

## 孕穗期水稻叶片生理性状与抗旱性相关分析

赵鹏珂<sup>1,2</sup> 王昌贵<sup>1</sup> 冯小磊<sup>1</sup> 王向东<sup>3</sup> 王化琪<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院/旱稻研究中心,北京 100193;

2. 绍兴市农业科学研究院 糯稻研究所,浙江 绍兴 312003;

3. 唐山市农业科学研究所,河北 唐山 063000)

**摘要** 研究以不同类型的水稻与旱稻品种为试验材料,比较了干旱胁迫下孕穗期各稻作类型与典型水稻叶片水势(压力势)、中脉粗、叶肉厚和叶片相对含水量差异。对水旱处理条件下各观测性状指标与产量抗旱指数、孕穗期生物量抗旱指数和收获期生物量抗旱指数进行相关分析,结果表明:1)干旱胁迫条件下叶片水势(压力势)、中脉粗、叶肉厚和叶片相对含水量差异在耐旱稻作品种与典型水稻间存在显著差异,可以作为鉴定稻作品种抗旱性指标,但是少数抗旱材料易被遗漏;2)叶片水势、叶肉厚在干旱胁迫下与干物质合成与积累有关,且叶片水势与最终产量形成有一定关联;3)育种工作中叶片水势和叶肉厚可作为主要筛选指标,其他试验指标可用于辅助筛选鉴定,综合判断材料的抗旱性和生产应用价值。

**关键词** 水稻; 抗旱; 生理指标; 育种

中图分类号 S 511

文章编号 1007-4333(2012)02-0037-05

文献标志码 A

## Relationship of drought tolerance with rice leaf physiology under booting stage

ZHAO Peng-ke<sup>1,2</sup>, WANG Chang-gui<sup>1</sup>, FENG Xiao-lei<sup>1</sup>, WANG Xiang-dong<sup>3</sup>, WANG Hua-qi<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology/Upland Rice Research Center, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Glutinous Rice Research Center, Shaoxing Academy of Agricultural Sciences, Shaoxing 312003, China;

3. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063000, China)

**Abstract** Enhancing the drought tolerance of rice variety is an important technology and strategy to food safety of China. Improvement and innovation of rice drought tolerance index is the key to improve drought tolerance rice variety and breeding technology. In this research, different rice varieties were used to identify physiological traits associated with drought tolerance. The major traits were leaf water pressure potential, leaf midrib coarse, mesophyll thickness and relative water content, the difference between typical rice and the other rice type under drought environment. Difference between two treatments of drought and flooded was studied. Correlation between tested traits and yield drought resistant index, booting stage biomass drought resistant index, harvest stage biomass drought resistant index was analysed. The result showed that leaf water pressure potential, leaf midrib coarse, mesophyll thickness and relative water content could be used as index for drought tolerance identification in rice, though this method could miss some drought tolerant materials. The leaf water pressure potential, mesophyll thickness were correlated with dry matter production and accumulation, and consequently with the final yield. Therefore, the leaf water pressure potential, leaf midrib coarse was recommended as main index, complemented with other index in rice breeding for drought tolerance.

**Key words** rice; drought tolerance; physiological index; breeding

收稿日期: 2011-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(32050009); “948”重大专项(2006G51); 国际合作-欧盟第六框架项目(ECFP6015468)

第一作者: 赵鹏珂, 博士研究生, E-mail: zhaopengke@yahoo.cn

通讯作者: 王化琪, 教授, 博士生导师, 主要从事旱稻遗传育种研究, wanghuaqi@cau.edu.cn

干旱是影响世界稻米生产和稳产的主要自然灾害之一<sup>[1-3]</sup>,培育节水抗旱稻品种是降低干旱灾害对水稻生产影响、减少损失和实现我国稻米稳产和可持续发展的重要技术保障。我国稻作抗旱育种已取得了显著成果,基于传统方法的抗旱育种项目中,表型抗旱相关性状的正确选择和准确鉴定是抗旱育种进展的关键。作物抗旱机理复杂,不同品种、不同生育期具有不同的抗旱机理<sup>[4-5]</sup>。目前形态抗旱指标结合生理指标进行抗旱性鉴定是农业抗旱研究的主要方法。

叶片是作物进行光合作用的重要器官,干旱胁迫条件下叶片性状的生理状态和组织结构对光合产物的合成积累及最终产量形成有重要影响。叶片形态与抗旱性已有大量研究<sup>[6]</sup>,生理指标研究多为

PEG胁迫获得<sup>[7-8]</sup>,而关于大田干旱条件下植物叶片生理与抗旱性研究较少。本研究以4类型共20个稻作品种为材料研究孕穗期田间叶片生理性状及其与产量抗旱指数、孕穗期生物量抗旱指数的关系,以期抗旱鉴定和抗旱育种提供借鉴和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验选用 IRAT109、旱稻 502、巴西陆稻 3 个旱稻品种和老秋光、越富和津稻 305 等 3 个典型水稻品种进行叶片水势试验测量分析。选用 5 个传统旱稻品种、5 个改良旱稻品种、5 个水稻品种和 5 个耐旱水稻品种进行叶片相对含水量、离体叶片保水率、叶厚和中脉粗测量分析(表 1)。

表 1 试验材料名单

Table 1 Information of experiment materials

名称	类型	生育期/d	名称	类型	生育期/d	名称	类型	生育期/d	名称	类型	生育期/d
巴西陆稻	改良旱稻	142	抚宁小白仁	传统旱稻	140	辽盐 241	耐旱水稻	147	沈农 265	典型水稻	146
旱稻 502	改良旱稻	147	白大肚	传统旱稻	141	郑州早粳	耐旱水稻	140	老秋光	典型水稻	142
旱稻 277	改良旱稻	140	毫格劳	传统旱稻	147	早 72	耐旱水稻	143	中花 8 号	典型水稻	148
旱稻 297	改良旱稻	148	红壳老鼠牙	传统旱稻	148	中作 59	耐旱水稻	150	IR64	典型水稻	145
IRAT109	改良旱稻	149	早粳子	传统旱稻	143	297-28	耐旱水稻	145	9311	典型水稻	150

### 1.2 试验设计

本试验于 2007 年夏于北京中国农业大学上庄试验站进行,试验分为水田(CK),轻度干旱 2 个处理,每个处理设 2 个重复。轻旱处理于 2007-05-20 播种,通过在干旱胁迫发生时补充灌溉控制干旱胁迫程度保障作物可以正常开花结实。水田对照于 2007-05-04 育秧,06-10 插秧。水旱田土壤均为沙壤土,土壤有机质含量 1.55%,全氮 0.1%,碱解氮 75.24 mg/kg,有效磷 37.30 mg/kg,速效钾 67.20 mg/kg。

### 1.3 干旱处理水分控制

在自然降雨基础上,整个生育期共灌水 4 次,分别于播种后出苗前(2007-05-21)、拔节期(2007-06-23)、孕穗期(2007-08-07)和灌浆期(2007-09-02)各灌水 1 次,每次灌水量 100 mm;计每平米灌溉 0.1 m<sup>3</sup>,灌溉时根据面积计算总灌溉量,通过水表进行水量控制,灌溉方式为快水漫灌;灌溉总量共计 400 mm。

### 1.4 干旱处理土壤含水量监测

整个生育期中,用 Trime FM-2 TDR 土壤水分测定仪(德国产)测量 30 cm 表层土壤体积含水量,按田间分布平均选 5 个点测量并计算平均值,每隔 7 d 测量 1 次,且在灌水前及降雨后加测 1 次。

### 1.5 数据收集处理

1)叶水势的测定方法:采用压力室法测量(美国 PMS PMS-600 型压力室),每品种取植株倒 2 叶 5 片,从叶枕处剪断测量水势,取平均值作为各品种的最终叶水势值<sup>[9]</sup>,单位为 bar。本试验叶水势测量时间为 2007-08-05。

2)叶肉厚和中脉粗的测定方法:在抽穗灌浆期每个品种取 5 株的倒 1、倒 2 叶,共取 2 个重复,取叶片中部约 7 cm 长段作为考查对象,放入 FAA 固定液中固定,显微镜下用目镜测微尺测量叶片中脉粗和叶肉厚,结果转换成实际尺寸。叶片取样时间为 2007-08-02。

3) 叶片相对含水量的测定方法：在中午前后的 2 h 内，取植株最上部充分展开的 4~6 张叶片样本，每份样本约为 5~10 cm<sup>2</sup> 的叶片中间部分。放在预先称重的密封的玻璃瓶，冷藏 (约 10 ℃)，待测样本鲜重(W)。然后在玻璃瓶内加水至 5 cm 高，3 h 后叶片充分膨胀，再取出，用滤纸轻轻地吸掉样本表面的水珠，称得充分膨胀重量(TW)。随后样本放入 80 ℃ 烘箱，24 h 后称干重(DW)。则相对含水量为： $RWC/\% = [(W - DW)/(TW - DW)] \times 100$ 。叶片取样时间为 2007-08-02。

4) 抗旱指数计算：抗旱指数(DRI) = 抗旱系数 × 干旱值/干旱平均值；抗旱系数 = 干旱值/水田值。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱处理效果分析

从图中可以看出整个试验期间土壤均处于较干旱状态，其中 07-27 至 08-05 作物孕穗期土壤体积含水量均处于 16% 左右的低状态，这表明这段时期土壤干旱胁迫已经产生。试验对土壤干旱胁迫的要求已经满足，此外 7 月底 8 月初北京为盛夏季节，白天晴天温度高蒸发量大，此时取样和干旱处理可以保证干旱胁迫的顺利发生和取样准确。

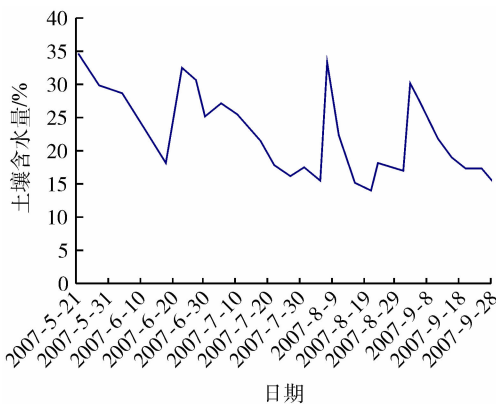


图 1 干旱处理试验期间土壤含水量变化

Fig. 1 Soil volumetric water content in drought treatment

### 2.2 孕穗期不同品种叶片压力势分析

表 2 表明，干旱胁迫下水稻叶片水势一天内有较大的变化，其中 12:00、15:00 叶片水势最低，6:00 叶片水势最高。方差分析表明水稻品种与旱稻品种叶片水势在 12 时与 15 时存在极显著差异，在其他检测时段未发现显著差异。图 2 中可看出 9:00 后旱稻品种叶片水势下降速率低于水稻品种，在

12:00、15:00 叶片水势降至最低但旱稻品种显著高于水稻品种，这表明大田自然干旱胁迫下叶片水势可以准确区分水稻与旱稻，抗旱稻品种在干旱胁迫下适应性显著高于水稻品种，因此叶片水势可以作为鉴别水稻品种抗旱性的一个生理指标。

表 2 6 品种干旱条件下叶水势日变化  
Table 2 Leaf water potential changes under drought stress in daytime bar

品种名称	取样时间				
	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
IRAT109	-2.10	-13.13	-13.33	-15.50	-6.15
旱稻 502	-2.13	-11.35	-14.28	-15.30	-6.63
巴西陆稻	-2.13	-14.87	-15.57	-17.53	-7.23
老秋光	-2.60	-14.58	-15.60	-18.15	-6.20
越富	-2.65	-12.73	-16.33	-18.95	-8.33
津稻 305	-2.63	-10.08	-16.55	-19.13	-7.55
平均值	-2.37	-12.79	-15.27**	-17.43**	-7.01

注：\*\* 表示水旱稻品种间在 0.01 水平存在显著差异。

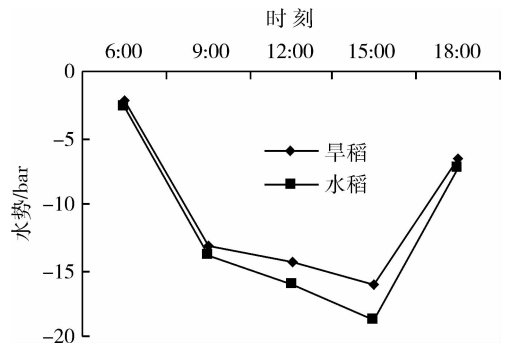


图 2 叶片水势日变化

Fig. 2 Water potential of leaves change in daytime

### 2.3 不同品种间叶肉厚、中脉粗、叶片相对含水量及离体保水率分析

干旱处理条件下，传统旱稻、改良旱稻与耐旱水稻叶肉厚较水田明显增加，典型水稻叶肉厚较水田未观测到显著变化。中脉粗、叶片相对含水量和离体叶片保水率在干旱处理下观测值小于水田，这表明干旱胁迫下抗旱水稻品种生理结构发生显著变化。

干旱处理下，改良旱稻、耐旱水稻叶片厚度显著高于典型水稻，传统旱稻叶厚也大于典型水稻但是未达到显著水平；传统旱稻、改良旱稻中脉粗显著高于典型水稻，耐旱水稻与典型水稻无显著差异；3 类

型稻作品种叶片相对含水量均显著高于典型水稻;改良早稻、耐旱水稻离体叶片保水率显著高于典型水稻,传统早稻与典型水稻间未发现显著差异。水田条件下传统早稻叶肉厚显著小于水稻品种,改良早稻品种与耐旱水稻与典型水稻叶肉厚相当;改良早稻、耐旱水稻中脉粗显著大于典型水稻,传统早稻与典型水稻差异不大。叶片相对含水量在3类型稻中均未发现与典型水稻有显著差异。

表3 不同品种类型间各生理指标比较分析

Table 3 Physiological index analysis between different variety type

品种	处理	叶肉厚/ cm	中脉粗/ mm	叶片相对 含水量/%
传统早稻	干旱处理	0.115	0.930*	88.3*
	水田对照	0.089*	1.000	93.7
改良早稻	干旱处理	0.130**	1.040*	89.2*
	水田对照	0.120	1.080*	96.3
耐旱水稻	干旱处理	0.123*	0.860	90.8**
	水田对照	0.117	1.090*	93.5
典型水稻	干旱处理	0.108	0.840	85.7
	水田对照	0.108	0.920	94.4

注: \*表示其与典型水稻在0.05水平存在显著差异, \*\*表示其与典型水稻在0.01水平存在显著差异。下表同。

## 2.4 不同品种类型抗旱指数比较及各指标与抗旱相关指数相关分析

表4中数据表明, 典型水稻的产量抗旱指数显

著小于其他3个品种类型, 其中改良早稻产量抗旱指数最高, 传统早稻略低于改良早稻, 耐旱水稻与早稻品种有较大差别, 但显著优于典型水稻; 孕穗期生物量抗旱指数分析表明改良早稻最高, 耐旱水稻略高于传统早稻, 均显著高于典型水稻。收获期生物量抗旱指数研究表明, 早稻品种显著高于典型水稻, 但是耐旱水稻与典型水稻无显著差异。这表明这3类抗旱指数可以有效区别稻作品种的抗旱水平。

表4 不同品种类型抗旱指数比较

Table 4 Drought resistance index analysis in different rice varieties types

品种	DRIm2-y	DRIm2-B	DRIm2-H
传统早稻	2.63**	2.12*	2.33**
改良早稻	2.83**	2.65**	2.71**
耐旱水稻	1.29*	2.33*	1.77
典型水稻	0.65	1.70	1.56

注: DRIm2-y为产量抗旱指数, DRIm2-B为孕穗期生物量抗旱指数, DRIm2-H为收获期总生物量抗旱指数。

相关分析表明, 叶肉厚与孕穗期生物量抗旱指数(DRIm2-B)、收获期总生物量抗旱指数(DRIm2-H)存在显著正相关, 这表明干旱环境下叶肉厚增加可以促进干物质的合成积累; 12:00水势与15:00水势与产量抗旱指数和收获期总生物量抗旱指数存在显著正相关, 且其相关程度均在0.8以上, 这表明干旱环境下孕穗期叶片水势大小与植物干物质合成、积累及最终产量形成有重要影响。

表5 生理指标与抗旱指数间相关分析

Table 5 Relationship analysis of drought tolerance index with physiology index

抗旱指数	叶肉厚/旱	叶肉厚/水	中脉粗/旱	中脉粗/水	叶片相对 含水量/水	叶片相对 含水量/旱	离体叶片 保水率/水	离体叶片 保水率/旱	12:00 水势	15:00 水势
DRIm2-y	0.165	0.184	0.086	0.154	0.144	0.046	-0.156	0.048	0.917**	0.830*
DRIm2-B	0.324**	0.218	0.149	-0.016	0.103	-0.029	0.117	-0.093	0.466	0.431
DRIm2-H	0.257*	0.166	0.146	0.102	0.049	0.045	-0.148	-0.088	0.852*	0.885*

## 3 结论

干旱胁迫下, 孕穗期叶片水势、叶肉厚、中脉粗和叶片相对含水量在耐旱稻作品种和典型水稻间存在显著差异, 这表明干旱胁迫下叶片水势、叶肉厚、中脉粗和叶片相对含水量可以反映植物抗旱性

的相对强弱, 可作为鉴定稻作品种相对抗旱性的生理指标。

叶肉厚与孕穗期生物量抗旱指数(DRIm2-B)、收获期总生物量抗旱指数(DRIm2-H)存在显著正相关, 叶片水势与产量抗旱指数和收获期总生物量抗旱指数存在显著正相关, 这表明叶片水势、叶肉厚

与干物质合成有关且叶片水势与成熟期产量构成有一定关联。

因此田间抗旱育种工作应把叶肉厚和叶片水势作为主要的筛选指标,以中脉粗、叶片相对含水量作为参考指标,综合鉴定评价不同材料间的抗旱性及其生产应用价值。

#### 4 讨论

植物的抗旱性是一个复杂的生理过程,不同的品种具有不同的抗旱机制<sup>[4]</sup>。抗旱指标的研究是作物抗旱育种工作的基础。干旱胁迫下植物的生理状态,反映了植物内部组织结构状态和维持正常生长代谢的能力,间接反映植物内在本质。生理指标与形态指标相比具有相对稳定性,因此作物抗旱性鉴定和筛选应在形态选择的基础上重视对生理指标的筛选以综合判断作物品种的抗旱性<sup>[4]</sup>。

孕穗期是植物从营养生长向生殖生长过度时期,对干旱较为敏感,是作物的干旱敏感期<sup>[5]</sup>。此时期干旱灾害可以严重影响作物的生长和产量。有研究表明水稻孕穗开花期叶片相对含水量与抗旱性显著相关<sup>[10]</sup>;干旱胁迫下耐旱稻水势阈值较高,这与胁迫下质膜完整性和质膜透性相关,可以作为作物抗旱鉴定指标<sup>[10-13]</sup>。中脉粗和叶肉厚在水稻抗旱中研究较少,本研究结果表明耐旱稻品种与传统水稻品种这2项指标在干旱胁迫下存在显著差别,可以作为反映稻品种耐旱性的指标,其中叶肉厚与叶水势也与生物产量和谷物产量有较显著相关,因此应在育种工作中加以重视。

耐旱水稻产量抗旱指数、孕穗期生物量抗旱指数较典型水稻有显著提高,但较传统旱稻与改良旱稻仍有较大差异,其成熟期生物量抗旱指数也与典型水稻无显著差异。这表明干旱胁迫下耐旱水稻和典型水稻干物质积累较旱稻品种有较大差异,单位水分干物质生产效率较低;耐旱水稻与典型水稻孕

穗期干旱胁迫处理对产量有较大影响。因此稻作品种抗旱改良中在注重提高生物量的同时,应重点关注干旱胁迫对穗发育的影响,提高孕穗期水稻对干旱胁迫的适应性以提高产量。

#### 参 考 文 献

- [1] 凌祖铭,李自超,余荣,等. 水旱栽培条件下水陆稻品种产量和生理性状比较[J]. 中国农业大学学报,2002,7(3):13-18
- [2] Wang H Q, Bouman B A M, Zhao D L, et al. Aerobic rice in northern China: opportunities and challenges[C] // Bouman B A M, Hengsdijk H, Hardy B, et al. The International Workshop on Water-wise Rice Production. Philippines: Los Banos, 2002: 143-154
- [3] 罗利军,张启发. 栽培稻抗旱性研究的现状与策略[J]. 中国水稻科学,2001,15(3):209-214
- [4] 王韶唐. 作物抗旱的生理机制[J]. 植物生理生化研究进展, 1983(1): 120-134
- [5] 余叔文,陈景治,龚灿霞,等. 不同生育时期干旱对水稻的影响[J]. 作物学报,1962(4):399-408
- [6] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. 云南农业大学学报,1989,4(1):73-81
- [7] 孔好,王忠,熊飞,等. PEG胁迫下水稻根外皮层厚壁细胞的解剖学研究[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2008,29(1):61-65
- [8] 李自超,刘文欣,赵笃乐. PEG胁迫下水、陆稻幼苗生长势比较研究[J]. 中国农业大学学报,2001,6(3):16-20
- [9] 李德全,邹琦. 测定植物组织水势的压力室法[J]. 山东农业科学,1990(3):46-48
- [10] 王贺正. 水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J]. 作物学报, 2005,31(11):1485-1489
- [11] 王昌贵,王向东,赵鹏珂,等. 栽培稻叶结构、水分生理与抗旱性关系研究[J]. 中国农学通报,2010,26(19):76-80
- [12] Yang J C, Zhu Q S, Wang Z Q. Effect of soil moisture on yield and physiological characteristics in rice[J]. Acta Agronomica China, 1995, 21(1): 110-114
- [13] Jongdee B, Fukai S, Cooper M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice[J]. Field Crops Research, 2002, 76: 153-163

责任编辑:袁文业