

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.06-02

# 不同节水灌溉模式的减排效果研究

谢亨旺, 邓海龙, 付桃秀, 刘方平, 才 硕, 靳伟荣, 万 鹏

(江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330029)

**摘 要:**为探讨不同节水灌溉模式的减排效果,在江西省灌溉试验中心站进行了两年的田间试验和测筒模拟试验,研究了淹水灌溉、间歇灌溉、蓄雨间歇灌溉 3 种节水灌溉模式对总氮、总磷和氮磷的减排效果.结果显示,与淹水灌溉和间歇灌溉相比,蓄雨间歇灌溉能够减少早稻排水量及排水次数分别为 30%、3 次,减少晚稻排水量及排水次数分别为 100%、1 次,减少氮磷排放量幅度分别为 15%、35%左右,达到了减少排污的效果.

**关键词:**蓄雨间歇灌溉;间歇灌溉;氮磷;减排

**中图分类号:**S275 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2019)06-0396-07

## 0 引 言

在我国的南方地区,目前应用较广泛的水稻节水灌溉模式有 4 种,即薄露灌溉模式、间歇灌溉模式、控制灌溉模式和蓄雨灌溉模式,这几种模式主要是通过控制灌水量、灌水次数及灌水间隔天数来实现水稻节水灌溉<sup>[1,2]</sup>.但南方地区水资源比较丰富,农民普遍采用淹水灌溉,排水量大,稻田氮磷流失严重,形成农业面源污染.褚光<sup>[3-5]</sup>等研究发现,与淹水灌溉相比,节水灌溉能增加水稻产量和 N<sub>2</sub>O 排放量,显著降低 CH<sub>4</sub> 排放量及 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 综合增温潜势和排放强度.此外,节水灌溉对土壤肥力也有一定的影响,余双<sup>[6]</sup>等研究表明,与淹水灌溉相比,间歇灌溉除能适当增加水稻产量,还有利于保持土壤中的总氮和有机质,减轻耕作层土壤磷素淋溶损失.

结合不同节水灌溉模式,有学者提出蓄雨间歇灌溉技术.蓄雨间歇灌溉技术是从节约灌溉用水、减少排水(排污)量的角度提出的,是一种将灌溉与排水统筹管理的节水技术模式.鉴于江西省降雨量丰富且水稻

降雨利用率普遍较低,蓄雨间歇灌溉模式是一种比较适宜江西省水稻生长的节水灌溉模式.但在江西气候条件下,蓄雨间歇灌溉技术研究较少,其稻田排水与氮磷污染物排放特征及减排效果还未探明.为此,本研究开展了蓄雨间歇灌溉、间歇灌溉和淹水灌溉 3 种节水灌溉模式的对比试验,以揭示蓄雨间歇灌溉稻田排水与氮磷污染物排放特征,以及不同节水灌溉模式的减排效果.

## 1 试验设计

本研究于 2016~2017 年在江西省灌溉试验中心站试验研究基地进行试验.由于江西省长期以来农民采用淹水灌溉模式,造成水资源大量浪费和面源污染,加上近年来江西省在推广间歇灌溉模式取得了较好的成效,为此本研究试验处理设置间歇灌溉(W1)、蓄雨间歇灌溉(W2)、淹水灌溉(W3),共 3 个处理,形成对比试验.各处理 3 次重复,共 9 个小区.各试验小区面积 75m<sup>2</sup>,小区之间有田埂隔开,早晚稻小区周边田埂为砵田埂,防止小区之间及与外界的水分交换.每个处理的

收稿日期:2019-08-18

项目来源:江西省重点研发计划项目(20171ACH80018),江西省水利厅科技项目(KT201736),水利部鄱阳湖水资源水生态环境研究中心开发基金项目(ZXKT201505).

作者简介:谢亨旺(1979-),男,硕士,高级工程师.

表 1 不同灌溉模式下水稻排水量统计表

年份	稻别	间歇灌溉		蓄雨间歇灌溉		淹水灌溉	
		排水次数	排水量	排水次数	排水量	排水次数	排水量
2016	早稻	5	141.60aA	2	75.65bB	9	126.60aA
	晚稻	0	0	0	0	0	0
2017	早稻	5	246.40aA	4	177.00bA	5	225.70aA
	晚稻	2	43.20aA	0	0	2	46.00aA
两年平均	早稻	5	194.00aA	3	126.33bA	7	176.15aA
	晚稻	1	21.60aA	0	0	1	23.00aA

注:同一列中不同小写字母表示差异达 5% 的显著水平,不同大写字母表示差异达 1% 的显著水平。

排水沟出口处设置三角量水堰。

根据江西省灌溉试验中心站 1978~2015 年 38 年的降雨资料以及节水灌溉模式的研究成果,确定了间歇灌溉、蓄雨间歇灌溉、淹水灌溉 3 种灌溉模式灌水上下限。具体如下:

(1) 间歇灌溉(W1)。在水稻返青期保持 10~30mm 之水层,分蘖末期晒田 3~7 天,黄熟期自然落干;其余阶段,灌水后水层深度达 30~40mm,至水层消耗完并使土壤含水率下降到饱和含水率的 80% 左右时再次灌水,如此进行反复地干(无水层,土壤水分在饱和含水率以下)淹(有水层)交替。在这些阶段,无雨条件下,一般每隔 6~8 天灌水一次,灌水量 50~60mm,形成每次灌水后田间有水层 4~5 天、无水层 2~3 天,反复进行。

(2) 蓄雨间歇灌溉(W2)。早稻返青期田面保持 10~30mm 水深,雨后允许最大蓄水深度 60mm,分蘖前期保持田面处于干湿状态,有利于增强根系活力,促进早分蘖,雨后最大蓄水深度 150mm,分蘖后期田面水层自由落干晒田,拔节孕穗期和抽穗开花期,雨后最大蓄水深度 175mm,乳熟期雨后最大蓄水深度 100mm,黄熟期田面水深 0~30mm 后期落干。晚稻返青期田面保持 10~30mm 水深,雨后允许最大蓄水深度 60mm,分蘖前期保持田面处于干湿状态,有利于增强根系活力,促进早分蘖,雨后最大蓄水深度 160mm,分蘖后期田面水层自由落干晒田,拔节孕穗期和抽穗开花期,雨后最大蓄水深度 120mm,乳熟期雨后最大蓄水深度 90mm,黄熟期田面水深 0~30mm 后期落干。

(3) 淹水灌溉(W3)。返青期田面保持 10~30mm 水

深,分蘖前期田面保持 30~60mm 水深,分蘖后期田面水层自由落干晒田,孕穗期和抽穗开花期田面上保持 30~60mm 水深,乳熟期田面保持 30~60mm 水深,黄熟期田面水深 0~30mm 后期落干。

## 2 试验结果分析

### 2.1 不同灌溉模式下的水稻排水次数及排水量

早稻全生育期两年平均排水量间歇灌溉为 194.00mm,淹水灌溉为 176.15mm,蓄雨间歇灌溉为 126.33mm,全生育期排水次数分别为 5 次、7 次、3 次。早稻田间排水量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 67.67mm,减少幅度为 34.9%;比淹水灌溉减少 49.82mm,减少幅度为 28.3%,差异显著。

晚稻全生育期两年平均排水量间歇灌溉为 21.6mm,淹水灌溉为 23.0mm,蓄雨间歇灌溉为 0.00mm,全生育期排水次数分别为 1 次、1 次、0 次。晚稻蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 21.6mm,减少幅度为 100%;比淹水灌溉减少 23.0mm,减少幅度为 100%,差异显著。淹水灌溉和间歇灌溉无明显差异。

### 2.2 不同灌溉模式的氮磷减排效果

稻田氨氮排放量包括地表排放量和地下渗漏量两部分。根据每次实测的田面水及渗漏水(土壤水)总氮浓度、地表排水及渗漏水,计算通过地表排水流失的氨氮负荷量及通过渗漏流失的氨氮负荷量。

#### 2.2.1 不同灌溉模式下的总氮排放量

如表 2 所示两年平均数据表明,早稻总氮排放量

表2 不同节水灌溉模式下早晚稻总氮排放量

kg/hm<sup>2</sup>

年份	作物	灌溉模式	地表排水	地下渗漏	总排放量
2016	早稻	间歇灌溉	2.93	11.41	14.34
		蓄雨间歇灌溉	0	11.42	11.40
		淹水灌溉	5.09	11.35	16.40
	晚稻	间歇灌溉	0	6.47	6.47
		蓄雨间歇灌溉	0	7.50	7.50
		淹水灌溉	0	7.51	7.51
2017	早稻	间歇灌溉	0.94	12.88	13.82
		蓄雨间歇灌溉	0.39	10.32	10.71
		淹水灌溉	0.96	16.16	17.12
	晚稻	间歇灌溉	1.85	13.51	15.36
		蓄雨间歇灌溉	0	14.14	14.14
		淹水灌溉	3.82	14.18	18.00
两年平均	早稻	间歇灌溉	1.94	12.15	14.08
		蓄雨间歇灌溉	0.20	10.87	11.06
		淹水灌溉	3.03	13.76	16.76
	晚稻	间歇灌溉	0.93	9.99	10.92
		蓄雨间歇灌溉	0	10.82	10.82
		淹水灌溉	1.91	10.85	12.76

表3 不同节水灌溉模式下氨氮排放量

kg/hm<sup>2</sup>

年份	作物	灌溉模式	地表排水	地下渗漏	总排放量
2016	早稻	间歇灌溉	2.47	8.68	11.15
		蓄雨间歇灌溉	0	8.68	8.68
		淹水灌溉	3.72	7.47	11.19
	晚稻	间歇灌溉	0	3.84	3.84
		蓄雨间歇灌溉	0	4.46	4.46
		淹水灌溉	0	4.46	4.46
2017	早稻	间歇灌溉	0.19	10.64	10.84
		蓄雨间歇灌溉	0.25	6.83	7.08
		淹水灌溉	0.62	10.93	11.55
	晚稻	间歇灌溉	1.39	10.95	12.35
		蓄雨间歇灌溉	0	11.49	11.49
		淹水灌溉	3.43	11.34	14.77
两年平均	早稻	间歇灌溉	1.33	9.66	11.00
		蓄雨间歇灌溉	0.13	7.76	7.88
		淹水灌溉	2.17	9.20	11.37
	晚稻	间歇灌溉	0.70	7.40	8.10
		蓄雨间歇灌溉	0	7.98	7.98
		淹水灌溉	1.72	7.90	9.62

表4 不同节水灌溉模式下早晚稻总磷排放量

年份	作物	灌溉模式	地表排水	地下渗漏	总排放量 kg/hm <sup>2</sup>
2016	早稻	间歇灌溉	0.11	0.11	0.22
		蓄雨间歇灌溉	0	0.11	0.11
		淹水灌溉	0.18	0.15	0.33
	晚稻	间歇灌溉	0	0.08	0.08
		蓄雨间歇灌溉	0	0.09	0.09
		淹水灌溉	0	0.09	0.09
2017	早稻	间歇灌溉	0.05	0.09	0.14
		蓄雨间歇灌溉	0.01	0.08	0.09
		淹水灌溉	0.04	0.11	0.15
	晚稻	间歇灌溉	0.05	0.21	0.26
		蓄雨间歇灌溉	0	0.22	0.22
		淹水灌溉	0.05	0.25	0.30
两年平均	早稻	间歇灌溉	0.08	0.10	0.18
		蓄雨间歇灌溉	0.01	0.10	0.10
		淹水灌溉	0.11	0.13	0.24
	晚稻	间歇灌溉	0.03	0.15	0.17
		蓄雨间歇灌溉	0	0.16	0.16
		淹水灌溉	0.03	0.17	0.20

蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 3.03kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 21.48%; 比淹水灌溉减少 5.71kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 34.04%; 间歇灌溉总氮排放量比淹水灌溉减少 2.68kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 15.99%。晚稻总氮排放量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 0.01kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 0.87%; 比淹水灌溉减少 1.94kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 15.17%; 间歇灌溉总氮排放量比淹水灌溉减少 1.84kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 14.43%。稻田总氮排放总量呈现出淹水灌溉>间歇灌溉>蓄雨间歇灌溉的规律。说明间歇灌溉和蓄雨间歇灌溉均能够减少早晚稻田间总氮排放量, 且蓄雨间歇灌溉的减排效果更好。

### 2.2.2 不同灌溉模式下氮氮排放量

如表3所示两年平均数据表明, 早稻氮氮排放量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 3.12kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 28.33%; 比淹水灌溉减少 3.49kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 30.69%; 间歇灌溉比淹水灌溉分别减少 0.38kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 3.309%。晚稻氮氮排放量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 0.12kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 1.48%; 比淹水灌溉减少 1.64kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 17.06%; 间歇灌溉比淹水灌溉分别减少 1.52kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 15.81%。

早稻氮氮排放总量蓄雨间歇灌溉少于其它两种灌

溉模式, 且减幅较大; 晚稻氮氮排放总量蓄雨间歇灌溉与间歇灌溉模式差异较小, 蓄雨间歇灌溉、间歇灌溉比淹水灌溉减幅较大。蓄雨间歇灌溉和间歇灌溉能够有效的减少早晚稻田间氮氮排污量, 且蓄雨间歇灌溉效果更好, 对早稻的作用效果大于晚稻。氮氮排放总量呈现出淹水灌溉>间歇灌溉>蓄雨间歇灌溉的规律。

### 2.2.3 不同灌溉模式下总磷排放量

如表4所示两年平均数据表明, 早稻总磷排放总量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 0.08kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 44.44%; 比淹水灌溉减少 0.14kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 58.33%; 间歇灌溉总磷排放总量比淹水灌溉分别减少 0.06kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 25.00%。晚稻总磷排放总量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少 0.015kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 8.82%; 比淹水灌溉减少 0.04kg/hm<sup>2</sup>, 减幅为 20.51%。间歇灌溉总氮排放量比淹水灌溉分别减少 0.025kg/hm<sup>2</sup>, 减幅 12.82%。

早稻总磷排放量蓄雨间歇灌溉模式低于其它两种灌溉模式, 减幅达 40%以上, 减排效果明显。同时, 间歇灌溉总磷排放总量小于淹水灌溉, 说明蓄雨间歇灌溉和间歇灌溉有利于减少早晚稻田间总磷排放, 在早稻种植期间的减污效果更为明显。

表5 不同生育期早晚稻总氮排放量

										kg/hm <sup>2</sup>	
指标	年份	稻别	灌溉模式	返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期	
地表排出量	2016	早稻	间歇灌溉	2.227	0.000	0.000	0.253	0.446	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.289	2.661	0.445	1.539	0.047	0.000	0.106	
		晚稻	间歇灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2017	早稻	间歇灌溉	0.000	0.000	0.000	0.203	0.000	0.740	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	
			淹水灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.960	0.000	
		晚稻	间歇灌溉	0.000	1.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.000	3.820	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	渗漏量	2016	早稻	间歇灌溉	6.834	3.752	0.726	0.056	0.018	0.018	0.006
				蓄雨灌溉	6.834	3.752	0.725	0.056	0.018	0.018	0.006
淹水灌溉				6.534	3.752	0.914	0.063	0.055	0.027	0.007	
晚稻			间歇灌溉	2.072	2.255	0.612	0.880	0.175	0.182	0.293	
			蓄雨灌溉	2.172	2.694	0.731	1.145	0.232	0.207	0.322	
			淹水灌溉	2.172	2.694	0.731	1.145	0.232	0.207	0.327	
2017		早稻	间歇灌溉	4.417	6.495	0.380	1.363	0.170	0.048	0.004	
			蓄雨灌溉	4.751	4.125	0.463	1.015	0.247	0.039	0.004	
			淹水灌溉	7.014	5.302	1.784	1.745	0.268	0.039	0.005	
		晚稻	间歇灌溉	7.417	3.421	0.890	0.881	0.338	0.238	0.333	
			蓄雨灌溉	7.763	3.869	1.018	0.581	0.338	0.238	0.333	
			淹水灌溉	6.742	3.783	2.341	0.525	0.303	0.204	0.285	

## 2.3 水稻不同生育期氮磷减排量分析

### 2.3.1 不同生育期总氮减排量

从表5可以得出,蓄雨灌溉模式各生育期皆无地表排放量,这是因为蓄雨灌溉无地表排水。间歇灌溉和淹水灌溉早稻总氮地表排放主要集中在生育前期,其他生育期基本无地表排水,晚稻因为降雨少的原因各生育期基本不产生总氮排放。

各处理总氮渗漏量根据施肥时间变化,主要集中在施肥后的生育期,即返青期、分蘖前期和拔节孕穗

期。

### 2.3.2 不同生育期总磷减排量

表6列出了不同生育期早晚稻总磷排放量,其排放规律与2.3.1节所述的总氮排放规律基本一致。

## 3 结论

(1) 蓄雨间歇灌溉能够减少早晚稻排水量及排水次数。早稻平均排水量蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减少

表 6 不同生育期早晚稻总磷排放量

										kg/hm <sup>2</sup>	
指标	年份	稻别	灌溉模式	返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期	
地表排出量	2016	早稻	间歇灌溉	0.016	0.000	0.000	0.030	0.060	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.003	0.033	0.020	0.091	0.016	0.000	0.017	
		晚稻	间歇灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2017	早稻	间歇灌溉	0.000	0.050	0.000	0.038	0.000	0.074	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	
			淹水灌溉	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	
		晚稻	间歇灌溉	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			蓄雨灌溉	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			淹水灌溉	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	渗漏量	2016	早稻	间歇灌溉	0.029	0.020	0.019	0.018	0.009	0.009	0.005
				蓄雨灌溉	0.029	0.020	0.019	0.018	0.009	0.009	0.005
晚稻			淹水灌溉	0.036	0.031	0.020	0.022	0.018	0.011	0.009	
			间歇灌溉	0.016	0.013	0.015	0.017	0.005	0.005	0.008	
			蓄雨灌溉	0.017	0.016	0.018	0.022	0.006	0.006	0.009	
2017		早稻	淹水灌溉	0.017	0.016	0.018	0.022	0.006	0.006	0.009	
			间歇灌溉	0.010	0.028	0.012	0.018	0.006	0.005	0.009	
		晚稻	蓄雨灌溉	0.019	0.016	0.012	0.016	0.006	0.005	0.009	
			淹水灌溉	0.034	0.018	0.012	0.017	0.016	0.005	0.009	
			间歇灌溉	0.010	0.023	0.066	0.045	0.026	0.018	0.026	
2017	晚稻	蓄雨灌溉	0.010	0.026	0.074	0.045	0.026	0.018	0.026		
		淹水灌溉	0.067	0.032	0.037	0.047	0.027	0.018	0.026		

34.9%，比淹水灌溉减少为 28.3%；晚稻排水量比间歇灌溉、淹水灌溉均减少 100%，差异显著。

(2) 蓄雨间歇灌溉能够减少早晚稻氮磷排放量。早晚稻总氮排放总量：蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减排 3.12kg/hm<sup>2</sup>，减幅 14.26%；比淹水灌溉减排 7.64kg/hm<sup>2</sup>，减幅 34.93%。早晚稻总磷排放总量：蓄雨间歇灌溉比间歇灌溉减排 0.095kg/hm<sup>2</sup>，减幅 37.25%；比淹水灌溉减排 0.180kg/hm<sup>2</sup>，减幅 70.59%。

(3) 水稻不同生育期氮磷地表排放和地下渗漏呈

现一定的规律。即水稻不同生育期氮磷地表排放与生育期内降雨有关，主要集中在降雨后。地下渗漏量与施肥时间有关，主要集中在施肥后一段时间。

参考文献：

[1] 叶永棋, 卢成, 郑世宗, 等. 南方丘陵区稻田节水增效减污灌溉技术研究[J]. 灌溉排水学, 2015, 34(11): 6~10.  
 [2] 黄永忠. 水稻节水灌溉制度研究分析[J]. 江西农业, 2014(10): 73.

- [3] 褚光,陈婷婷,等. 灌溉模式与施氮量交互作用对水稻产量以及水、氮利用效率的影响[J]. 中国水稻科学,2017,31(05):513~523.
- [4] 褚光,展明飞,等. 干湿交替灌溉对水稻产量与水分利用效率的影响[J]. 作物学报,2016,42(07):1026~1036.
- [5] 殷欣,胡荣桂. 间歇灌溉对湖北省水稻温室气体减排的贡献[J]. 农业工程,2015,5(05):119~123.
- [6] 余双,崔远来,等. 水稻间歇灌溉对土壤肥力的影响[J]. 武汉大学学报,2016,49(01):46~53.

编辑:张绍付

## Study on emission reduction effect under different water-saving irrigation modes

XIE Hengwang, DENG Hailong, FU Taoxiu, LIU Fangping, CAI Shuo, JIN Werirong, WAN Peng  
(Jiangxi Irrigation Experimental Central Station, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** In order to explore the emission reduction effect under different water-saving irrigation modes, field experiments and barrel simulation experiments were conducted at Jiangxi irrigation test center station for two years. The reduction of total nitrogen, total phosphorus and nitrogen and phosphorus under three water-saving irrigation modes, i.e., flooding irrigation mode, intermittent irrigation mode and intermittent rainfall storage irrigation mode was studied. Removal effect. The results showed that, compared with flooding irrigation and intermittent irrigation, the intermittent irrigation with rain storage could significantly reduce the drainage and drainage times of early rice by 30% and 3 times respectively, and the drainage and drainage times of late rice by 100% and 1 time respectively, so as to reduce the magnitude of nitrogen and phosphorus emissions of early and late rice 15% and 35% respectively, so as to achieve the effect of reducing sewage discharge.

**Key words:** Rain storage intermittent irrigation; Intermittent irrigation; Nitrogen and phosphorus; Emission reduction

翻译:谢亨旺