

不同生育时期淹水对水稻 *Sub1A* 耐淹基因导入系产量的影响

杜彦修 孙红正 张静 李俊周 彭廷 赵全志*

(河南农业大学农学院/河南粮食作物协调创新中心, 郑州 450002; * 通讯作者: qqzhaoh@126.com)

摘 要: 在苗期、分蘖期和抽穗期等 3 个生育时期对常规籼型水稻 IR64 和 IR64 *Sub1A* 耐淹基因导入系(IR-IRI149)进行淹水处理, 测定各个生育时期淹水后的有效分蘖数、每穗粒数、结实率、千粒重和单株产量, 以确定不同生育时期淹水对 *Sub1A* 耐淹基因导入系产量的影响。结果表明, 在苗期淹水, IIRI149 和 IR64 的单株产量分别为 39.11 g、24.92 g; 分蘖期淹水, 分别为 10.31 g、0.48 g; 抽穗期淹水, 分别为 24.35 g、23.36 g。IRI149 在苗期和分蘖期淹水条件下, 有效分蘖数、每穗粒数、结实率、千粒重、单株产量均显著高于 IR64; 3 个处理时期中以分蘖期淹水对产量的影响最为明显。

关键词: 水稻; *Sub1A* 基因导入系; 淹水; 产量

中图分类号: S511.07 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2016)04-0028-04

淹涝是水稻生产中主要农业灾害之一, 对水稻产量的影响可达 10% 以上^[1]。水稻耐淹能力主要受遗传控制, Xu 等^[2] 通过图位克隆定位了来自耐淹水稻种质 FR13A 的耐淹基因 *Sub1A*, 不耐淹的水稻品种通常在受到淹水 7 d 后即死亡, 而含有 *Sub1A* 的水稻品种则可以忍受 10~14 d 的没顶淹水^[3]。在淹水条件下, 含有 *Sub1A* 基因的耐淹水稻品种植株地上部在水下的伸长受到抑制, 减少碳水化合物的消耗而提高耐淹能力, 而不含 *Sub1A* 基因的水稻品种在淹水条件下迅速伸长而消耗碳水化合物, 最终表现出淹水敏感的表现^[4]。

目前, 已有多个水稻品种通过分子标记辅助育种等遗传改良手段得到 *Sub1A* 基因导入系改良耐淹水品种^[5]。水稻不同生育时期淹水后所产生的形态、生理变化以及对产量的影响已有报道^[6], 而 *Sub1A* 基因导入系在水稻不同生育时期淹水后对产量的影响尚未见报道。因此, 本研究以国际水稻研究所品种 IR64 以及 IR64 *Sub1A* 基因导入系为研究材料, 采用盆栽方法, 分别在苗期、分蘖期、抽穗期进行淹水, 研究不同生育时期淹水对 IR64 及 IR64 *Sub1A* 基因导入系的形态、生理指标及产量的影响。

1 材料和方法

1.1 供试材料及试验设计

供试材料为常规籼型水稻品种 IR64 以及 IR64 *Sub1A* 基因导入系 IIRI149。采用盆栽试验方法, 在河南农业大学试验农场进行。4 月 22 日育秧, 5 月 21 日

移栽至装土盆中。盆直径 22 cm、高 25 cm, 每盆定植长势均匀的水稻幼苗 1 株。IR64、IRI149 移栽后于苗期、分蘖期、抽穗期放入水池中进行没顶淹水处理, 淹水时间为 7 d, 以不淹水为对照。每个处理 4 个重复。

1.2 测定项目及方法

淹水材料分别在淹水后 0 d、3 d、6 d 和淹水结束后 3 d、6 d 取叶片材料用于丙二醛(MDA)含量测定。称取剪碎的叶片材料 1 g, 加入 2 mL 10% 三氯乙酸(TCA)和少量石英砂, 研磨至匀浆, 再加 8 mL TCA 进一步研磨, 匀浆在 4 000 r/min 离心 10 min, 上清液为样品提取液。吸取离心的上清液 2 mL (对照加 2 mL 蒸馏水), 加入 2 mL 0.6% 硫代巴比妥酸溶液, 混匀物于沸水浴上反应 15 min, 迅速冷却后再离心。取上清液测定 532 nm、600 nm、450 nm 波长下的吸光度, 然后根据吸光度值计算出 MDA 含量。

3 个时期淹水材料分别在淹水前 1 d、淹水 7 d 后和淹水结束恢复 7 d 后测量株高, 并进行拍照; 水稻成熟以后整株收获, 测定有效分蘖数、每穗粒数、结实率、千粒重、单株产量。

2 结果与分析

收稿日期: 2016-01-28

基金项目: 农业部“948”项目“黄淮海地区主要秋粮作物 *Sub1A* 基因耐淹涝新种质创制”(2012-Z28); 河南省现代农业技术体系专项(S2012-04-02)

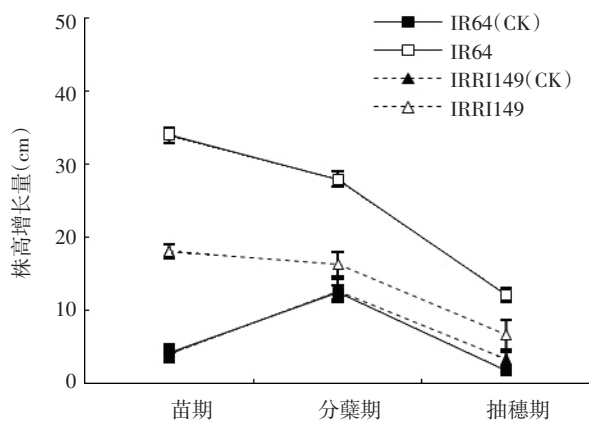


图1 淹水1周后不同生育时期水稻株高变化

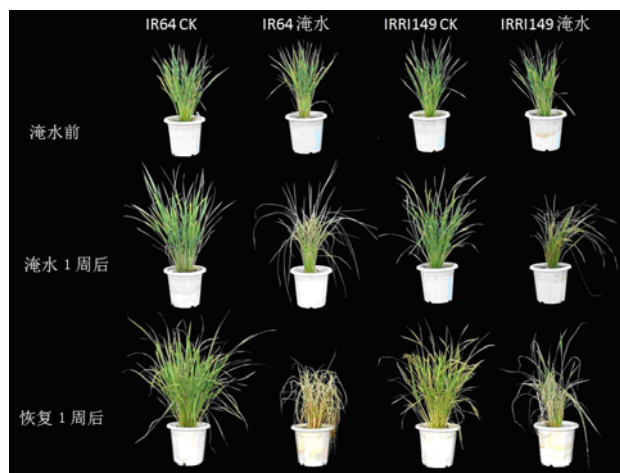


图2 分蘖期淹水前后 IR64 与 IRR1149 植株生长状况

2.1 淹水对不同生育时期水稻株高的影响

由图1看出,与对照相比,IR64和IRR1149在没顶淹水1周后株高均有增长,但IR64株高增加更加明显。IRR1149在苗期、分蘖期和抽穗期淹水1周后株高分别比对照平均增加18.1 cm、16.4 cm、6.8 cm,而IR64分别增加34.0 cm、28.0 cm和12.2 cm。IRR1149淹水处理相对于IR64淹水处理植株在苗期和分蘖期株高变化差异较大,而在抽穗期2个处理间差异较小。

分蘖期IR64淹水1周后株高增加量较大,叶片伸长不能直立,有的植株甚至整体倒伏,淹水结束恢复1周后植株叶片部分折断,并出现发白死亡现象(图2)。而IRR1149植株虽有增高,但增加量与IR64相比较少,植株仍保持直立状态,恢复1周后植株叶片死亡现象较轻,植株整体保持绿色。分蘖期淹水结束1周后,IR64植株和IRR1149植株均出现叶片发白甚至发黄的现象,IR64植株表现更为严重,叶片大量折断且恢复

较差,大部分植株叶片到后期出现全枯,仅有少量叶片呈绿色,在后期缓慢重新抽出分蘖,而IRR1149叶片则大部分保持绿色仅少部分叶片折断变枯,新抽出的分蘖生长较快。抽穗期淹水前后IR64和IRR1149植株表型差别不明显,IR64植株叶片发黄程度比IRR1149严重,叶片无折断现象。从苗期、分蘖期、抽穗期3个时期淹水后水稻植株表型的变化来看,分蘖期淹水对水稻植株的影响最大,IR64地上分蘖几乎整株死亡,而IRR1149虽受一定影响,但植株恢复比IR64好;苗期受影响次之,叶片折断受损,影响后期生长;在抽穗期淹水对植株形态无太大影响。

2.2 淹水处理对不同生育时期水稻叶片MDA含量的影响

从苗期和抽穗期2个时期淹水处理IRR1149与IR64叶片中MDA的含量来看,IRR1149叶片中的MDA含量并不比IR64低,两者MDA含量差异不显著,抽穗期叶片中的MDA含量呈现上升趋势。分蘖期MDA含量变化IR64与对照差别不大,而IRR1149则在淹水6 d后叶片MDA含量略有升高,IR64与IRR1149叶片MDA含量均在淹水结束后3 d达到最大值,而后下降,至淹水结束恢复6 d后,叶片MDA含量水平恢复到与对照一致的水平(图3)。

2.3 IRR1149与IR64产量构成因素差异比较

由表1可知,苗期淹水,IR64淹水处理组与未淹水对照相比,单株产量显著降低($P < 0.05$),降低的主要原因是有效分蘖数和每穗粒数显著减少($P < 0.05$)。IRR1149苗期单株产量较对照稍有降低,但有效分蘖数、每穗粒数、结实率和千粒重与对照差异均不显著($P > 0.05$)。淹水条件下,IRR1149单株平均产量比IR64高56.9%。

分蘖期淹水,IR64和IRR1149均减产严重,单株产量分别比未淹水对照降低98.9%和76.3%。IRR1149和IR64的有效分蘖数、每穗粒数、结实率和千粒重均显著低于对照。

抽穗期淹水,IR64和IRR1149单株产量分别比未淹水处理对照降低45.6%和44.0%,但IR64和IRR1149之间差异不显著($P > 0.05$)。

3 小结与讨论

淹涝是水稻生产中经常遇到的一种自然灾害,在任何个生育时期遭遇淹水,都会对水稻生长发育以及最终产量产生影响。水稻分蘖期淹水,水稻茎蘖数、

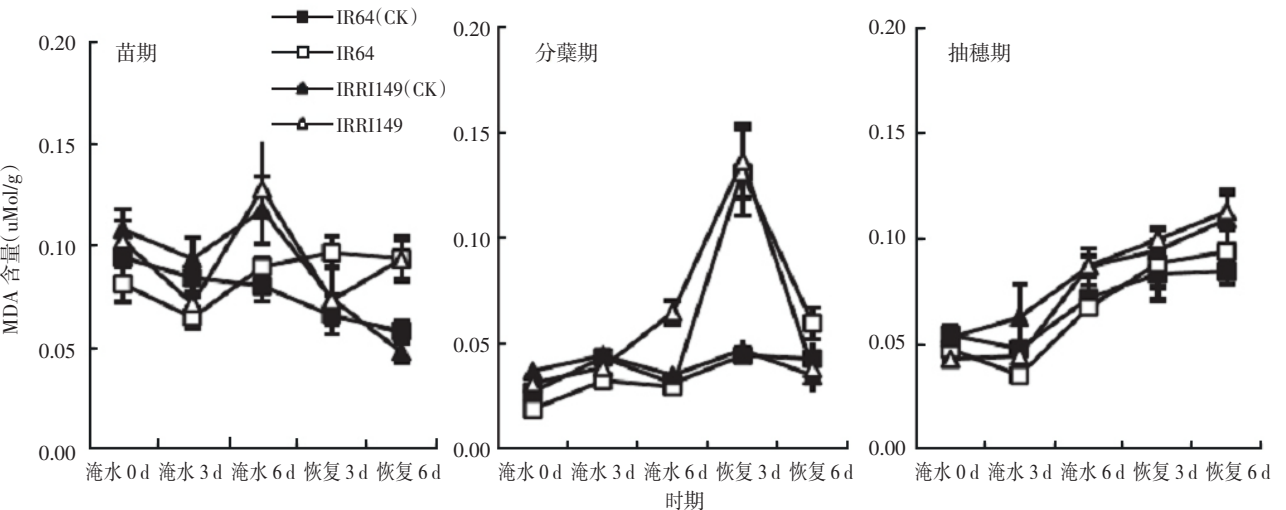


图 3 水稻 3 个生育时期淹水处理叶片中 MDA 含量变化

表 1 不同处理 IR64 与 IRR1149 产量相关因素考种结果

品种	处理	有效分蘖数	穗粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	单株产量 (g)
IR64	CK	37.8±3.3 a	2 174.5±308.7 a	77.1±7.9 ab	19.8±0.4 a	42.95±5.56 a
	苗期淹水	26.8±4.8 b	1 296.8±116.6 b	79.6±7.0 a	19.3±1.4 a	24.92±2.27 b
	分蘖期淹水	4.8±2.1 d	42.5±26.5 d	40.9±16.7 d	11.8±1.9 b	0.48±0.26 d
	抽穗期淹水	45.8±9.8 a	1 263.5±397.7 b	48.8±14.6 cd	18.6±1.2 a	23.36±6.56 b
IRRI149	CK	42.0±3.8 a	2 307.3±247.6 a	78.8±6.6 a	18.8±1.2 a	43.46±6.23 a
	苗期淹水	39.5±8.6 a	2 011.5±254.5 a	79.8±4.4 a	19.5±0.6 a	39.11±4.86 a
	分蘖期淹水	17.3±1.5 c	549.3±101.6 c	58.0±8.3 c	18.6±1.8 a	10.31±2.46 c
	抽穗期淹水	40.3±10.5 a	1 371.0±380.1 b	62.4±10.5 bc	18.1±1.7 a	24.35±4.38 b

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

绿叶数和地上部干物质量及产量均减少^[7];分蘖末期淹水,水稻生育期延长,株高降低,根系生长受到抑制,产量下降^[8];孕穗期淹水,水稻生育期延长,每穗粒数、结实率、产量均下降^[9]。在本研究中,不耐淹水稻品种在遭遇淹水后,对有效分蘖数、每穗粒数、结实率和千粒重 4 个产量关键因素都有较大影响,特别是在分蘖期淹水表现尤为明显。与 IR64 相比,*Sub1A* 耐淹基因导入系在苗期和分蘖期淹水条件下单株产量均显著高于对照 IR64,以分蘖期淹水对产量的影响最为明显,有效分蘖数、每穗粒数、结实率、千粒重均显著高于 IR64。而在抽穗期,由于水稻植株已经完成从营养生长到生殖生长的转变,此时期淹水对有效穗数的影响较小,但是对每穗粒数、结实率和千粒重的影响仍较大,最终导致产量降低。

MDA 是胞膜质过氧化程度指标,淹水往往导致植株 MDA 含量上升^[7]。本研究中,淹水后叶片中的 MDA 含量在 IR64 与 IRR1149 中均呈上升趋势,但淹水的 IR64 与 IRR1149 两者并无显著差异,因此推测,*Sub1A*

基因导入系对淹水胁迫抗性的主要原因可能不是减少细胞的过氧化伤害,抑制细胞伸长和碳水化合物的过度分解在耐淹水胁迫中所起的作用更大^[10]。在淹水胁迫下,*Sub1A* 基因通过调节乙烯和赤霉素(GA)介导的反应,抑制参与细胞伸长和碳水化合物降解基因的表达,保持植株株型的稳定性^[11-12],从而为缓解淹水胁迫和植株的恢复能力起一定调控作用。

参考文献

[1] 陈永华,严钦泉,肖国樱. 水稻耐淹涝的研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 151-153.

[2] Xu K, Xu X, T Fukao, et al. *Sub1A* is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice[J]. *Nature*, 2006, 442(7103): 705-708.

[3] Fukao T, Xu K, Ronald P C, et al. A variable cluster of ethylene response factor-like genes regulates metabolic and developmental acclimation responses to submergence in rice [J]. *Plant Cell*, 2006, 18(8): 2 021-2 034.

[4] 熊怀阳, 李阳生. 水稻的耐淹性状及其 *Sub1* 基因 [J]. 遗传, 2010, 32(9): 886-893.

(下转第 34 页)

- 河子大学, 2013.
- [26] 黄文江, 王纪华, 赵春江, 等. 水稻旱作条件下渗透调节物质和激素含量的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 61-64.
- [27] 潘圣刚, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 283-289.
- [28] 曾勇军, 石庆华, 潘晓华, 等. 施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1 409-1 416.
- [29] 李丽, 陈林, 张婷婷, 等. 膜下滴灌对水稻根系形态及生理性状的影响[J]. 排水机械工程学报, 2015, 33(6): 536-540.
- [30] 侯云鹏, 韩立国, 孔丽丽, 等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 836-845.

Review of Several Irrigation Methods and Nitrogen Rate on Rice Yield

CUI Tingting¹, LI Wangcheng^{1,2,3}, XIA Ting⁴, WU Yan⁵

(¹ College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; ² Ningxia Research Center of Technology on Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation, Yinchuan 750021, China; ³ Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750021, China; ⁴ College of Bioscience and Bioengineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan 750021, China; ⁵ Quality Inspection Station of Qingtongxia Branch Company, State Power Investment Corporation Ningxia Qingtongxia Energy Aluminum Group Co. Ltd., Qingtongxia, Ningxia 751603, China; 1st author: 771085369@qq.com; *Corresponding author: liwangcheng@126.com)

Abstract: In view of the fact that the conclusion of the impact of different irrigation methods and nitrogen rate on rice yield is inconsistent, the authors analyzed the impact of three different methods of irrigation, including traditional flooding irrigation, Y-irrigation and drip irrigation, and nitrogen rate on rice yield in this paper, on the basis of consulting the domestic research literature. The results showed that Y-irrigation saves more than 32% water than traditional flooding irrigation, and drip irrigation saves more than 60% water than traditional flooding irrigation. The yield significantly increases with the increase of nitrogen rate, but it will decrease with too much nitrogen fertilizer. What's more, water and nitrogen ratio for getting optimal yield will be different in different planting conditions, so the reasonable water and nitrogen ratio should be determined by the experiment under different planting conditions.

Key words: irrigation methods; nitrogen rate; rice; yield

(上接第 30 页)

- [5] Septiningsih EM, Pamplona A M, D L Sanchez, et al. Development of submergence-tolerant rice cultivars: the *Sub1* locus and beyond[J]. *Ann Bot*, 2009, 103(2): 151-160.
- [6] 李绍清, 李阳生. 乳熟期淹水对两系杂交水稻源库特性的影响[J]. 杂交水稻, 2000, 15(2): 38-40.
- [7] 刘明, 李岩, 郭贵华, 等. 长江下游不同类型水稻分蘖期耐淹能力比较[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1 373-1 381.
- [8] 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.
- [9] 周永进, 王斌, 许有尊, 等. 孕穗期淹水胁迫对早稻生长发育及产量的影响[J]. 中国稻米, 2013, 19(4): 86-90.
- [10] 潘澜, 薛晔, 薛立. 植物淹水胁迫形态学研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 11-15.
- [11] Das K K, Panda D, Sarkar R K et al. Submergence tolerance in relation to variable floodwater conditions in rice [J]. *Environ Exp Bot*, 2009, 66(3): 425-434.
- [12] 潘澜, 薛立. 植物淹水胁迫的生理机制研究进展[J]. 生态学报, 2012, 31(10): 2 662-2 672.

Effects of Waterflooding on Yield of Rice Submergence Tolerance Gene *Sub1A* Introgression Line at Different Growth Stage

DU Yanxiu, SUN Hongzheng, ZHANG Jing, LI Junzhou, PENG Ting, ZHAO Quanzhi

(College of Agronomy, Henan Agricultural University/Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China; *Corresponding author: qzzhaoh@126.com)

Abstract: IR64 and *Sub1A* gene introgression line were waterflooding at seedling stage, tillering stage and heading stage, the effective tiller number, grain number per panicle, seed setting rate, thousand seed weight and single plant yield were measured to evaluate the reduction of rice yield loss by *Sub1A* gene. The results showed that the average single plant yield of *Sub1A* gene introgression line and IR64 submerged reached 39.11 g and 24.92 g at seedling stage, 10.31 g and 0.48 g at tillering stage, 24.35 g and 23.36 g at heading stage, respectively. The effective tiller number, grain number per panicle, seed setting rate, thousand seed weight and yield of *Sub1A* gene introgression line were all significantly higher than IR64 when waterflooding at seedling stage and tillering stage.

Key words: rice; *Sub1A* introgression line; submergence; yield