⁺-N的排放情况一致,主要是由于排放量的差距造成的,W2处理的排水量最少,而W1处理的排水量最多。稻田TP的排放量总量较小,即使W0处理和W1处理的排水量比W2处理要大得多,不同灌溉模式之间的差异也并不大。稻田COD的排放量表现为W1处理>W0处理>W2处理,这和排水量的结果相匹配,排水量最多的处理COD负荷也最大。



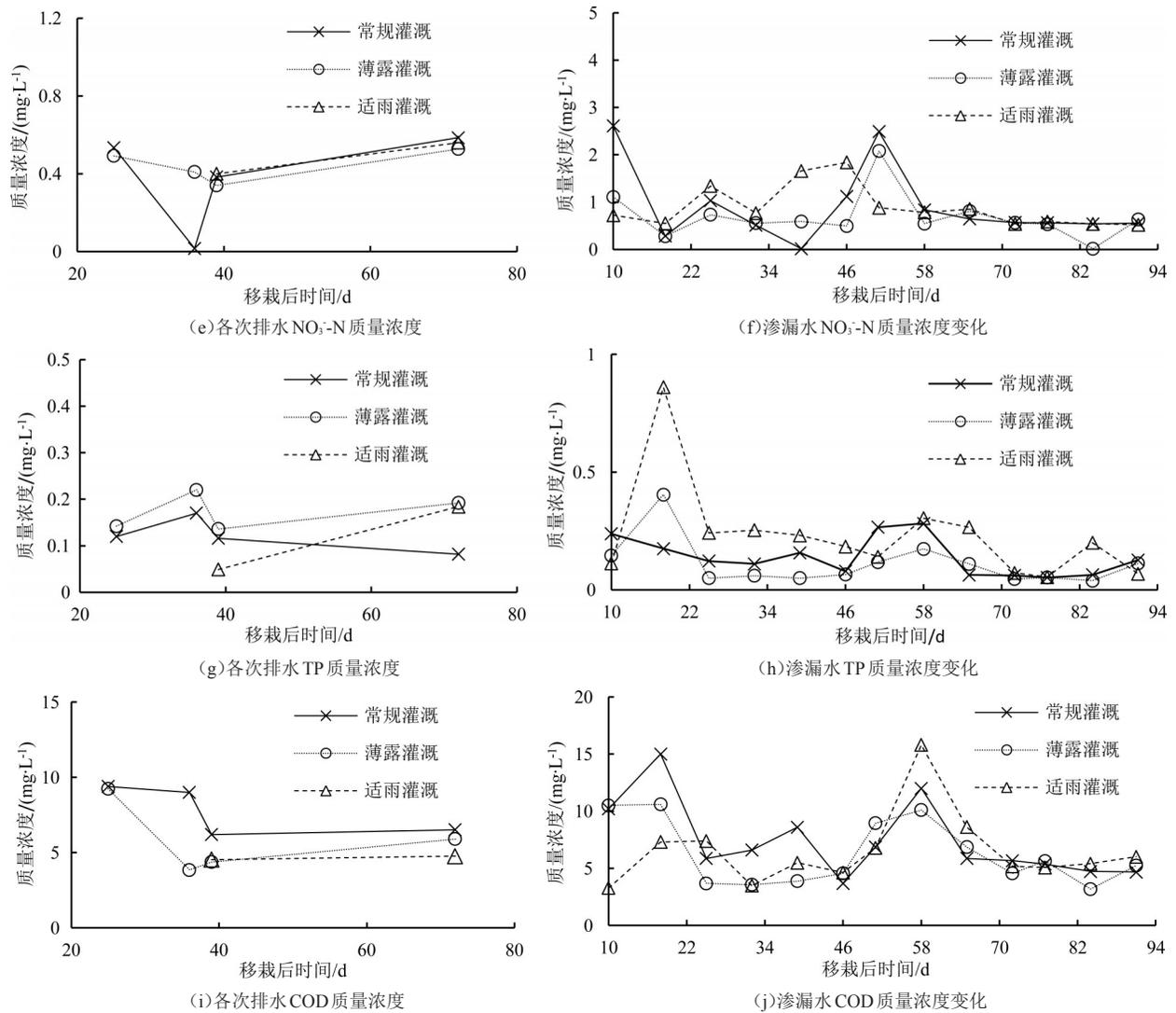


图1 不同灌溉模式下各污染物的排水质量浓度及渗漏水质量浓度变化

表6 不同灌溉模式的污染物排放量

g/hm²

灌溉模式	TN量	NH ₄ ⁺ -N量	NO ₃ ⁻ -N量	TP量	COD量
W0处理	18 330b	11 520b	1 365b	360b	24 255b
W1处理	27 180a	20 610a	1 500a	585a	29 310a
W2处理	1 965c	240c	945c	255c	8 700c

2.3.2 污染物渗漏负荷

除了稻田排水,污染物也可以通过地下水进入平原河网中,因此在考虑面源污染的时候也需要考虑渗漏水的污染物负荷量。试验期间各处理每周抽取1次渗漏水样,同时在施肥前后进行加测。从图4(b)、图4(d)—图4(j)可以看出,W0、W1、W2处理的渗漏水中TN和NH₄⁺-N的质量浓度在2次追肥后均有明显的增长,并且随着时间的推移,质量浓度逐渐趋于稳定,COD、NO₃⁻-N的质量浓度变化也出现了较为明显的2个峰值,体现出了施肥的影响;TP的质量浓度变化在水稻生长期一直在较小的波动范围内维持稳定。由于渗漏水的污染物质量浓度除施肥后的变化较大以外,其他时间较为稳定,因此认为每次的检测数据可以代表该周所有日期的数据,施肥后的数据加测,有实测的采用实测数据,无实测的采用插值法计算获得,结合每天的渗漏水量,得出渗漏水污染物负荷,如表7所示。

表7 不同灌溉模式的污染物渗漏负荷

g/hm²

灌溉模式	TN量	NH ₄ ⁺ -N量	NO ₃ ⁻ -N量	TP量	COD量
W0处理	1 318.5c	352.5c	442.5c	67.5c	4 456.5c
W1处理	355.5b	27b	183b	22.5b	150b
W2处理	601.5a	120a	300a	132a	2 344.5a

从表7可以看出,W1处理的各项污染物负荷量最少,W2处理除TP外其他污染物质量浓度要高于W1处理但低于W0处理。这是由于W1处理田间基本不保留水层或水层较浅,由于重力原因通过垂向的渗漏量最少,因此W1处理的渗漏水污染物负荷量最小,而W2处理在雨后储蓄的水量较多,因此W2处理的渗漏量要多一些,导致其渗漏污染物负荷量比W1处理要大。W0处理由于在水稻生长期除了分蘖后期晒田和黄熟期自然落干以外,田间一直保有水层,因此渗漏量最大,W0处理的渗漏水污染物负荷最大。TP的变化趋势和TN、COD和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 不同,由于后期追肥没有磷肥,因此TP的渗漏负荷量很低,规律性也不明显。

3 讨论

试验结果显示,3种灌溉模式的产量差距不大,雨后蓄水过多可能会产生小幅度的减产,这和陈朱叶等^[15]、郭以明等^[16]研究结果类似,但是与郭相平等^[17-18]的研究结果相反,可能是由于不同水稻品种、不同气候和土壤类型所致,同时一年试验也可能存在偶然性,需要多年的试验结果进行验证。

2017年平湖试验站的稻季生长期,薄露灌溉和适雨灌溉灌溉量相较于常规灌溉有明显的减少,这与前人研究结果^[19-20]类似。适雨灌溉由于更多地储蓄和利用了雨水,灌溉量相较于常规灌溉和薄露灌溉分别减少了67.4%和43.4%,节水效果最明显。

在减污量上,不同的节水灌溉模式表现不同,由于降雨丰富,薄露灌溉的田间水层较低,因此排水量较多,导致其排水污染负荷最大,甚至略高于常规灌溉,适雨灌溉将更多的雨水储蓄在田间,排水量最少,相较于常规灌溉和薄露灌溉分别减少41.8%和45.8%,因此排水污染负荷相较于其他灌溉模式有明显的减少。在排污指标上,TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD质量浓度对于施肥有着较好的响应,适雨灌溉TN负荷比常规灌溉减少86.9%,COD负荷减少61.5%,和之前研究成果^[21-23]一致;TP的质量浓度变化规律性不大,与其他研究成果^[24-27]略有区别,主要是由于本次试验仅基肥中施加了磷肥且磷较容易被土壤吸附,因此适雨灌溉主要在氮元素的排放量上减少明显。渗漏污染物负荷规律与排水污染物负荷类似,即渗漏水量大的污染物负荷也最大,薄露灌溉由于整个稻季田间水量都较少,因此渗漏水量和渗漏污染物负荷都最少,适雨灌溉由于雨后田间水量多导致雨后渗漏量增大,渗漏负荷要高于薄露灌溉,而常规灌溉由于水稻生长期田间一致保有较高水层,因此渗漏污染最大。在总的减污效果上,由于排水量要比渗漏量大得多,因此综合起来,适雨灌溉的减污效果最好。由于本研究选取的试验小区面积较小,人工管理水平较高,与实际大田的应用还存在差距,还需进一步在大田进行试验;同时由于2017年为丰水年,平水年或枯水年污染物如何变化则需要多年的跟踪试验。

4 结论

1)3种灌溉模式均保持了较高的产量,在节约灌溉水量上,薄露灌溉和适雨灌溉相较于传统的常规灌溉分别节约了42.3%和67.5%的灌溉水量,适雨灌溉的灌溉量最少,节水效果最好。

2)适雨灌溉将更多雨水储蓄在田间,排水量最少,相较于常规灌溉和薄露灌溉分别减少41.8%和45.8%,排水污染物负荷量也最少;薄露灌溉田间水量长期处于较少状态,渗漏水量最少,渗漏污染物负荷也最少。

3)适雨灌溉TN负荷比常规灌溉减少86.9%,COD负荷减少61.5%;薄露灌溉由于排水负荷最大,虽然渗漏污染负荷最少,但总的污染物负荷最大。

4)在2017这样的丰水年份,选择适雨灌溉模式更为合理,能够在保证产量的前提下,节约灌溉水量,减少稻田污染物的排放。

参考文献:

- [1] 2016年嘉兴市水资源公报.嘉兴市水利局. http://www.jiaxing.gov.cn/sslj/tjxx_6006/tjgb_6007/201708/t20170814_704221.html.
- [2] 杨斌,陈潇,张永健,等.太湖流域水稻节水减排灌溉技术应用分析[J].中国水利,2018(7):55-57.
- [3] 叶寿仁,吴志平,孙志,等.强化农业节水管理减少农村面源污染[J].中国水利,2012(11):27-29.
- [4] 菲智.水稻节水灌溉在节水增产防污中发挥重要作用[J].中国水利,2009(21):11-12.
- [5] 王玉文.基于节水灌溉模式的稻田增产减污研究[J].中国农村水利水电,2012(5):42-44.
- [6] 徐俊增.节水控制灌溉水稻生理生长响应机理研究[D].南京:河海大学,2007.
- [7] 陶敏之,俞双恩,叶兴成.农田水位调控对水稻根系活力和产量的影响[J].中国农村水利水电,2014(10):73-75.
- [8] 吕露,冯常萍,崔远来.水稻不同节水灌溉模式的水分利用效率比较:以荆门、桂林为例[J].节水灌溉,2011(3):15-17.

- [9] 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.
- [10] 邵东国, 乔欣, 刘欢欢, 等. 不同灌排调控模式下水肥流失规律[J]. 武汉大学学报(工学版), 2010, 3(4): 409-413, 418.
- [11] 周静雯, 苏保林, 黄宁波, 等. 不同灌溉模式下水稻田径流污染试验研究[J]. 环境科学, 2016, 37(3): 963-969.
- [12] 肖万川, 贾宏伟, 邱昕恺, 等. 水稻适雨灌溉对稻田CH₄和N₂O排放的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(11): 36-40.
- [13] 迟俊民, 郑恩玉, 柯惠英, 等. 浙江省单季稻节水灌溉试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(3): 23-26.
- [14] 姜萍, 袁永坤, 朱日恒, 等. 节水灌溉条件下稻田氮素径流与渗漏流失特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(8): 1 592-1 596.
- [15] 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.
- [16] 郭以明, 郭相平, 樊峻江, 等. 蓄水控灌模式对水稻产量和水分生产效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3):61-63.
- [17] 郭相平, 王甫, 王振昌, 等. 不同灌溉模式对水稻抽穗后叶绿素荧光特征及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(3):1-6.
- [18] 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.
- [19] 谢世尧, 孙雪梅, 邹德昊, 等. 北方寒区水稻水肥管理技术节水减排效应研究[J]. 节水灌溉, 2018(5): 44-47.
- [20] 俞双恩, 李偲, 高世凯, 等. 水稻控制灌排模式的节水高产减排控污效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7):128-136.
- [21] 叶玉适, 梁新强, 周柯锦, 等. 节水灌溉与控释肥施用对太湖地区稻田土壤氮素渗漏流失的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(1):270-279.
- [22] 李荣刚, 夏源陵, 吴安之, 等. 太湖地区水稻节水灌溉与氮素淋失[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(2): 21-25.
- [23] 杨瑞, 童菊秀, 李佳韵, 等. 稻田地表径流氮素流失量数值模拟及淋失规律[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1):63-69.
- [24] 郑世宗, 陈雪, 张志剑. 水稻薄露灌溉对水体环境质量影响的研究[J]. 中国农村水利水电, 2005(3): 7-8, 11.
- [25] 高焕芝, 彭世彰, 茆智, 等. 不同灌排模式稻田排水中氮磷流失规律[J]. 节水灌溉, 2009(9): 1-3, 7.
- [26] 高世凯, 俞双恩, 王梅, 等. 旱涝交替下控制灌溉对稻田节水及氮磷减排的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 122-128.
- [27] 叶玉适, 梁新强, 李亮, 等. 不同水肥管理对太湖流域稻田磷素径流和渗漏损失的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4): 1 125-1 135.

Efficacy of Different Irrigation Methods in Saving Water and Ameliorating Pollution in Paddy Field: Take Pinghu as an Example

XU Yi¹, WU Yongxiang^{1,2*}, WANG Gaoxu¹, LIU Pei¹, GUO Ting¹

(1.Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2.State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China)

Abstract: 【Objective】Improving water use efficiency and ameliorating pollution is a challenge facing agriculture and this paper aimed to present an experimental study on efficacy of different irrigation methods in saving water and reducing pollution in paddy field in attempts to provide a suitable management for paddy field in plain regions.【Method】We examined three irrigation methods: flooding irrigation, shallow-water irrigation and rain-collecting irrigation in Pinghu, Zhejiang province. For each irrigation, we measured TN, TP, NH₄⁺, NH₃ and COD in both irrigation water and drainage water. 【Result】Compared with flooding and shallow-water irrigation, rain-collecting irrigation reduced the amount of irrigation water by 67.4% and 43.4%, TN loss by 86.9% and 90.7%, emission of NH₄⁺ by 96.7% and 98.3% and COD emissions by 61.5% and 62.5% respectively. The difference in change of TP and NH₃ between all three irrigation methods was not significant. 【Conclusion】For the areas we studied, the rain-collecting irrigation is most effective in saving water and reducing pollution.

Key words: irrigation; rain-collecting irrigation; ameliorate pollution; paddy field; rice

责任编辑:陆红飞