

旱稻的抗旱性及遗传改良研究现状

翟 伟, 胡小荣, 周红立, 陶 梅

(中国农业科学院作物科学研究所/农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081)

摘要:加强旱稻种质资源的抗旱性评价, 发掘抗旱基因资源, 加快传统旱稻品种的遗传改良, 发展旱稻生产, 对于缓解水资源短缺、充分利用土地资源、改善日益恶化的生态环境和保障全球粮食安全具有特殊的意义。本文综述了旱稻的抗旱性和遗传改良的研究现状, 并对今后旱稻的研究趋势作了初步探讨。

关键词:旱稻; 抗旱性; 遗传多样性; 遗传改良

Research Status on Drought Resistance and Genetic Improvement in Upland Rice

ZHAI Wei, HU Xiao-rong, ZHOU Hong-li, TAO Mei

(National Key Facilities for Crop Gene Resources and Genetic Improvement / Institute of Crop Sciences,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: It is of vital significance to enhance the evaluation of drought resistance of upland rice germplasm resources, explore drought-resistance gene resources, accelerate genetic improvement of traditional upland rice varieties and increase upland rice production, so as to relieve water shortage, make maximum use of limited land resources, improve the rapidly deteriorating ecological environment and ensure global food security as well. The current research status on drought resistance and genetic improvement of traditional varieties in upland rice were explored and summarized in this paper. Following this, further efforts were also devoted to a preliminary discussion of the future trends of researches on upland rice.

Key words: Upland rice; Drought resistance; Genetic diversity; Genetic improvement

水资源短缺正成为制约我国农业可持续发展的重要因素之一^[1]。减少农业用水, 特别是减少水稻用水已成为农业专家的共识^[2]。此外, 人口的迅速增长、人均可耕面积的下降、稻米需求量的增加以及生态环境的恶化也对全球粮食安全提出了严峻的挑战。旱稻作为栽培稻中的旱作生态类型, 具有耐旱性强、耐瘠性好、适应性广等特点, 是进行抗旱性遗传改良的宝贵种质资源。加强旱稻种质资源的抗旱性评价, 发掘抗旱基因资源, 加快传统旱稻品种的遗传改良, 大力发展旱稻生产, 对于缓解水资源短缺、充分利用土地资源、改善日益恶化的生态环境和保障全球粮食安全具有特殊的意义。本文在分析旱

稻抗旱性和遗传改良研究现状的基础上, 对今后旱稻研究的发展趋势作了初步探讨, 以期对旱稻的进一步研究和发展有所裨益。

1 旱稻的抗旱性研究

1.1 旱稻的抗旱性生理机制

Levitt^[3]认为作物适应干旱的机理可以分为避旱性(drought escape)、御旱性(drought avoidance)和耐旱性(drought tolerance) 3类, 其中御旱性和耐旱性合称为抗旱性。旱稻的避旱性是指通过调节生长发育进程, 在土壤水分亏缺之前完成其生活史或使水分敏感期不与早期相遇, 从而避开干旱造成的危

收稿日期: 2009-02-27 修回日期: 2010-04-14

基金项目: 科技部国际科技合作重点项目计划(2003DF010008)

作者简介: 翟伟, 在读硕士, 研究方向为旱稻种质资源的抗旱性及遗传多样性研究。E-mail: zhaiwei85@163.com

通讯作者: 陶梅, 研究员, 从事国外引种研究。E-mail: meitao@mail.caas.net.cn

害。如品种的早熟性,中国农业大学选育的极早熟麦茬旱稻品种秦爱既避开了华北的春旱,又巧妙地利用了夏季高温和高湿气候的结合,受到农民的欢迎,短期内推广面积近百万亩。旱稻的御旱性是指在干旱环境下通过增加吸水或减少失水,来保持组织水势,推迟组织脱水,主要通过根系、叶片等形态结构来实现。王正功等^[4]研究表明,旱稻根系的长度、体积和生长量均与其抗旱性呈极显著正相关,根系发达的植株具有较强的御旱性。国际稻作研究所^[5]研究认为,农家旱稻品种的叶面积通常比半矮秆水稻品种的叶面积大,但生长速度比较慢且叶片数较少。旱稻耐旱性是指原生质体忍耐脱水而永无永久伤害的特性,主要通过细胞的生物化学变化、渗透调节和酶活性的变化等来减少干旱造成的伤害,对其研究主要集中在脯氨酸等渗透调节物质的积累、细胞膜的稳定性等方面。王秀珍等^[6]研究指出,当旱稻遭遇干旱胁迫时,可溶性糖和游离氨基酸等渗透调节物质含量呈上升趋势。潘晓云等^[7]研究指出,耐旱性强的旱稻品种在相同干旱胁迫下,其细胞膜透性较小,同时过氧化物酶(POD)等保护酶活性亦较大。吴磊等^[8]在研究4个抗旱性不同的旱稻品种的细胞膜透性和保护酶活性时也得出了相似的结论。

1.2 旱稻的抗旱性鉴定

作物抗旱性不仅与作物的种类、品种的基因型、形态性状及生理生化反应等有关,还受干旱发生的时期、强度及持续时间的影响,因此,在各种逆境的抗性测定中,抗旱鉴定最困难^[9]。旱稻的抗旱性鉴定就是对旱稻的抗旱能力进行筛选和评价的过程,由于鉴定的目的和要求不同,采用的鉴定方法也不同。近年来,旱稻的抗旱鉴定方面的研究已取得了重大突破,并形成了一套行之有效的鉴定方法供研究应用,如田间直接鉴定法、干旱棚鉴定法、人工气候室鉴定法、土壤干旱胁迫鉴定和高渗透溶液鉴定法(PEG溶液、蔗糖等)等。

对作物抗旱性的研究最早是从研究抗旱鉴定指标开始的。旱稻的抗旱性可以在不同的鉴定指标上得以体现,选择相关性好的鉴定指标能更好地反映其抗旱能力。总的来说,抗旱鉴定指标可分为形态指标、生长指标和生理生化指标三大类。形态指标包括根系状况、叶片形态、株高、穗长等。凌祖铭等^[10]认为旱稻苗期的根基粗可作为苗期初步抗旱性鉴定的指标之一。张灿军等^[11]提出抽穗期的卷叶程度与品种的抗旱性呈显著负相关,即抽穗期的卷叶程度越小,抗旱性越强;同时认为旱稻的胚芽鞘

胁迫系数(胁迫胚芽鞘长/非胁迫胚芽鞘长)和株高胁迫系数(胁迫株高/非胁迫株高)可作为评价旱稻抗旱性的鉴定指标。郑成本等^[12]对海南山栏稻的农艺特征与抗旱生理特性进行研究,发现分蘖秆长变异系数与品种抗旱性存在显著正相关关系。生长指标包括种子相对发芽率、反复干旱幼苗存活率、相对抽穗日、结实率、抗旱指数、抗旱系数等。张灿军等^[11]通过研究抗旱性不同的旱稻品种的相对发芽率,结果表明抗旱性强的品种相对发芽率较高,认为种子的相对发芽率可以作为旱稻萌发期的抗旱性鉴定指标。高吉寅等^[13]研究了26个水稻品种的抗旱性,结果表明干旱10d后水稻的存活率与抗旱性显著正相关,抗旱性强的品种存活率高。抗旱育种最终目标是育成高产、抗旱的品种,因此产量是一个重要的鉴定指标。在2002年举行的全国旱稻年会上,抗旱指数已确定为旱稻抗旱性鉴定的重要指标之一。生理生化指标则很多,如叶片水势、叶片相对含水量、电导率、苗期淀粉酶的活性、叶绿素含量、脯氨酸含量、细胞质膜透性、硝酸还原酶活性、可溶性蛋白质含量、可溶性糖含量、失水速率、超氧化物歧化酶活性等^[14]。郑成本等^[15]对“热大99w”序列旱稻新品系农艺特征与抗旱特性的研究表明,质膜透性、丙二醛含量和脯氨酸含量对旱稻的抗旱性选择是有效的。

作物抗旱性评价既需要高效的评价指标,也需要在分析过程中采用科学的数量分析方法,因此选用正确的抗旱性数量分析方法,可将试验测得的数量化指标与抗旱性大小建立起对应关系。目前在旱稻的抗旱性鉴定研究中采用的数量分析方法主要有以下几种:五级评分法^[16]、抗旱总级别法^[17]、抗旱性隶属函数法^[17]、抗旱性聚类法^[18]、灰色关联度分析法^[19]等。

1.3 旱稻的抗旱基因定位

分子遗传学理论与技术的飞速发展研究作物抗旱性的遗传机理提供了有利的工具^[20]。目前,已构建起水稻、玉米^[21]、小麦、大豆等多种作物的分子遗传图谱,并标记了许多与抗旱性相关的基因。关于旱稻的抗旱性基因定位也有很多报道:Yadav等^[22]在IR64 × Azucena的DH群体中,利用RFLP标记,共发现43个QTL分布于第1、2、3、5、6、7、8和9号染色体上,控制6个根系性状,即根粗、最大根长、总根长、深根重、每分蘖根重和根茎比,并提出基因互作影响根系性状的表达。Price等^[23-24]在旱稻组合Bala × Azucena F₂群体中,发现13个QTL与不同时期最大根长、根粗和根体积有关,并且不同时期控制最大根长的QTL不同,同一QTL在根系生长的

不同时期作用不同;此外,还对气孔导度、卷叶性和抽穗期等数量性状位点进行标记作图,结果在第1号染色体上发现了1个来自于 Bala 卷叶的 QTL,在第3号和12号染色体上则发现了2个与气孔导度相关的 QTL,在第3号和7号染色体上发现了与气孔关闭相关的 QTL。

2 旱稻的遗传改良研究

2.1 旱稻种质资源及其遗传多样性

正确地评价旱稻种质资源的遗传多样性是构建其核心种质的前提和基础,将有助于发掘可利用的优异基因供旱稻遗传改良利用,也将会促进旱稻遗传多样性的保护。世界旱稻种植总面积约1400万 hm^2 ,占栽培稻总面积的11%,主要分布在亚洲、拉丁美洲和非洲。其中,亚洲旱稻种植面积为900万 hm^2 ,约占世界旱稻种植面积的2/3,主要分布在南亚和东南亚^[25]。世界旱稻种质资源绝大部分集中分布于云南、阿萨姆(印度)及近东南亚山地。我国旱稻栽培历史悠久,地区分布广,各地环境条件和栽培制度不同,因而地方品种类型也相当丰富,有籼、粳、糯和早、中、迟之分,又有适宜洼地、坡地、高原地区的不同品种。中国著名水稻专家丁颖根据地理条件和生态分布将中国的旱稻品种分为东北品种、华北品种和南方品种^[26]。韩龙植等^[27]调查统计,截止2003年,从国家长期库中保存的稻种资源类型看,在入库保存的49348份地方稻种中,旱稻占7.92%,即3908份。

分子遗传学的发展使遗传多样性的检测手段日益成熟和多样化,可以从不同的角度和层次来揭示旱稻的遗传变异。吴芳等^[28]对云南热区传统旱稻品种的数量性状进行了遗传多样性研究,结果表明该地区的旱稻具有丰富的遗传多样性,并通过聚类分析把该地区的旱稻划分为产量低、中、高3个类群。游俊梅等^[29]利用形态性状对原产贵州的地方旱稻种质资源进行了遗传多样性分析,结果表明贵州旱稻表现出丰富的遗传多样性,数量性状的多样性指数明显高于质量性状。曾莉娟^[30]利用 RAPD 标记从分子水平上检测旱稻品种间的遗传差异,结果表明旱稻基因型间有丰富的 RAPD 多态性。曾建平^[31]利用 SSR 标记分析旱稻品种的多样性,结果表明旱稻具有丰富的 SSR 多样性。

2.2 旱稻品种的遗传改良

选育耐旱、抗病、优质、高产的旱稻新品种是发展旱稻的基础。国外特别是一些旱稻主要生产国家以

及国际水稻研究所(IRRI)、国际热带农业研究中心(CIAT)、西非水稻发展协会(WARDA)等国际机构一直十分重视旱稻品种的选育。国际水稻研究所从1973年起开始开展旱稻的研究,并组建了国际旱稻遗传评价圃(International Upland Rice Observation Nursery, IURON)和国际旱稻产量评价圃(International Upland Rice Yield Nursery, IURYN),在全球范围内对旱稻资源进行多年多点评价。1991-1999年间, IURON 在全球共发放、评价757份旱稻种质,其中 IRAT109、IRAT359、IR47686、IR47684、Azucena、农林陆12、PCT5、B6824-TB-3等已被世界各国命名为旱稻新品种加以推广,或被广泛用作杂交亲本。国际热带农业研究中心(CIAT)、巴西、马达加斯加、法国等国家或国际机构采用轮回选择方法对旱稻品种进行改良,在产量和抗病方面取得了突破。西非水稻发展协会(WARDA)在种间杂交(亚洲栽培稻/非洲栽培稻)中取得了不错的成绩,主要利用非洲栽培稻的耐瘠性、抗稻瘟病等性状来改良旱稻品种。

我国旱稻育种起步较晚,但我国科学家充分利用国内丰富的种质资源,并结合现代高新技术手段,通过水旱杂交等途径选育了一批适应性广、产量较高、品质较优的新品种如郑早6号^[32]、郑早2号^[33]等,并且在粳型品种的选育方面已达到了国际先进水平,典型的品种有中国农业大学选育的秦爱、旱稻9号、旱稻297、旱稻277、旱稻502,云南省农科院选育的云陆29、滇604,以及丹东市农科院选育的丹梗系列旱稻品种。上海市农业生物基因中心已建立起科学的抗旱性评价系统,筛选出了一批优异的抗旱种质,选育出了我国南方地区第1个国家审定的旱稻品种中旱3号和世界上第1个旱稻不育系沪旱1A,使杂交旱稻在全球实现零的突破。截至目前,我国选育出的旱稻品种或品系已达100多个。除了利用传统的育种方法选育高产、优质的旱稻品种外,利用现代分子生物技术对旱稻品种的遗传改良也取得一定的进展,如已开展的转耐盐基因^[34]和转抗除草剂基因旱稻^[35]的研究。

3 旱稻研究的发展趋势

3.1 建立科学实用的抗旱性鉴定评价体系

作物的抗旱性是一个极其复杂的数量性状,是作物内在水分与生理功能相互作用以及作物与环境相互作用的结果,涉及作物细胞形态、结构性状、基因表达以及生理生化代谢等方面。作物的抗旱鉴定需要一套科学实用的鉴定评价体系作为指导。1999

年,在墨西哥召开的“分子技术与作物抗旱性国际研讨会”上,国际科学界强烈呼吁尽快研究制定科学实用的作物抗旱鉴定评价体系。广大的种质资源研究工作者和育种家也迫切希望尽早建立起科学、可靠、简便、可操作的抗旱性鉴定评价指标体系。目前,在小麦作物上制定的“小麦抗旱性鉴定评价技术规范”(GB/T 21127-2007)已作为国家标准公告实施。长期以来,国内众多的科研工作者在旱稻的抗旱性鉴定方法、抗旱指标的筛选和抗旱数据的分析等方面进行了大量的研究,但迄今尚未建立起一套科学实用的旱稻抗旱性鉴定评价国家标准体系,因此,建立起该套体系成为当务之急。现代分子生物学理论和技术的发展,也为科学家进一步阐述旱稻抗旱的生理生化 and 遗传机理提供了手段,通过多途径、多层次的优化整合研究,建立起常规技术和分子技术相结合的抗旱鉴定综合评价体系也是未来研究的重要方向之一。

3.2 加快旱稻品种的遗传改良

与水稻相比,由于旱稻在整个稻作生产中所占的比重不大,造成新品种的选育投入力度不够,品种更新速度较为缓慢,高产、优质、抗病、广适应、强耐旱性的旱稻品种数量较少。发展旱稻生产,品种是关键,培育耐旱、高产、优质、抗病、熟期多样化的旱稻品种和水旱兼用品种,以适应不同生态区域的生产需要,是今后旱稻研究的重要方向。

在品种改良上,应做到引进与选育相结合,传统育种技术与现代生物技术相结合,常规品种与杂交组合相结合^[36]。有针对性地引进世界上主要旱稻生产国近年来选育的高产、优质、抗逆性强的旱稻新品种,并在综合评价的基础上示范并推广。传统育种中,应首先选用遗传距离大、农艺性状互补、农艺性状优良、配合力高的材料作为亲本;然后选择合适的育种地点,加大对目标性状的选择压力;最后应注意采用科学的育种方法。针对旱稻品种分蘖力差、有效穗数少的问题,可以用分蘖能力强的水稻品种作亲本加以改善;针对大多数旱稻品种易感抗稻瘟病的问题,可采用抗稻瘟病的品种作亲本加以改良;针对传统旱稻品种植株高、抗倒伏性差的问题,可以通过生物技术手段导入半矮秆基因和株型改良来解决;针对旱稻生产中杂草难控制的问题,可采用生物技术手段导入抗除草基因进行改良;针对传统育种进程缓慢的问题,可采用分子标记辅助选择、单倍体培养等手段来加速育种进程。加快杂交旱稻品种的选育,充分利用旱稻的杂种优势,提高旱稻的产量潜

力,还应注意品种的区域适应性,选育各地区针对性强的优良品种。此外,还应大力加强旱稻主效抗旱基因的发掘和克隆,利用基因工程技术将这些基因导入目前大面积推广水稻品种中,培育水旱两用型品种。

3.3 加强旱稻种质资源的保护

随着高产杂交水稻的普及推广和农民对品种的人为选择,目前旱稻资源的数量正在不断减少,种植范围不断缩小,20世纪50年代,我国农家旱稻品种在21个省(自治区)、市还广为种植,如今已退缩到云南、广西、贵州、海南等一些少数民族地区,这将严重危及到旱稻种质资源的遗传多样性,也导致选育的旱稻新品种遗传基础变得越来越狭窄。因此,旱稻种质资源的保护也是今后旱稻研究的重要方向之一。

我国云南省澜沧县栽种旱稻已有400~500年的历史,有丰富的旱稻地方品种资源及栽培管理知识和经验(indigenous knowledge, IK)。据云南省思茅地区种子站对澜沧县旱稻品种的统计、整理、核对和分析,至1984年澜沧县旱稻生产种植和保存着的品种有120个。所以应积极吸取土著民族在保护和利用植物遗传资源方面的知识和经验——土著知识(IK),充分重视其在保护生态环境和包括旱稻在内的农业生物遗传资源多样性中的合理性和作用^[37]。大力开展旱稻核心种质构建研究,这将为旱稻种质资源的保存、管理、评价和利用提供理论依据。此外,还应注意合理引进国外旱稻种质资源,避免盲目引种而造成外来品种的基因逐渐替代我国特异性地方品种的基因。

参考文献

- [1] 罗良国,任爱胜,王瑞梅,等.我国农业可持续发展的水危机及广泛开展节水农业前景初探[J].节水灌溉,2000(5): 6-12
- [2] Brown L R, Halweil B. China's water shortage could shake world food security [J]. World Watch, 1998(7/8): 3-4
- [3] Levitt J. Response of plants to environmental stresses [M]. New York: Academic Press, 1980: 325-358
- [4] 王正功,胡颂平,周清明,等.巴西陆稻 IAPAR9 抗旱的根系性状[J].吉首大学学报(自然科学版),2005,26(3): 95-100
- [5] 国际水稻所.陆稻的研究[M].北京:农业出版社,1981:41-65
- [6] 王秀珍,李红云,凌祖明.水、陆稻苗期淀粉酶活性与抗旱性的关系[J].北京农业大学学报,1991,17(2): 37-41
- [7] 潘晓云,程建峰,曾晓春,等.不同药剂浸种对巴西陆稻种子萌发及幼苗抗旱性的效应[J].江西农业大学学报,1997,19(1): 5-10
- [8] 吴磊,陈展宇,张志安,等.不同旱稻品种灌浆期抗旱生理适应性研究的研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(4): 163-166
- [9] 景蕊莲.作物抗旱性研究的现状与思考[J].干旱地区农业研

- 究,1999,17(2): 79-85
- [10] 凌祖铭,李自超,余荣,等. 水、陆稻根部的研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(3): 7-11
- [11] 张灿军,姚宇卿,王育红,等. 早稻抗旱性鉴定方法与指标研究—I 鉴定方法与评价指标[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(3): 33-36
- [12] 郑成木,陈辉,黄东益. 海南山栏稻农艺特征与抗旱生理特性研究[J]. 热带作物学报,1997,18(2): 85-91
- [13] 高吉寅,胡荣海,路漳,等. 水稻等品种苗期抗旱生理指标的探讨[J]. 中国农业科学,1984,17(4): 41-46
- [14] 胡标林,李名迪,万勇,等. 我国水稻抗旱性鉴定方法与指标研究进展[J]. 江西农业学报,2005,17(2): 56-60
- [15] 郑成木,黄东益,莫饶,等. “热大 99W”序列早稻新品系农艺特征与抗旱特性的研究[J]. 热带作物学报,2000,21(4): 52-55
- [16] 侯建华,吕凤山. 玉米苗期抗旱性鉴定研究[J]. 华北农学院,1995,10(3): 89-93
- [17] 吕凤山,侯建华. 陆稻抗旱性的主要指标研究[J]. 华北农学院,1994(4): 7-12
- [18] 严学东. 早稻种质主要农艺性状与品质性状及抗旱性的遗传参数分析[D]. 广州:华南热带农业大学,2007
- [19] 程建峰,章兴发,潘晓云,等. 陆稻主要性状的产量效应及其育种应用[J]. 江西农业大学学报(自然科学版),2002,24(4): 460-463
- [20] 王阳,于永涛,王天宇,等. 作物耐旱性 QTL 定位和分析的思路[J]. 植物遗传资源学报,2009,10(1): 146-151
- [21] 王阳,刘成,王天宇,等. 干旱胁迫和正常灌溉条件下玉米产量性状的 QTL 分析[J]. 植物遗传资源学报,2007,8(2): 170-183
- [22] Yadav R, Courtois B, Huang N, et al. Mapping genes controlling root morphology and root distribution in a double haploid population of rice[J]. Theor Appl Genet,1997,94(5):619-632
- [23] Price A H, Tomos A D. Genetic dissection of root growth in rice (*Oryza sativa* L.). II: mapping quantitative trait loci using molecular markers[J]. Theor Appl Genet,1997,95:143-152
- [24] Price A H, Yong E M, Tomos A D. Quantitative trait loci associated with stomatal conductance, leaf rolling and heading date mapped in upland rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Crop Sci, 1997, 137(1):83-91
- [25] Pandey S, Thien N T, Waibel H, et al. Upland rice, household food security, and commercialization in Vietnam [M]. IRRI, 2006:3-5
- [26] 丁颖. 中国栽培稻种的分类(1959) [G]//丁颖稻作论文选集. 北京:农业出版社,1983
- [27] 韩龙植,曹桂兰. 中国稻种资源收集、保存和更新现状[J]. 植物资源遗传学报,2005,6(3): 359-364
- [28] 吴芳,殷寿华,张远辉. 云南热区传统早稻品种的形态农艺性状多样性研究[J]. 广西农业生物科学,2003,22(4): 244-248
- [29] 游俊梅,陈惠查,金桃叶,等. 贵州地方早稻种质资源遗传多样性评价[J]. 种子,2005,24(4): 79-81
- [30] 曾莉娟. 早稻种质类缘鉴定与遗传基础 PAPD 分析 [D]. 广州:中国热带农业科学院,华南热带农业大学,2002
- [31] 曾建平. 水稻穗叶 QTL 分析和早稻 SSR 标记多态性检测 [D]. 北京:中国农科院研究生院,中国水稻所,2001
- [32] 王生轩,尹海庆,王越涛,等. 高产优质早稻新品种郑早 6 号 [J]. 中国种业,2006(1):59
- [33] 王生轩,尹海庆,唐保军,等. 高产早稻品种郑早 2 号 [J]. 中国种业,2003(10):64
- [34] 陈惠. 转基因耐盐早稻的获得及转 *AtNCED3* 水稻的抗逆性研究 [D]. 北京:中国农业大学,2005
- [35] 冯秀晶. 早稻抗除草剂 Basta 基因杂交转育及其遗传规律的研究 [D]. 北京:中国农业大学,2003
- [36] 罗利军,张启发. 栽培稻抗旱研究的现状与策略 [J]. 中国水稻科学,2001,15(3):209-214
- [37] 伍绍云,游承钢,戴陆园,等. 云南澜沧县陆稻品种资源多样性和原生境保护 [J]. 植物资源与环境学报,2000,9(4): 39-43

作者: [翟伟](#), [胡小荣](#), [周红立](#), [陶梅](#), [ZHAI Wei](#), [HU Xiao-rong](#), [ZHOU Hong-li](#), [TAO Mei](#)
作者单位: [中国农业科学院作物科学研究所/农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程](#), [北京](#), [100081](#)
刊名: [植物遗传资源学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)
年, 卷(期): 2010, 11(4)

参考文献(37条)

1. [Brown L R;Halweil B](#) China' s water shortage could shake world food security 1998(7/8)
2. [罗良国;任爱胜;王瑞梅](#) [我国农业可持续发展的水危机及广泛开展节水农业前景初探](#)[期刊论文]-[节水灌溉](#) 2000(05)
3. [王秀珍;李红云;凌祖明](#) [水、陆稻苗期淀粉酶活性与抗旱性的关系](#) 1991(02)
4. [国际水稻所](#) [陆稻的研究](#) 1981
5. [王正功;胡颂平;周清明](#) [巴西陆稻IAPAR9抗旱的根系性状](#)[期刊论文]-[吉首大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(03)
6. [Yadav R;Courtois B;Huang N](#) Mapping genes controlling root morphology and root distribution in a double haploid population of rice[外文期刊] 1997(05)
7. [王阳;刘成;王天宇](#) [干旱胁迫和正常灌溉条件下玉米产量性状的QTL分析](#)[期刊论文]-[植物遗传资源学报](#) 2007(02)
8. [王阳;于永涛;王天宇](#) [作物耐旱性QTL定位和分析的思路](#)[期刊论文]-[植物遗传资源学报](#) 2009(01)
9. [伍绍云;游承俐;戴陆园](#) [云南澜沧县陆稻品种资源多样性和原生境保护](#)[期刊论文]-[植物资源与环境学报](#) 2000(04)
10. [景蕊莲](#) [作物抗旱性研究的现状与思考](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 1999(02)
11. [吴磊;陈展宇;张志安](#) [不同旱稻品种灌浆期抗旱生理适应性研究的研究](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2008(04)
12. [潘晓云;程建峰;曾晓春](#) [不同药剂浸种对巴西陆稻种子萌发及幼苗抗旱性的效应](#) 1997(01)
13. [Levitt J](#) Response of plants to environmental stresses 1980
14. [罗利军;张启发](#) [栽培稻抗旱研究的现状与策略](#)[期刊论文]-[中国水稻科学](#) 2001(03)
15. [冯秀晶](#) [旱稻抗除草剂Basta基因杂交转育及其遗传规律的研究](#) 2003
16. [陈惠](#) [转基因耐盐旱稻的获得及转AtNCED3水稻的抗逆性研究](#) 2005
17. [王生轩;尹海庆;唐保军](#) [高产旱稻品种郑旱2号](#) 2003(10)
18. [王生轩;尹海庆;王越涛](#) [高产优质旱稻新品种郑旱6号](#)[期刊论文]-[中国种业](#) 2006(01)
19. [曾建平](#) [水稻穗叶QTL分析和旱稻SSR标记多态性检测](#) 2001
20. [曾莉娟](#) [旱稻种质类缘鉴定与遗传基础RAPD分析](#) 2002
21. [游俊梅;陈惠查;金桃叶](#) [贵州地方旱稻种质资源遗传多样性评价](#)[期刊论文]-[种子](#) 2005(04)
22. [吴芳;殷寿华;张远辉](#) [云南热区传统旱稻品种的形态农艺性状多样性研究](#)[期刊论文]-[广西农业生物科学](#) 2003(04)
23. [韩龙植;曹桂兰](#) [中国稻种资源收集、保存和更新现状](#)[期刊论文]-[植物遗传资源学报](#) 2005(03)
24. [丁颖](#) [中国栽培稻种的分类\(1959\)](#) 1983
25. [Pandey S;Thien N T;Waibel H](#) Upland rice, household food security, and commercialization in Vietnam 2006

26. [Price A H;Yong E M;Tomos A D](#) [Quantitative trait loci associated with stomatal conductance, leaf rolling and heading date mapped in upland rice \(Oryza sativa L.\)](#) 1997(01)
27. [Price A H;Tomos A D](#) [Genetic dissection of root growth in rice \(Oryza sativa L.\). II:mapping quantitative trait loci using molecular markers](#) 1997
28. [程建峰;章兴发;潘晓云](#) [陆稻主要性状的产量效应及其育种应用](#)[期刊论文]-[江西农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2002(04)
29. [严学东](#) [早稻种质主要农艺性状与品质性状及抗旱性的遗传参数分析](#) 2007
30. [吕凤山;侯建华](#) [陆稻抗旱性的主要指标研究](#) 1994(04)
31. [侯建华;吕凤山](#) [玉米苗期抗旱性鉴定研究](#)[期刊论文]-[华北农学院](#) 1995(03)
32. [郑成木;黄东益;莫饶](#) [“热大99W”序列早稻新品系农艺特征与抗旱特性的研究](#)[期刊论文]-[热带作物学报](#) 2000(04)
33. [胡标林;李名迪;万勇](#) [我国水稻抗旱性鉴定方法与指标研究进展](#)[期刊论文]-[江西农业学报](#) 2005(02)
34. [高吉寅;胡荣海;路漳](#) [水稻等品种苗期抗旱生理指标的探讨](#) 1984(04)
35. [郑成木;陈辉;黄东益](#) [海南山栏稻农艺特征与抗旱生理特性研究](#) 1997(02)
36. [张灿军;姚宇卿;王育红](#) [早稻抗旱性鉴定方法与指标研究- I 鉴定方法与评价指标](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2005(03)
37. [凌祖铭;李白超;余荣](#) [水、陆稻根部的研究](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2002(03)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201004002.aspx