

江汉平原中稻蓄雨灌溉实证研究

叶浩^{1,2*}, 黄必善^{1*}, 朱建强^{3#}, 王述斌¹, 熊威¹, 吴良荣¹, 张红艳¹

¹天门市农田灌溉排水试验站, 湖北 天门

²天门市水利和湖泊局, 湖北 天门

³长江大学农学院, 湖北 荆州

Email: 1127559490@qq.com, #zyjb@sina.com

收稿日期: 2021年8月6日; 录用日期: 2021年9月1日; 发布日期: 2021年9月8日

摘要

中稻是江汉平原广泛栽培的粮食作物, 根据水稻不同生长阶段对淹水的适应性和适当蓄雨, 对节约灌溉用水、减少田间排水以及养分流失具有重要意义。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(100 mm、80 mm、60 mm), 在自然降水条件下开展水稻蓄雨灌溉测坑试验。2年试验结果表明: 与对照相比, 蓄雨灌溉在节约灌溉用水、减少田间排水方面具有明显优势, 同时, 由于水稻本田期降水2年不同, 蓄雨灌溉的效果也不相同。2018年水稻本田期降雨为371.5 mm, 蓄雨灌溉与对照相比, 节约灌溉用水13.72%~15.30%, 减少排水55.44%~60.64%, 蓄雨提高12.62%~13.81%; 2019年水稻本田期降雨(187.1 mm)仅为2018年同期的50.36%, 蓄雨灌溉效果不如2018年, 与对照相比, 节约灌溉水5.55%~8.26%, 减少排水69%左右, 蓄雨提高16%左右。蓄雨100、80、60 mm, 3种灌溉模式在利用天然降雨减少田间灌溉水量和径流排水量的同时, 水稻主要农艺性状和产量并无显著差异, 说明适当的蓄雨灌溉不会引起水稻减产。同一年内不同蓄雨灌溉的灌溉水生产率很接近, 可能的原因是当年水稻本田期降水不多、不同蓄雨上限的蓄水差异未得到充分体现。

关键词

中稻, 蓄雨灌溉, 节水减排, 实证研究

Empirical Study on Rain Storage Irrigation for Mid-Season Rice in Jianghan Plain

Hao Ye^{1,2*}, Bishan Huang^{1*}, Jianqiang Zhu^{3#}, Shubin Wang¹, Wei Xiong¹, Liangrong Wu¹, Hongyan Zhang¹

¹Tianmen Experiment Station of Farmland Irrigation and Drainage, Tianmen Hubei

²Tianmen Bureau of Water Resources and Lakes, Tianmen Hubei

*共一作者。

#通讯作者。

文章引用: 叶浩, 黄必善, 朱建强, 王述斌, 熊威, 吴良荣, 张红艳. 江汉平原中稻蓄雨灌溉实证研究[J]. 农业科学, 2021, 11(9): 833-839. DOI: 10.12677/hjas.2021.119111

³Agricultural College of Yangtze University, Jingzhou Hubei
Email: 1127559490@qq.com, #zyjb@sina.com

Received: Aug. 6th, 2021; accepted: Sep. 1st, 2021; published: Sep. 8th, 2021

Abstract

Medium rice is a widely cultivated grain crop in Jiangnan Plain, according to the adaptability of rice in different growth stages to flooding and appropriate rain storage, it is of great significance to save irrigation water, reduce field drainage and nutrient loss. Three rain storage limits (100 mm, 80 mm and 60 mm) were set based on shallow-water frequent irrigation that was taken as control, and the pit test of rain storage irrigation for rice was carried out under natural precipitation. The results of the 2-year (in 2018 and 2019) experiment show that compared with the control, rainwater storage irrigation has obvious advantages in saving irrigation water and reducing field drainage, while the effect of rain storage irrigation is not the same because the precipitation in field growth period of rice is different in the two years. Compared with the control, rainwater storage irrigation in 2018 which the rainfall in filed growth period of rice was 371.5 mm could save irrigation water by 13.72% to 15.30%, reduce drainage by 55.44% to 60.64%, and increase rainwater retained in the field by 12.62% to 13.81%; the rainfall (187.1 mm) in field growth period of rice in 2019 was only 50.36% of that in the same period of 2018, and the rain storage irrigation effect was not as good as that in 2018, compared with the control, irrigation water was saved by 5.55%~8.26%, drainage was reduced by 69%, and rainwater retained in the field was increased by 16%. There were no significant differences in the main agronomic traits and yield of rice under the three irrigation modes of 100, 80 and 60 mm rain storage, indicating that appropriate rain storage irrigation could not reduce the yield of rice. In the same year, the irrigation water productivity of different rain storage irrigation is very close, the possible reason is that the precipitation of rice Honda period in the same year is not much, and the difference of water storage of different rain storage ceilings is not fully reflected.

Keywords

Mid-Season Ice, Rain Storage Irrigation, Water Saving and Drainage Reduction, Empirical Study

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水稻是在湖北省江汉平原广泛种植的主要粮食作物,也是耗水量最大的粮食作物。合理利用天然降水发展蓄雨灌溉技术,对于节水减排具有重要意义。江汉平原年降雨约 1210 mm,降水在时间上分布较集中,强降水发生概率增大[1],同时,又有干旱少雨的时段,因此,开展蓄雨灌溉是合理利用降水资源、实现农业节水的需要。目前节水灌溉技术一般分为浅、湿、晒灌溉技术、间歇灌溉技术、控制灌溉技术和蓄雨型灌溉技术[2],蓄雨灌溉技术一般通过农业工程、农艺措施、沟垄、塘堰、水窖、稻田进行蓄雨[3][4]。近年来,在我国长江中下游和南方稻作区,根据降水时空分布不均、旱涝同季的实际情况,一些研究者开展了稻田蓄雨灌溉技术研究,取得了积极成果。从水资源利用角度看,蓄雨灌溉可以减少灌水

次数、排水量和灌溉定额[5] [6] [7], 中蓄(20~70 mm)比淹灌节水可达 60% [8]; 从生产效果看, 蓄雨灌溉对水稻生产有不同影响, 袁静的研究表明[9], 低蓄(80~150 mm)灌溉模式下水稻增产 0.64%~16.03%, 高蓄(120~200 mm)下减产 2.27%~19.59%, 稻米营养和蒸煮品质略有下降; 从蓄雨型灌溉对水稻生理生化的影响看, 浅蓄对水稻光合效率影响不大, 深蓄抑制水稻光合作用, 浅蓄有利于维持高叶绿素水平, 深蓄抑制叶绿素合成, 浅蓄对叶片衰老影响不大, 深蓄加速叶片衰老, 浅蓄对水稻根系活力影响不大, 深蓄对水稻会损伤根系统[9]; 从蓄雨灌溉对水稻主要农艺性状的影响看, 蓄水控灌最终对株高无显著影响, 对有效分蘖无显著影响, 蓄水控灌可以改善水稻冠层结构, 同时有利于增加有效穗数和结实率, 对穗长和千粒重无显著影响[10], 根据陈朱叶[7]、邵孝侯[8]、郭以明[11]、叶玉适[12]等人的研究结果, 蓄雨灌溉可提高降水利用率和水分生产效率, 是一种水资源利用效率高、减排和增产潜力巨大的生态灌溉模式。然而, 在实际生产过程中, 不同地区以及同一地区的不同水文年, 蓄雨灌溉的节水减排潜力及其对水稻生产的影响不尽相同, 目前对此仅有一些模拟试验研究[13], 相关的实证研究还很缺乏。笔者于 2018 年和 2019 年在湖北省天门市农田灌溉排水试验站进行了自然蓄雨灌溉试验, 分析了不同蓄雨灌溉下降雨利用率和节水效果及水稻农艺性状。现将研究结果报告如下。

2. 材料与方法

2.1. 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。本站历年平均气温为 16.2°C、平均蒸发量为 1061.5 mm、平均降雨量为 1102.3 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、容重为 1.37 t/m³, 田间持水量为 28.01%, 主要农作制度为中稻与小麦轮作、小麦与棉花连套两熟。

2018 年至 2019 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 38.4 mg/kg、有效磷 20.2 mg/kg、速效钾 114.1 mg/kg、全氮 1.2 g/kg、全磷 0.3 g/kg、全钾 9.2 g/kg。

水稻本田期的降雨量 2018 年和 2019 年分别为 371.5 mm 和 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、K₂O 含量均为 15%, 施用量为 750 kg/hm²; 追肥(分蘖肥)为尿素, 用量 75 kg/hm²。水稻插秧时间 2018 年和 2019 年分别为 6 月 1 日和 6 月 8 日, 株、行距分别为 16 cm 和 30 cm, 9 月下旬收获。

2.2. 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 月至 7 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), 并以浅水勤灌为基础按蓄雨上限不同设 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)。上述试验处理采取随机排列方式, 每处理重复 3 次。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。

2.3. 调查观测与数据分析

1) 降水与灌排记载: 利用试验站自记雨量计获得试验期间降雨量, 利用径流筒收集、计量降水过程的排水量, 每次灌水前后读取水表读数以获得每次灌水量。将试验过程灌溉水量和排水水量均换算成水层高度, 以 mm 计。

2) 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: 株高、有效分蘖、每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重、产量。结实率由每穗总粒数和实粒数计算得到。

3) 数据处理: 用 SPSS21 和 Excel 2016 软件进行数据分析。

4) 有关指标计算:

蓄雨(mm) = 降雨量(mm) - 降雨径流排水量(mm)。

灌溉水生产率[14] (kg/m³) = 水稻产量(kg)/总灌水量(m³)。

3. 结果与分析

3.1. 不同灌溉处理下降雨利用与灌、排水量分析

根据试验数据整理分析, 表 1 给出了水稻插秧至黄熟期降雨、排水(降雨径流)、蓄雨与灌溉情况。由表 1 可知, 试验站点在水稻本田期(插秧至成熟)降水 2 年均偏少, 特别是 2019 年, 只有 187.1 mm, 大约是常年同期的一半。采用浅水勤灌处理的对照处理(CK)在水稻本田期发生降雨径流排水的, 2018 年出现在水稻分蘖期、晒田期和抽穗开花期, 2019 年出现在水稻分蘖期和拔节孕穗期; 3 种蓄雨灌溉仅在降雨比较多的水稻分蘖期有少量降雨径流排出。因为降水总体偏少, 3 种蓄雨灌溉之间的排水量、灌溉水量以及田间耗水量(灌水量 + 蓄雨量)均很接近。但是, 与对照相比, 蓄雨灌溉在节约灌溉用水、减少因降雨进行田间排水等方面还是有明显效果。对表 1 数据进一步分析可见, 蓄雨灌溉与对照相比, 2018 年节约灌溉水 13.72%~15.30%, 减少排水 55.44%~60.64%, 蓄雨提高 12.62%~13.81%; 2019 年节约灌溉水 5.55%~8.26%, 减少排水 69%左右, 蓄雨提高 16%左右。2019 年节约灌溉水之所以没有 2018 年多, 主要原因是该年水稻本田期的降水(187.1 mm)远小于 2018 年同期(371.5 mm)。

Table 1. Rainfall, drainage, rainwater use and irrigation from rice transplanting to maturity

表 1. 水稻插秧至黄熟期降雨、排水、蓄雨与灌溉情况

年份	处理	水量指标	返青期	分蘖期	晒田期	拔节孕穗期	抽穗开花期	灌浆黄熟期	合计
2018		降雨(mm)	1.5	205.5	64.0	9.1	50.5	40.9	371.5
	CK	排水(mm)	0.0	45.1	19.7	0.0	19.8	0.0	84.6
		蓄雨(mm)	1.5	160.4	44.3	9.1	30.7	40.9	286.9
		灌水(mm)	10.1	65.4	0.0	96.5	65.1	98.2	335.3
	TR1	排水(mm)	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3
		蓄雨(mm)	1.5	172.2	64.0	9.1	50.5	40.9	338.2
		灌水(mm)	10.2	53.5	0.0	64.7	56.4	99.2	284.0
	TR2	排水(mm)	0.0	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7
		蓄雨(mm)	1.5	169.8	64.0	9.1	50.5	40.9	335.8
		灌水(mm)	10.4	59.4	0.0	62.3	58.6	98.2	288.9
	TR3	排水(mm)	0.0	37.7	0.0	0.0	0.0	0.0	37.7
		蓄雨(mm)	1.5	167.8	64.0	9.1	50.5	40.9	333.8
		灌水(mm)	10.3	63.4	0.0	63.1	54.2	98.3	289.3

Continued

2019		降雨(mm)	4.8	102.0	0.0	45.3	33.7	1.3	187.1
	CK	排水(mm)	0.0	30.0	0.0	13.2	0.0	0.0	43.2
		蓄雨(mm)	4.8	72.0	0.0	32.1	33.7	1.3	143.9
		灌水(mm)	12.4	99.2	0.0	103.2	82.0	106.5	403.3
	TR1	排水(mm)	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
		蓄雨(mm)	4.8	88.7	0.0	45.3	33.7	1.3	173.8
		灌水(mm)	12.5	76.4	0.0	100.2	80.7	100.2	370.0
	TR2	排水(mm)	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
		蓄雨(mm)	4.8	88.7	0.0	45.3	33.7	1.3	173.8
		灌水(mm)	12.5	75.3	0.0	103.4	83.5	104.1	378.8
	TR3	排水(mm)	0.0	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4
		蓄雨(mm)	4.8	88.6	0.0	45.3	33.7	1.3	173.7
		灌水(mm)	12.3	76.2	0.0	102.5	81.7	108.2	380.9

3.2. 不同灌溉处理下水稻的农艺性状与灌溉水生产率

根据试验数据整理分析,表2给出了2018年和2019年不同蓄雨灌溉模式下水稻的主要农艺性状与产量。从2年试验结果可见,在本文试验条件下,蓄雨灌溉处理各项指标普遍高于对照,但差异未达到显著水平。这意味着在本文试验条件下,蓄雨灌溉与对照相比有节约灌溉用水、减少降雨径流的作用,而对水稻生长并无显著影响。这与一些学者的研究结果相一致[7][8][9][10]。

Table 2. Agronomic traits of rice and irrigation productivity

表2. 水稻农艺性状与灌溉水生产率

年份	处理	株高(cm)	有效分蘖 (个/穴)	结实率(%)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)	灌溉水生产率 (kg/m ³)
2018	CK	148.6 ± 2.1a	11.8 ± 1.2a	85.7 ± 3.0a	26.6 ± 0.6a	11022.9 ± 414.6a	3.29
	TR1	147.1 ± 1.1a	12.0 ± 0.8a	82.9 ± 3.3a	25.6 ± 0.6a	11022.4 ± 406.0a	3.88
	TR2	148.5 ± 2.5a	12.8 ± 1.3a	83.6 ± 1.6a	26.2 ± 0.2a	10780.3 ± 598.6a	3.73
	TR3	147.1 ± 2.0a	11.1 ± 0.1a	86.1 ± 1.7a	25.7 ± 0.3a	11047.8 ± 497.5a	3.82
2019	CK	129.3 ± 3.1a	13.2 ± 1.4a	87.4 ± 2.7a	23.9 ± 0.4a	10540.5 ± 395.7a	2.61
	TR1	134.3 ± 1.4a	13.8 ± 0.8a	89.7 ± 0.9a	23.5 ± 0.2a	10722.1 ± 619.9a	2.90
	TR2	136.8 ± 2.9a	14.7 ± 1.2a	89.2 ± 1.3a	24.1 ± 0.1a	10666.3 ± 498.3a	2.82
	TR3	131.3 ± 0.5a	15.6 ± 0.8a	88.5 ± 3.4a	23.7 ± 0.2a	11002.1 ± 700.4a	2.89

备注:表中数值后的小写字母表示不同处理间某一性状指标在5%水平上的差异。

由表2还可以看出,水稻本田期蓄水灌溉的灌溉水生产率均高于对照,在同一年内不同蓄雨灌溉的灌溉水生产率很接近,这可能与当年水稻本田期降水不多、不同蓄雨上限的蓄水差异未得到充分体现有

关。同时,亦可以看出,由于水稻本田期降水不同,灌溉水生产率存在明显的年际差异。2019年水稻本田期降雨 187.1 mm,仅为 2018 年同期(371.5 mm)的 50.36%,其灌溉水生产率与 2018 年相比,对照相差 0.67 kg/m^3 、蓄雨灌溉相差 $0.92\sim 0.98 \text{ kg/m}^3$ 。

4. 讨论

根据水稻浅水插秧、促分蘖的栽培要点,水稻生长前期蓄雨上限不宜太大。在本文试验条件下,蓄雨 100、80、60 mm,3 种灌溉模式在利用天然降雨减少田间灌溉水量和径流排水量的同时,水稻产量并无显著差异,说明适当的蓄雨灌溉不会引起水稻减产。但是,当蓄雨深度超过一定限度且超出一定时间,就会引起水稻减产。吴启侠、晏军等人研究表明[15][16][17][18],在水稻拔节期、灌浆期当淹水深度达到 $1/4\sim 1/2$ 株高,水稻会产生逆境生理响应,淹水超过 3 天以上水稻减产达 10% 以上。

在湖北省天门市以及江汉平原广大地区,6~7 月正是降雨比较多和中稻从营养生长逐渐转向生殖生长的重要阶段,基肥、追肥(返青分蘖肥、穗肥)先后在该时期施入田间,因此该时期也是易产生养分流失和农业面源污染的风险期。笔者团队[19]和一些研究者[7][8][9][10][11]的试验结果均表明,适当蓄雨对水稻并无显著影响,但可减少田间氮磷养分及污染物随降雨径流流失。8~9 月相比 6~7 月降雨较少,而这一时期需水量大,有降雨时可视雨量大小全部或部分蓄用,以提高降雨资源利用率、减少水稻灌溉用水。

由于各水文年的出现具有随机性,因此开展不同水文年型灌溉试验面临一些实际困难,一是无法将不同水文年进行多次重复[13],二是无法预测试验水文年丰、平、枯状况。此外,不同水稻品种的耐旱、耐淹性有一定差异,也会影响蓄雨灌溉的试验结果。根据 1989~2020 年天门市农田灌溉排水试验站气象资料统计分析,2018 年和 2019 年分别是平水年与枯水年,我们的试验结果可视为 2 种典型年下针对特定中稻品种的蓄雨灌溉效果。本文试验研究表明,蓄雨灌溉与对照相比有节约灌溉用水、减少降雨径流的作用,且对水稻生长和产量无显著影响,这与一些学者的研究结论相一致[7][8][9][10]。

5. 结论

在本文特定典型年及其试验条件下,以湖北省天门市以及江汉平原广泛栽培的中稻品种 Y 两优 1928 为研究对象,通过开展水稻蓄雨灌溉试验,可得出以下结论:

1) 蓄雨灌溉与浅水勤灌相比,在不影响水稻生产的情况下,具有良好的节水减排效果。在一般平水年(2018 年),节约灌溉水 13.72%~15.30%,减少排水 55.44%~60.64%,蓄雨提高 12.62%~13.81%;在枯水年(2019 年)节约灌溉水 5.55%~8.26%,减少排水 69%左右,蓄雨提高 16%左右。

2) 在本文试验条件下,蓄雨 100、80、60 mm,3 种灌溉模式在利用天然降雨减少田间灌溉水量和径流排水量的同时,水稻主要农艺性状和产量并无显著差异,说明适当的蓄雨灌溉不会引起水稻减产。

3) 水稻本田期降水年际差异影响蓄雨灌溉的效果。2019 年水稻本田期降雨(187.1 mm)仅为 2018 年同期的(371.5 mm) 50.36%,其灌溉水生产率明显低于 2018 年,对照与 2018 年相差 0.67 kg/m^3 、蓄雨灌溉与 2018 年相差 $0.92\sim 0.98 \text{ kg/m}^3$ 。

参考文献

- [1] 邓艳君,郑治斌,张伦瑾,等.近 59 年江汉平原降水气候变化特征分析[J].江苏农业科学,2020,48(16): 268-270+273-277.
- [2] 姚林,郑华斌,刘建霞,等.中国水稻节水灌溉技术的现状及发展趋势[J].生态学杂志,2014,33(5): 1381-1387.
- [3] 莫非,周宏,王建永,等.田间微集雨技术研究及应用[J].农业工程学报,2013,29(8): 1-17.
- [4] 刘明倩,魏军.雨水积蓄利用技术的思考[J].城市建设理论研究(电子版),2015,5(27): 1468-1471.

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 邵孝侯, 何俊, 胡秀君, 等. 水稻控灌中蓄灌溉模式的节水增产效应[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 357-359.
- [9] 袁静. 水稻蓄水控灌技术试验研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 河海大学, 2008.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 陈凯文, 俞双恩, 李倩倩, 等. 不同水文年型下水稻节水灌溉技术方案模拟与评价[J]. 农业机械学报, 2019, 50(12): 268-277.
- [14] Ali, M.H. and Talukder, M.S.U. (2008) Increasing Water Productivity in Crop Production—A Synthesis. *Agricultural Water Management*, **95**, 1201-1213. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>
- [15] 晏军, 吴启侠, 朱建强. 中稻灌浆期对淹水胁迫的响应及排水指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 59-65.
- [16] 晏军, 吴启侠, 朱建强, 等. 拔节期杂交中稻对淹水胁迫的响应及指示性指标探讨[J]. 中国稻米, 2017, 23(1): 17-25.
- [17] 吴启侠, 朱建强, 晏军, 等. 涝胁迫对杂交中稻形态和产量的影响[J]. 中国农业气象, 2016, 37(2): 188-198.
- [18] 吴启侠, 杨威, 朱建强, 等. 杂交水稻对淹水胁迫的响应及排水指标研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(6): 875-882.
- [19] 谢春娇, 朱建强, 吴启侠, 等. 不同栽植方式下杂交中稻分蘖期间适宜蓄水深度研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(11): 58-64.