

文章编号: 1674-7054(2014)03-0260-05

# 干旱胁迫下山栏稻与栽培水稻品种苗期 表型性状及生理差异

刘维俊, 徐立新, 何美丹, 温泽泽, 张珈宁, 袁潜华

(海南大学 农学院, 海南 海口 570228)

**摘 要:** 测定了在干旱胁迫条件下, 山栏稻苗期的株高、叶面积等农艺性状以及叶片脯氨酸含量、MDA 含量等生理指标, 采用隶属函数法评估山栏稻抗旱能力。结果表明, 在干旱胁迫下, 山栏稻降低了地上部分的生物量并增加了地下部分的生物量, 同时, 山栏稻叶绿素含量、MDA 含量以及脯氨酸含量均有不同程度的提高; 所选山栏稻品种的隶属函数值为 0.521 和 0.673。综合实验数据和田间观察, 初步判断山栏稻苗期具有较强的抗旱特性。

**关键词:** 山栏稻; 干旱胁迫; 苗期生理生化指标; 抗旱特性

**中图分类号:** S 511

**文献标志码:** A

山栏稻盛产于海南省五指山地区, 是当地黎族饮食文化中重要的粮食作物, 煮食清香扑鼻, 酿酒甜润可口, 是黎族人迎宾待客的上品。由于山栏稻产量低, 并且其刀耕火种的种植方式对生态环境破坏较大, 不利于可持续发展, 因此, 海南省已经禁止用刀耕火种这种方式种植山栏稻<sup>[1]</sup>。但是, 作为海南最重要的旱稻资源, 山栏稻具有较强的抗旱能力, 是海南省乃至中国重要的旱稻资源之一。前人对其抗旱性鉴定仅限于农艺性状, 且对于山栏稻的报道多集中于其种质资源学方面, 鲜有对山栏稻逆境生理生化的报道。郑成木等<sup>[2]</sup>利用山栏稻和水稻杂交获得了兼具水稻高产和抗旱性的稻作新品系, 表明山栏稻在抗旱育种方面存在潜力。作物在受到干旱胁迫时, 为了适应和抵御胁迫带来的伤害, 其表型性状会有所变化, 例如降低株高、减少叶面积等, 同时, 作物体内生化调控也将发生改变, 增加叶绿素含量以提高光合效率、增加脯氨酸等渗透调节物质来调节渗透压、保护酶系统启动抵御活性氧对植物细胞的伤害等均是已报道的作物抵御干旱胁迫的方式。因此, 研究山栏稻在干旱胁迫下的表现和生理生化方面的变化, 更能明确评估山栏稻的抗旱能力, 为抗旱育种、干旱胁迫调控等提供理论参考。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 选取海南山栏稻白沙 3 号和山栏 1764 为试验材料, 并以普通栽培稻 9311(扬稻 6 号, 杂交水稻恢复系) 以及杂交水稻冈优 527 为对照。通过对 9311 苗期淀粉酶活性、叶绿素含量、游离脯氨酸含量、根系吸收面积及细胞膜透性等生理生化指标进行综合评价, 认为是抗旱性较强的水稻品种<sup>[3]</sup>。冈

收稿日期: 2014-04-09

基金项目: 转基因生物新品种培育科技重大专项(2013ZX08011-001); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201403075)资助

作者简介: 刘维俊(1989-), 男, 海南大学农学院 2011 级硕士研究生. E-mail: fjdtlwj@126.com

通信作者: 徐立新(1967-), 男, 副研究员. 研究方向: 植物生理生化. E-mail: xulixinn@163.com

优 527 具有强抗旱能力,在干旱条件下能取得较好的水稻产量<sup>[4-7]</sup>。

1.2 干旱胁迫处理 每个品种选取颗粒饱满的种子 100 粒,在 30 ℃ 条件下浸种 24 h,去掉水分,用湿毛巾包裹,然后在 32 ℃ 条件下催芽 24 h。当种子出芽长约 0.5 cm 时,选择活力一致的种子移入桶内种植,每个品种种植 9 桶,每桶 7 穴,每 3 桶为 1 组,分别设对照组、干旱处理组以及旱作处理组,桶内土壤均采自同片土地的土壤混匀后使用,每 2 d 对对照组和干旱处理组灌溉 1 次,每 4 d 对半干旱处理组进行 1 次灌溉,每次每桶灌溉水量一致。种植 40 d 后,对干旱处理组停止灌溉,其余 2 组按照原方法灌溉,处理 4 d 后收取稻苗进行后续试验。

1.3 植株苗期表型性状对比观察 将山栏稻以及作为对照的普通栽培稻 9311 分别分为干旱组、半干旱组和正常对照组,采用挂牌定株的方法对山栏稻以及 9311 苗期的株高、第 1 片完全叶叶面积、根长以及叶片卷曲程度等表观性状进行观测,每个品种观测 6~8 株,重复 3 次。

1.4 植株生理指标测定 在苗期对各稻种进行采样,剪取叶片后立即用液氮低温保存带回实验室。选定叶片叶绿素含量、MDA(丙二醛)含量以及脯氨酸含量作为抗旱生理指标对样品进行测定<sup>[8]</sup>。其中,叶绿素含量测定参照文献<sup>[9]</sup>的方法;丙二醛含量的测定采用巴比妥酸显色法<sup>[10]</sup>;脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮显色的方法<sup>[11]</sup>。

1.5 数据处理 运用 EXCEL2003 和 SPSS16.0 对所得数据进行处理,分别计算胁迫前后植株表型性状和生理指标的变化,并进行对比分析,利用 *t* 检验确定其差异显著性。

## 2 结果与分析

2.1 苗期表型性状差异 在水分不足条件下,植株通常在生长状态上会有所表现,例如株高、叶面积、根系发达程度等。从表 1 中可以看出,在水分不充足的情况下,山栏 1764、白沙 3 号与冈优 527 叶面积及株高的变化较 9311 显著,明显降低了地上部分的生物量;同时,山栏 1764、白沙 3 号与冈优 527 的根长变化比 9311 的显著,明显增加了地下部分的生物量。这样的变化有助于植株吸取更多的水分,适应水分不足的环境。

表 1 植株苗期表型性状对比  
Tab. 1 Comparison of plant morphological traits at the nursery stage

|                        | 叶面积/cm <sup>2</sup><br>Leaf area |               |                     | 株高/cm<br>Plant height |               |                     | 根长/cm<br>Root length |               |                     |
|------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------|-----------------------|---------------|---------------------|----------------------|---------------|---------------------|
|                        | 对照<br>CK                         | 干旱<br>Drought | 耐旱系数<br>Coefficient | 对照<br>CK              | 干旱<br>Drought | 耐旱系数<br>Coefficient | 对照<br>CK             | 干旱<br>Drought | 耐旱系数<br>Coefficient |
| 山栏 1764<br>Shanlan1764 | 38.01                            | 30.24         | 0.796**             | 65.46                 | 53.30         | 0.814**             | 17.38                | 22.70         | 1.306**             |
| 白沙 3 号<br>Baisha3      | 45.32                            | 37.53         | 0.828**             | 68.68                 | 61.04         | 0.889*              | 18.26                | 21.60         | 1.183**             |
| 冈优 527<br>Gangyou527   | 33.09                            | 26.34         | 0.788*              | 55.50                 | 46.18         | 0.832*              | 17.74                | 21.68         | 1.223**             |
| 9311                   | 43.44                            | 40.67         | 0.936               | 59.58                 | 59.40         | 0.997               | 16.54                | 17.30         | 1.050               |

注: 数值后方有\* 表示  $P < 0.05$  差异显著, \*\* 表示  $P < 0.01$  差异极显著  
Note: \* indicates significant difference at  $P < 0.05$ ; \*\* indicates highly significant difference at  $P < 0.01$

此外,笔者还就各品种停止灌溉后的叶片卷曲程度进行了实地观测。观测结果显示,9311 在停止灌溉 2 d 后开始出现叶片卷曲现象,而其他品种只出现叶片萎焉,光泽度降低的现象,并未出现叶片卷曲。停止灌溉 4 d 后,9311 品种卷曲程度明显高于其余 3 个品种,且部分植株叶尖出现枯黄症状(图 1)。

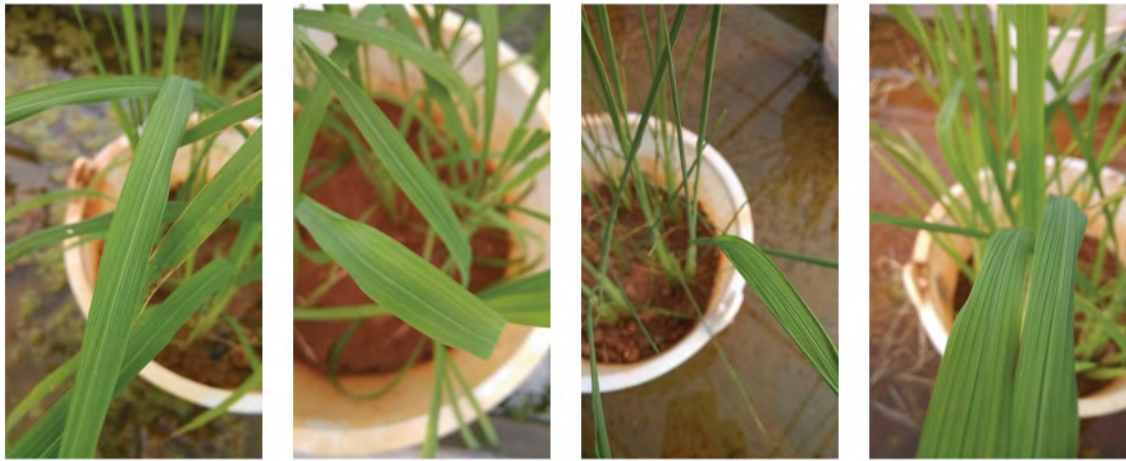


图 1 植株苗期干旱胁迫 4 d 叶片形态差异

从左至右,分别为山栏 1764、白沙 3 号、9311 和冈优 527

Fig. 1 The morphological differences in the leaves of potted seedlings under drought stress for 4 days

From the left to right are the seedlings of Shanlan1764, Baisha 3, 9311 and Gangyou527, respectively

## 2.2 苗期生理指标差异

**2.2.1 叶绿素含量差异** 叶绿素参与植物光合作用,其含量的高低直接影响着植物光合效率以及有机物的累积。在非重度干旱条件下,植物的叶绿素含量的高低,往往与其抗旱能力呈正相关<sup>[2]</sup>。在本试验中,所试材料在为期 4 d 的干旱胁迫下,叶绿素均有不同程度的增加,但由于其抗旱能力不同,增加的程度也不尽相同,其中,以冈优 527 增加的幅度最大。按其叶绿素含量多少排列为: 冈优 527 > 9311 > 山栏 1764 > 白沙 3 号。

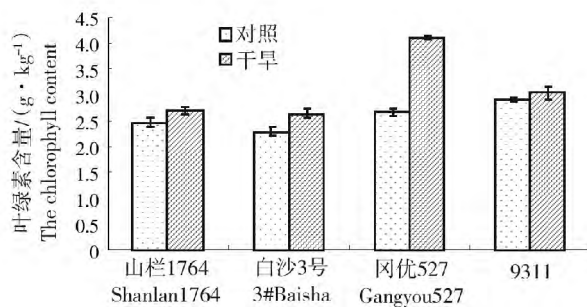


图 2 干旱胁迫下叶绿素含量测定

Fig. 2 The chlorophyll content of the leaves of rice seedlings under drought stress

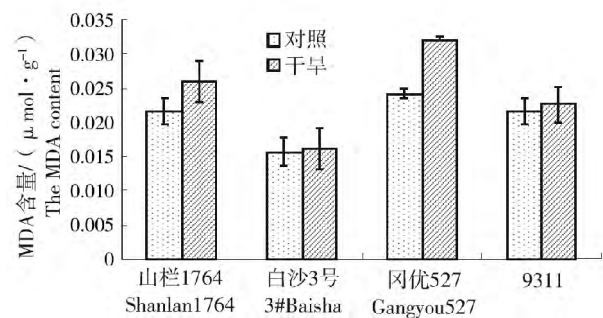


图 3 干旱胁迫下 MDA(丙二醛)含量测定

Fig. 3 The MDA content of the leaves of rice seedlings under drought stress

**2.2.2 MDA(丙二醛)含量差异** 当植物受旱所产生的自由基代谢启动膜质过氧化作用时,植物体内的 MDA 含量随之增加,而 MDA 能与细胞内多种成分发生反应,从而造成蛋白质合成受阻、细胞膜系统损伤等一系列伤害<sup>[3]</sup>。因此,MDA 含量的增加在一定程度上反映了植株在受到干旱胁迫时,活性氧清除系统的活力以及该植株应对干旱胁迫的能力。从图 3 可知,在干旱胁迫下,参试的各品系植株叶片的 MDA 含量均有不同程度的增加,但是尤以冈优 527 在胁迫前后的差异最大。按各品系 MDA 含量多少及其变化显著性排列均为: 冈优 527 > 山栏 1764 > 9311 > 白沙 3 号。

**2.2.3 脯氨酸含量差异** 脯氨酸是植物蛋白质的重要组成部分之一,脯氨酸吸湿能力强,能增加植物体内束缚水的含量,调节渗透压,同时,脯氨酸还可以对由于干旱胁迫产生的  $\text{NH}_3$  有解毒作用,维持生命活动的正常进行。在植物受到干旱胁迫时,其体内的脯氨酸含量将明显增加<sup>[4]</sup>。因此,脯氨酸的含量也在一定程度上反映了植物抗旱能力。从图 4 可知,在干旱胁迫下,各品系叶片脯氨酸含量均有较明显的增

加,其中,山栏 1764 和冈优 527 变化最显著,分别达到 297.71% 和 544.47%。各品系按脯氨酸含量变化显著性排列应为: 冈优 527 > 山栏 1764 > 白沙 3 号 > 9311。

**2.3 山栏稻苗期抗旱能力的综合评价** 采用单一指标对稻作抗旱能力进行评价往往具有片面性,因此,采用隶属函数法对各指标进行数据处理,以多指标对稻作抗旱能力进行综合评定更具准确性。通过计算,得出了 4 个稻作品种的隶属函数值: 山栏 1764 为 0.673,白沙 3 号为 0.521,冈优 527 为 0.763,9311 为 0.164。根据严明建等<sup>[14]</sup> 对抗旱程度划分标准,隶属函数值越大,植株抗旱能力越强,其中大于 0.7 的为强抗,介于 0.7 和 0.4 间的为较抗,小于 0.4 的为不抗。因此,根据各品种隶属函数值并综合实地观测结果可以初步认为,山栏稻品种山栏 1764 和白沙 3 号抗旱能力都明显强于 9311,具有较强的抗旱能力。

### 3 讨论

随着水资源愈发匮乏,研究稻作抗旱能力有助于提高水资源短缺地区的稻作产量,具有十分重大的意义<sup>[15]</sup>。郑成木等<sup>[16]</sup> 在旱地栽培条件下对山栏稻农艺性状进行测定,发现旱地栽培下山栏稻穗长、穗粒数、千粒重以及单株产量均高于对照水稻,并且山栏稻叶片离体保水率、质膜稳定性也强于对照水稻,分蘖秆长变异性明显小于对照水稻,体现出山栏稻在干旱栽培条件下较强的适应和生存能力。笔者选择具有代表性的山栏 1764 及白沙 3 号作为试验品种,在干旱胁迫下,观测山栏 1764、白沙 3 号、9311 以及冈优 527 的表型性状及生理生化指标,并采用隶属函数法对各品种的多个指标进行综合分析。初步认为,山栏稻的抗旱能力明显强于普通栽培稻 9311,稍弱于冈优 527,直接支持了早期文献中报道的山栏稻具有较强抗旱能力的论断。

本试验测定的 9311 品种在干旱胁迫下的叶绿素含量高于 2 个山栏稻品种,与以往文献所述的干旱胁迫下叶绿素含量越高抗旱性越强的结论不同<sup>[17-18]</sup>,可能是由于 9311 品种较山栏稻更能有效利用光能,光合效率更高之故。2 个山栏稻品种胁迫前后叶绿素增加程度均高于 9311,体现出山栏稻比 9311 对干旱胁迫具有更强的适应性。

就 MDA 单个指标而言,冈优 527、山栏 1764 的抗旱能力应弱于 9311,这与植株干旱胁迫表现表现和隶属函数法所得结果有差异,可能是因为冈优 527 与山栏 1764 对于干旱胁迫不如 9311 品种敏感,干旱胁迫 4 d 时,尚未启动氧化还原酶系统对植株进行保护。同时也表明,采用单一指标对植株抗旱性进行比较是片面的、不准确的。本试验引入旱作的处理方法对稻作品种表现指标进行比较,旨在模拟山栏稻野生条件下生长环境,即在土壤水分即将不足时才予以灌溉,这样可以保证稻株正常生长,避免了长期干旱处理下稻株无法正常生长而导致的试验误差,同时也可避免短期干旱处理下,稻株在表型性状上的变化不明显引起的试验误差;还可以观察稻作对水分不足的生长环境下的适应能力,更贴近缺水地区的稻作种植条件,更具现实意义。

笔者通过干旱胁迫下山栏稻比较栽培稻表现表现及生理生化指标两方面的差异,对山栏稻抗旱能力进行综合、系统的评价,不仅为山栏稻抗旱研究提供了理论参考,而且也耐旱稻新品种的选育提供了生理生化的参考指标。

### 参考文献:

- [1] 叶凡,杨小波,党金玲,等. 中国山栏稻研究进展 [J]. 作物学报,2008(2):12-14.
- [2] 郑成木,黄东益,莫饶,等. “热大 W99”序列旱稻新品种农艺特征与抗旱特性的研究 [J]. 热带作物学报,2002,21(4):52-58.

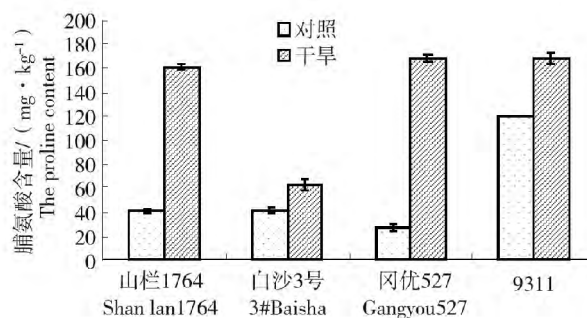


图4 干旱胁迫下脯氨酸含量测定

Fig 4 The proline content of the leaves of rice seedlings under drought stress

- [6] 孟宪梅,黄义德,李奕松,等. 水稻若干生理指标与品种抗旱性关系的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2003,30 ( 1 ): 15 - 22.
- [7] 王贺正,马均,李旭毅,等. 水稻苗期生理生化特性与品种抗旱性的关系 [J]. 华北农学报,2009,24 ( 4 ): 174 - 178.
- [8] 王贺正,马均,李旭毅,等. 水分胁迫对水稻籽粒灌浆及淀粉合成有关酶活性的影响 [J]. 中国农业科学, 2009,42 ( 5 ): 1550 - 1558.
- [9] 王贺正,李艳,马均,等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选 [J]. 作物学报,2007,33 ( 9 ): 1523 - 1529.
- [10] 张荣萍,马均,王贺正,等. 不同灌水方式对水稻结实期一些生理性状和产量的影响 [J]. 作物学报, 2008,34 ( 3 ): 486 - 495.
- [11] 敬礼恒,刘利成,梅坤,等. 水稻抗旱性能鉴定方法及评价指标研究进展 [J]. 中国农学通报,2013,29 ( 12 ): 1 - 5.
- [12] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社,2006: 130 - 134.
- [13] XIANG J, RAN J, ZOU J, et al. Heat shock factor OsHsfB2b negatively regulates drought and salt tolerance in rice. [J]. Plant Cell Reports, 2013, 32 ( 11 ): 1795 - 1806.
- [14] 朱维琴,吴良欢,陶勤南. 干旱逆境下不同品种水稻叶片有机渗透调节物质变化研究 [J]. 土壤通报,2003,34 ( 1 ): 25 - 28.
- [15] 林海妹,郭安平,王晓玲,等. 普通野生稻抗旱性初探 [J]. 中国农学通报,2009,25 ( 17 ): 124 - 128.
- [16] 刘娟,董宽虎. 干旱胁迫及复水处理对白羊草抗旱生理特性的影响 [J]. 草原与草坪,2011,31 ( 2 ): 74 - 78.
- [17] 严建明,黄文章,胡景涛,等. 应用隶属函数法鉴定水稻抗旱性 [J]. 杂交水稻,2009,24 ( 5 ): 76 - 79.
- [18] 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.
- [19] 郑成木,陈辉,黄东益. 海南山栏稻农艺特性与抗旱生理特性研究 [J]. 热带作物学报,1997,18 ( 2 ): 85 - 91.
- [20] 张旭. 水稻生态育种 [M]. 北京: 农业出版社,1991: 168 - 199.
- [21] 王泽港,梁建生,曹显祖,等. 半根干旱胁迫处理对水稻叶片光合特性和糖代谢的影响 [J]. 江苏农业研究,1999,20 ( 3 ): 21 - 26.

## The Differences in Morphological and Physiological Traits between Shanlan Upland Rice and Cultivated Rice under Drought Stress

LIU Weijun, XU Lixin, HE Meidan, WEN Zeze, ZHANG Jianing, YUAN Qianhua

( College of Agronomy, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** Shanlan upland rice Baisha 3 and Shanlan 1764 were pot cultured with common cultivated rice 9311 and hybrid Gangyou527 as control under drought stress to observe their morphological parameters ( leaf area, plant height and root length) and physiological parameters ( chlorophyll content, MDA content and proline content) , and the subordinate function value was used to assess the drought tolerance of Shanlan upland rice. Shanlan upland rice reduced the above ground biomass and increased the biomass of the underground part under the drought stress. At the same time, the chlorophyll content, MDA content and the proline content of Shanlan upland rice increased to some extent under the drought stress. The subordinate function values of the Shanlan upland rice were 0.521 and 0.673. It is inferred from the experiment data and the field observation data that Shanlan upland rice showed rather strong tolerance to drought at the nursery stage.

**Key words:** Shanlan upland rice; drought stress; physiological and biochemical indicators; drought tolerance