

文章编号:1007-2284(2021)09-0124-04

暴雨后不同滞蓄水深对虾稻田中 水稻拔节期生长及产量的影响

李学昊¹, 罗强¹, 秦婷婷¹, 袁帅¹, 程伦国², 刘路广³

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 湖北省荆州市四湖工程管理局排灌试验站, 湖北荆州 434013; 3. 湖北省水利水电科学研究院, 武汉 430079)

摘要:为获取暴雨后虾稻田中稻田单元的田间水管理模式,发挥虾稻田对涝水的滞蓄作用,在湖北四湖流域丫角排灌站开展了水稻淹水试验。试验在淹水池中进行,采用盆栽模拟水稻淹水情景,共设置了浅水短淹T1、浅水间歇淹T2、浅水长淹T3、深水短淹T4、深水间歇淹T5、深水长淹T6和常规灌溉CK 7个处理。结果表明,水稻拔节期受淹会促进水稻各节间长和株高生长,相同淹水历时下,高淹水深度下促进作用比低淹水深度更明显;淹水深度为40 cm时,短淹、间歇淹和长淹的水稻株高较常规灌溉分别增加2.9%、3.6%和5.4%。除浅水短淹处理(T1)产量略有增加外,其他淹水处理均会导致水稻产量下降,相同淹水历时下,高淹水深度比低淹水深度产量减少更严重;淹水深度为40 cm时,短淹、间歇淹和长淹处理的水稻产量分别较常规灌溉减少4.3%、6.2%和13.1%;同种淹水深度下,间歇淹水和短淹对水稻产量的影响相差不大。产量构成方面,淹水处理主要减少每穗粒数和结实率,淹水深度为40 cm时,每穗粒数和结实率显著减少。为兼顾种稻和养虾,虾稻田水稻拔节期受涝时田间应保持15~25 cm水深或使稻田间歇淹水,避免长时间连续淹水。

关键词:淹水胁迫;水稻;株高;产量

中图分类号:TV93;S511;S274.1 文献标识码:A

李学昊, 罗强, 秦婷婷, 等. 暴雨后不同滞蓄水深对虾稻田中水稻拔节期生长及产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2021(9): 124-127, 133.

LI X H, LUO Q, QIN T T, et al. Effects of different detention water depths on rice growth and yield in shrimp rice fields after a heavy rain [J]. China Rural Water and Hydropower, 2021(9): 124-127, 133.

Effects of Different Detention Water Depths on Rice Growth and Yield in Shrimp Rice Fields after a Heavy Rain

LI Xue-hao¹, LUO Qiang¹, QIN Ting-ting¹, YUAN Shuai¹, CHENG Lun-guo², LIU Lu-guang³

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Science, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei Province, China;

2. Irrigation and Drainage Experiment Station of the Four-Lake Engineering Administration Bureau, Jingzhou 434013,

Hubei Province, China; 3. Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan 430070, Hubei Province, China)

Abstract: In order to obtain the field water management model of the rice field unit in the shrimp rice field after heavy rains, and to play the role of the shrimp rice field on the waterlogged water retention, a rice flooding experiment is carried out at the Yajiao Irrigation and Drainage Station in the Four Lakes Basin in Hubei. The experiment is carried out in a flooded pond. potted plants are used to simulate the flooding scenario of rice. A total of 7 treatments are set: shallow water short flooding (T1), shallow water intermittent flooding (T2), shallow water long flooding (T3), deep water short flooding (T4), deep water intermittent flooding (T5), deep water long flooding (T6) and conventional irrigation (CK). The results show that the flooding of rice jointing stage will promote the growth of the internode length and plant height of rice.

收稿日期:2020-11-09

研究。E-mail: lxh1213@qq.com。

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1508305);湖北省水利重点科研项目(HBSLKY202003)。

通讯作者:罗强(1971-),男,副教授,博士,主要从事排涝、水资源管理方面研究。E-mail: qluo@whu.edu.cn

作者简介:李学昊(1996-),男,硕士研究生,主要从事排水方面的

Under the same flooding duration, the promotion effect is more obvious at high flooding depth than at low flooding depth; when the flooding depth is 40 cm, the plant heights of shorter flooded, intermittently flooded and long flooded rice increases by 2.9%, 3.6% and 5.4% respectively compared with conventional irrigation. With the exception of shallow water short flooding treatment (T1), which slightly increases the yield, other flooding treatments would cause a decrease in rice yield. Under the same flooding duration, the yield of high flooding depth is less than that of low flooding depth when the flooding depth is 40 cm, the rice yields of short, intermittent and long flooding treatments are reduced by 4.3%, 6.2%, and 13.1%, respectively compared with conventional irrigation. At the same flooding depth, the effects of intermittent flooding and short flooding on rice yield are similar. In terms of yield composition, the flooding treatment mainly reduces the number of grains per panicle and the seed setting rate. When the flooding depth is 40 cm, the number of grains per panicle and the seed setting rate are significantly reduced. In order to take into account both rice planting and shrimp farming, the water depth of 15~25 cm should be maintained when the rice of the shrimp rice field is flooding at the jointing stage or the paddy field should be flooded intermittently, and continuous flooding for a long time must be avoided.

Key words: flooding stress; rice; plant height; yield

0 引言

随着气候变化加剧,导致湖北省水稻受洪涝灾害的频次增加^[1]。在对涝灾的防控中,土地利用状况无疑是研究的重点。近年来,湖北省潜江等地大力推广虾稻种养模式,在提高涝渍地效益的同时,也对区域的涝水过程产生了影响。暴雨后虾稻田的田间水管理,也成为区域涝灾治理的关键因素,其中水稻的耐淹性更是田间水管理的重点。对于水稻受涝胁迫的研究,国内外已有较多研究。Nishiuchi等^[2]对水稻遭受全淹和非全淹时的适应机制进行了综述。Colmer等^[3]分析了水稻间歇性淹没和持续性淹没的生理机制。李永和等^[4]研究表明,水稻在孕穗抽穗期对洪涝灾害最敏感,减产率最高。宁金花等^[5]阐述了不同淹涝胁迫条件下,水稻茎、叶等的变化并分析了此现象产生的原因。吴启侠等^[6]分析了分蘖期和孕穗期淹水对水稻株高、节间长度和产量构成等因素的影响,并在此基础上提出合理的排水标准。吴军^[7]等研究表明间歇灌使水稻黄熟期根茎的干物质占比提高,具有可观的增产作用。张亮^[8]等研究表明采用间歇灌溉模式可增加水稻千粒重及产量,但会减少植株穗长、穗粒数。毛心怡等^[9]发现不同节水灌溉模式对水稻株高和产量构成因子都有一定影响,蓄水控灌处理的株高和产量最高,浅水勤灌处理最低。陈书强^[10]等发现水直播和旱种水管模式比插秧栽培效益要好,但直播种植易受低温影响,种植风险相对较大。

以上对水稻受涝的淹水试验设计大多是持续淹水,对水稻间歇性淹水的研究较少。虾稻田是稻田外套虾沟且顶端高出田埂,农户为满足小龙虾的生长需求会改变稻田水位,这些原因都可能导致水稻间歇性淹水。本研究以虾稻种养模式下的水稻生长环境为背景,通过盆栽淹水试验,研究暴雨后水稻受淹对产量的影响,在传统淹水试验上增加了间歇性淹水处理。虾稻种养模式下以优先满足小龙虾生长为基础,同时考虑水稻的生长,会在水稻拔节期提高水层深度至15~25 cm^[11],且在拔节期受涝对水稻的生长发育影响较大。故在拔节期进行淹水试验,研究不同淹水环境对生长发育和产量参数的影响,为减少受涝胁迫对水稻的影响,以及虾稻田的田间水管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在湖北省荆州市四湖流域管理局丫角灌排试验站进行。该站处在江汉平原四湖流域中区,多年平均气温为16.5℃,年平均降雨量为1 111.6 mm,年水面蒸发量891~1 216 mm,年日照时数为1 401~1 945 h,无霜期为280 d左右。土壤质地为中壤黏土,田间持水量0~15 cm土层内为47.3%,16~40 cm土层内为30.7%。

1.2 试验设计

本试验于2019年进行,水稻供试品种为全两优681,属中籼迟熟两系杂交水稻,全生育期130 d左右。试验采用盆栽试验,盆长×宽×高=48 cm×34 cm×25 cm,于4月29日进行插播育种,5月21日进行移栽,每盆6穴,每穴2株。盆底设小孔用于水分交换,盆内土壤取自大田耕作层,土质为中壤黏土,氮、磷、钾质量分数分别为2.5、1.5、15 mg/kg。

试验在5 m×5 m×1.2 m淹水池内进行,淹水池壁上开有上、下两个排水孔。淹水池的水位自然消耗至低于上排水孔4 cm时,则补水至上排水孔;下排水孔用于试验完成后对淹水池的清理。池内设可升降支架20排,支架的高度可以在0~1 m范围内以5 cm为最小单位上下调整以改变水稻的受淹深度,每排支架上放置3个水稻盆栽。

本试验从拔节期开始处理,设计浅水短淹T1、浅水间歇淹T2、浅水长淹T3、深水短淹T4、深水间歇淹T5、深水长淹T6和常规灌溉CK共7个处理,每个处理重复3次。其中,短淹处理为淹水3 d,间歇淹处理为淹水3 d后解除淹水3 d后再淹水3 d,长淹处理为淹水9 d。CK的淹水深度为5 cm,即支架高度在淹水池上排水孔以下5 cm,浅水和深水处理组淹水处理时支架高度分别在淹水池上排水孔以下25和40 cm,非淹水处理时间的支架高度与CK相同。

1.3 测定项目

(1)节间长和株高。水稻成熟收割并晾晒风干后,调查测定各个处理的水稻的各节间长和株高。

(2)产量和构成因素。水稻成熟收割并晾晒风干后,逐一测量每盆水稻穗数、每穗粒数、结实率、千粒重和每盆实收

产量。

测得数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行分析与处理,使用 Dunnett-t 方法进行方差分析,采用 OriginPro 2020 作图。

2 结果与分析

2.1 不同淹水处理对水稻节间长和株高的影响

试验结果统计见表 1。由表 1 可知,水稻拔节期淹水深度为 25 cm 时,短淹,间歇淹和长淹处理组与对照组相比,倒五节间长分别增加 3.9%、2.0% 和 7.1%,倒四节间长分别增加-2.8%、1.9% 和 3.9%,倒三节间长分别增加-2.4%、2.1% 和-1.6%,倒二节间长分别增加 4.1%、1.3% 和-1.1%,倒一节间长分别增加 1.7%、1.4% 和 2.9%,株高分别增加 0.7%、1.1% 和 1.1%。

表 1 不同淹水处理对水稻节间长和株高的影响

Tab.1 Effects of different flooding treatments on rice internode length and plant height

试验处理	节间长/cm					株高/cm
	倒五	倒四	倒三	倒二	倒一	
CK	4.07	8.61	13.59	22.46	33.28	105.94
T1	4.23	8.37	13.26	23.37**	33.84	106.68
T2	4.15	8.77	13.87	22.75	33.74	107.09
T3	4.36*	8.95	13.37	22.22	34.23**	107.14
T4	4.38**	9.01	13.99	23.75**	34.26**	109.04
T5	4.76**	9.34**	13.93	23.78**	34.56**	109.78*
T6	4.93**	9.82**	14.29**	24.26**	34.93**	111.69**

注:根据 Dunnett-t 方法检验显著性,与对照组比较,**表示 $P<0.01$,*表示 $P<0.05$ 。

淹水深度为 40 cm 时,短淹,间歇淹和长淹处理组与对照组相比,倒五节间长分别增加 7.6%、17.0% 和 21.1%,倒四节间长分别增加 4.6%、8.5% 和 14.1%,倒三节间长分别增加 2.9%、2.5% 和 5.2%,倒二节间长分别增加 5.7%、5.9% 和 8.0%,倒一节间长分别增加 2.9%、3.8% 和 5.0%,株高分别增加 2.9%、3.6% 和 5.4%。

Dunnett-t 检验结果表明,和对照组相比,浅水短淹处理(T1)的倒二节间长增加,并具有极显著差异($P<0.01$);浅水长淹处理(T3)的倒五节间长显著增加($P<0.05$),倒一节间长度增加,并具有极显著差异($P<0.01$);深水短淹处理(T4)的倒五,倒二和倒一节间长增加,并均具有极显著差异($P<0.01$)。深水间歇淹处理(T5)的倒五,倒四,倒二和倒一节间长高于对照组,并均具有极显著差异($P<0.01$),株高显著增加 3.84 cm($P<0.05$);深水长淹处理(T6)的倒五,倒四,倒三,倒二,倒一节间长增加 0.7~1.8 cm,株高增加 5.75 cm 并具有极显著差异($P<0.01$)。

图 1 给出的是不同淹水处理后水稻的各节间长变化情况,淹水胁迫会促进各节间长的增加,且处理组内随着淹水深度和淹水历时的增加水稻节间长增长更受到促进作用。从以上数据分析可知,水稻拔节期淹水倒五,倒二和倒一节间长会明显增加,在深水间歇淹和深水长淹时水稻各节间长和株高显著增加。

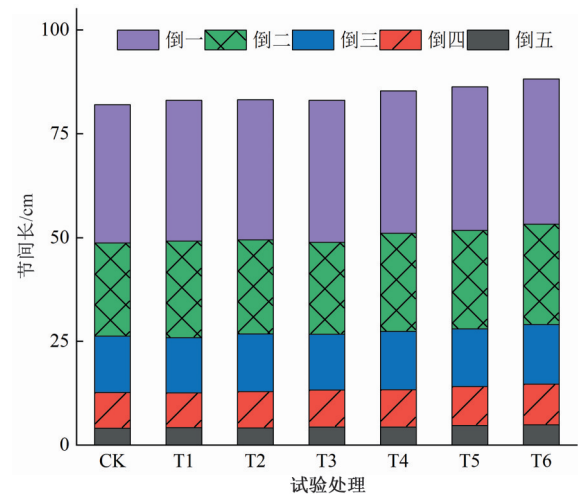


图 1 淹水胁迫对水稻节间长的影响

Fig.1 Effects of flooding stress on rice internode length

2.2 不同淹水处理对水稻产量及其构成因子的影响

由表 2 可知,水稻拔节期淹水深度为 25 cm 时,短淹,间歇淹和长淹处理组与对照组相比,每穗粒数分别减少-2.7%、0.8% 和 2.2%,结实率分别减少-0.4%、1.3% 和 4.7%,产量分别减少-1.9%、0.1% 和 4.1%。

表 2 不同淹水处理对水稻产量及其构成因子的影响

Tab.2 Effects of different flooding treatments on rice yield yield and its components

试验处理	穗数	每穗粒数	结实率/%	千粒重/g	产量/(g·盆 ⁻¹)
CK	20.67	153.27	89.72	29.25	83.14
T1	20.33	157.36*	90.05	29.42	84.75
T2	21.00	151.98	88.52	29.39	83.03
T3	20.67	149.96	85.53**	30.06	79.69
T4	20.67	148.73*	88.38	29.27	79.53
T5	21.00	145.31**	87.46	29.23	78.01
T6	20.67	139.58**	85.25**	29.38	72.26**

注:根据 Dunnett-t 方法检验显著性,与对照组比较,**表示 $P<0.01$,*表示 $P<0.05$ 。

淹水深度为 40 cm 时,短淹,间歇淹和长淹处理组与对照组相比,每穗粒数分别减少 3.0%、5.2% 和 8.9%,结实率分别减少 1.5%、2.5% 和 5.0%,产量分别减少 4.3%、6.2% 和 13.1%。

Dunnett-t 检验结果表明,与对照组相比,浅水短淹(T1)处理的每穗粒数显著增加($P<0.05$),产量有所增加,但不显著;浅水长淹(T3)处理的结实率减少,并具有极显著差异($P<0.01$)。相比对照组,深水短淹(T4)处理的每穗粒数显著减少($P<0.05$),深水间歇淹(T5)处理的每穗粒数减少,具有极显著差异($P<0.01$)。深水长淹(T6)处理相比对照组每穗粒数减少 13.69,结实率减少 4.5%,产量减少 13.1%,并均具有极显著差异($P<0.01$)。

为了更加直观地表示淹水胁迫对水稻产量的影响,绘制出不同淹水处理下的水稻产量变化图,见图 2。由图 2 可知,除浅

水短淹处理(T1)产量略有增加外,其他淹水处理均会导致水稻产量下降,深水长淹处理(T6)减产高达13%。相同淹水深度下,淹水历时越久,减产越严重,值得注意的是,间歇淹处理(T2和T5)产量减少率分别与同淹水深度的短淹处理(T1和T4)相近,远远小于长淹处理(T3和T6)。淹水深度由25 cm增加到40 cm时,短淹、间歇淹和长淹处理的水稻产量下降率分别增加6.2%,6.1%,9.0%。

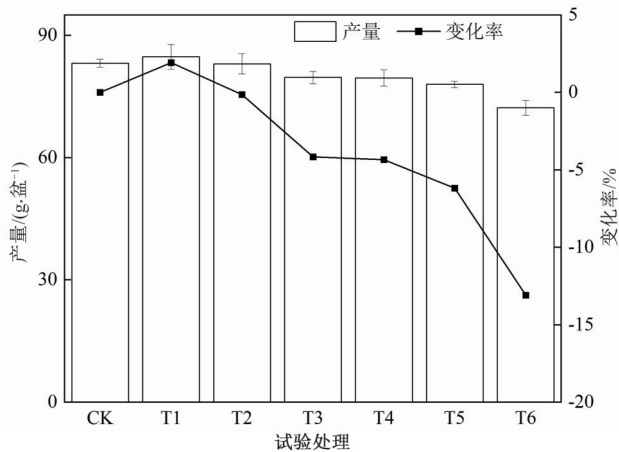


图2 淹水胁迫对水稻产量的影响
Fig.2 Effect of flooding stress on rice yield

由表3可知,各产量构成因子均与产量成正向相关,每穗粒数(0.927)>结实率(0.866)>千粒重(0.504)。说明每穗粒数和结实率对水稻产量的影响起主要作用,水稻拔节期在高水深下长时间淹水导致每穗粒数和结实率下降,进而造成水稻减产。

表3 水稻产量与产量构成因子的相关系数
Tab.3 Correlation coefficients between grain yield and yield components

相关系数	每穗粒数	结实率/%	千粒重/g	产量/(g·盆 ⁻¹)
穗数	0.016	0.270	0.815**	0.385
穗粒数		0.799**	0.240*	0.927**
结实率			0.254	0.866**
千粒重				0.504*

注:*表示0.05水平下显著,**表示0.01水平下显著。

由双因素方差分析可知(表4),淹水深度对每穗粒数和产量有显著影响,但对结实率影响不显著,淹水历时对每穗粒数、结实率和产量有显著影响,交互作用对产量要素影响均不显著。

表4 试验因子对水稻株高和产量要素的F值
Tab.4 F value of experimental factors on rice plant height and yield factors

试验因子	每穗粒数	结实率	产量
淹水深度	19.271*	0.279	17.023*
淹水历时	5.939*	8.624*	10.924*
深度×历时	0.084	0.052	0.025

注:*表示该因子对水稻产量要素的影响显著。

3 讨论和结论

3.1 淹水胁迫对水稻节间长和株高的影响

拔节期淹水处理会促进水稻各节间长和株高的增长^[12,13],株高增长速度与受淹时间成正比^[15],适度的淹水胁迫会刺激水稻在水中继续生长使叶片伸出水面呼吸^[14]。

本次试验表明,拔节期高淹水深度会促进水稻各节间生长,其中倒五和倒一节间长增长最为明显,短淹、间歇淹和长淹条件下的促进作用依次增强。高淹水深度下水稻株高增长量多于低淹水深度,淹水深度为40 cm时,间歇淹和长淹处理的水稻株高显著增加。低淹水深度对水稻的生长发育影响不显著。

3.2 淹水胁迫对水稻产量与其构成因子的影响

王矿等^[16]的研究表明低淹水深度下各处理略有增产。水稻拔节期受淹涝后绿叶数减少^[17],根长减小^[18],每穗粒数和结实率降低导致水稻减产^[19-21]。

本次研究表明,同种淹水历时下,和常规灌溉相比,高淹水深度下水稻较低淹水深度多减产6%~9%。淹水深度为40 cm时的短淹和间歇淹水对水稻产量的影响的差异不明显,但长历时淹水下水稻减产严重,高达13.1%。低淹水深度对水稻产量的影响不显著。淹水处理主要减少每穗粒数和结实率。拔节期高淹水深度各淹水历时均会造成每穗粒数显著减少,长时间淹水还会导致每穗粒数和结实率显著降低。

3.3 虾稻田水位控制

暴雨后虾沟水位大幅上升,过高的水位不会影响虾的生长发育但会严重降低水稻的产量。为兼顾种稻和养虾,不影响虾的活动又防止水稻减产,虾稻田水稻拔节期受涝时应保持在15~25 cm的稻田水深下淹水3 d以内或让稻田间歇淹水,避免稻田在40 cm高水深下长时间连续淹水。

试验采用盆栽,所得结果与大田存在一定差异,且稻田的水分管理贯穿水稻的整个生育期,今后可通过田间试验探究虾稻田其他生育期的稻田水分胁迫对水稻生长发育的影响,进一步为减少涝灾和虾稻田水分管理提供理论依据。 □

参考文献:

- [1] 邓爱娟,刘敏,万素琴,等.湖北省双季稻生长季降水及洪涝变化特征[J].长江流域资源与环境,2012,21(增刊1):173-178.
- [2] NISHIUCHI S, YAMAUCHI T, TAKAHASHI H, et al. Mechanisms for coping with submergence and submergence in rice [J]. Rice, 2012,5(2):1-14.
- [3] COLMER T D, ARMSTRONG W, GREENWAY H, et al. Physiological mechanisms of flooding tolerance in rice: transient complete submergence and prolonged standing water [J]. Springer, 2014, 75: 255-307.
- [4] 李永和,石亚月,陈耀岳.试论洪涝对水稻的影响[J].自然灾害学报,2004,13(6):83-87.
- [5] 宁金花,陆魁东,霍治国,等.拔节期受涝胁迫对水稻形态和产量构成因素的影响[J].生态学报,2014,33(7):1818-1825.
- [6] 吴启侠,杨威,朱建强,等.杂交水稻对受涝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.

(下转第133页)

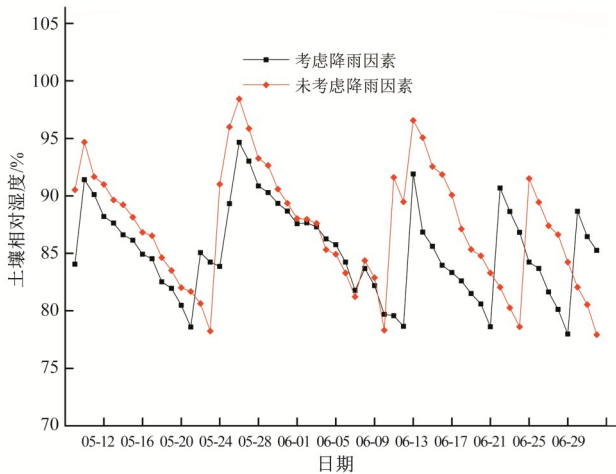


图9 灌溉策略效果对比

Fig.9 Comparison of control effects of irrigation strategies

理、水资源利用率更高。

4 结论

(1)数据传输采用LoRa+NB-IoT的混合通信方式,克服了ZigBee等传统通信技术传输距离短,抗干扰能力差的缺陷。系统通信稳定可靠,能够实现数据实时、准确采集。

(2)结合云技术和专家系统,根据采集的果园环境数据进行精准灌溉决策。专家系统利用GA-BP神经网络对果树需水量进行预测,并结合降雨预报做出灌溉决策。训练结果表明,GA-BP模型的均方根误差和平均绝对误差分别为0.074 5和0.109 1 mm/d,相比于BP模型其预测精确度更高。决策结果表明,芒果园土壤相对湿度维持在80%~90%,芒果树始终处于适宜水分生长条件中。

以实现果园信息的准确、实时监测与精准灌溉决策为目

标,基于LPWAN物联网与专家系统构建果园精准灌溉系统,实现果园环境信息的自动采集与精准灌溉,对提高水果产量与质量具有一定的参考意义。 □

参考文献:

- [1] 葛文杰,赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报,2014, 45(7):222-230,277.
- [2] 李 瑾,郭美荣,高亮亮. 农业物联网技术应用及创新发展策略[J]. 农业工程学报,2015,31(增刊2):200-209.
- [3] 郑纪业,阮怀军,封文杰,等. 农业物联网体系结构与应用领域研究进展[J]. 中国农业科学,2017,50(4):657-668.
- [4] 赵艳平,周国泰. 基于物联网的农业信息化监管系统研究与设计[J]. 北方园艺,2019(2):191-195.
- [5] 石 琳,陈帝伊,马孝义. 专家系统在农业上的应用概况及前景[J]. 农机化研究,2011,33(1):215-218.
- [6] 杨伟志,孙道宗,刘建梅,等. 基于物联网和人工智能的柑橘灌溉专家系统[J]. 节水灌溉,2019(9):116-120,124.
- [7] 余国雄,王卫星,谢家兴,等. 基于物联网的荔枝园信息获取与智能灌溉专家决策系统[J]. 农业工程学报,2016,32(20):144-152.
- [8] 张瀚中,曹江涛,邵鹏飞,等. 基于WSNs的温室大棚智能灌溉控制系统设计[J]. 控制工程,2019,26(1):108-113.
- [9] 龙晓明,王跃亭,俞 龙,等. 基于LORA通信的山地果园灌溉系统[J]. 节水灌溉,2018(12):114-117.
- [10] 李恒民,张 晶,高宏旭. 一种基于动态优先级的NB-IoT随机接入算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2018,38(6):42-47.
- [11] 韩 兵,江燕敏,方英兰. 基于JDBC的数据访问优化技术[J]. 计算机工程与设计,2017,38(8):1991-1996,2031.
- [12] 李雪芝,周建平,许 燕,等. 基于L-M算法的BP神经网络预测短电弧加工表面质量模型[J]. 燕山大学学报,2016,40(4):296-300,318.
- [13] 王海丽,古璇清,王小军,等. 芒果需水规律与适宜土壤水分灌溉调控技术研究[J]. 中国农村水利水电,2016(8):125-127,132.

(上接第127页)

- [7] 何 军,钟盛建,张宇航,等. 缓释肥条件节水灌溉对水稻生态特性及产量的影响[J]. 节水灌溉,2020(4):17-20.
- [8] 张 亮,曹秀清,蒋尚明,等. 间歇灌溉模式不同间歇时间下江淮丘陵区水稻耗水规律及其节水效益研究[J]. 节水灌溉,2020(10):6-9.
- [9] 毛心怡,王为木,郭相平,等. 不同节水灌溉模式对水稻生理生长和产量形成的影响[J]. 节水灌溉,2020(1):25-28.
- [10] 陈书强. 不同节水栽培方式对水稻产量和生育性状的影响及效益风险分析[J]. 节水灌溉,2020(4):1-5.
- [11] 顾玲玲,李宏伟,安树伟,等. 稻虾共作种养生态模式及技术应用[J]. 中国水产,2017(11):91-92.
- [12] 朱海霞,姜丽霞,吕佳佳,等. 淹水胁迫对寒地水稻产量构成因子的作用[J]. 自然灾害学报,2019,28(5):198-206.
- [13] 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.
- [14] EMES MJ, WILKINS CP, SMITH PA, et al. Starch Utilization by

Deepwater Rice during Submergence. In: Proceedings of international deepwater rice workshop, 1987, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

- [15] 徐 涛. 拔节期淹水胁迫对水稻叶片酶活性及产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2020(11):89-93,100.
- [16] 王 矿,王友贞,汤广民. 水稻在拔节孕穗期对淹水胁迫的响应规律[J]. 中国农村水利水电,2016(9):81-87.
- [17] 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.
- [18] 王振省,李 磊,李婷婷,等. 水稻分蘖期淹水对根系生长和产量的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2014,33(6):54-57.
- [19] 王 斌,周永进,许有尊,等. 不同淹水时间对分蘖期中稻生育动态及产量的影响[J]. 中国稻米,2014,20(1):68-72,75.
- [20] 周兴兵,张 林,熊 洪,等. 淹水胁迫对杂交中稻生长特性及产量形成的影响[J]. 中国稻米,2014,20(3):23-29.
- [21] 李阳生,李绍清. 淹水胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究,2000,18(2):117-122.