

稻种资源全生育期田间抗旱性鉴定技术规程

张亚格^{1,2}, 刘伟^{2,3}, 魏昭然^{2,3}, 唐力琼⁴, 林尤珍¹, 周畋波²,
张洪亮^{2,3}, 孙兴明², 王效宁^{1,4}, 李自超^{1,2,3}

(¹海南省农业科学院三亚研究院, 三亚 572025; ²中国农业大学农学院, 北京 100193; ³中国农业大学三亚研究院, 海南三亚 572025;

⁴海南省农业科学院粮食作物研究所, 海口 571100)

摘要: 抗旱性是作物与干旱环境相互作用的复杂数量性状, 准确的抗旱表型鉴定是挖掘抗旱基因和开展抗旱遗传研究的基础, 对于水稻节水抗旱育种至关重要。在大田条件下进行稻种资源全生育期抗旱表型鉴定的方法一直是抗旱育种工作者所关注的技术难题。本文针对这一问题, 在多年田间稻种资源抗旱性鉴定和研究的基础上, 对抗旱性鉴定体系进行探索优化, 总结制定了稻种资源全生育期田间抗旱性鉴定的技术规程, 其内容包括一般要求、整地、种植方式、水分管理、施肥、病虫害防治以及抗旱性评价等全过程的操作规范 and 基本要求, 以期对稻种资源全生育期抗旱鉴定提供技术参考。该技术规程适用于海南省三亚市每年冬季(11月中旬至次年4月上旬)的田间种植的全生育期抗旱性鉴定。

关键词: 稻种资源; 全生育期; 抗旱鉴定; 技术规程

Standard Technical Regulations for Evaluating Drought Resistance of Rice Germplasm in the Field During Whole Growth Periods

ZHANG Yage^{1,2}, LIU Wei^{2,3}, WEI Zhaoran^{2,3}, TANG Liqiong⁴, LIN Youzhen¹, ZHOU Tianbo²,
ZHANG Hongliang^{2,3}, SUN Xingming², WANG Xiaoning^{1,4}, LI Zichao^{1,2,3}

(¹Sanya Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572025; ²College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193; ³Sanya Institute of China Agricultural University, Sanya 572025, Hainan;

⁴Cereal Crop Research Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100)

Abstract: Drought resistance is a complex quantitative trait of the interaction between crops and drought environment, accurate evaluation of drought resistance phenotype is the basis for mining drought resistance genes and exploring drought resistance genetics, it is very important for water-saving and drought-resistant rice breeding. The method system for the evaluation of drought resistance of rice germplasm during whole growth periods in the field has always been a technical problem concerned by drought-resistant breeding workers. Aims at this problem, we exploring and optimizing the conditions for assessing drought resistance based on many years of the evaluation and research of rice drought resistance in the field. The standard technical regulations for drought resistance evaluation in the field of rice germplasm during whole growth periods were summarized and

收稿日期: 2024-08-16 网络出版日期: 2024-12-11

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240816007>

第一作者研究方向为作物遗传育种, E-mail: zhangyage1992@163.com

通信作者: 王效宁, 研究方向为作物遗传育种, E-mail: wxning2599@163.com

李自超, 研究方向为稻种资源与基因组学, E-mail: lizichao@cau.edu.cn

孙兴明, 研究方向为稻种资源与基因组学, E-mail: sunxm@cau.edu.cn

基金项目: 海南省种业实验室与中国种子集团有限公司联合项目(B23YQ1517, B23CQ15HP); 三亚崖州湾科技城科技专项(SCKJ-JYRC-2022-02); 海南省科技人才创新项目(KJRC2023B23); 海南省博士后研究项目(313570); 海南省农业科学院引进人才科研启动费项目(HAAS2023RCQD15); 三亚市科技创新专项(2022KJCX10)

Foundation projects: Project of Hainan Seed Industry Laboratory and China National Seed Group (B23YQ1517, B23CQ15HP); Project of Sanya Yazhou Bay Science and Technology City (SCKJ-JYRC-2022-02); Project of Sci-tech Talents Innovation in Hainan Province (KJRC2023B23); Postdoctoral Research Project in Hainan Province (313570); Introduce Talents Research Startup Foundation of Hainan Academy of Agricultural Sciences (HAAS2023RCQD15); Science and Technology Innovation Project in Sanya (2022KJCX10)

normalized. It mainly includes general requirements, land preparation, the methods of planting, water management, fertilization, prevention of diseases, pests and weeds and drought resistance evaluation, so as to provide technical reference for drought resistance evaluation of rice germplasm during whole growth periods. The technical regulations are applicable to the evaluation of drought resistance during whole growth periods during the winter in Sanya city, Hainan province (from mid-November to early-April of the next year).

Key words: rice germplasm; whole growth periods; drought resistance evaluation; technical regulations

干旱是农业生产所面临的主要非生物胁迫之一,受全球气候变暖以及环境污染等问题的影响,全世界可利用的淡水资源逐渐减少,据估计,到2050年全球50%以上的耕地将受到干旱的影响^[1]。我国人均淡水资源仅有世界平均水平的1/4,作为一个农业大国,既要保证水资源的高效利用,又要积极面对干旱等恶劣农业生产环境,培育高产优质抗旱的农作物新品种将是未来抵御干旱的有效措施和策略。

水稻(*Oryza sativa*. L)是我国最重要的粮食作物之一,也是全球三分之二人口的主食作物,在全球范围内90%的水稻产自于亚洲国家^[2]。根据种植方式,可将稻分为水稻和旱稻两种生态类型。水稻根系小,表皮蜡薄,气孔关闭迅速,被认为是最易受干旱影响的植物之一^[3],主要种植在具有3~8 cm水层的淹水条件的水田中,而旱稻根系发达,具有较强的抗旱性,常种植在相对干旱的通透性土壤中。水稻和旱稻的主要区别在于种植的田间环境和水分管理方式上,两者在抗旱性方面具有明显的差异。我国种植水稻消耗50%的农业用水^[4],相对于水稻,种植旱稻可减少80%的灌溉用水。因此,通过水稻和旱稻自然群体的比较,或通过构建两者的遗传分离群体进行分析,将是发掘抗旱基因和遗传研究的理想途径。对稻种资源进行系统的抗旱性研究,提高水稻或旱稻的抗旱能力,对于保障稻米生产,维护粮食安全都具有十分重要的现实意义。

作物在田间的抗旱性是植株在最接近生产条件下的各方面生理生化因素的综合体现,因此对稻种资源进行田间抗旱性精准鉴定,是开展抗旱材料筛选、抗旱基因挖掘,及进行水稻抗旱育种的重要技术保障,同时也可促进水稻抗旱机制的深入解析,推动相关科学研究的发展。创造一个适宜的干旱胁迫环境,是准确鉴定水稻抗旱性的基础。目前,创制水稻干旱胁迫环境的方法主要有:自然干旱法、控制灌溉法、大气干旱法、高渗溶液法^[5-6]。水稻抗旱性鉴定可以在不同生长发育期或贯穿整个生育期,但是适于各时期水稻抗旱性鉴定的指标却存在显著差异^[7]。采用多个指标综合评定作物的抗

旱性的方法被广泛接受,该方法弥补单个指标的片面性,剔除一些指标间的重叠效应,最终的评定结果与实际结果较为接近^[8]。水稻抗旱性鉴定涉及抗旱育种和节水抗旱栽培的各个环节,对于水稻生产至关重要,一方面包括筛选和创制抗旱种质资源、配置抗旱性强的亲本组合、选育抗旱杂交后代以及筛选抗旱品种^[8-10]。另一方面对多样性丰富的稻种资源材料进行抗旱鉴定也是利用正向遗传学进行水稻抗旱机制解析的重要技术保障,一些优异水稻抗旱基因,如*DROT1*、*RRS1*、*OsSPL10*等的发现^[11-13],均离不开系统而全面的抗旱性表型鉴定。

海南岛属于典型的热带季风海洋性气候,自然降水集中于5-10月,每年11月至次年4月降水少,属于旱季,这样的季节性降水特点使得海南三亚的旱季成为农作物大规模抗旱自然鉴定的理想基地。本文通过分析和总结多年试验结果,详细制定了稻种资源在海南三亚田间进行全生育期抗旱鉴定的实施过程和技术规程,以期水稻或旱稻抗旱育种及抗旱机制相关研究提供技术参考。

1 范围

该规程规定了稻种资源全生育期田间抗旱性鉴定的一般要求、整地、种植方式、水分管理、施肥、病虫草害防治以及抗旱性评价等技术标准。本技术适用于稻种资源在海南省三亚市冬季(旱季)期间的全生育期田间抗旱性鉴定。

2 规范性引用文件

下列文件对于该规程的应用是必不可少的。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于该规程。

GB 4044.1 粮食作物种子 第1部分:禾谷类

GB 5084 农田灌溉水质标准

GB/T 8321 农药合理使用准则

GB 8246 水稻二化螟防治标准

NY/T 496 肥料合理使用准则 通则

NY/T 2156 水稻主要病害防治技术规程

3 一般要求

3.1 鉴定地点和土壤条件

鉴定地点为海南省三亚市,鉴定土壤应选择土壤疏松程度适中的沙壤土,排水良好,土层深厚,酸碱度适中,非盐渍土即盐碱含量低(土壤盐分含量 $< 1.0 \text{ g/kg}$)无返盐,并具有用于喷灌条件的清洁水源。

3.2 鉴定时间

鉴定时间为三亚冬旱季节,每年的11月中旬至次年的4月上旬,平均最高气温约为 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均最低气温约为 $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均湿度约为75%,平均降水量约为 0.53 mm 。

3.3 鉴定方式

采用水田种植和旱田种植两种种植方式,每种种植方式需设置2~3次重复。

3.4 其他

因地制宜采取有效措施防止鸟、鼠、禽、畜等对鉴定过程的危害,以保证鉴定结果的安全有效。

4 整地

4.1 水田整地

泡田3~5 d后水耙地。采用搅浆平地机平地。整地效果应达到田面平坦、上糊下松,搅浆深度为 $12\sim 15 \text{ cm}$ 。沉淀5~10 d后插秧。

4.2 旱田整地

选用平整度较好的地块,深翻 $15\sim 20 \text{ cm}$,使用旋耕机,保证土壤松散,避免出现较大土块等。用平田机械进行平地,采用激光平地技术为宜,避免同一田块出现较大高度差(小于 $\pm 3 \text{ cm}$)。

5 种植方式

5.1 水田种植方式

水田采用育苗移栽的方式单行种植。种子浸种催芽后分箱播种于秧田,秧苗生长至3叶1心时进行插秧移栽,插秧的深度为 2 cm 左右,行距 25 cm ,株距为 $10\sim 13 \text{ cm}$ 。为控制边际效应,材料外围种植保护行材料。

5.2 旱田种植方式

旱田直播种植,采用单粒点播的方式单行种植,按照行距 25 cm 、行长 120 cm 、畦间距 40 cm 和 10 cm 交替排列的规格进行拉线和开沟,开沟深度 2 cm ,播种时种子间距 $4\sim 5 \text{ cm}$,播后用土覆盖。为评估地块干旱胁迫均一性,每隔80份材料分别种植抗旱对照材料IRAT109和敏旱对照材料越富,另外材料外围及畦间距 40 cm 处种植保护行材料。等到种子完全出苗后进行人工间苗,保持株距为 $10\sim 13 \text{ cm}$ 。

6 水分管理

6.1 水田水分管理

水稻插秧时保持水层 $1\sim 3 \text{ cm}$,插秧后应立即建立水层,一般灌水至苗高的 $1/2\sim 2/3$,以不淹没秧心为宜。待水稻返青后至分蘖中期,保持 $3\sim 5 \text{ cm}$ 浅水层,分蘖盛期适度晾田,幼穗分化形成期保持水层 $3\sim 5 \text{ cm}$,孕穗期保持水层 $3\sim 8 \text{ cm}$,抽穗开花期及灌浆前期保持水层 $0\sim 5 \text{ cm}$,灌浆后期至成熟期采取间歇灌溉的方式,即一次灌 $3\sim 5 \text{ cm}$ 浅水,待自然落干,等到脚窝有水、田面无水时再灌 $3\sim 5 \text{ cm}$ 浅水,如此循环,收获前5~10 d逐渐落干水层。

6.2 旱田水分管理

旱田采用旋转式喷头(高 1.5 m ,直径 2 m ,口径 7.5 mm ,水流速度 $40 \text{ m}^3/\text{h}$)进行喷灌浇水,播种后喷灌浇水一次,为保证全生育期胁迫程度均衡,进行土壤水分监测,待喷灌浇水后 $20\sim 24 \text{ h}$,检测土壤含水量需达到50%左右。此后每间隔约 $10\sim 15 \text{ d}$,或土壤水分降至15%左右时进行喷灌浇水,每次浇水量使土壤含水量达30%左右。旱田种植全生育期土壤含水量需保持在15%~30%以维持中度干旱胁迫水平。

7 施肥

7.1 水田施肥

施氮(N) $170\sim 200 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、磷(P_2O_5) $60\sim 75 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、钾(K_2O) $75\sim 90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。各时期施肥比例:氮肥按基肥40%~50%、蘖肥20%~30%、穗肥20%~30%分次施入。基肥于插秧前整地后施入,磷肥、钾肥应全部做基肥施入,蘖肥于5~6叶施入,穗肥于倒5叶龄期施入。

7.2 旱田施肥

施氮(N) $150\sim 180 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、磷(P_2O_5) $60\sim 75 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、钾(K_2O) $75\sim 90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。各时期施肥比例:氮肥按基肥40%~50%、蘖肥20%~30%、穗肥20%~30%分次施入。基肥于整地后施入,磷肥、钾肥应全部做基肥施入,蘖肥于5~6叶施入,穗肥于倒5叶龄期施入,每次施肥后喷灌浇水。

8 病虫害防治

8.1 病虫害防治

防治水稻病害依据NY/T2156的规定,防治二化螟依据GB8246的规定。

8.2 草害防治

8.2.1 水田防草 水田插秧后3~5 d,灌浅水层,每亩用60%丁草胺 $100\sim 125 \text{ mL}$,兑水 50 kg 均匀喷雾,保持水层 $2\sim 3 \text{ d}$,如后期存在杂草,可人工进行清除。

8.2.2 旱田防草 旱田播种浇水后,待水落干1~2 d,保持土壤表面湿润,每亩用60% 丁草胺 100~125 mL,兑水 50 kg 均匀喷雾进行封闭,如后期存在杂草,可人工进行清除。

9 抗旱性评价

9.1 收获方式及指标测量

当材料生长至完熟期,籽粒充实饱满坚硬时,及时收获,每行混收5株,取全部地上部分用镰刀割取并装于网袋中。收获材料置于日光下晾晒8~10 d,至秸秆含水量至12%~15%时,称量地上部分总重,得到单株地上生物量数据。随后进行人工脱粒,并称量谷粒重量,得到单株产量数据。依据生物量和产量数据计算各个品种的抗旱指数用于抗旱性评价,抗旱指数计算公式如下:

$$\text{抗旱指数}(\%) = (\text{相对生物量} + \text{相对产量}) / 2$$

其中:相对生物量($\%$)=(旱田生物量/水田生物量) \times 100%;相对产量($\%$)=(旱田产量/水田产量) \times 100%。

9.2 评价标准

所有稻种资源鉴定结果根据抗旱指数分为1、3、5、7和9共5个级别,分别属于强抗旱、抗旱、中等抗旱、敏旱和极敏旱类型。

具体抗旱指数数值、抗旱级别和抗旱水平标准见表1。

表1 稻种资源全生育期抗旱级别分级标准

Table 1 The standard of drought resistance grade for rice germplasm during whole growth period

抗旱级别 Drought resistance grade	抗旱指数 Drought resistance index	抗旱水平 Drought resistance level
1	55%以上	强抗旱
3	45%~55%	抗旱
5	25%~45%	中等抗旱
7	15%~25%	敏旱
9	15%以下	极敏旱

参考文献

- [1] Muhammad A H, Dahu N, Tong H N, Zhu Q, Yi Y M, Li Y R, Wang S M. Drought stress in rice: Morpho-physiological and molecular responses and marker-assisted breeding. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1215371
- [2] FAO. World food and agriculture-statistical yearbook 2022 (2023-12-01) [2024-08-16]. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc2211en>
- [3] Sahebi M, Hanafi M M, Rafii M Y, Mahmud T M M, Azizi P, Osman M, Abiri R, Taheri S, Kalhori N, Shabanimofrad M, Miah G, Atabaki N. Improvement of drought tolerance in

rice (*Oryza sativa* L.): Genetics, genomic tools, and the WRKY gene family. *Biomed Research International*, 2018 (2018): 3158474

- [4] Zhang Q F. Strategies for developing Green Super Rice. *Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america*, 2007, 104: 16402-16409
- [5] 胡标林,李名迪,万勇,朱雪晶,张铮.我国水稻抗旱性鉴定方法与指标研究进展. *江西农业学报*, 2005, 17 (2): 56-60
Hu B L, Li M D, Wan Y, Zhu X J, Zhang Z. Advances in identification methods and indexes of rice resistance to drought in china. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2005, 17 (2): 56-60
- [6] 龚明.作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价. *云南农业大学学报*, 1989, 4(1): 73-81
Gong M. Evaluation methods and indexes of crop drought resistance and its comprehensive evaluation. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 1989, 4(1): 73-81
- [7] 管永升,石岩.旱稻抗旱性鉴定的常用方法及其进展. *耕作与栽培*, 2007(2): 42-44
Guan Y S, Shi Y. Common methods and progress of drought resistance identification of upland rice. *Tillage and Cultivation*, 2007 (2): 42-44
- [8] 黎裕.作物抗旱鉴定方法与指标. *干旱地区农业研究*, 1993, 11 (1): 91-99
Li Y. The identification method and index for crop drought resistance. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11 (1): 91-99
- [9] 程建峰,何冬发,刘宜柏,潘晓云,汪有生.杂交稻新组合产量及其抗旱性的鉴定与评价. *安徽农学通报*, 2007, 13 (1): 66-69
Cheng J F, He D F, Liu Y B, Pan X Y, Wang Y S. Identification and evaluation on the drought resistance of yields and their traits in new hybrid rice combinations. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007, 13 (1): 66-69
- [10] 王英,李宏,崔彦茹,陈凯,周少川,徐建龙,黎志康.从回交导入群体中筛选耐盐和抗旱水稻植株. *分子植物育种*, 2010, 8 (6): 1133-1141
Wang Y, Li H, Cui Y R, Chen K, Zhou S C, Xu J L, Li Z K. Screening of salt and drought tolerant plants from backcross populations in rice. *Molecular Plant Breeding*, 2010, 8 (6): 1133-1141
- [11] Sun X M, Xiong H Y, Jiang C H, Zhang D M, Yang Z L, Huang Y P, Zhu W B, Ma S S, Duan J Z, Wang X, Liu W, Guo H F, Li G L, Qi J W, Liang C B, Zhang Z Y, Li J J, Zhang H L, Han L J, Zhou Y H, Peng Y L, Li Z C. Natural variation of *DRO1* confers drought adaptation in upland rice. *Nature Communications*, 2022, 13 (1): 4265
- [12] Gao J, Zhao Y, Zhao Z K, Liu W, Jiang C H, Li J J, Zhang Z Y, Zhang H L, Zhang Y G, Wang X N, Sun X M, Li Z C. *RRS1* shapes robust root system to enhance drought resistance in rice. *New Phytologist*. 2023, 238(3): 1146-1162
- [13] Li Y X, Han S C, Sun X M, Khan N U, Zhong Q, Zhang Z Y, Zhang H L, Ming F, Li Z C, Li J J. Variations in *OsSPL10* confer drought tolerance by directly regulating *OsNAC2* expression and ROS production in rice. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2023, 65 (4): 918-933