

## 田间渗漏强度对水稻生长及产量的影响

宋静 (昆山市财政投资评审中心, 江苏昆山 215300)

**摘要** 为了揭示淹水条件下控制排水对水稻生长及产量的影响,开展了不同田间渗漏强度的盆栽试验,分析不同渗漏强度下水稻茎蘖、株高、根系体积及茎叶干物质量、产量的变化规律。结果表明,渗漏强度能够影响水稻的分蘖、株高及根系生长。渗漏强度为 1 mm/d 处理的水稻分蘖数最大,而渗漏强度为 2 mm/d 处理的水稻虽然分蘖数最小,但株高及根系体积最大。水稻茎干重、叶干重随着渗漏强度的升高而呈现降低的趋势。渗漏强度 3 mm/d 处理水稻产量及收获指数最大,其产量较渗漏强度 1 mm/d 处理提高了 47.9%。因此,适宜的田间渗漏强度能够较好地缓解淹水条件所带来的生长胁迫,对南方稻作区高效灌排实践具有指导意义。

**关键词** 渗漏强度;生长指标;产量;水稻;控制排水

中图分类号 S27 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)21-0216-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.065



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Influences of Field Seepage Rate on the Growth and Yield of Paddy Rice

SONG Jing (Kunshan Financial Investment Evaluation Center, Kunshan, Jiangsu 215300)

**Abstract** In order to reveal the influences of controlled drainage on the growth and yield of paddy rice under flooded conditions, the number of tillers, plant height, root volume, dry matter of stem and leaf, and yield of paddy rice with different filed seepage rate were analyzed by pot experiment. The results showed that the number of tillers, plant height and root volume of paddy rice were affected by seepage rate. The number of tillers was the maximum in S<sub>1</sub> treatment (seepage rate of 1 mm/d). The number of tillers in S<sub>2</sub> treatment (seepage rate of 2 mm/d) was the minimum, but its plant height and root volume were the maximum. The dry matter weight of stem and leaf reduced with the enhancement of seepage rate. The yield and harvest index of paddy rice were the maximum in S<sub>3</sub> treatment (seepage rate of 3 mm/d), and the rice yield in S<sub>3</sub> treatment was improved by 47.9% than that of S<sub>1</sub> treatment. Therefore, suitable field seepage rate can effectively relieve the adverse effects of flood, which is of guiding significance for the efficient controlled irrigation and drainage in the southern rice region.

**Key words** Seepage rate; Growth index; Yield; Rice; Controlled drainage

水稻是我国主要粮食作物之一,年产量约占我国全年粮食总产量的 33.7%,在粮食生产和消费中占据举足轻重的地位<sup>[1]</sup>。在南方稻作区,水稻生长期与汛期同季,控制排水技术通过调控农田排水强度和农田排水量<sup>[2]</sup>,提高雨洪资源的利用效率<sup>[3]</sup>;通过减少农田排水中氮、磷养分的输出,降低农业面源污染程度<sup>[4-5]</sup>。控制排水技术因其良好的节水减排效果已在南方地区得到广泛应用。

在控制排水管理过程中,稻田长期处于淹灌状态,常因缺少氧气而产生氧化亚铁等有害物质,从而影响作物的正常生长<sup>[6-7]</sup>,因此需要合理调节稻田的渗漏强度,提高稻田水分滞蓄能力<sup>[8]</sup>。已有研究表明,在稻田淹水的情况下,当渗漏强度为 18~22 mm/d 时,水中硫化物含量最小,可避免黑色根系的产生<sup>[9-10]</sup>;陈惠哲等<sup>[11]</sup>研究表明稻田渗漏强度为 10 mm/d 时,有利于水稻早起根系生长,提高根总量和深层根比例;当渗漏强度超过 20 mm/d 时,不利于产量的提高及后期水稻根系和植株地上部的生长,千粒重有下降趋势。目前大部分研究仍集中在淹水条件下渗漏强度对田间氮<sup>[4,12]</sup>、磷<sup>[13-14]</sup>等面源污染防治方面,而对水稻本身生长的影响研究不多<sup>[8]</sup>。笔者以渗漏强度为控制排水调控技术指标,基于现场观测试验数据,分析水稻生长期渗漏强度对水稻茎蘖数、株高、根系及产量指标的影响,以期为制定水稻节水、高产控制排水模式提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2016 年 5—10 月在江苏省昆山市

排灌试验基地内(120°57'43"E,31°15'15"N)进行,境内属于亚热带湿润性气候,年平均气温 15.5℃,降雨量时间分布不均,年内变化和年际变化较大,多年平均降雨量 1 097.1 mm,年蒸发量 1 365.9 mm,日照时数 2 356 h。试验地土壤为潜育型黄泥土,耕层土壤为粘土,盆栽试验土体密度为 1.30 g/cm<sup>3</sup>,pH 为 7.41,有机质含量为 22.1 g/kg,全氮含量为 1.08 g/kg,全磷含量为 1.37 g/kg。

**1.2 试验设计** 供试水稻品种为两优 9918。2016 年 5 月 15 日泡种,5 月 17 日育秧,6 月 26 日移栽,10 月 7 日收割。水稻生长期共施肥 2 次,基肥为复合肥(N:P:K = 15:15:15),施肥时间为 6 月 25 日,施肥量为 900 kg/hm<sup>2</sup>。分蘖肥为尿素,含氮质量分数为 46.4%,施肥时间为 7 月 10 日,施肥量为 130 kg/hm<sup>2</sup>。

在水稻全生育期中,设置 3 种渗漏强度处理(记为 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 及 S<sub>3</sub>),平均渗漏强度分别为 1、2 和 3 mm/d。每个处理分别布置在 1 个圆柱形试验测桶(直径 25 cm,高 60 cm)中,测桶下方布有排水阀及水位计。每个处理设置 3 次重复。除渗漏强度不同外,各处理的植保、灌溉、施肥等农技措施保持一致。

**1.3 测定指标与方法** 试验观测期为分蘖期至乳熟期,选取每个生长期内的一次灌水或降雨后开始观测,一次观测周期为 7 d,2 次观测周期期间的过渡期仍需进行各项指标的测量,只是观测频率有差异,可在生育期内设置多个观测周期。

**1.3.1 灌水量。**在试验期内,若需要灌水时,每个测桶单独灌溉,在达到土壤表层有薄水层时停止灌溉,可用量杯灌水,记录灌水总量。若在观测期内遇降雨且雨后桶内水层高度超过 3 cm,记录初始水层高度,然后土表排水至水层高度为

**作者简介** 宋静(1981—),女,江苏盐城人,高级工程师,硕士,从事农田水利、绿化与轨道交通工程的预决算评审工作。

**收稿日期** 2019-08-24

3 cm。降雨量由气象站直接给出,利用水量平衡计算方法,减去土表排水量,即为灌溉量。若在降雨后土表无水层,降雨量即为灌溉量。

**1.3.2 田间水层。**一次灌水后每隔 2 h 记录水层读数。

**1.3.3 土壤含水量。**采用 TDR 和烘干法,观测土壤水分。烘干法测土壤含水量时,在试验观测周期内,土壤样品每天 08:00 用土钻取土,在观测周期外的过渡期,可以每 2 d 取 1 次土样。取土后需要及时填土,填土质量必须与取土质量相等。

**1.3.4 渗漏量。**在一次观测周期 7 d 内,开始后每隔 2 h 用天平称量该时段内的排水流量,即为渗漏量。

**1.3.5 地下水位。**地下水位由安装在桶内的水位计自动监测,定期读取并保存数据。

**1.3.6 常规气象观测。**由气象站自动观测降雨、温度、湿度、日照、蒸发、风速、有效积温等资料。

**1.3.7 水稻生长指标的观测。**在水稻生长期,每隔 5 d 观测 1 次植株株高、分蘖数、叶面积。在每个生育期末以水稻植株为中心,先割取地上部分,然后将土柱切开,沿垂直方向上每 10 cm 切割为 1 个层次,收集根样,采用排水法测定根系体积。

## 2 结果与分析

**2.1 稻田不同水分处理对水稻茎蘖数的影响** 稻田水分对水稻养分的吸收,影响水稻营养生长具有重要意义,不同水分处理下水稻茎蘖消长动态基本一致,都是在生育前期茎蘖数不断增长,达到最大值后逐渐下降,到抽穗开花期基本稳定(图 1)。从图 1 可以看出,不同的渗漏强度下水稻茎蘖的变化规律大致相同,但对其产生的影响大小不一致。稻田不同耗水强度对水稻分蘖数的影响贯穿于整个生育期。在水稻生育期前期,渗漏强度的不同对茎蘖数的影响相对不明显,而到了分蘖后期,不同水分处理下分蘖数差异显著,但不同水分处理下的茎蘖增长速率大致相同。分蘖后期, $S_1$  处理的水稻分蘖数最大,较  $S_2$  处理提高了 23.3%。尽管不同水分处理下的分蘖数有差异,但分蘖高峰期仍处于一致,在拔节孕穗期,随着无效分蘖的消亡,弱小分蘖开始枯萎,导致分蘖数开始下降, $S_1$  处理下降最快, $S_3$  处理下降最慢。生育末期,3 种水分处理下茎蘖数均呈下降趋势,并趋于稳定。

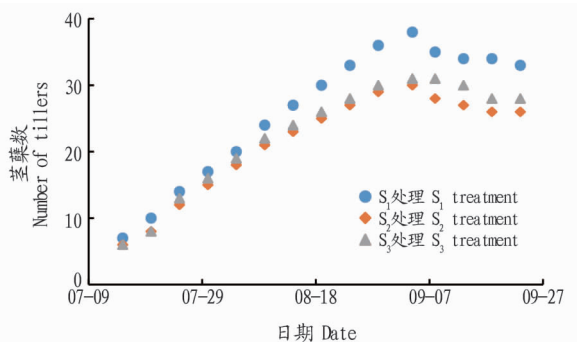


图 1 不同水分处理水稻茎蘖数的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of tillers number of paddy rice under different water treatments

**2.2 稻田不同水分处理对水稻株高的影响** 通过分析水稻

全生育期间田间渗漏强度对水稻株高的变化规律(图 2)可以发现,不同的水分处理对水稻株高的影响贯穿于水稻整个生育期。从图 2 可以看出,在不同的水分处理下,株高随着生育期变化规律大体相同。分蘖期水稻生理活动较强,株高增长迅速。拔节孕穗期是水稻生育期内株高增加最多的阶段。拔节孕穗期和抽穗开花期后株高达到最大值。从乳熟期到生育末期株高趋于稳定,不再有所增加。

在整个生育期内, $S_3$  处理水稻株高始终低于  $S_1$  处理。 $S_2$  处理水稻在分蘖前、中期株高最低,分蘖后期株高生长加快,逐渐高于另外 2 种水分处理,且株高增长速率保持领先。 $S_1$ 、 $S_2$  处理的水稻最终株高较  $S_3$  处理分别提高了 15.9% 和 7.2%,说明稻田不同的渗漏强度对水稻株高的生长产生显著的影响,但要控制在一定的范围内,若植株过高则容易倒伏,从而导致水稻收割困难。

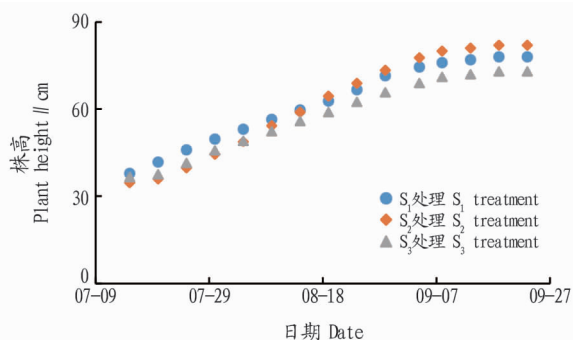


图 2 不同水分处理水稻的株高变化

Fig. 2 Changes of plant height of paddy rice under different treatments

**2.3 稻田不同水分处理对水稻根系的影响** 水稻根系形态与机能受制于土壤环境,调控稻田必须调节土壤湿度、水肥、气热等诸多因素。通过对稻田土壤不同渗漏强度的控制,观察其对根系生长形态的影响及根系与产量的关系。从表 1 可以看出,在 3 种不同土壤渗漏强度处理中, $S_1$  处理水稻根量最少,3 次取样中分别较最大值减少 18.0%、12.3% 和 32.7%。不论是哪种处理,根系主要分布在 0~20 cm,占整个根系层的 63.5%~90%。随着水稻的生长,根系向下伸展,下部根层的根系越来越发达,最终布满整个土壤。

除了  $S_1$  处理外, $S_2$ 、 $S_3$  处理对水稻根系生长形态的影响不明显。由于渗漏强度太小,可能导致土壤的通透性不好,阻碍了根系的生长。由于为盆栽处理,无地下水的补给,渗漏强度越大,下层土体的水分消耗也越快,导致下层土体的水分供应不足,故而  $S_3$  处理的水稻根系越向下,生长根系越少。

**2.4 稻田不同水分处理对水稻产量的影响** 从表 2 可以看出,不同的渗漏处理对水稻的产量有显著影响。与  $S_1$  处理相比, $S_2$  及  $S_3$  处理产量分别增产 38.1% 和 47.9%,收获指数分别增加 20.8% 和 37.5%。这可能是由于  $S_3$  处理土壤透气性较好。土壤透气性的好坏,可影响土壤的气体交换,并与自净能力有关,土壤透气性良好时,气体交换充分,氧化作用加强,提高了土壤的自净能力,也可起到促下控上的作用,使

植株根系发达、茎秆壮、群体结构合理、水肥利用适当,对水稻产量的增加起到了积极的促进作用。

表1 不同处理下不同土层深度中根系体积的变化

Table 1 Changes of root volume in different soil layers under different treatments

日期 Date	处理 Treatment	各层次根系体积 Root volume in different soil layers//cm <sup>3</sup> /株				合计 Total
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	
08-03	S <sub>1</sub>	37.2	2.0	0	0	39.2
	S <sub>2</sub>	39.0	5.0	0.6	0	44.6
	S <sub>3</sub>	44.6	3.2	0	0	47.8
08-27	S <sub>1</sub>	110.4	60.6	16.2	4.4	191.7
	S <sub>2</sub>	136.8	48.3	20.0	12.9	218.1
	S <sub>3</sub>	132.4	48.4	28.1	9.6	218.6
09-27	S <sub>1</sub>	156.3	57.2	40.8	33.1	287.1
	S <sub>2</sub>	171.3	105.3	97.5	52.8	426.9
	S <sub>3</sub>	190.0	78.6	60.1	51.0	379.6

表2 不同处理水稻的收获指数

Table 2 Harvest index of paddy rice in each treatment

处理 Treatment	渗漏强度 Seepage rate mm/d	茎干重 Dry weight of stem g	叶干重 Dry weight of leaves g	产量 Yield g	收获指数 Harvest index
S <sub>1</sub>	1	75.19	30.48	97.88	0.48
S <sub>2</sub>	2	69.49	29.23	135.16	0.58
S <sub>3</sub>	3	55.39	17.97	144.80	0.66

通过对水稻产量与稳定后的茎蘖数及株高的对比,结果表明 S<sub>3</sub> 处理水稻株高最低,分蘖数最小,然而产量最高,也就是说水稻的株高并不是越高越好,在一定范围内产量随株高的增加而增加,但超出一定范围,株高增加却会导致产量的下降,原因是叶面积系数有一个最佳值,大于这个值相对应的产量减少。株高越高,越容易倒伏;分蘖数越多,无效分蘖也随之增多,不利于水稻的增产。因此,控制水稻植株的株高与分蘖在合理的范围内,对水稻的生长与产量的提高具

(上接第 200 页)

$u_{rel}(2)$  及标准溶液配制  $u_{rel}(1)$  引起的不确定度影响最大,是该试验结果的控制关键,其他来源的不确定度影响因素较小,可以忽略。因此,在今后的检测过程中,为了提高检验检测水平,获得具有较小不确定度的测量结果,应加强对这 3 个方面的质量控制,以保障检测结果的准确性和符合性。

表4 各分量的相对标准不确定度

Table 4 Relative standard uncertainty of each component

序号 No.	不确定度分量来源 Uncertainty component source	符号 Symbol	相对标准不确定度 Relative standard uncertainty $u_{rel}(i)/x_i$
1	标准溶液配制	$u_{rel}(1)$	0.010 6
2	标准曲线拟合	$u_{rel}(2)$	0.017 6
3	回收率	$u_{rel}(3)$	0.020 8
4	校准仪器	$u_{rel}(4)$	0.005 0
5	重复性	$u_{rel}(5)$	0.000 8
6	样品量取	$u_{rel}(6)$	0.002 1
7	样品定容	$u_{rel}(7)$	0.000 4

有重要意义。

### 3 结论

(1) 不同的田间渗漏对水稻生长指标的影响。S<sub>1</sub> 处理(渗漏强度为 1 mm/d) 下水稻分蘖数最大,而在株高及根系体积方面, S<sub>2</sub> 处理(渗漏强度为 2 mm/d) 水稻均取得最大值。

(2) 渗漏强度的提高虽然减少了茎、叶的干重,但能有效提高水稻产量及收获指数。S<sub>3</sub> 处理(渗漏强度为 3 mm/d) 的水稻产量较 S<sub>1</sub> 处理提高了 47.9%,收获指数提高了 37.5%。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2017 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 2018.
- [2] 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.
- [3] 庞桂斌, 徐征和, 杨士红, 等. 控制灌溉水稻叶片水分利用效率影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 233-241.
- [4] 肖梦华, 俞双恩, 章云龙. 控制排水条件下淹水稻田田面及地下水氮浓度变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 180-186.
- [5] 郭相平, 张展羽, 殷国玺. 稻田控制排水对减少氮磷损失的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2006, 24(3): 307-310.
- [6] 邢文刚, 陈立娜, 邵光成, 等. 控制排水条件下水稻产量影响指标敏感性的通径分析[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3): 41-45.
- [7] 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.
- [8] 李磊. 以渗漏强度为控制指标的水田降渍试验研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2015: 74.
- [9] 钟朝章, 潘慧庄, 陈洁芳. 稻田渗漏与稻根生长的试验[J]. 灌溉排水, 1986(3): 8-13.
- [10] 钟朝章, 潘慧庄. 稻田渗漏强度与漏水漏肥试验[J]. 灌溉排水, 1984, 3(1): 42-47.
- [11] 陈惠哲, 朱德峰, 林贤青, 等. 土壤透水状况对水稻根系生长与氮素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 34-37.
- [12] 孙雪梅, 俞双恩, 邵园园. 淹水条件下渗漏强度对稻田 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 109-114.
- [13] 彭世彰, 黄万勇, 杨士红, 等. 田间渗漏强度对稻田磷素淋溶损失的影响[J]. 节水灌溉, 2013(9): 36-39.
- [14] 邵园园, 俞双恩, 孙雪梅. 淹水条件下渗漏强度对稻田 TP 浓度的影响[J]. 水资源保护, 2011, 27(3): 24-27.

### 参考文献

- [1] 涂国云, 刘利花. 刺梨的营养成份及保健药用[J]. 中国林副特产, 2006(1): 68-70.
- [2] 吴洪娥, 金平, 周艳, 等. 刺梨与无籽刺梨的果实特性及其主要营养成分差异[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 221-223.
- [3] 李达, 姜楠. 刺梨中 VC SOD 及黄酮含量的测定及其相互影响[J]. 农产品加工, 2016(5): 49-50, 57.
- [4] 王姣, 王蓓, 迟志娟, 等. 微波消解-石墨炉原子吸收法测定茶叶中铅含量的测量不确定度评定[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(30): 10681-10682, 10749.
- [5] 益磊, 黄美山, 李飞. 石墨炉原子吸收法测定螺旋藻中铅含量的不确定度评定[J]. 安徽医药, 2012, 16(2): 177-179.
- [6] 中国合格评定国家认可委员会. 化学分析中不确定度的评估指南: CNAS-GL006: 2018[S]. 北京: 中国合格评定国家认可委员会, 2018.
- [7] 国家市场监督管理总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059. 1-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 赵立群, 毛燕. 湿法消解-火焰原子吸收法测定小麦粉中锌含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(7): 1689-1694.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品中铅的测定: GB 5009. 12-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 李应东, 刘耀敏, 张凤桦. 高氯酸湿消化-原子荧光光度法测定饲料中总砷的不确定度评定[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(2): 115-119.