文章编号：1672 - 3317（2020）04 - 0116 - 08

江西省水稻蓄雨间歇灌溉模式初探

邓海龙[1,2]，谢亨旺[1,2]，刘方平[1,2]，付桃秀[1,2]
（1.江西省灌溉试验中心站，江西省农业高效节水与面源污染防治重点实验室，南昌 330201；
2.水利部 鄱阳湖水资源水生态环境研究中心，南昌 330009）

摘 要：【目的】探索水稻蓄雨间歇灌溉模式节水减排效益。【方法】以鄱阳湖区双季早晚稻为试验材料，采用大田和测坑试验，研究了水稻蓄雨间歇灌溉模式对灌溉定额、排水定额、降雨有效利用率、产量、稻田水分生产率，以及氮、磷排放量的影响，并与间歇灌溉和常规淹水灌溉试验进行了分析比较。【结果】与淹水灌溉、间歇灌溉相比，蓄雨间歇灌溉灌排水量、灌排次数明显减少。双季早晚稻年平均灌水量分别减少 975 m^3/hm^2 和 1251 m^3/hm^2，年平均灌水次数分别减少 8 次和 7.5 次；年平均排水量分别减少 729 m^3/hm^2 和 893 m^3/hm^2，年平均排水次数分别减少 5.8 次和 3.1 次；蓄雨间歇灌溉降雨有效利用率明显提高。早稻降雨利用率分别提高 12.40%和 9.14%，晚稻分别提高 6.84%和 6.42%；蓄雨间歇灌溉模式下，双季早晚稻总氮排放量年平均减排 7.64 kg/hm^2 和 3.12 kg/hm^2，减排幅度 34.93%和 14.26%；双季早晚稻总磷排放量 0.180 kg/hm^2 和 0.095 kg/hm^2，减排幅度 37.25%和 70.59%。【结论】蓄雨间歇灌溉模式具有明显的节水、减排和提高降雨有效利用率的效果，在我国南方多雨地区具有较强的推广应用空间。

关 键 词：蓄雨间歇灌溉；灌溉；节水；增产；氮；磷
中图分类号：S274.1 **文献标志码：**A doi：10.13522/j.cnki.ggps.20190288

邓海龙，谢亨旺，刘方平，等. 江西省水稻蓄雨间歇灌溉模式初探[J]. **灌溉排水学报**, 2020, 39(4): 116-123.
DENG Hailong, XIE Hengwang, LIU Fangping, et al. Preliminary Research on Rain Storage and Intermittent Irrigation Mode of Jiangxi Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 116-123.

0 引 言

【研究意义】调节和控制土壤水分，可减少人工灌水次数和灌溉水量，可大幅度节约灌水量，并且促进水稻根系生长发育，控制水稻地上部株型的无效生长，提高水肥利用的有效性，达到稻田节水增产、提质增效目的。【研究进展】目前，我国已经开展了形式多样的水稻节水灌溉技术研究，也取得了很多成功经验。比如选择耐旱的水稻品种，采用抗旱剂，节水管理。其中节水管理方面，在南方主要有 4 种节水灌溉技术，即“浅、湿、晒”灌溉技术、间歇灌溉技术、控制灌溉技术和蓄水型灌溉技术，主要通过控制灌水量和灌水次数以及灌水间隔天数等来进行水稻节水灌溉技术的研究。【切入点】本文针对江西省降雨量大，且主要集中在 4—6 月，早晚稻降雨利用率总体比较低，据江西省灌溉试验中心站测定，早稻多年降雨利用率最低值为 22.2%。【拟解决的关键问题】为提高降雨的有效利用率，减少稻田地表氮磷养分流失，结合江西省灌溉试验中心站多年灌溉试验数据，首次提出了蓄雨型间歇灌溉技术。在欧美，控制排水被认为是最佳的农田管理方案之一。该技术结合灌溉与排水的水管理模式，从环保角度，充分利用水稻的抗旱、耐淹特性，降低各生育期灌溉控制点的水深，适度推迟灌溉时间，在未降雨的时段内，将田间土壤含水率（下限，即灌溉控制点）降低到田间持水率的 75%～60%，提高雨后田间蓄水深度，延长降雨在稻田的滞留时间，减少稻田排水量。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2016 年和 2017 年在江西省灌溉试验中心站试验基地内水稻试区进行。该试验区位于鄱阳湖流域，属于典型的亚热带湿润季风性气候，气候温和，雨量充沛。多年平均降水量为 1 685.2 mm，最大年降水量为 2 385.8 mm，最小年降水量为 1 119.9 mm，最大日降水量为 197.7 mm，最大 3 日降水量为 268.3 mm。区内多年平均蒸发量为 930.2 mm，多年平均相

收稿日期：2019-07-08
基金项目：江西省科技厅项目（20171ACH80018）；江西省水利厅科技项目（KT201736，KT201427，KT201319）；水利部鄱阳湖水资源水生态环境研究开放基金项目（ZXKT201505）
作者简介：邓海龙（1984-），男。高级工程师，主要从事节水灌溉与农业面源污染防治研究。E-mail: 10418125@163.com。

对湿度为 84%，多年平均日照时间 1 575.5 h，年平均气温为 17.7 ℃，年最高气温为 39.9 ℃，年最低气温为-14.5 ℃，多年平均风速为 2.8 m/s，实测最大风速为 21 m/s，历年霜期一般从 11 月中旬到次年 3 月中旬，约 120 d 左右。降雨在年内分布不均匀，春季夏初多雨，4—6 月的降雨占全年的 46.1%左右，夏秋少雨，7—9 月降雨量仅为全年的 20%左右。

1.2 供试材料

水稻供试品种：早稻为株两优 101（江西省农作物品种审定委员会审定的杂交早稻品种，该品种株型适中，长势繁茂，分蘖力强，有效穗多，稃尖无色，穗粒数多，结实率高，熟期转色好，已在全省范围推行栽种），晚稻为天优华占（天优华占属籼型三系杂交水稻。在长江中下游作双季晚稻种植，全生育期平均 119.2 天，该品种熟期适中，产量高，中感稻瘟病，感白叶枯病和褐飞虱，米质优）。早稻 3 苗/穴，株行距为 13.3 cm×23.3 cm；晚稻 2 苗/穴，株行距为 13.3 cm×26.6 cm。

试验区耕作层土壤体积质量为 1.36 g/cm^3，土壤有机质量为 1.74%，全氮量为 0.82%，全磷量为 0.25%，全钾量为 1.18%，碱解氮量为 60.21 mg/kg，速效磷量为 5.46 mg/kg，速效钾量为 43.77 mg/kg。

1.3 试验设计

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，各处理 3 次重复，共 9 个小区。各试验小区面积 75 m^2，小区之间有田埂隔开，田埂高 30 cm，顶部宽 30 cm，早晚稻小区周边田埂为砼田埂，防止小区之间及与外界的水分交换。每个处理的排水沟出口处设置三角量水堰。

本试验根据江西省灌溉试验中心站 1978—2015 年的降雨资料以及中心站多年以来对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 种灌溉模式的灌水上下限，3 种灌溉制度田间水分控制水平见表 1 所示。

各处理水稻品种、育秧、移栽、密度、施肥量和田间管理等技术保障措施以及土壤基础地力条件均相同。

表 1 双季早晚稻不同灌溉模式稻田含水率及水深控制

Table1 Field moisture content and water depth control under different irrigation modes for double cropping early and late rice

稻别 Rice type	灌溉模式	返青期 Greening stage	分蘖前期 Early tillering stage	分蘖后期 Late tillering stage	孕穗期 Booting stage	抽穗开花期 Flowering stage	乳熟期 Milking stage	黄熟期 Yellowing stage
早稻 Early rice	W1	10~30	85%~0~30	70%~100%后期晒田	90%~0~30	90%~0~30	85%~0~30	65%~30 后期落干
	W2	10~30~60	85%~30~150	70%~100%后期晒田	90%~30~175	90%~30~175	85%~30~100	65%~30 后期落干
	W3	10~30	30~60	30~60 后期晒田	30~60	30~60	30~60	0~30 后期落干
晚稻 Latey rice	W1	10~30	85%~0~40	70%~100%后期晒田	90%~0~40	90%~0~40	85%~0~40	65%~30 后期落干
	W2	10~30~60	85%~30~160	70%~100%后期晒田	90%~40~120	90%~40~120	85%~40~90	65%~30 后期落干
	W3	10~30	30~60	30~60 后期晒田	30~60	30~60	30~60	0~30 后期落干

注 表中百分数为土壤含水率占土壤饱和含水率的百分数（计划湿润层深度取 0.40 m），其他数字为水深（mm）。

Note The percentage in the table is the percentage of the soil moisture content in the saturated water content of the soil (0.40 m for the depth of the planned wet layer), and the other figures are water depth(mm).

1.4 观测内容及测定方法

1）气象观测：主要包括气温、空气相对湿度、风速、风向、降雨量、日照时间、气压和水面蒸发量等。每天 08:00、14:00 和 20:00 进行人工观测，并辅以自动气象站进行测定。采取 Penman-Monteith 公式计算参考作物蒸发蒸腾量。

2）田间用水测定：在田面有水层时，在每个小区固定位置上安装铁签，用测针每天早上 08:00 进行田间水深观测；在田间无水层时，其耗水量采用含水率测量确定。当水分达灌溉下限时进行灌水，达灌溉上限停止灌水，灌溉水量直接由安装在灌溉管道上的水表读出。不同灌溉模式下的处理试验小区，灌水的下限和灌溉上限，参考表 1 所述。

3）水样氮、磷测定：水样包括田面水和渗漏水，水样 TN 采用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法进行测定；TP 采用硫酸钾消煮—钼锑抗分光光度法进行测定。

各小区田面水在产生排水以及施肥后第 1、3、5、7、9 天分别进行取样，水样用聚乙烯瓶采取，低温保存。在每个试验小区布置穿过耕作层的 PVC 管，管下部穿数个小孔，用纱布包裹，植入深度分别为 20、40 cm，以收集渗漏水，渗漏水取样时间与田面水保持一致。

田间 TN、TP 流失及渗漏损失总量计算式为：

$$T=\sum_{i=1}^{n}C_i\times Q_i\times 10^{-2}+\sum_{j=1}^{m}S_j\times R_j\times 10^{-2}，\qquad (1)$$

式中：T 为 N、P 损失总量（kg/hm^2）；i、j 为水稻生育期日序号；n、m 分别全生育期有地表排水的天数和全生育期有地下水质量渗漏的天数（d）；C_i 为第 i 日所取田面水、土壤水中 N、P 质量浓度（mg/L）；S_j 为第 j 日所取地下渗漏水的中 N、P 质量浓度；Q_i 为第 i 日田间排水量（mm）。R_j 为第 j 日田间渗漏量（mm）。

4）水稻生长指标的测定：插秧后在田间定点观察水稻分蘖开始发生的时间、分蘖量、分蘖消长过程。每个生育期定点定株测量株高、叶面积、从分蘖期开始，每 5 d 测量 1 次分蘖数，连续测定 5 次。

5）产量测定：包括产量测定（按各试验小区单收、单打、单晒验产。统计其产量）；产量结构测定（插秧时每个处理固定小株样品、收割前取样，晾干后进行室内考种）。于收获前 1 天，每小区调查有效穗数 20 蔸，取有代表性的植株 5 蔸考种，考查穗长、每穗粒数、每穗空粒数、千粒质量。每个试验处理小区选取 6 m^2 的区域，进行单打、单收、单晒、称质量计产。

2 结果与分析

2.1 蓄雨间歇灌溉模式下的双季早晚稻耗水量分析

不同灌溉模式的水稻耗水量具有不同的节水效果见表 2。由表 2 可以看出，在肥料用量和施肥方式一致的前提下，2016 年、2017 年平均，早稻 W2 灌溉模式下的田间耗水量均低于 W1 灌溉模式和 W3 灌溉模式，耗水量均值分别较少 1.1%、6.9%；晚稻 W1 灌溉模式的耗水量与 W2 灌溉模式相比，减少 0.4%，W2 灌溉模式的耗水量与 W3 灌溉模式相比，减少 5.7%。表明双季早晚稻采取间歇灌溉和蓄雨间歇灌溉模式具有节水效果。

表 2 双季早晚稻不同灌溉模式的水稻耗水量、产量及稻田水分生产率

Table2 Field moisture content and water depth control under different irrigation modes for double cropping early and late rice

年份 Year	稻别 Rice type	灌溉方式 Irrigation method	需水量 Water demand/ (m^3·hm^{-2})	渗漏量 Leakage/ (m^3·hm^{-2})	耗水量 Water consumption/ (m^3·hm^{-2})	灌水量 Irrigation volume/ (m^3·hm^{-2})	产量 Yield/ (kg·hm^{-2})	稻田水分生产率 Paddy water productivity/ (kg·m^{-3})
2016	早稻 Early rice	W1	3 731	1 132	4 863	994	6 438.90	1.32
		W2	3 870	1 389	5 259	731	6 485.85	1.23
		W3	3 869	1 248	5 117	1 098	6 361.20	1.24
	晚稻 Late rice	W1	4 483	1 259	5 742	4 164	8 160.15	1.42
		W2	4 505	1 302	5 807	4 229	8 124.15	1.40
		W3	4 843	1 510	6 353	4 775	7 906.05	1.24
2017	早稻 Early rice	W1	3 340	1 151	4 491	1 364	6 172.80	1.37
		W2	3 180	796	3 976	0	6 463.16	1.63
		W3	3 518	1 284	4 802	1 414	6 024.30	1.25
	晚稻 Late rice	W1	4 129	1 530	5 659	1 994	9 370.35	1.66
		W2	4 249	1 396	5 645	1 758	9 477.75	1.68
		W3	4 208	1 526	5 734	2 068	9 140.55	1.59
平均值 Average value	早稻 Early rice	W1	3 536	1 142	4 677	1 179	6 305.85	1.35
		W2	3 525	1 093	4 618	366	6 474.50	1.43
		W3	3 694	1 266	4 960	1 256	6 192.75	1.25
	晚稻 Late rice	W1	4 306	1 395	5 701	3 079	8 765.25	1.54
		W2	4 377	1 349	5 726	2 994	8 800.95	1.54
		W3	4 526	1 518	6 044	3 422	8 523.30	1.42

2.2 蓄雨间歇灌溉模式对双季早晚稻灌溉定额的影响

双季早晚稻在采取蓄雨间歇灌溉模式时，不同时期的单次灌水量、灌水次数与间歇灌溉和淹水灌溉不同。由表 3 分析表明，早稻全生育期 2 a 平均灌溉定额：W2 灌溉模式为 365 m^3/hm^2，W1 灌溉模式为 1 179 m^3/hm^2，W3 灌溉模式为 1 256 m^3/hm^2。在灌水次数方面：W2 灌溉模式比 W1 灌溉模式减少 3.5 次，比 W3 灌溉模式减少 4 次。

晚稻全生育期 2 a 平均灌溉定额：W2 灌溉模式为 2 993 m^3/hm^2，W1 灌溉模式为 3 079 m^3/hm^2，W3 灌溉模式为 3 421 m^3/hm^2，W2 灌溉模式灌溉次数比 W1 灌溉模式减少 4.5 次，比 W3 灌溉模式减少 3.5 次。

由此表明蓄雨间歇灌溉模式具有明显的节水、省工效果。降雨利用量增加是灌溉水量减少的主要原因。

表 3 双季早晚稻不同灌溉模式的不同阶段灌溉定额

Table3 Different stages of irrigation quotas for different irrigation modes of double season rice

年份 Year	稻别 Rice type	月份 Month	W1 灌水量 Irrigation volume/ (m ³hm^{-2})	W1 灌水次数 Irrigation times/ Times	W2 灌水量 Irrigation volume/ (m ³hm^{-2})	W2 灌水次数 Irrigation times/ Times	W3 灌水量 Irrigation volume/ (m ³hm^{-2})	W3 灌水次数 Irrigation times/ Times
2016	早稻 Early rice	4 月	227	1	0	0	281	1
		5 月	0	0	0	0	0	0
		6 月	424	1	0	0	534	2
		7 月	343	1	731	1	283	1
		全生育期	994	3	731	1	1 098	4
	晚稻 Late rice	7 月	642	2	722	1.5	700	3
		8 月	1 882	3	1 751	1.5	2 207	4
		9 月	1 050	2	1 592	4	1 333	3
		10 月	590	2	164	1	535	2
		全生育期	4 164	9	4 229	8	4 775	11.3
2017	早稻 Early rice	4 月	302	1	0	0	302	1
		5 月	862	3	0	0	862	3
		6 月	0	0	0	0	0	0
		7 月	200	1	0	0	250	1
		全生育期	1 364	5	0	0	1 414	5
	晚稻 Late rice	7 月	300	1	0	0	300	1
		8 月	378	3	300	2	286	1
		9 月	966	8	1 138	3	909	5
		10 月	350	2	320	1	573	2
		全生育期	1 994	14	1 758	6	2 068	9
平均值 Average value	早稻 Early rice	4 月	264	1	0	0	292	1
		5 月	431	1.5	0	0	431	1.5
		6 月	212	0.5	0	0	267	1
		7 月	272	1	365	0.5	266	1
		全生育期	1 179	4	365	0.5	1 256	4.5
	晚稻 Late rice	7 月	471	1.5	361	0.8	500	2
		8 月	1 130	3	1 025	1.7	1 246	2.5
		9 月	1 008	5	1 365	3.5	1 121	4
		10 月	470	2	242	1	554	2
		全生育期	3 079	11.5	2 993	7	3 421	10.5

2.3 蓄雨间歇灌溉模式对双季早晚稻排水定额及降雨有效利用率的影响

不同节水灌溉模式处理下，双季早晚稻排水定额及降雨有效利用率在全生育期内的效果各不相同。由表 4 分析表明，在肥料用量和施肥方式一致的前提下，早稻全生育期 2 a 平均排水定额 W1 灌溉模式为 1 940 m^3/hm^2，W2 灌溉模式为 1 263 m^3/hm^2，W3 灌溉模式为 1 761 m^3/hm^2，W2 灌溉模式排水次数比 W1 灌溉模式减少 2.1 次，比 W3 灌溉模式减少 3.8 次;在排水量方面：W2 灌溉模式比 W1 灌溉模式降低 34.9%，比 W3 灌溉模式降低 28.3%，差异显著；在降雨有效利用率方面：W2 灌溉模式为 77.16%，较 W1 灌溉模式提高了 12.40%，较 W3 灌溉模式提高了 9.14%。

晚稻全生育期 2 a 平均排水定额：W1 灌溉模式为 216 m^3/hm^2，W2 灌溉模式为 0.0 m^3/hm^2，W3 灌溉模式为 230 m^3/hm^2，W2 灌溉模式排水次数比 W1 灌溉模式减少 1.0 次，比 W3 灌溉模式减少 1.0 次；在降雨有效利用率方面：W2 灌溉模式为 100%，较 W1 灌溉模式和 W3 灌溉模式分别提高了 6.42%、6.84%。

表 4 双季早晚稻不同灌溉模式的全生育期排水定额及降雨有效利用率

Table4 Drainage quota and effective rainfall utilization rate for different irrigation modes of double season rice

年份 Year	稻别 Rice type	灌溉方式 Irrigation method	生育期降雨量 Rainfall of growth period/mm	有效利用量 Effective rainfall/mm	降雨有效利用率 Effective rainfall utilization/%	排水量 Displacement/ (m^3hm^{-2})	排水次数 Drainage times/ times
2016	早稻 Early rice	W1	528.5	386.9	73.21	1416	5.3
		W2	528.5	401.9	76.05	757	2
		W3	528.5	452.9	85.70	1 266	8.6
	晚稻 Late rice	W1	157.8	157.8	100.00	0.0	0
		W2	157.8	157.8	100.00	0.0	0
		W3	157.8	157.8	100.00	0.0	0
2017	早稻 Early rice	W1	564.1	317.7	56.32	2 464	5
		W2	564.1	338.4	59.99	1 770	4
		W3	564.1	387.1	68.62	2 257	5
	晚稻 Late rice	W1	336.4	293.2	87.16	432	2
		W2	336.4	336.4	100.00	460	2
		W3	336.4	290.4	86.33	0.0	0
平均值 Average value	早稻 Early rice	W1			64.76	1 940	5.2
		W2			68.02	1 263	3.0
		W3			77.16	1 762	6.8
	晚稻 Late rice	W1			93.58	216	1.0
		W2			93.16	0	0
		W3			100.00	230	1.0

2.4 蓄雨间歇灌溉模式对双季早晚稻产量和稻田水分生产率的影响

结合表 2 和表 4 可知，蓄雨间歇灌溉模式与其他 2 种灌溉模式相比，能显著提高降雨有效利用率，减少灌水量；产量水平与间歇灌溉基本持平，但高于淹水灌溉。

早稻 W2 灌溉模式稻田水分生产率均值达到 1.40 kg/m³，较 W1 灌溉模式和 W3 灌溉模式分别提高 5.26%和 11.11%；晚稻 W2 灌溉模式稻田水分生产率 2 a 均值达到 1.54 kg/m³，较 W1 灌溉模式和 W3 灌溉模式分别提高 1.32%和 7.69%。表明早晚稻采取蓄雨间歇灌溉模式，提高了稻田水分的生产率。

2.5 蓄雨间歇灌溉模式对双季早晚稻减排效果分析

2016 年及 2017 年早、晚稻不同灌溉模式下的稻田氮素排放量，磷素排放量见表 5、表 6 所示。

在总氮排放量方面，双季早晚稻 W2 灌溉模式较 W1 灌溉模式较少 3.12 kg/hm^2，减排幅度达 14.26%；较 W3 灌溉模式较少 7.64 kg/hm^2，减排幅度达 34.93%；在总磷排放量方面，双季早晚稻 W2 灌溉模式较 W1 灌溉模式减少 0.095 kg/hm^2，减排幅度达 37.25%；较 W3 灌溉模式减少 0.180 kg/hm^2，减排幅度达 70.59%。说明蓄雨间歇灌溉和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。

表 5 不同灌溉模式早、晚稻氮素排放量

Table 5 The analysis of different irrigation modes on the loss of nitrogen nmission in early and late rice kg/hm^2

年份 Year	稻别 Rice type	W1	W2	W3
2016	早稻(Early rice)	14.34abA	11.40bA	16.40aA
	晚稻(Late rice)	6.47a	7.50a	7.51a
2017	早稻(Early rice)	13.82aA	10.71aA	17.12aA
	晚稻(Late rice)	15.36abA	14.14bA	18.00aA
平均值 (Average)	早稻(Early rice)	14.08b	11.06c	16.76a
	晚稻(Late rice)	10.92a	10.82a	12.76a

表 6 不同灌溉模式早、晚稻磷素排放量

Table 6 The analysis of different irrigation modes on the loss phosphorus emissions in early and late rice kg/hm^2

年份 Year	稻别 Rice type	W1	W2	W3
2016	早稻(Early rice)	0.22bA	0.11cA	0.33aA
	晚稻(Late rice)	0.08bA	0.09bA	0.09bA
2017	早稻(Early rice)	0.14aA	0.09aA	0.15aA
	晚稻(Late rice)	0.26aA	0.22bA	0.30aA
平均值 (Average)	早稻(Early rice)	0.18a	0.10a	0.24a
	晚稻(Late rice)	0.17a	0.16a	0.20a

3 讨 论

蓄水灌溉作为一项田间节水灌溉技术，蓄水控灌模式增加了稻田的蓄水能力，提高了降雨利用效率，较大幅度降低了灌排定额和排水次数[13-19]。郭相平等[17]在水稻蓄水控灌技术方面做了一定的探索，研究表明蓄水控灌处理在不减产的前提下，与常规灌溉相比，灌排定额分别降低21.3%~47.0%和13.1%~83.9%，灌排次数分别减少2~9次和2~3次；与浅水勤灌相比，灌排定额分别降低6.7%~22.9%和21.9%~100%，灌排次数分别减少1~4次和2次，本研究结果与上述研究基本相似。

此外，本研究表明，蓄雨间歇灌溉模式能减少早晚稻田间总氮、总磷的排放量。主要原因在于蓄雨间歇灌溉模式增加了雨水利用，延长了雨水在稻田的滞留时间，减少了稻田排水量，实现了减少排水水体中氮磷排放量的目标。

4 结 论

1）蓄雨间歇灌溉与淹水灌溉相比，双季早稻节水率高达70.93%，晚稻节水率达到12.51%；年平均灌水次数减少8.0次。

2）稻田排水量早稻全生育期内，蓄雨间歇灌溉较淹水灌溉排水量减低 28.3%、较间歇灌溉降低34.9%。晚稻水稻生长期间，降雨量较少，各种灌溉模式的排水量相差不大。在总氮排放量方面，双季早晚稻蓄雨间歇灌溉模式比淹水灌溉减少幅度达到34.93%；在总磷排放量方面，双季早晚稻蓄雨间歇灌溉模式与间歇灌溉模式相比，减排幅度达到37.25%；与淹水灌溉模式相比，减少幅度达到70.59%。

3）蓄雨间歇灌溉与淹水灌溉相比，早稻降雨利用率提高12.40%，晚稻降雨利用率提高6.84%。

参考文献：

[1] 茆智. 水稻节水灌溉[J]. 中国农村水利水电, 1997(4): 45-47.
MAO Zhi. Water-saving irrigation technology for rice [J] .China Rural Water and Hydropower, 1997. (4): 45-47.

[2] 李英能. 节水农业新技术[M]. 南昌:江西科学技术出版社, 1998: 22-51.
LI Yingneng. New technologies of water-saving agriculture [M] . Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1998: 22-51.

[3] LAMPAYAN R M, SAMOY-PASCUAL K C, SIBAYAN E B, et al. Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and plant seedling age on crop performance, water input, and water productivity of transplanted rice in Central Luzon, Philippines[J]. Paddy and Water Environment, 2015, 13(3): 215-227.

[4] SHAO G C, CUI J T, YU S G, et al. Impacts of controlled irrigation and drainage on the yield and physiological attributes of rice[J]. Agricultural Water Management, 2015, 149: 156-165.

[5] SHAO G C, DENG S, LIU N, et al. Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice[J]. European Journal of Agronomy, 2014, 53: 1-9.

[6] PENG S Z, HE Y P, YANG S H, et al. Effect of controlled irrigation and drainage on nitrogen leaching losses from paddy fields[J]. Paddy and Water Environment, 2015, 13(4): 303-312.

[7] 许怡, 吴永祥, 王高旭, 等. 小区和田块尺度下水稻不同灌溉模式的节水减污效应分析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(5): 60-66.
XU Yi, WU Yongxiang, WANG Gaoxu, et al. Impact of irrigation methods on saving water and alleviating pollutant at different scales in paddy field[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(5): 60-66.

[8] 索滢, 王忠静. 典型节水灌溉技术综合性能评价研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(11): 113-120.
SUO Ying, WANG Zhongjing. Systematically evaluating the performance of typical water-saving irrigation techniques[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(11): 113-120.

[9] 张忠明, 王忠波, 张忠学, 等. 不同灌溉模式对寒地水稻田碳排放、耗水量及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(11): 1-7.
ZHANG Zhongming, WANG Zhongbo, ZHANG Zhongxue, et al. Effects of different irrigations on carbon emission, water consumption and yield of paddy field in cold regions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(11): 1-7.

[10] 王娟, 袁成福, 张瑜. 参照作物需水量尺度特征方法研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(S2): 78-81.
WANG Juan, YUAN Chengfu, ZHANG Yu. Research progress in reference to crop water demand scale characteristics [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36 (S2): 78-81.

[11] 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]. 灌溉排水学报, 2015, 34(11): 6-10.
YE Yongqi, LU Cheng, ZHENG Shizong, et al. Research on water saving abatement irrigation techniques in southern hillside paddy fields[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(11): 6-10.

[12] 朱士江, 孙爱华, 张忠学, 等. 节水灌溉条件下水稻生长季降雨利用率的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(5): 11-13, 37.
ZHU Shijiang, SUN Aihua, ZHANG Zhongxue, et al. Study on rainfall utilization rate of rice under different water-saving irrigation modes[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2013, 32(5): 11-13, 37.

[13] 郭相平, 黄双双, 王振昌, 等. 不同灌溉模式对水稻抗倒伏能力影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 1-5.
GUO Xiangping, HUANG Shuangshuang, WANG Zhenchang, et al. Impact of different irrigation methods on resistance of rice against bending and breaking[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(5): 1-5.

[14] 朱士江, 孙爱华, 张忠学, 等. 不同节水灌溉模式对水稻分蘖、株高及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2013(12): 16-19.
ZHU Shijiang, SUN Aihua, ZHANG Zhongxue, et al. Effects of different water-saving irrigation modes on rice tillering, height and yield in cold area[J]. Water Saving Irrigation, 2013(12): 16-19.

[15] 董斌, 霍军力, 李新建, 等. 不同灌溉模式下稻田降雨利用和径流量试验[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(6): 6-10.
DONG Bin, HUO Junli, LI Xinjian, et al. Experiment study on relation of rainfall utilization and runoff in paddy fields under different irrigation regimes[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(6): 6-10.

[16] 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.
YU Shuang, CUI Yuanlai, WANG Li, et al. Effects of intermittent irrigation on rice paddy soil fertility[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2016, 49(1): 46-53.

[17] 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.
GUO Xiangping, YUAN Jing, GUO Feng, et al. Preliminary study on water-catching and controlled irrigation technology of rice[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 70-73.

[18] 刘敏昊, 任瑞英, 朱振荣, 等. 水稻蓄雨控灌技术的环境效应[J]. 中国农村水利水电, 2016(5): 55-57.
LIU Minhao, REN Ruiying, ZHU Zhenrong, et al. Environment effect of rain-water storage and controllable irrigation of rice[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(5): 55-57.

[19] 朱天赐. 水稻“少灌多蓄”节水灌溉新技术研究与推广[J]. 水利科技, 2001(1): 19-20.
ZHU Tianci. Research and promotion of new water-saving irrigation technology for rice “less irrigation and more storage” [J]. Water Resources Science and Technology, 2001 (1): 19-20.

[20] 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.
CHEN Zhuye, GUO Xiangping, YAO Junqi. Water-saving effect of water-catching and controllable irrigation technology of rice[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2011, 39(4): 426-430.

[21] 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, 73.
GUO Yiming, GUO Xiangping, FAN Junjiang, et al. Grain yield and water production efficiency of “rain-water storage and controllable irrigation(RSCI) mode” of rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(3): 61-63, 73.

[22] 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.
CHEN Zhuye, GUO Xiangping, YAO Junqi. Water-saving effect of water-catching and controllable irrigation technology of rice[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2011, 39(4): 426-430.

Preliminary Research on Rain Storage and Intermittent Irrigation Mode of Jiangxi Province

DENG Hailong[1,2], XIE Hengwang[1,2], LIU Fangping[1,2], FU Taoxiu[1,2]

(1.Jiangxi Irrigating Experimental Central Station, Jiangxi Province Key Laboratory of Agricultural Efficient Water-saving and Non-point Source Pollution Preventing, Nanchang 330201, China; 2.Poyang Lake Water Resources and Water Ecological Environment Research Center of the Ministry of Water Resources, Nanchang 330009, China)

Abstract： The Rain Storage and Intermittent Irrigation Mode is mainly based on the water control standards of each batch growth period of rice intermittent irrigation mode, which is an irrigation mode that improve the utilization efficiency of rainwater resources through increasing the post-rain water storage depth of rice fields and extending the residence time of the rainwater in the paddy field.【Background】The hydrology and water resources in Jiangxi Province present several characteristics, such as heavy rainfall, low effective utilization of rainfall, and severe water and fertilizer loss. Therefore it is necessary to study and develop a set of water control standards which is conducive to rice growth in Jiangxi Province, and it is of great significance to improve the effective utilization of rainfall and reduce the loss of nitrogen and phosphorus nutrients in the paddy field. Whatmore, it not only can improve the effectiveness of water and fertilizer utilization, but also can achieve the purpose of saving water, increasing yield, and improving efficiency in rice fields.【Objective】The aim of this paper is to explore the effect of water saving and emission reduction in rice rain storage intermittent irrigation mode. 【Method】Taking the double-season early and late rice in Poyang Lake area as the experimental material, the combination of field and pit test was used to study the

irrigation quota, drainage quota, effective rainfall utilization rate, yield quota, paddy water productivity, and the productivity and effects of nitrogen and phosphorus emissions, which also analyzed and compared with intermittent irrigation and conventional flood irrigation experiments.【Result】①The volume of irrigation and drainage and the times of irrigation and drainage were significantly reduced compared with flood irrigation mode and intermittent irrigation mode. The average annual irrigation amount of double-crop early and late rice reduced by 975 m^3/hm^2 and 1 251 m^3/hm^2 respectively. The annual average irrigation times reduced by 8 times and 7.5 times respectively The annual average displacement reduced by 729 m^3/hm^2 and 893 m^3/hm^2, respectively, and the annual average drainage times decreased by 5.8 times and 3.1 times. ②The effective utilization rate of rainfall had been improved significantly. The early rice rainfall utilization rate increased by 12.40% and 9.14%, respectively, and that of the late rice increased by 6.84% and 6.42% respectively. ③The secondary rain storage intermittent irrigation mode can significantly reduce the nitrogen and phosphorus emissions of rice fields, and the annual average total nitrogen emission of double-season rice. The emission reduction is 7.64 kg/hm^2 and 3.12 kg/hm^2, and the emission reduction is 34.93% and 14.26%. The total phosphorus emission in the double-season early and late rice is 0.180 kg/hm^2 and 0.095 kg/hm^2, and the emission reduction range is 37.25% and 70.59%.【Conclusion】Rain storage and intermittent irrigation mode has obvious effects on saving water, reducing emissions and improving the effective utilization of rainfall, which can improve the efficiency of rainwater resources, and has a strong space for promotion and application in south rainy areas.

Key words: intermittent irrigation of water storage type; intermittent irrigation; water saving; increasing production; nitrogen; phosphorus

责任编辑：赵宇龙

关于评选优秀论文的公告

本刊已开启优秀论文评选活动，每年评选优秀论文 10 篇，每篇奖励 800 元，并颁发获奖证书，届时将在期刊网站首页展示，同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部