

不同灌溉方式下水稻产量和节水减排效果分析

梁梅英¹, 粟世华¹, 刘圣锋², 吴昌智¹, 郭攀¹, 赵海雄¹

(1. 桂林市农田灌溉试验中心站, 广西桂林 541105; 2. 东华理工大学水资源与环境工程学院, 江西南昌 330013)

摘要 2016—2019年对水稻开展不同灌溉方式的比较试验, 研究不同灌溉方式下的节水减排效果和产量。结果表明: 结合不同灌溉方式下灌水量、排水量、灌水次数、水分利用率以及水稻产量等指标, 可知间歇灌溉应用效果更好。间歇灌溉方式下早稻和晚稻的灌水量分别为(201.5±34.8)和(240.9±42.1) mm, 水分生产率分别为1.35和1.38 kg/m³, 产量分别为(6 189.0±373.5)和(6 409.0±682.5) kg/hm²。间歇灌溉结合70%化学肥料+30%菌肥的配比下, 水稻产量更高。该研究结果可为水稻高效生产提供理论依据。

关键词 间歇灌溉; 常规灌溉; 薄浅湿晒灌溉; 雨养灌溉; 节水减排

中图分类号 S274 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)12-0212-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.056



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Rice Yield and Water Saving and Emission Reduction Effects under Different Irrigation Methods

LIANG Mei-ying¹, SU Shi-hua¹, LIU Sheng-feng² et al (1. Guilin Irrigation Experiment Center Station, Guilin, Guangxi 541105; 2. College of Water Resources and Environmental Engineering, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013)

Abstract From 2016 to 2019, the comparison experiment on rice under different irrigation methods was conducted, so as to investigate the effects of water saving, emission reduction and rice yield under different irrigation methods. The results showed that the application effect of intermittent irrigation was better in combination with indicators such as irrigation volume, drainage volume, irrigation frequency, water use efficiency, and rice yield under different irrigation methods. The irrigation volume of intermittent irrigation technology for early rice and late rice were (201.5±34.8) and (240.9±42.1) mm respectively, the water productivity was 1.35 and 1.38 kg/m³ respectively, the rice yield was (6 189.0±373.5) and (6 409.0±682.5) kg/hm² respectively. Under the ratio of intermittent irrigation combined with 70% chemical fertilizer and 30% bacterial fertilizer, rice yield was higher. The study results could provide the theoretical basis for efficient rice production.

Key words Intermittent irrigation; Conventional irrigation; Thin-shallow-wet-dry irrigation; Rain-fed irrigation; Water saving and emission reduction

水稻是我国主要的粮食作物之一, 在我国南方水稻种植面积占全国水稻种植总面积的78.9%^[1]。水稻是一种喜水作物, 整个生育过程需要消耗大量的水^[2]。近年来, 随着城市化和工业化进程的加快, 农业供水量受到一定程度的削减, 但水稻作为一种重要的粮食作物, 研究水稻的节水减排灌溉显得尤为重要。

目前, 国内外学者对水稻灌溉技术的关注持续不减。从20世纪六七十年代开始, 我国水稻的灌溉方式逐步由深水灌溉向浅水灌溉过渡, 出现了“薄、浅、湿、晒”、蓄雨型灌溉、间歇淹水灌溉、“半旱栽培”灌溉等模式^[3-6]。笔者研究了常规灌溉、薄浅湿晒、间歇灌溉和雨养灌溉4种不同灌溉方式对水稻产量及节水减排效果的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 试验于2016—2019年在桂林市农田灌溉试验中心站内试验场地进行, 其中2016—2018年对4种不同灌溉方式的节水减排进行同步试验, 2019年对间歇灌溉进行不同肥料配比试验(早稻一般在4月22日至7月20日, 晚稻一般在7月25日至10月28日)。该试验场地(110°10'E, 25°16'N)位于漓江流域内, 属于亚热带季风气候, 全年无霜期309 d, 年均降水量1 926 mm, 年平均气温19.0℃。试验场地内划分12个试验区, 每个区长15 m, 宽5 m, 面积75 m², 单向排列, 田块两端均为水泥板明渠和明沟, 灌排前后分开, 测

量田间土层深度并进行对比, 试验过程中各试验区农艺措施完全一致, 单收单核产量。

1.2 试验方案

1.2.1 不同灌溉方式对比。 首先从节水减排及产量方面分析常规灌溉、薄浅湿晒、间歇灌溉和雨养灌溉的优越性。这4种灌溉方式的生育期划分及土层设计见表1。

1.2.2 间歇灌溉试验方案。 在水稻试验不同灌溉方式筛选后, 以间歇灌溉方式为例, 进一步研究其施肥类型和方法对水稻生长及产量的影响, 试验面积为75 m², 其中分基肥(375.0 kg/hm²)、分蘖肥(300.0 kg/hm²)和攻穗肥(375.0 kg/hm²)分3次施放, 占比为5:4:5, 土层设计与表1中的间歇灌溉相一致。间歇灌溉的施肥配比见表2。

1.3 测定方法

1.3.1 气象数据。 气象数据由桂林市农田灌溉试验中心站内小型气象监测站提供, 包括气温、降水量、风速等指标。

1.3.2 试验田灌水量和排水量。 每天08:00对各试验田土层深度进行观测, 并根据各灌溉方式的要求进行及时调控。

1.3.3 排水水质。 试验期间, 每隔5~7 d测定一次农田排水总氮、总磷指标(施肥期加密)。

1.3.4 土壤含氮量。 土样取样时间: 基肥施放前1 d第1次取样以及基肥施放后第2天为第2次取样, 此后每间隔5 d取一次样直至施放分蘖肥前停止; 同样, 在分蘖肥施放的前一天取样, 在分蘖肥施放后第2天取样, 此后每10 d取一次样至攻穗肥施放前停止; 在攻穗肥施放前一天取一次样, 在攻穗肥施放后第2天取一次样, 此后每隔10 d取满3次停止取样。取样采用蛇形布点法, 每个试验单元布设4个点, 随

基金项目 广西水利厅科技项目(201610)。

作者简介 梁梅英(1980—), 女, 广西桂林人, 工程师, 从事农业节水灌溉研究。

收稿日期 2020-08-14

机布点。取样深度为 15 cm,土片厚度为 1 cm,每片土样约 (HJ 717—2014)。
100 g,其测定方法参照《土壤质量全氮的测定凯氏法》

表 1 不同灌溉方式试验处理

Table 1 Experimental treatments under different irrigation methods

生育期 Growth period	常规灌溉 Conventional irrigation(S ₁)	雨养灌溉 Rain-fed irrigation(S ₄)	薄浅湿晒 Thin-shallow-wet- dry irrigation(S ₂)	间歇灌溉 Intermittent irrigation(S ₃)
复苗期 Re-emergence stage	5~30	0~30	5~30	5~30
分蘖前期 Pre-tillering stage	10~30	0~40	10~25	0~20
分蘖后期 Late tillering stage	10~30	0~60	0~15	0
拔节孕穗期 Jointing and booting stage	15~35	0~60	0~30	0~20
抽穗开花期 Heading and flowering stage	10~30	0~60	0~30	0~20
乳熟期 Milk maturity stage	10~30	0~60	0~10	0
黄熟期 Yellow maturity stage	0	0	0	0

注:表中数据为田面水层厚度;田面水层厚度为“0”的生育期,土壤饱和含水量控制在 70%~80%

Note:The data in the table is the thickness of the field water layer.During the growth period when the thickness of field water layer was “0”,the saturated water content of the soil was controlled at 70%~80%

表 2 间歇灌溉方式施肥量配比

Table 2 The fertilizer amount ratio of intermittent irrigation

处理号 Treatment number	基肥 Base fertilizer			分蘖肥 Tillering fertilizer			攻穗肥 Heading fertilizer		
	肥料种类 Type of fertilizer	占总量的比例 Proportion in total//%	施肥量 Fertilizer amount//kg	肥料种类 Type of fertilizer	占总量的比例 Proportion in total//%	施肥量 Fertilizer amount//kg	肥料种类 Type of fertilizer	占总量的比例 Proportion in total//%	施肥量 Fertilizer amount//kg
处理 1 Treatment 1(F ₁)	化肥 a	100	2.8	化肥 b	30	0.69	化肥 c	30	0.84
处理 2 Treatment 2(F ₂)	化肥 a	100	2.8	菌肥	70	1.61	菌肥	70	1.96
				化肥 b	50	1.15	化肥 c	50	1.40
处理 3 Treatment 3(F ₃)	化肥 a	100	2.8	菌肥	50	1.15	菌肥	50	1.40
				化肥 b	70	1.61	化肥 c	70	1.96
处理 4 Treatment 4(F ₄)	化肥 a	100	2.8	菌肥	30	0.69	菌肥	30	0.84
处理 5 Treatment 5(F ₅)	化肥 a	100	2.8	菌肥	100	2.30	菌肥	100	2.80
	化肥 a	100	2.8	化肥 b	100	2.30	化肥 c	100	2.80

注:化肥 a 由磷肥和尿素按 4:1 组成;化肥 b 由尿素和复合肥按 3:1 组成;化肥 c 由氯化钾和复合肥按 4:1 组成

Note:The chemical fertilizer a consists of of phosphate fertilizer and urea by 4:1;the chemical fertilizer b is composed of urea and compound fertilizer by 3:1;the chemical fertilizer c is composed of potassium chloride and compound fertilizer by 4:1

1.3.5 水稻含氮量。其取样时间与取土样时间一致,取样水稻主干茎部分约 2 cm² 和水稻叶片部分约 2 cm²。使用水稻氮素快速测定仪测定水稻植株的含氮量。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式试验

2.1.1 节水减排分析。2016—2018 年研究区早稻和晚稻的降水量分别为(833.7±338.2)和(389.4±269.8)mm,统计试验期间不同灌溉方式下节水减排效果。由表 3 可知,4 种灌溉

方式下灌水量和排水量均受到降水的影响,早稻的降水量较大,总体上早稻排水量比晚稻大。在不同灌溉方式下,雨养灌溉所需的灌水量最少,其次为间歇灌溉;在总氮和总磷排放负荷量方面,早稻间歇灌溉下总氮、总磷排放负荷均最小,分别为(0.75±0.39)和(0.72±0.33) kg/hm²;晚稻间歇灌溉下总氮排放负荷最小,雨养灌溉下总磷排放负荷最小。在灌水次数方面,雨养灌溉最少,其次为间歇灌溉。

表 3 水稻不同灌溉方式下节水减排效果

Table 3 Water saving and emission reduction effects of rice under different irrigation methods

水稻类型 Rice type	灌溉方式 Irrigation methods	降水量 Precipitation mm	灌水次数 Irrigation times	灌水量 Irrigation volume mm	降水利用量 Precipitation utilization//mm	排水量 Displacement mm	总氮排放负荷 TN discharge load//kg/hm ²	总磷排放负荷 TP discharge load//kg/hm ²
早稻 Early rice	常规灌溉(S ₁)	833.7±338.2	10.1±3.1	319.1±70.5	249.3±147.1	584.3±241.7	1.16±0.49	1.26±0.45
	薄浅湿晒(S ₂)	833.7±338.2	8.1±2.4	250.0±44.2	241.8±114.7	578.5±184.3	0.91±0.44	0.94±0.41
	间歇灌溉(S ₃)	833.7±338.2	6.4±3.1	201.5±34.8	274.1±102.0	559.6±291.1	0.75±0.39	0.72±0.33
晚稻 Late rice	雨养灌溉(S ₄)	833.7±338.2	1.8±0.9	89.7±67.9	356.1±127.5	477.6±277.4	0.96±0.50	0.92±0.46
	常规灌溉(S ₁)	389.4±269.8	11.1±1.2	382.4±44.5	185.7±85.7	203.6±185.7	0.40±0.37	0.44±0.40
	薄浅湿晒(S ₂)	389.4±269.8	8.2±1.5	318.4±14.4	191.8±82.8	197.5±225.6	0.29±0.33	0.15±0.03
	间歇灌溉(S ₃)	389.4±269.8	6.9±0.9	240.9±42.1	227.1±78.9	162.3±213.5	0.21±0.28	0.09±0.03
	雨养灌溉(S ₄)	389.4±269.8	3.7±0.6	179.6±34.0	250.4±54.1	139.0±248.0	0.25±0.44	0.08±0.10

以早稻为例,相比于常规灌溉,薄浅湿晒、间歇灌溉和雨养灌溉的灌水量分别减少 21.7%、36.9%和 71.9%,灌水次数

分别减少 19.8%、36.6%和 82.2%,排水量分别减少 1.0%、4.2%和 18.3%,总氮排放负荷分别减少 21.6%、35.3%和

17.2%,总磷排放负荷分别减少25.4%、42.9%和27.0%。由此可见,间歇灌溉在节水减排方面更具优越性。

2.1.2 节水高产分析。在保证水稻产量的情况下,最大限度减少水资源使用量很有必要。2016—2018年4种不同灌溉方式下耗水量和产量见表4。

表4 水稻不同灌溉方式耗水量和产量比较

Table 4 Water consumption and yield comparison of rice among different irrigation methods

水稻类型 Rice type	灌溉方式 Irrigation methods	耗水量 Water consumption mm	产量 Yield kg/hm ²
早稻 Early rice	常规灌溉(S ₁)	568.5±145.3	5 608.5±157.5
	薄浅湿晒(S ₂)	491.8±108.7	6 036.0±319.5
	间歇灌溉(S ₃)	475.6±101.5	6 189.0±373.5
	雨养灌溉(S ₄)	445.8±62.7	5 611.5±282.0
晚稻 Late rice	常规灌溉(S ₁)	568.2±105.2	5 754.0±520.5
	薄浅湿晒(S ₂)	510.2±97.2	6 288.0±685.5
	间歇灌溉(S ₃)	467.9±51.7	6 409.0±682.5
	雨养灌溉(S ₄)	430.0±45.2	5 747.0±315.5

由表4可知,在相同灌溉方式下晚稻的产量优于早稻。对于同一种水稻类型,间歇灌溉下水稻产量最高,薄浅湿晒次之,雨养灌溉下水稻产量最低。这是因为雨养灌溉主要依靠降水来补充田间水分,这样可能会在水稻重要的需水时期

出现缺水情况,如抽穗开花期缺水不仅会减弱光合作用,而且会降低植株体内碳水化合物含量,影响籽粒形成。间歇灌溉和薄浅湿晒应考虑到水稻各生育期需水情况以及人为控制灌溉量,这更有利于水稻生长。

对耗水量而言,早稻和晚稻在4种不同灌溉方式下的变化趋势呈现一致性,常规灌溉下耗水量最大,薄浅湿晒次之,雨养灌溉下耗水量最小。雨养灌溉的耗水量最少,但其产量最低。常规灌溉耗水量最大,但其水稻产量低于薄浅湿晒和间歇灌溉。

水稻产量与水分生产率、降水利用率有一定的关系。4种灌溉方式的降水利用率和水分利用率如图1所示。从图1可以看出,在各水稻类型中间歇灌溉下的水稻水分生产率最高,早稻和晚稻分别为1.35和1.38 kg/m³。雨养灌溉下的灌溉水分生产率在各水稻类型中均最高,早稻和晚稻分别为6.26和3.09 kg/m³,这也许是因为该灌溉方式下稻田水分有时过于干旱,因此灌溉水分生产率较高。其次为间歇灌溉下的灌溉水分生产率,早稻和晚稻分别为3.07和2.66 kg/m³。降水利用率在不同水稻类型下呈现的变化趋势一致,雨养灌溉下降水利用率最高,间歇灌溉次之,而常规灌溉下降水利用率最低。我国南方属于亚热带季风气候,有雨热同期的特点,在主汛期是水稻主要生育期,提高降水利用率、减少稻田排水有利于减少稻田的氮磷排放、降低农业面源污染的程度,也可起到防洪减排的作用^[2,7]。

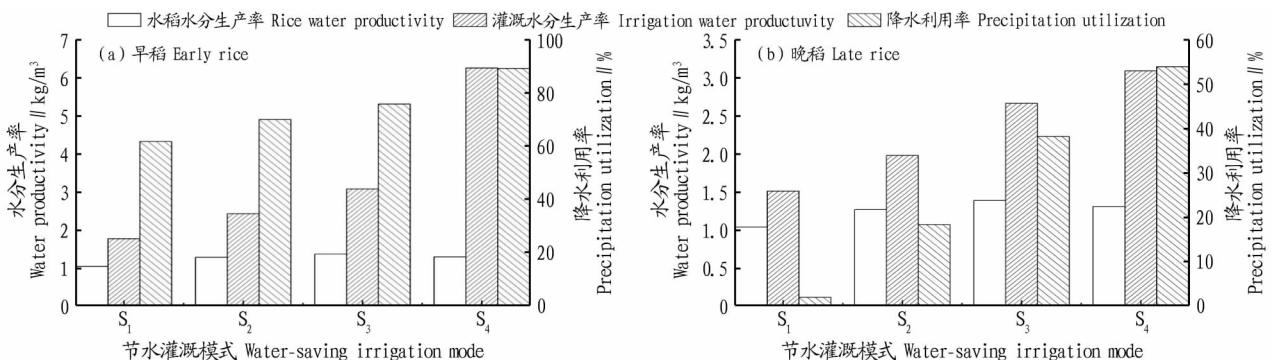


图1 不同灌溉方式下水分生产率和降水利用率的比较

Fig.1 The comparison of water productivity and precipitation utilization rate among different irrigation methods

2.2 间歇灌溉不同施肥方式效果比较对4种灌溉方式下节水减排效果及水稻产量进行对比,不同水稻类型中间歇灌溉模式下水稻产量最高,薄浅湿晒次之,雨养灌溉模式下水稻产量最低;从灌水量、灌水次数、排水量及耗水量来看,常规灌溉模式下最高,薄浅湿晒次之,雨养灌溉最低。间歇灌溉下水稻产量远高于雨养灌溉,因此选择间歇灌溉进行不同施肥方式效果的对比试验。经过12次取样检测,不同肥料下土壤含氮量和水稻含氮量见图2。

土壤中含氮量通常是衡量土壤氮素基础肥力的一个重要指标。由图2(a)可知,F₃配比下,土壤含氮量总体最高,其次为F₂。各肥料配比下,在第6次取样(分蘖中前期)时土壤含氮量达到最高,F₃、F₂、F₁、F₅和F₄分别为3.05、3.03、2.91、2.79

和2.59 g/kg,此后土壤含氮量逐渐降低并趋于稳定,说明水稻在不断吸收土壤中的氮素。

水稻植株含氮量对水稻生长具有重要作用,特别是在分蘖期,其含氮量对植株分蘖十分关键^[8]。同时,水稻植株中含氮量的测定对于氮肥的精确施用及提高氮肥利用效率具有重要意义^[9-11]。由图2(b)可知,水稻植株含氮量呈递减趋势,在F₃配比下水稻含氮量相对于其他肥料配比较高,在第12次取样(黄熟期)时不同肥料下的水稻含氮量均达到最低。

各肥料配比下水稻产量如图3所示。在肥料配比F₃下水稻产量最高,达到14 758.85 kg/hm²;其次为F₂,水稻产量为13 165.11 kg/hm²;在F₄肥料配比下水稻产量最低,为9 642.81 kg/hm²。

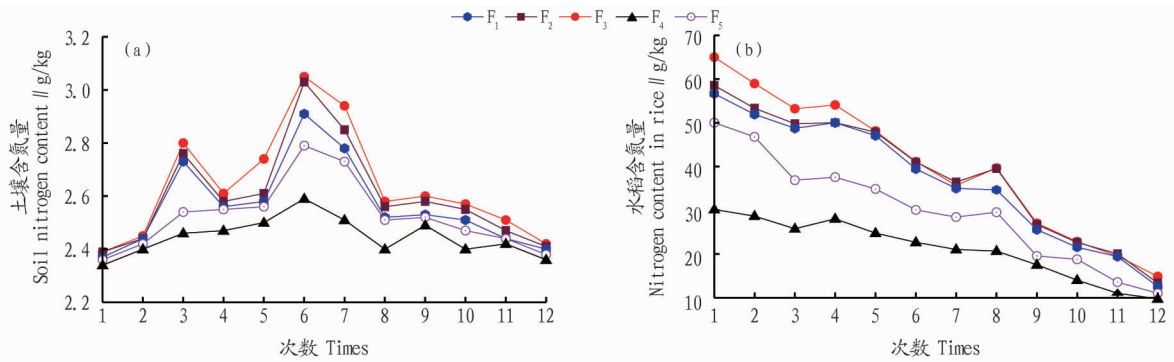


图2 不同肥料下土壤和水稻中含氮量的变化

Fig.2 Changes of nitrogen content in the soil and rice under different fertilizer treatments

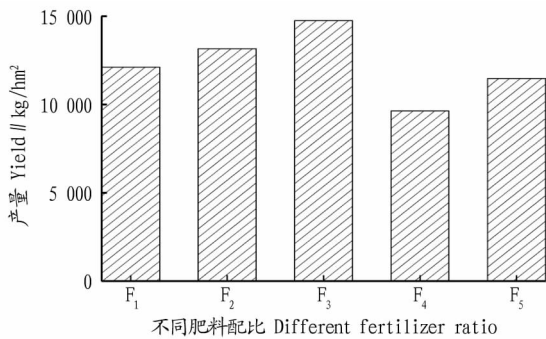


图3 不同肥料配比下水稻产量的比较

Fig.3 The comparison of rice yield at different fertilizer ratios

3 讨论与结论

3.1 讨论 该研究结果表明间歇灌溉能够保证水稻产量,起到节水减排作用,减少排水量、灌水量和灌水次数,提高水分生产率和降水利用效率^[12-13]。吴汉等^[14]对间歇灌溉进行了研究,结果发现与常规灌溉相比排水量减少了7.50%~43.94%,灌水量减少了31.00%~43.94%,灌水次数也有所减少,水分生产率提高了43.02%~98.74%。赵宏亮等^[15]研究表明间歇灌溉有利于提高水稻产量以及水分利用效率,同时间歇灌溉也有利于土壤对氮素的保持,防止肥力流失,进而提高产量以及防止农业面源污染^[16]。该研究结果与前人研究基本一致。

该试验还研究了不同灌溉方式下的总氮、总磷排放负荷。早稻间歇灌溉下总氮、总磷排放负荷最小,分别为 (0.75 ± 0.39) 和 (0.72 ± 0.33) kg/hm²。晚稻间歇灌溉下总氮排放量负荷最小。雨养灌溉下总磷排放量负荷最小,其次为间歇灌溉。这主要是因为间歇灌溉提高了降水利用率,增加了降水的停留时间,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^[13]。

3.2 结论

(1)与常规灌溉相比,早晚稻采用薄浅湿晒、间歇灌溉和雨养灌溉均能有效减少灌水量、排水量和灌水次数。以早稻为例,与常规灌溉相比,间歇灌溉、薄浅湿晒和雨养灌溉灌水

量分别减少21.7%、36.9%和71.9%,灌水次数分别减少19.8%、36.6%、82.2%,排水量分别减少1.0%、4.2%和18.3%,总氮排放负荷分别减少21.6%、35.3%和17.2%,总磷排放负荷分别减少25.4%、42.9%和27.0%,加上考虑到间歇灌溉下水稻产量最高、雨养灌溉最低,因此间歇灌溉在不同水稻类型下节水减排效果较好,且产量较高,具有良好的应用价值。

(2)在间歇灌溉施肥配比中,F₃施肥配比下水稻产量最高,较F₅施肥配比下的水稻产量提高了28.6%。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [2] 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.
- [3] 徐芬芬,曾晓春,石庆华,等.不同灌溉方式对水稻生长与产量的影响[J].江西农业大学学报,2005,27(5):653-658.
- [4] 覃万国.“薄、浅、湿、晒”灌溉技术对杂交水稻的增产效果[J].中国农村水利水电,1996(11):17-18.
- [5] 靳德明,王维金,陈国兴.栽培稻节水种植技术研究利用展望[J].湖北农业科学,2001,40(5):5-7.
- [6] 余青.不同节水灌溉方式对水稻生长的影响[J].安徽农业科学,2012,40(36):17904-17906,17970.
- [7] 王传娟,王少丽,陈皓锐,等.稻田水量调控模拟计算及分析[J].中国农村水利水电,2016(8):137-143.
- [8] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋.水稻精确定量栽培理论与技术[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [9] 黄洁,朱德峰,陈惠哲,等.水稻叶片含氮量无损快速测定方法[J].中国稻米,2017,23(2):18-20.
- [10] 聂鹏程,袁石林,章伟聪,等.基于光谱技术的水稻叶片氮素测定仪的开发[J].农业工程学报,2010,26(7):152-156.
- [11] TANAKA A, TORIYAMA K, KOBAYASHI K. Nitrogen supply via internal nutrient cycling of residues and weeds in lowland rice farming[J]. Field crops research, 2012, 137: 251-260.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 吴汉,柯健,何海兵,等.不同间歇时间灌溉对水稻产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(1):37-44.
- [15] 赵宏亮,王麒,孙羽,等.秸秆还田下灌溉方式对水稻产量及水分利用率的影响[J].核农学报,2018,32(5):959-969.
- [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.