

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2019.06.015

鄱阳湖流域典型稻田水量平衡分析

刘方平¹, 汪文超², 邓海龙¹, 才 硕¹, 李 昂¹

(1. 江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330201; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要:为探索稻田田间水量平衡要素之间关系及其影响因素,通过在鄱阳湖流域赣抚平原灌区选取典型田块,结合江西省灌溉试验中心站系列灌溉试验资料,开展了稻田田埂渗流试验和田间水量平衡试验。田埂渗流试验表明,田埂侧向渗流速度为3.97 mm/d,侧向渗流占稻田蒸渗量49.2%,这一部分水将在下田块或下游区域得以重复利用;上框和双套环水位呈直线下降趋势,在田面低水层情况下(田面覆水30 mm),田面覆水深度对田间渗漏影响较小,田间渗漏(垂直入渗和侧向渗流)保持一个相对平稳状态。田间水量平衡试验表明,典型地块的灌水量和排水量明显小于有底测坑;在一季稻全生育期内,典型田块的侧向渗流在当地稻田渗漏量中占相当大比例,占全生育期耗水量的10.9%。

关键词:稻田;水量平衡;渗流试验;鄱阳湖流域

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2019)06-0100-04

Water balance analysis of typical paddy fields in Poyang Lake Basin // LIU Fangping¹, WANG Wenchao², DENG Hailong¹, CAI Shuo¹, LI Ang¹ (1. Irrigation Experiment Center of Jiangxi Province, Nanchang 330201, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to explore the relationship between water balance factors and its influencing factors in paddy fields, seepage tests and field water balance tests were carried out in the selected typical paddy fields in Ganfu Plain irrigation area of Poyang Lake Basin and combining with irrigation experiment data series of Irrigation Experiment Center of Jiangxi Province. The seepage test on the ridge showed that the lateral seepage velocity of the ridge was 3.97 mm/d, and the lateral seepage accounted for 49.2% of the evapotranspiration and infiltration in the paddy field, which would be reused in the lower field or downstream area. The water level of the upper frame and double rings showed a straight downward trend. In the case of low water layer (30 mm water cover), the depth of water cover had little effect on field seepage, and the field seepage (vertical and lateral seepage) remained relatively stable. The field water balance test showed that the irrigation and drainage of typical paddy fields were significantly less than those of bottom survey pits. During the whole growth period of rice, the lateral seepage of typical paddy fields accounted for a considerable proportion of the local paddy field seepage, accounting for 10.9% of the total water consumption during the whole growth period.

Key words: paddy field; water balance; seepage test; Poyang Lake Basin

在水稻田生态系统中,水分的损失除蒸发、蒸腾外,还存在一定程度的渗漏流失。田间渗漏是水稻水分利用效率的决定因素,也是灌溉水有效利用率低的主要原因^[1-4]。渗漏包括深层渗漏和侧渗,其中深层渗漏是水分通过根区进入地下水中的垂直运动,侧渗是指水分向田埂四周的侧向流动。由于田埂特性差异较大,使得侧渗比深层渗漏更难以研究^[4]。稻田之间存在一定的落差,一些渗漏流失的

水分可以在灌区下游或较低田块重复利用,被称为回归水^[5]。稻田不仅蒸散发存在尺度效应^[6],回归水的利用率也存在一定尺度效应^[7],在不同尺度上,回归水的质量和数量均不同,其内部存在复杂的转化关系。土质田埂是南方水稻种植中最为普遍的存在形式。在梯田稻作区,稻田中部渗流以垂向为主,靠近田埂部分以侧向渗流为主^[8-9]。研究田埂侧向渗流可以从机理上对稻田侧渗导致的回归水重复

基金项目:江西省水利科技计划(KT201319)

作者简介:刘方平(1977—),男,教授级高级工程师,硕士,主要从事农田节水灌溉与农业面源污染防治研究。E-mail:lfpl224@sina.com

利用进行量化。然而,目前针对田埂长期耕作之后物理性质变化以及田埂渗流机理的研究都不多。

稻田水量平衡分析是区域尺度水量平衡分析及跨尺度灌溉定额分析的基础^[10-12]。为了便于控制和观测,目前田间尺度的水量平衡试验基本在测坑、测筒及田间小区中开展。这些试验设施的边界经过人工防渗处理,田间水分运动基本为垂向,与实际稻田同时存在垂向及侧向水分运动差异较大。因此,开展田间尺度水量平衡试验,研究稻田原位田间水量平衡要素之间的关系显得非常必要。为此,本研究在鄱阳湖流域赣抚平原灌区选取典型田块,结合江西省灌溉试验中心站系列灌溉试验资料,开展稻田田埂渗流试验和田间水量平衡分析。

1 研究区概况

本试验于2016年冬季在鄱阳湖流域赣抚平原灌区内开展。研究区属于亚热带季风气候区,多年平均降水量1740 mm,年际降水量变幅为1100~2400 mm;多年平均水面蒸发量(E-601型蒸发皿)1100 mm,年均陆地蒸发量约800 mm;农作物以水稻为主,研究区为江西省重要商品粮基地之一。

2 试验设计

2.1 田埂渗流试验

稻田田埂渗流试验源于双套环试验方法。通过调查当地稻田田埂实际情况,选取有代表性田块进行试验,田埂上下田块落差约10 cm,稻田土壤为潯育型黄泥土。在田埂上下田块紧贴田埂处分别垂直打入铁框(尺寸为1.5 m×0.8 m×0.3 m),打入田埂垂向和纵向深度分别为10 cm,且上下框位置对齐,露出田面以上10 cm;在铁框四周外50 cm处堆筑围堰,高约10 cm,宽约15 cm,以平衡绕过铁框向外围渗水,尽量贴近田间实际情况。在试验铁框附近选一平整田块布置双套环,双套环垂直入土35 cm,露出地表15 cm。在上下田块试验铁框周围布置测井,用土钻打1 m深左右测井,用以观察田间地下水位。在上框内取一基准面(基准面即水刚刚浸没整个田面的状态),做好标记,用测针记录实时水位,作为渗流试验的基准零点。水位采用HOBO压力式传感器测定,上下铁框内各布置1个,另测田间大气压布置1个,地下水位测定布置2个,双套环内布置1个。图1为试验装置示意图,图2为田埂渗流示意图。由图1可见,左侧为高田块,水位较高,右侧为低田块,水位较低,则水量平衡可用如下公式表示:

$$\Delta W_1 = D_{p1} + S_e \quad (1)$$

$$\Delta W_2 = D_{p2} + S_e \quad (2)$$

式中: ΔW_1 为左侧水深变化; ΔW_2 为右侧水深变化; D_{p1} 为左侧垂向渗流; D_{p2} 为右侧垂向渗流; S_e 为田埂渗流量。 D_{p1} 、 D_{p2} 通过在两侧开展双套环试验进行测量。

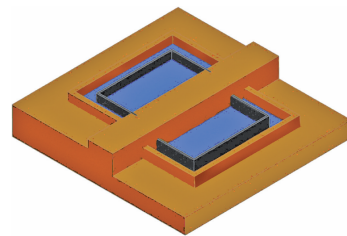


图1 试验装置示意图

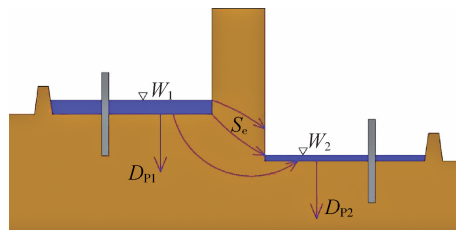


图2 田埂渗流示意图

由于渗流速度很慢,一组试验需几天时间,考虑到渗流时间太长试验过程不好控制,本试验仅开展30 mm渗流试验,这与当地间歇灌溉模式灌水上限一致。试验开始时控制上框内初始水位为30 mm(高于基准面30 mm),下框内水位高于田面5 mm左右。框外土埂内补充水位至与框内水位齐平。同时,控制双套环内环水位30 mm,同样设置基准面。观察框内水位和双套环内环水位下降情况,在水位下降至基准面时进行补水。

HOBO压力式传感器读数为大气压,包括水面上、上下框内水下、上下田块地下水水下、双套环内水下等处大气压。水位计读取大气压转换为水层深度计算公式为

$$H_u = 101.972(P_u - P_a) \quad (3)$$

$$H_d = 101.972(P_d - P_a) \quad (4)$$

$$H_D = 101.972(P_D - P_a) \quad (5)$$

式中: H_u 为上部田块水层深度; H_d 为下部田块水层深度; H_D 为双套环内水层深度; P_u 为上部田块传感器读数; P_d 为下部田块传感器读数; P_D 为双套环内传感器读数; P_a 为田间传感器大气压读数。

由于双套环难以分别测定蒸发和下渗量,故将上下田块框内蒸发和下渗计在一起,采用蒸渗速度方法进行计算。上部田块水层蒸渗速度计算公式为

$$V_u = (H_1 - H_2)/(t_1 - t_2) \quad (6)$$

式中: t_1 为渗流稳定之后开始测量时间; t_2 为渗流结束时间; H_1 为开始测量时水层深度; H_2 为结束测量时水层深度。本试验中 H_1 取30 mm, H_2 取0 mm。下

部田块水层蒸渗速度 V_d 、双套环水层蒸渗速度 V_D 均同理可以算出。由于上下田块和双套环内水层蒸发量与垂直下渗量相同,根据水量平衡,上部田块与双套环蒸渗速度之差即为上部田块侧向渗流速度 V_s 。

2.2 田间水量平衡试验

在赣抚平原灌区选取一典型稻田进行田间水量平衡试验,距江西省灌溉试验中心站灌溉试验基地约 200 m,距田埂渗流试验场地约 300 m,均为黄泥田,地下水位埋深约为 2 m。试验稻田均种植一季稻,6 月 27 日移栽,9 月 27 日收割,灌溉方式为间歇灌溉,期间对田间灌排水量及日常田间水位进行观测。试验区不采用防渗等工程改造措施,并且选取典型田块与田埂渗流试验场地上下田块高差相当。同时,为便于控制和观测稻田水位,测算稻田需水耗水量,根据 SL13—2015《灌溉试验规范》作物蒸发蒸腾量测定试验设施要求,在江西省灌溉试验中心站灌溉试验基地选取作物需水量有底测坑开展同步灌溉试验,进行一季稻数据观测和水量平衡分析。作物需水量测坑占地面积 70 m^2 ,设有 6 个标准测坑,每个测坑的净面积为 4 m^2 ($2\text{ m} \times 2\text{ m}$),深度为 2.15 m,坑内填土为黄泥土,测坑均有底,并埋设有地下水位观测井。测坑布置成两排,在中间设置宽 2 m 的廊道,廊道内设置供排水装置,试区采用管道供水和水表计量,排水采用翻斗式自记排水计量。稻田水量平衡计算公式为

$$P + I - E - D_p - \Delta S_s - R = \Delta W \quad (7)$$

式中: P 为降水量; I 为灌溉水量; E 为蒸发蒸腾量; D_p 为垂向入渗量; ΔS_s 为侧向渗流量差值; R 为田间排水量; ΔW 为田间水位变化值。

降水量 P 采用翻斗式雨量计进行观测;田间灌溉水量 I 和排水量 R 以典型稻田田间水层灌水前后和排水前后田间水位差进行计算,田间水位变化值采用补水法进行测定计算;落干前和补水后田间水位以及灌排水前后水位采用 HOBO 压力式传感器测定;蒸发蒸腾量 E 采用附近江西省灌溉试验中心站灌溉试验基地水稻灌溉试验小区同期试验成果(即每日 8:00 时采用电测针进行观测并分析计算得到),利用作物系数 K_e 进行计算得到;垂向入渗量 D_p 利用以上双套环试验实测成果。当以上各水量平衡要素确定之后,可求得稻田侧向渗流量的差值 ΔS_s 。

3 结果分析

3.1 田埂渗流试验结果

通过对多次试验数据进行统计分析,绘制上下田块及双套环水位变化趋势图,见图 3,并进行回归分析,画出趋势线。从图 3 可见,上框水位总体呈下

降趋势,至 90 h 后接近 0,趋势线估计值与实际值拟合程度较高($R^2 = 0.9000$),水位波动主要是受期间零星降雨和气象状况改变所致。下框水位略呈上升趋势,说明框内除了本身水面蒸发和垂直下渗的消耗外,还有一定的外来水补充,即上框侧向渗流,并且外来水量在一定时间内大于耗水量;但趋势线与实际值拟合程度不高,这是因为外来水量与耗水量不一致,使水位呈一定幅度波动。双套环内水位总体呈下降趋势,趋势线估计值与实际值拟合程度较高($R^2 = 0.9737$);但较上框水位变化平缓,这也证明了上框确实存在一定量的侧渗。同时,上框和双套环水位呈直线下降趋势,趋势线估计值与实际值拟合程度较高,这也说明在田面低水层情况下(田面覆水 30 mm),田面覆水深度对田间渗漏影响较小,田间渗漏(垂直入渗和侧向渗流)保持一个相对平稳状态。

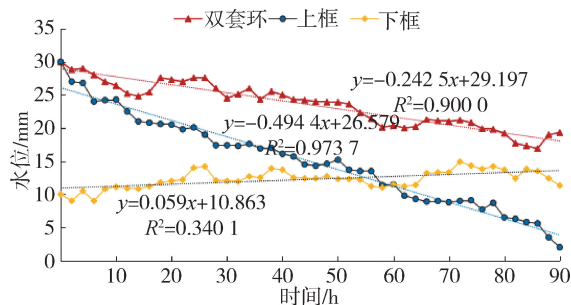


图 3 渗流试验水位变化过程

据统计,双套环内水层蒸渗速度为 4.10 mm/d ,包括田面水分蒸发和垂直下渗量。上框水层蒸渗速度为 8.07 mm/d ,较双套环增加 96.8%,明显大于双套环内蒸渗速度,表明存在一定程度的侧渗。下框水层蒸渗速度为 -0.57 mm/d ,为负值,表明水层上升,存在外来水量补给。根据以上结果,计算得出田埂侧向渗流速度为 3.97 mm/d ,侧向渗流量占稻田蒸渗量达 49.2%,而这一部分水将在下田块或下游区域得以重复利用。根据试验上框的尺寸,可计算得到单位长度田埂侧渗水量为 $27.83\text{ cm}^2/\text{d}$ 。

3.2 田间水量平衡试验结果

表 1 为典型田块与有底测坑一季稻水量平衡分析结果。从表 1 可见,典型田块的灌水量明显小于有底测坑;典型田块的有效降雨量比有底测坑少 38.9 mm,降低 7.6%,主要原因是典型田块水稻全生育期内灌水相对比较集中,主要集中在高温期 8 月份,稻田耗水强度大,灌水间隔时间相对较短,保有水层时间相对较长,一定程度增加了典型田块田间侧渗量,高田块的侧渗和排水在低田块中得到重复利用。另外,典型田块的垂直入渗量比有底测坑减少 49.0 mm,降低 31.4%,其入渗量明显变小主要

表1 典型田块和有底测坑一季稻水量平衡分析结果

单位:mm

试区名称	有效降雨量	灌水量	排水量	蒸发蒸腾量	田间水位变化值	垂直入渗量	侧渗量
典型田块	233.5	469.4	64.2	544.7	28.8	107.0	80.0
有底测坑	173.2	508.3	124.5	545.5	20.0	156.0	0

原因可能是一季稻种植期间典型田块地下水位相对较高(约为2 m),对田间渗漏产生顶托作用所致^[9]。典型田块蒸发蒸腾量与有底测坑基本持平,但排水量相差较大,典型田块的排水量比有底测坑减少60.3 mm,降低48.4%,其主要原因是一季稻生育期间降雨相对集中,在7月中旬有2次较大强度集中降雨,典型田块所在区域上下田块存在一定落差,高田块水层较浅,低田块水层相对较深,降雨蓄积雨水存在一定差异,造成典型田块平均蓄积雨水量相对增加,排水量减少,而测坑为标准田块,小区之间相互无侧渗、串排现象,致使集中降雨时排水相对较多。在一季稻全生育期内,典型田块的侧向渗流在当地稻田渗漏量中占相当大比例,约为42.8%,占全生育期耗水量的10.9%。

4 结 语

在鄱阳湖流域赣抚平原灌区开展的田埂渗流试验表明,田埂侧向渗流速度为3.97 mm/d,侧向渗流占稻田蒸渗量49.2%,这一部分水将在下田块或下游区域得以重复利用;上框和双套环水位呈直线下降趋势,在田面低水层情况下(田面覆水30 mm),田面覆水深度对田间渗漏影响较小,田间渗漏(垂直入渗和侧向渗流)保持一个相对平稳状态。田间水量平衡试验表明,典型地块的灌水量和排水量明显小于有底测坑;在一季稻全生育期内,典型田块的侧向渗流在当地稻田渗漏量中占相当大比例,占全生育期耗水量的10.9%。

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 of rice[J]. China Rural Water and Hydropower, 1997(4): 45-47.)
- [2] 李远华, 张祖莲, 赵长友, 等. 水稻间歇灌溉的节水增产机理研究[J]. 中国农村水利水电, 1998(11): 12-15. (LI Yuanhua, ZHANG Zulian, ZHAO Changyou, et al. Mechanism of water-saving and yield-raising of the intermittent submerged irrigation for rice[J]. China Rural Water and Hydropower, 1998(11): 12-15. (in Chinese))
- [3] 李文运, 张伟, 戈建民, 等. 水量平衡分析方法及应用[J]. 水资源保护, 2011, 27(6): 83-87. (LI Wenyun, ZHANG Wei, GE Jianmin, et al. Water balance analysis method and its application [J]. Water Resources Protection, 2011, 27(6): 83-87. (in Chinese))
- [4] WANG X Y, XIE H T, LIANG W J, et al. Rice yield and

water use as af-fected by soil management practices[J]. Pedosphere, 2004, 14(3): 331-337.

- [5] 崔远来, 董斌, 李远华, 等. 农业灌溉节水评价指标与尺度问题[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 1-7. (CUI Yuanlai, DONG Bin, LI Yuanhua, et al. Assessment indicators and scales of water saving in agricultural irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 1-7. (in Chinese))
- [6] 刘笑吟, 徐俊增, 杨士红, 等. 节水灌溉稻田蒸散时空尺度特征及影响因素[J]. 水资源保护, 2018, 34(2): 42-51. (LIU Xiaoyin, XU Junzeng, YANG Shihong, et al. Characteristics and influencing factors of evapotranspiration in water-saving irrigation paddy field on different space-time scales [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(2): 42-51. (in Chinese))
- [7] 石艳芬, 缴锡云, 罗玉峰, 等. 水稻作物系数与稻田渗漏模型参数的同步估算[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(4): 27-30. (SHI Yanfen, JIAO Xiyun, LUO Yufeng, et al. Synchronous estimation of the crop coefficient for rice and the seepage model parameters for paddy fields[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(4): 27-30. (in Chinese))
- [8] HUANG H C. Analysis of percolation and seepage through paddy bunds[J]. Journal of Hydrology, 2003, 284(1): 13-25.
- [9] 王笑影, 吕国洪, 贾庆宇, 等. 稻田水分渗漏研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(11): 5763-5766. (WANG Xiaoying, LU Guohong, JIA Qingyu, et al. Study on the water percolation in paddy field [J]. Journal of Anhui Agricultural. Sciences. 2010, 38(11): 5763-5766. (in Chinese))
- [10] 王君, 俞双恩, 丁继辉, 等. 水稻不同生育阶段稻田水位调控对产量因子及产量的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 664-669. (WANG Jun, YU Shuangen, DING Jihui, et al. Effects of paddy field water level control on yield factor and rice yield at different rice growth stages [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012, 40(6): 664-669. (in Chinese))
- [11] 朱漫莉, 高海鹰, 徐力刚, 等. 基于系统动力学方法的鄱阳湖流域水量平衡过程模拟与分析[J]. 水资源保护, 2015, 31(3): 46-52. (ZHU Manli, GAO Haiying, XU Ligang, et al. Simulation and analysis of water balance process in Poyang Lake Basin based on system dynamic approach[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(3): 46-52. (in Chinese))
- [12] 王羽辉, 谢三桃, 骆克斌, 等. 现代农业灌溉减排模式的建立与应用[J]. 水资源保护, 2016, 32(1): 161-166. (WANG Yuhui, XIE Santao, LUO Kebin, et al. Establishment and application of modern agricultural irrigation reduction model [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(1): 161-166. (in Chinese))

(收稿日期:2018-10-09 编辑:王 芳)