

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.02026

基于土壤水分梯度鉴定法的栽培稻抗旱标识品种筛选

张安宁^{1,2} 王飞名^{1,2} 余新桥¹ 梅捍卫¹ 罗利军^{1,2,*}

(¹上海市农业生物基因中心, 上海 201106; ²华中农业大学植物科学技术学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 利用土壤水分梯度鉴定法, 对 20 份在田间表现不同抗旱性的栽培稻进行了抗旱性研究。结果表明, 干旱处理 24 d 后, 正常和干旱处理的土壤含水量分别为 42.0% 和 7.9%, 在同一田块实现正常供水和干旱处理, 可鉴定栽培稻的抗旱性。以抗旱指数为指标, 把 20 份栽培稻划分为高抗、抗、中抗、中感、感 5 个抗旱级别。根据抗旱指数和综合农艺性状, 筛选出了 IR55459-05(高抗)、MARAVILHA(抗)、MONOLAYA(中抗)、IR30358-084-1-1(中感)和 IR7790-18-1-2(感)5 个抗旱级别的标识品种。这一套栽培稻抗旱鉴定流程和标识品种, 为水稻节水抗旱研究提供了参考。

关键词: 栽培稻; 抗旱鉴定; 水分梯度; 标识品种

Screening Marker Varieties with Drought Resistance in Cultivated Rice (*Oryza sativa* L.) Using Identification Method with Soil Moisture Gradient

ZHANG An-Ning^{1,2}, WANG Fei-Ming^{1,2}, YU Xin-Qiao¹, MEI Han-Wei¹, and LUO Li-Jun^{1,2,*}

(¹ Shanghai Agro-biological Gene Center, Shanghai 201106; ² College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: Twenty rice varieties with different drought resistance (DR) in the field were selected to be reevaluated on the DR degree using the identification method with soil moisture gradient. After 24 days drought stress treatment, the soil water contents in normal irrigation and drought stress treatments were 42.0% and 7.9%, respectively. The results showed that both normal irrigation and drought stress treatments in the same field were achieved at the same time. These varieties were classified into five groups based on drought index. According to drought index and major agronomic performance, five “marker variety” were selected: IR55459-05 (high resistance), MARAVILHA (resistance), MONOLAYA (medium resistance), IR30358-084-1-1 (medium susceptible), and IR7790-18-1-2 (susceptible). The marker varieties and the standard DR screening process can be used as a reference in rice drought resistance research and breeding in the future.

Keywords: Cultivated rice; Drought resistance identification; Moisture gradient; Marker varieties

干旱是造成水稻减产的最主要原因之一, 已成为制约我国水稻生产的重要因素^[1]。培育节水抗旱稻, 不但可较大程度地节约水资源, 且有利于稳产增产、节约能源和减少环境污染, 故节水抗旱水稻研究成为育种工作者关注的课题^[2]。而对栽培稻种质资源进行抗旱性评价、快捷有效地筛选抗旱育种材料, 是节水抗旱稻育种的关键技术。

目前栽培稻的抗旱鉴定方法有许多。巴西干旱地区采取最多的是时差法, 即在旱季进行抗旱性鉴定。在泰国采取的是在旱季通过喷灌系统, 形成水

分线性下降的水分梯度。印度采取大棚移动式鉴定设施, 即完全能移动的挡雨棚, 天晴时打开, 下雨时封闭。本试验采用了土壤水分梯度鉴定法, 即在玻璃大棚内, 通过排水灌溉设施实现水旱处理, 排除降雨影响和消除环境误差。

水稻抗旱性机制较为复杂, 国内外学者提出了一系列与抗旱性有关的形态、发育、生理与生化等方面的鉴定方法与指标, 如根系、叶片性状、生育期、渗透调节、脱落酸含量等, 其中一些研究利用分子标记对上述性状进行了基因定位, 并尝试通过

基金项目: 上海市科学技术委员会技术标准项目(05DZ05003)

作者简介: 张安宁(1983–), 男, 硕士研究生。

* 通讯作者(Corresponding author): 罗利军。E-mail: lijun@sagc.org.cn

Received(收稿日期): 2008-01-18; Accepted(接受日期): 2008-05-13.

分子标记辅助选择(MAS)改良抗旱性^[3-8]。但是由于大多数指标的测定工作量较大并且需要借助一些昂贵的仪器,成本较高,因此很难直接应用于水稻的抗旱鉴定。节水抗旱育种最终目的是育成高产、抗旱性强的品种,无论采用哪种鉴定指标和方法评价品种的抗旱性,都不应离开产量这个前提^[9]。因此,本研究以产量的抗旱指数为鉴定指标,对水稻的抗旱性进行直接评定。

标识品种在植物中有广泛的应用。标识品种在蔬菜等植物的新品种测试工作中应用较多,给品种性状的测定带来许多方便。在水稻的广亲和性鉴定中,利用籼粳测验种鉴别水稻的广亲和性。在水稻的抗病育种中,育种家利用鉴定品种鉴别病菌的生

理小种^[10]。但在水稻的抗旱性鉴定中,没有这方面的报道。为此,我们对 20 份抗旱表现不同的栽培稻进行了抗旱鉴定,初步筛选出了 5 个抗旱级别不同的标识品种。

1 材料与方法

1.1 田间试验

抗旱鉴定材料为 20 份栽培稻(表1),种植在上海农业科学院白鹤基地。采用随机区组设计,3 次重复,每个材料种 2 行,每行 19 株,株行距 25 cm × 20 cm,每个重复种植 2 行对照品种 IRAT109,单本种植。根据材料的播始历期分期播种,使各材料基本上同时进入幼穗分化以便进行干旱处理。

表 1 参试水稻品种的来源和类型
Table 1 The origins and types of tested cultivated rice

品种 Variety	来源地 Origin	生态型 Ecological type	籼/粳稻 <i>Indica/japonica</i>
IR55459-05	菲律宾 Philippines	水稻 Lowland	籼 <i>Indica</i>
IR43	菲律宾 Philippines	水稻 Lowland	籼 <i>Indica</i>
IR30358-084-1-1	菲律宾 Philippines	水稻 Lowland	籼 <i>Indica</i>
IR6115-1-1-1	菲律宾 Philippines	水稻 Lowland	籼 <i>Indica</i>
IR7790-18-1-2	菲律宾 Philippines	水稻 Lowland	籼 <i>Indica</i>
C22	菲律宾 Philippines	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
IAC165	巴西 Brazil	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
MARAVILHA	巴西 Brazil	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
IGUAPE CATETO	巴西 Brazil	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
BICO BRANCO	巴西 Brazil	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
CHOKOTO14	日本 Japan	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
RIKUTO NORIN21	日本 Japan	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
乌尖内田谷 Wujianneitiangu	中国 China	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
双桂占 Shuangguizhan	中国 China	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
BALA	印度 India	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
MONOLAYA	美国 United states	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
KHAU MEO	越南 Vietnam	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
IRAT10	象牙海岸 Ivory coast	旱稻 Upland	粳 <i>Japonica</i>
CICA4	哥伦比亚 Colombia	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>
JUMA11	多米尼加共和国 Diminican RP	旱稻 Upland	籼 <i>Indica</i>

1.2 抗旱设施

南北走向的玻璃大棚,棚顶为大角度开合窗,四周的塑料薄膜可自动收卷,一方面便于雨时遮盖晴时打开,另一方面以保证棚内外的空气流通和采光,棚内包括两块长 80 m,宽 8 m 的抗旱鉴定岛。岛上掺入河沙,用旋耕机深耕,使其土壤肥力均匀一致;在鉴定岛中间土面上沿南北走向安装滴灌带,

在鉴定岛四周建深 2 m 的排水沟,沟壁均匀分布大小相同的排水孔。

1.3 干旱处理

干旱胁迫前,排水沟内的水位保持在自然地下水位。7 月 27 日水稻进入分蘖盛期,停止灌水,将排水沟中的水抽出并保持沟中水位在抗旱大棚土面以下 1.8 m,并且每天开启滴灌系统,向鉴定岛中间

区域定量均匀供应 5 t 水, 以保持鉴定岛中间与两侧的土壤水分含量差距, 用 TDR 土壤含水量测定仪 (Trime FM-3, IMKO Corporation, Germany) 监控鉴定岛的水分分布情况。中午把 TDR 测定仪的探头插入土里, 测量土壤含水量体积百分比, 4 d 测定一次。在此期间, 大棚的顶棚晴时开启, 雨时关闭。水旱处理 12 d 后, 水稻进入幼穗分化期, 干旱处理的水稻材料出现干旱胁迫症状。水旱处理 40 d 后, 9 月 7 日向鉴定岛恢复供水, 解除水分干旱胁迫。

1.4 性状调查与考种

大棚内干旱敏感的材料出现缺水症状时(卷叶、顶部新叶枯死、白穗等), 记载与抗旱相关的指标, 如株高、分蘖等。在晴天的正午, 用剪刀取完全展开叶的顶端 5~10 cm, 迅速用压力室仪 (Model 1000, PMS instrument, USA) 测定叶水势, 每个材料测 3 次。在晴天 12:00—14:00 用红外冠层温度测定仪 (ST20XB, Raytek Corporation, USA) 测冠层温度, 每个材料测 3 次。

卷叶级别参照郭龙彪等^[11], 在复水前的晴朗中午进行卷叶级别调查, 评分标准如下: 1 级——叶片无卷, 生长并未受影响; 2 级——叶片部分卷缩, 有的叶尖有 1 cm 左右干枯, 基部 5%~10% 的叶片干枯, 植株生长未受影响; 3 级——叶片全部紧紧卷缩, 但在白天温度较低时部分叶片不卷缩, 大部分嫩叶枯干, 基部 25%~50% 的叶片干枯, 叶色为不正常的深绿, 生长不受影响; 4 级——叶片卷缩成筒状, 夜间仍卷缩, 上部叶片 2/3~3/4 面积大多干枯, 叶色灰暗或变黄, 生长延缓; 5 级——叶片卷缩成筒状, 夜间仍卷缩, 100% 的叶片均干枯, 植株永久萎蔫, 有些已枯死, 生长严重延缓。枯死叶记分在复水的第 2 天调查, 分为 0~4 级, 0 级无枯死叶症状, 1 级 10% 枯死叶, 2 级 20% 枯死叶, 3 级 30% 枯死叶, 4 级 40% 枯死叶, 5 级 50% 以上枯死。

待材料成熟后, 取材料最湿润和最干旱处理两端各 4 株带回室内考种。主要考察单株有效穗、每穗实粒数、结实率、千粒重和单株产量等性状。

1.5 抗旱性评价指标

目前, 水稻的抗旱性评价都是以干旱和正常条件下的产量为出发点。根据算法的不同, 衍生出许多水稻抗旱性评价指标, 如抗旱系数、敏感指数、平均产量、干旱反应指数 (DRI) 等^[12]。本实验采用了抗旱指数^[13-14]。

$$K = \frac{x_1}{CK1} \div \frac{x_2}{CK2} \tag{1}$$

式(1)中: K 为待测材料的抗旱指数; x_1 为待测材料在抗旱大棚最干旱处的单株产量 (单位: g); x_2 为待测材料在抗旱大棚最湿润处的单株产量 (单位: g); $CK1$ 为对照品种 IRAT109 在大棚最干旱处单株产量 (单位: g); $CK2$ 为对照品种 IRAT109 在大棚最湿润处单株产量 (单位: g)。

1.6 抗旱级别

根据抗旱指数, 栽培稻的抗旱性分为高抗、抗、中抗、中感、感 5 级。评价标准见表 2 (参考张灿军等^[13], 并做了修改)。

表 2 栽培稻抗旱级别划分标准

Table 2 Drought resistance scoring of cultivated rice		
抗旱级别 Drought resistance level	抗旱指数 Drought index	抗旱性评价 Drought resistance evaluation
1	≥ 1.30	高抗 High resistance
3	0.90–1.30	抗 Resistance
5	0.70–0.90	中抗 Medium resistance
7	0.35–0.70	中感 Medium susceptible
9	≤ 0.35	感 Susceptible

2 结果与分析

2.1 抗旱鉴定大棚土壤含水量变化

进入干旱胁迫后, 每隔 4 d 测一次土壤含水量。结果如图 1。在干旱胁迫前, 最湿润和最干旱处的土壤含水量分别是 44.0% 和 41.4%, 两者相近。干旱胁迫开始后, 最湿润处的含水量保持在 40.0% 左右, 而最干旱处的含水量急剧下降。干旱胁迫 24 d 后, 最湿润和最干旱处的土壤含水量分别是 42.0% 和

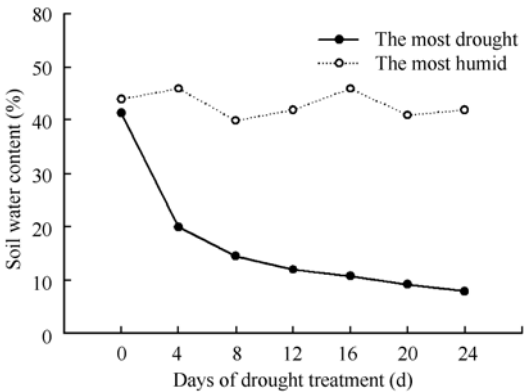


图 1 干旱胁迫期间土表 0~20 cm 土壤含水量
Fig. 1 Water content in 0–20 cm soil layer during the period of drought treatment

7.9%，相差 34.1%。以上结果表明，抗旱大棚形成了明显的土壤水分差异。最湿润处水分充足，适合水稻生长，最干旱处水分亏缺，抑制水稻生长。

2.2 水、旱处理对水稻生长发育的影响

8 月 27 日，干旱敏感材料出现缺水症状，分别取正常和干旱处的单株调查抗旱相关的指标(表 3)。与正常处理相比，在干旱处理的株高下降 16.3%，有效穗减少 25.5%，叶水势降低 15.0%，生物学产量降低 22.4%，结实率下降 52.6%，冠层温度升高 9.0%，产量减少 75.6%。在这些性状中，单株产量对干旱最敏感。方差分析表明，全部性状在正常与干旱处理

之间差异达显著或极显著水平。

正常处理的产量与干旱处理的产量正相关($r = 0.466^*$)(图 2)，在正常灌溉水平下高产的品种在干旱情况下也具有高产的潜力。这表明在水分充足的条件下选择高产材料的方法，可以提高水稻的抗旱性。

2.3 抗旱级别划分

以抗旱指数为依据，对 20 份栽培稻进行抗旱级别划分(表 4)。IR55459-05 抗旱指数最高，抗旱级别 1 级，高抗。IR43、IAC165 和 MARAVILHA 次之，抗旱级别 3 级，抗。MONOLAYA 和 BALA 抗旱级别 5 级，中抗。IR6115-1-1-1、双桂占、CHOKOTO14、

表 3 正常和干旱处理下的抗旱相关性状
Table 3 The drought-related traits under normal irrigation and drought treatments

性状 Trait	处理 Treatment	均值 Mean \pm SD	范围 Range	F 值 (处理间) F-value
株高 Plant height (cm)	n	110.35 \pm 18.70	73–157	30.66**
	s	92.38 \pm 16.83	62–140	
有效穗 Effective panicles per plant	n	9.20 \pm 6.39	1–29	5.13*
	s	6.85 \pm 4.70	1–20	
叶水势 Leaf water potential	n	–16.89 \pm 1.79	–13.5– –19.5	17.17**
	s	–19.42 \pm 1.87	–15.0– –22.5	
生物学产量 Biological yield (g)	n	52.39 \pm 35.35	5.82–159.81	4.37*
	s	40.67 \pm 24.64	8.34–138.56	
结实率 Seed setting rate (%)	n	72.40 \pm 14.70	27.00–93.80	175.15**
	s	34.30 \pm 17.50	5.30–78.70	
冠层温度 Canopy temperature (°C)	n	34.15 \pm 0.79	32.60–35.55	150.50**
	s	37.22 \pm 0.93	35.00–38.70	
单株产量 Yield per plant (g)	n	20.52 \pm 12.63	2.75–45.69	23.76**
	s	5.02 \pm 3.51	1.05–12.15	

N 表示正常处理(最湿润处)，s 表示干旱处理(最干旱处)；* 表示显著差异，** 表示极显著差异。
n: normal irrigation, s: stress; *, **: significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

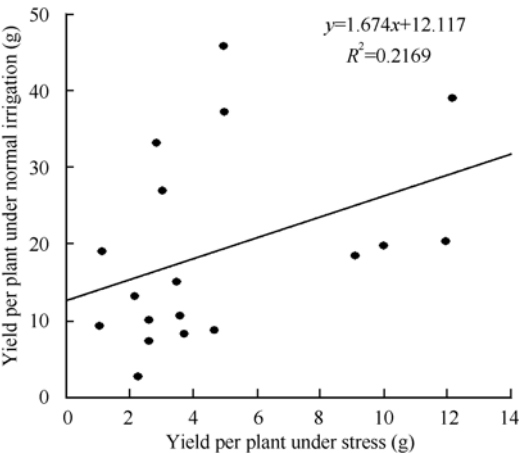


图 2 正常和干旱处理下单株产量的相关性
Fig. 2 Correlation in yield per plant between normal irrigation and drought treatments

IR30358-084-1-1、KHAU MEO、IGUAPE CATETO、BICO BRANCO 和 IRAT10 抗旱级别 7 级，中感。CICA4、乌尖内田谷、IR7790-18-1-2、C22、JUMA11 和 RIKUTO NORIN21 抗旱指数最低，抗旱级别 9 级，敏感。

2.4 抗旱标识品种的筛选

根据 20 份栽培稻的抗旱级别划分结果、生育期和田间的综合农艺性状表现，筛选出了 5 个抗旱级别不同的标识品种。他们是高抗旱品种 IR55459-05、抗旱品种 MARAVILHA、中抗旱品种 MONOLAYA、中感品种 IR30358-084-1-1、感品种 IR7790-18-1-2。它们的播始历期为 85 d 左右。干旱胁迫时，标识品种的抗旱性状表现见表 5。

表 4 栽培稻抗旱鉴定结果和抗旱级别划分
Table 4 Drought resistance identification and classification in cultivated rice

品种 Variety	抗旱指数 Drought index	抗旱级别 Drought resistance level	抗旱性评价 Drought resistance evaluation
IR55459-05	1.48	1	高抗 High resistance
IR43	1.05	3	抗 Resistance
IAC165	0.99	3	抗 Resistance
MARAVILHA	0.96	3	抗 Resistance
MONOLAYA	0.81	5	中抗 Medium resistance
BALA	0.74	5	中抗 Medium resistance
IR6115-1-1-1	0.64	7	中感 Medium susceptible
双桂占 Shuangguizhan	0.61	7	中感 Medium susceptible
CHOKOTO14	0.60	7	中感 Medium susceptible
IR30358-084-1-1	0.56	7	中感 Medium susceptible
KHAU MEO	0.51	7	中感 Medium susceptible
IGUAPE CATETO	0.47	7	中感 Medium susceptible
BICO BRANCO	0.41	7	中感 Medium susceptible
IRAT10	0.38	7	中感 Medium susceptible
CICA4	0.29	9	感 Susceptible
乌尖内田谷 Wujianneitiangu	0.24	9	感 Susceptible
IR7790-18-1-2	0.20	9	感 Susceptible
C22	0.20	9	感 Susceptible
JUMA11	0.19	9	感 Susceptible
RIKUTO NORIN21	0.15	9	感 Susceptible

表 5 干旱胁迫时标识品种的抗旱表现
Table 5 The drought resistance performance of marker varieties under drought stress

品种 Variety	卷叶级别 Leaf rolling score	枯死叶程度 Leaf death score	抽穗延迟天数 Days of delayed heading (d)	株高下降 Plant height decreased (%)	叶水势减少 Leaf water potential reduced(%)	结实率降低 Seed setting rate decreased (%)	有效穗减少 Effective panicles reduced(%)
IR55459-05	1	0	1	4	17	19.20	-16.67
MARAVILHA	1	0	6	3	24	39.20	-37.50
MONOLAYA	2	1	10	12	8	56.20	-22.33
IR30358-084-1-1	4	2	27	12	22	37.90	33.33
IR7790-18-1-2	3	1	23	30	105	43.30	53.40

—: 表示有效穗增加。 —: means effective panicles increased.

3 讨论

随着全球水资源的日益贫乏和旱灾的日趋严重,水稻的抗旱性研究显得愈来愈重要。水稻的抗旱性已成为许多育种家的重要育种目标。而一套可行的抗旱鉴定体系是进行节水抗旱稻育种工作的基础。

本研究应用土壤水分梯度鉴定法对 20 份栽培稻进行抗旱鉴定的结果表明,可以在同一田块实现水分和干旱处理,并对水稻的生长发育产生显著效果。在干旱处理下,水稻的株高、抽穗期、叶水势、冠层温度、光合速率、分蘖、包颈程度等性状都受

到严重影响(未发表)。本实验的研究结论与其他研究结果相同^[15-16]。本试验正常处理的产量与干旱处理的产量正相关($r = 0.466^*$),说明在正常灌溉水平下高产的品种在干旱情况下也具有高产的潜力。Rizza 等^[17]和 Ober 等^[18]的研究表明正常处理和干旱处理的产量正相关($r = 0.730^{***}$, $r = 0.640^{***}$),Zou 等^[19]在 2003 年和 2004 年正常和干旱处理的产量都正相关,与我们的结论一致。Mardeh 等^[20]研究表明正常和干旱处理产量负相关,与我们的结果相反。这可能是由于材料和抗旱胁迫压力不同造成的。

不同的材料对干旱处理的反应不同,比如

MARAVILHA 在干旱处理下, 叶水势和抽穗期不受影响, 但分蘖减少; IR43 在干旱处理下, 分蘖不受影响, 但叶水势和抽穗期受严重影响(未发表)。因此, 认为用抗旱相关的性状来评价水稻的抗旱性有待进一步的研究, 而用产量来直接衡量水稻的抗旱性是一种有效的方法。本实验采用抗旱指数来评价抗旱性, 可以较真实地反应水稻的抗旱性。经过抗旱鉴定, 筛选出一些抗旱性较好的材料, 如 IR55459-05、IR43、IAC165 和 MARAVILHA 等, 为今后的节水抗旱育种工作的亲本选择提供了参考。

水稻的抗旱鉴定方法有许多, 如田间直接鉴定法、盆栽法、根管实验、实验室鉴定(常用高渗溶液法、反复干旱法)。本研究的抗旱鉴定方法与这些鉴定方法相比, 具有很多优点。土壤水分梯度鉴定法在同一田块实现了正常和干旱处理, 尽量避免了其他因素对实验的影响。可以严格地控制水分的供应, 不受天气的影响, 并且可以对水稻各个生育时期进行抗旱鉴定。另外, 在抗旱大棚的田块进行, 尽可能地模拟了田间环境, 实验所得结果可以直接应用到水稻的抗旱育种工作中。这一套抗旱鉴定方法为以后的节水抗旱育种工作提供了新的手段。

标识品种是为了特定的目的筛选出来的具有代表性的品种。本研究根据材料的抗旱鉴定结果、生育期和综合农艺性状表现, 筛选了 5 个抗旱性不同的标识品种。这些标识品种的确立, 将会进一步规范抗旱鉴定试验, 使不同抗旱鉴定方法所得的结果具有可比性, 促进节水抗旱稻的发展。

4 结论

土壤水分梯度鉴定法可在同一田块实现水分正常和干旱两种处理, 消除环境误差, 准确地鉴定材料的抗旱性。对 20 份栽培稻进行了抗旱性分级, 并筛选出 IR55459-05、MARAVILHA、MONOLAYA、IR30358-084-1-1 和 IR7790-18-1-2 这 5 个抗旱性不同的标识品种。

References

- [1] Zhang Y-Z(张燕之), Zhou Y-H(周毓珩), Zeng X-K(曾祥宽), Zou J-C(邹吉承), Wang C-H(王昌华), Wang H(王辉), Cao B-C(曹炳晨), Liu W(刘宛). Studies on the index of drought-resistance in some rice varieties. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 2002, 32(2): 90-93 (in Chinese with English abstract)
- [2] Luo L-J(罗利军), Zhang Q-F(张启发). The status and strategy on drought resistance of rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2001, 15(3): 209-214 (in Chinese with English abstract)
- [3] Ray J D, Yu L, McCouch S R, Champoux C M, Wang G, Nguyen H T. Mapping quantitative trait loci associated with root penetration ability in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet*, 1996, 92: 627-637
- [4] Lilley J M, Ludlow M, McCouch S R, O'Toole J C. Locating QTL for osmotic adjustment and dehydration tolerance in rice. *J Exp Bot*, 1996, 47: 1427-1436
- [5] Swamy P M, Smith B N. Role of abscisic acid in plant stress tolerance. *Curr Sci*, 1999, 76: 1220-1227
- [6] Zou G H, Mei H W, Liu H Y, Hu S P, Yu X Q, Li M S, Luo L J. Grain yield responses to moisture regimes in a rice population: Association among traits and genetic markers. *Theor Appl Genet*, 2005, 112: 106-113
- [7] Jongdee B, Fukaib S, Cooperb M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crops Res*, 2002, 76: 153-163
- [8] Liu L-F(刘立峰), Mu P(穆平), Zhang H-L(张洪亮), Wang Y(王毅), Qu Y-Y(曲延英), Li Z-C(李自超). Marker-assisted selection and its verification for QTLs of basal root thickness and index of drought resistance in lowland rice and upland rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(2): 189-196 (in Chinese with English abstract)
- [9] Cheng J-F(程建峰), Pan X-Y(潘晓云), Liu Y-B(刘宜柏), Dai T-B(戴廷波), Cao W-X(曹卫星). Morphological indexes of drought resistance identification in rice. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, 25(11): 3117-3125 (in Chinese with English abstract)
- [10] Ji G-H(姬广海), Xia X-R(夏贤仁), Xiao L-T(肖鲁婷), Guang X-F(管旭芳). Preliminary analysis in race of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in Yunnan and screening of differential varieties. *J Yunnan Agric Univ* (云南农业大学学报), 2004, 19(5): 541-545 (in Chinese with English abstract)
- [11] Guo L-B(郭龙彪), Qian Q(钱前). Field identification of cultivar rice drought resistance. *Chin Rice* (中国稻米), 2003, 2: 26-27 (in Chinese)
- [12] Lan J-S(兰巨生), Hu F-S(胡福顺), Zhang J-R(张景瑞). The concept and statistical method of drought resistance index in crops. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 1990, 5(2): 20-25 (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhang C-J(张灿军), Yao Y-Q(姚宇卿), Wang Y-H(王育红), Lü J-J(吕军杰), Zhang J(张洁), Li J-H(李俊红), Wang C-H(王聪慧). Study on resistance drought identify method and evaluation index of dry-land rice: I. Identify method and evaluation index. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2005, 23(3): 33-36 (in Chinese with English abstract)
- [14] Yu X-Q(余新桥), Mei H-W(梅捍卫), Liu K(刘康), Li M-S(李明寿), Liang W-B(梁文兵), Luo L-J(罗利军). Breeding and utilization of drought-resistant rice CMS line "Huhan1A". *Acta Agric*

- Shanghai* (上海农业学报), 2006, 22(2): 32–35 (in Chinese with English abstract)
- [15] Zhang J X, Nguyen H T, Blum A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J Exp Bot*, 1999, 50: 291–302
- [16] Yue B, Xue W Y, Xiong L Z, Yu X Q, Luo L J, Cui K H, Jin D M, Xing Y Z, Zhang Q F. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: Separation of drought tolerance from drought avoidance. *Genetics*, 2006, 172: 1213–1228
- [17] Rizza F, Badeck F W, Cattivelli L, Lidestri O, Di Fonzo N, Stanca A M. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci*, 2004, 44: 2127–2137
- [18] Ober E S, Clark C J A, Le Bloa M, Royal A, Jaggard K M, Pidgeon J D. Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet: Agronomic traits of diverse genotypes under drought and irrigated conditions. *Field Crops Res*, 2004, 90: 213–234
- [19] Zou G H, Liu H Y, Mei H W, Liu G L, Yu X Q, Li M S, Wu J H, Chen L, Luo L J. Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *J Integr Plant Biol*, 2007, 49: 1508–1516
- [20] Mardeh A S S, Ahmadi A, Poustini K, Mohammadi V. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Res*, 2006, 98: 222–229