

携带空心莲子草 DNA 片段的水稻导入系耐旱生理评价

凌英华¹, 赵芳明¹, 杨正林¹, 张海军¹, 桑贤春¹, 杨前进², 何光华¹

(¹西南大学水稻研究所/农业部西南作物遗传改良与育种重点开放实验室, 重庆北碚 400715;

²安徽省农科院绿色食品工程研究所, 合肥 230031)

摘要:以 8 个导入了空心莲子草 DNA 的水稻导入系和 2 个对照品种(原受体 6527 和巴西陆稻)为材料, 采用裂区试验设计, 在干旱胁迫条件下测定其剑叶的超氧化物歧化酶、丙二醛、电导率、脯氨酸、叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量等生理指标, 并进行主成分分析和逐步回归分析。结果表明, 导入系 H8 的产量、综合评价价值和耐旱指数明显大于对照, 其耐旱性强。主成分分析和最优回归方程分析均表明丙二醛、脯氨酸、叶绿素和电导率等对水稻耐旱性有显著影响, 可作为水稻耐旱性生理评价的重要参考指标。

关键词:导入系; 耐旱; 生理指标; 综合评价; 耐旱指数

Physiological Characterization of Drought Tolerance among Rice Introgression Lines Containing the DNA Fragments from *Alternanthera philoxeroides* Griseb

LING Ying-hua¹, ZHAO Fang-ming¹, YANG Zheng-lin¹, ZHANG Hai-jun¹, SANG Xian-chun¹,
YANG Qian-jin², HE Guang-hua¹

(¹Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Breeding of Southwestern China, Ministry of Agriculture/ Rice Research Institute, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715; ²The organic foods institute of Anhui agriculture science faculty, Hefei 230031)

Abstract: Eight rice introgression lines carried DNA fragments from *Alternanthera philoxeroides* Griseb and two CKs, including the receptor 6527 (CK₁) and a rice cultivar of IAPAR-9 (CK₂) with high drought tolerance were used to analyze the physiological characterization of drought tolerance with a split plot design. Seven physiological parameters, including the activity of superoxide dismutase, malondialdehyde content, conductivity, proline content, and content of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll were assayed with the stepwise lineal regression analysis and the principal component analysis. The results showed that the introgression line H8 possessed a stronger overall drought-tolerant performance than CK₁ and CK₂. Furthermore, the results also suggested that MDA, proline, chlorophyll and conductivity could be used as informative indicators in the physical characterization of drought tolerance in rice research.

Key words: Introgression line; Drought tolerance; Physiological index; Comprehensive evaluation; Drought tolerance index

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是重要的粮食作物, 主要集中在亚洲东部和南部^[1-2], 解决了世界上 1/3 以

上人口的粮食问题^[3-4]。作为一种世界性的重要农作物, 水稻产量的稳定关系到世界粮食产量的发展

收稿日期: 2010-03-21 修回日期: 2010-07-02

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目 (CSTC, 2007AC1051, 2007AB1033, 2007AA1019); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD01A01)

作者简介: 凌英华, 助理研究员, 研究方向为水稻遗传育种。E-mail: lingyh003@126.com

通讯作者: 何光华, 教授, 博士生导师, 研究方向为水稻遗传育种与生物技术。E-mail: hegh@swu.edu.cn

与稳定。影响水稻产量的众多因素中,除生物因素外,非生物因素也是十分重要的,而干旱是仅次于病虫害的一种非生物因素。针对干旱对水稻产量的影响,不同学者开展了多方面的研究,包括利用重组近交系(recombinant inbred lines, RILs)以及高产品种的杂交分离后代($F_{2,4}$)进行水稻耐旱/抗旱性的筛选与鉴定^[5-6],水稻生殖生长期耐旱/抗旱性的遗传分析^[7]、遗传基础解析^[8]、关键生化途径的变化分析^[9]以及相关的 QTL 定位^[10-12]。这些结果为研究水稻在不同发育时期对于旱胁迫的应答以及水稻耐旱机理提供了有益的参考和指导,然而在水稻的耐旱性育种应用中如何科学而快速地进行评价,研究较少。

空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* Griseb)对极端环境具有极强耐受性^[13],本研究用浸胚法将其 DNA 导入水稻常规品种 6527 中,并以该受体为背景的 8 个导入系(introgression lines, ILs)为研究

材料,采用裂区试验设计在水分胁迫条件下进行耐旱生理特性研究。通过考察各项生理指标,筛选出与耐旱密切相关的指标,为水稻耐高温品种的选育及其评价提供参考与依据。

1 材料与方法

1.1 材料

用 DNA 溶液浸胚法将空心莲子草基因组片段导入常规稻 6527,经过 23 代连续自交,获得了一批携带空心莲子草 DNA 片段的水稻导入系。选取覆盖水稻全基因组的 SSR 标记对供体(空心莲子草)、受体(6527)以及所获得的导入系进行分子鉴定后,选取差异带清晰且带型稳定的 8 个导入系为研究材料(图 1),编号分别为 H1、H2、H3、H5、H6、H7、H8 和 H9(其中由于 H4 和 H10 苗数不足,因此未参与田间试验),以原始受体 6527(CK_1)与巴西陆稻 IA-PAR-9(CK_2)作为对照。

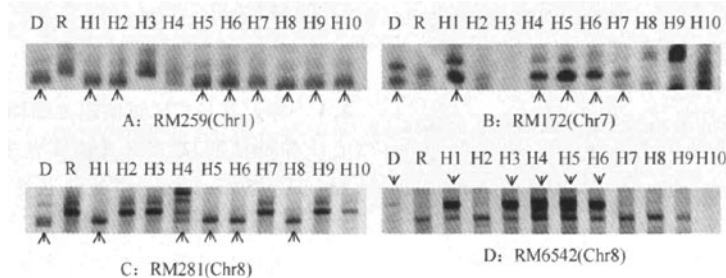


图 1 10 个导入系中导入 DNA 片段的 SSR 标记验证

Fig. 1 SSR-based molecular proves of the introgressed DNA fragments of 10 introgression lines

D: 供体空心莲子草; R: 受体水稻 6527; H1 - H10: 10 个不同的导入系; 箭头: H1 - H10 中所导入的空心莲子草的不同 DNA 片段

D: the donor of *Alternanthera philoxeroides*, R: the receptor of rice line 6527, H1 - H10: the 10 introgression lines, arrows: the DNA segments of *Alternanthera philoxeroides* that introgressed into the introgression lines

1.2 试验设计

试验于西南大学试验基地水泥槽里进行,其涂层为 13cm。早棚内的水泥槽棚顶用硬有机透明材料建造。采用裂区设计,主处理为 A,分 A1(旱处理)和 A2(正常水栽)两个水平,B 因素为 8 个水稻导入系和 2 个对照品种,重复 3 次。每小区栽 5 行,每行栽 8 株。通过分期播种使各导入系和对照品种的成熟期一致。按各导入系和对照品种的生育期长短,分 3 期播种,3 月 18 日播受体 6527(CK_1),3 月 23 日播 H2、H7、H8、H9、巴西陆稻(CK_2),3 月 30 日播 H1、H3、H5、H6。分别于 4 月 21 日和 5 月 13 日栽秧,水作播于无顶水泥槽,旱作播于有顶水泥槽。单株栽插,26.4cm × 16cm(行距 × 株距)。各小区肥力条件一致,水、旱区除

灌水处理外其他栽培措施相同,皆为常规管理。旱区苗期正常灌水,拔节后,放水旱栽,进行干旱处理。在成熟期各小区全部收获进行测产,然后换算为每 hm^2 产量,用于后续的方差分析以及耐旱指数等参数的计算。

1.3 土壤相对含水量以及生理指标测定

在抽穗期,采集干旱处理下各小区 25 cm 土层的土样,用于土壤相对含水量的测定,每小区按照九宫格布局取 9 个点采集土样,采样区距水泥槽壁 10cm 以外,采用烘干称重法测定各土样的相对含水量^[14]。在同一发育时期,随机采集各小区(包括干旱处理与对照)试验材料的 3 株剑叶,测定相关生理指标。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性采用南京建成生物工程研究

所的SOD试剂盒测定;丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法测定^[15];电导率(conductivity, Con)采用电导率仪 DDS-307型测定^[16];脯氨酸(proline, Pro)含量采用茚三酮显色法测定^[17];叶绿素a(Chl a)与叶绿素b(Chl b)以及总叶绿素(Chl)含量均采用乙醇丙酮混合液法测定^[18]。

1.4 耐旱指数、隶属函数 $[\mu(X_j)]$ 、综合指标权重 (W_j) 及综合评价 (D_j) 计算

耐旱指数参照张灿军等^[19]方法计算,即耐旱

$$\text{指数}(DI) = \frac{Y_a^2}{Y_b} \times \frac{Y_{ck_b}}{Y_{ck_a}^2}$$

其中, Y_a 、 Y_{ck_a} 分别为材料与对照(CK)的旱作产量, Y_b 、 Y_{ck_b} 分别为材料与CK的水作产量。

隶属函数 $\mu(x_j)$ 、综合指标权重 w_j 及综合评价 D_j 参照王贺正^[20]方法计算。

$$\text{隶属函数 } \mu(x_j) : \mu(x_j) = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad j = 1,$$

2, 3, ..., n

其中 x_j 表示主成分分析中第 j 个综合指标, x_{\min} 表示第 j 个综合指标的最小值, x_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值。

$$\text{综合指标权重 } w_j : w_j = \frac{p_j}{\sum_{j=1}^n p_j} \quad j = 1, 2, 3,$$

..., n

式中 w_j 表示主成分分析中第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度, p_j 为各导入系第 j 个综

表1 各导入系及对照试验小区抽穗期土壤含水量

Table 1 Soil moisture of each experimental block for ILs and CKs at heading stage

(%)

材料 Material	H1	H2	H3	H5	H6	H7	H8	H9	CK ₁	CK ₂
含水量 Moisture	5.37 ± 2.03	7.72 ± 1.13	7.89 ± 3.43	8.65 ± 0.28	8.04 ± 0.71	7.94 ± 1.38	7.71 ± 2.09	7.72 ± 1.32	5.80 ± 2.72	7.80 ± 1.44
差异显著性检验	F = 0.962, P = 0.5005									

土壤含水量以平均值 ± 标准差表示; Mean ± s

2.2 导入系与CK在7个生理指标上的方差分析

方差分析结果显示, 区组间除Chl b和Chl外, 各生理性状无显著差异; 除Chl b含量差异不显著外, 8个导入系与2个CK在SOD等6个生理指标及其产量上的差异均达到显著或极显著水平; 在水旱处理之间, 所有研究材料的7个生理指标之间均达显著或极显著差异, 表明干旱胁迫对水稻生理有真实影响(表2)。

合指标的贡献率。

$$\text{综合评价 } D_j : D_j = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \cdot w_j] \quad j = 1, 2,$$

3, ..., n

式中 D_j 值为各导入系在干旱条件下用综合指标评价所得的耐旱性综合评价。

预测值(value of prediction, VP)通过逐步回归分析建立最优回归方程后, 将各材料相应的测定数据代入方程所得值, 该值可辅助检测所建方程的准确性。

1.5 数据统计分析

各研究材料之间在不同生理指标上的差异采用方差分析, 根据各生理指标的测定值, 进一步计算指标之间的相关系数。采用主成分分析评价各生理指标对导入系耐旱性的贡献率, 并利用逐步回归法建立综合耐旱指数与7个测定的生理指标之间的最优回归方程。所有的数据分析均应用DPS V3.01统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 导入系与CK试验田抽穗期土壤含水量

在抽穗期, 重复3次测定8个导入系及2个对照(CK₁与CK₂) 在干旱处理下各小区25cm土层的土壤相对含水量(表1), 并对其进行F测验。结果表明, 各小区之间的土壤含水量差异不显著($F = 0.962, P = 0.5005$), 说明本试验各材料的干旱处理均是在比较均匀一致的土壤水分条件下进行的。

2.3 导入系与CK各生理指标的旱/水相对值及耐旱指数

耐旱指数是从产量上综合反映研究材料耐旱性的指标, 而各项生理指标的旱/水相对值均能在生理上反映耐旱性。对抽穗期的8个导入系与2个CK的7个生理指标的旱/水相对值及分别以原受体6527和巴西陆稻为对照的耐旱指数DI1和DI2进行了耐旱性分析(表3), 结果表明: 当以6527为对

表 2 各生理指标及产量的方差分析 (F 值)Table 2 ANOVA (F value) of physiological index and yield of ILs and CKs

变异来源 Source of variation	自由度 df	超氧化物 歧化酶 SOD	丙二醛 MDA	电导率 Con	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl	产量 Yield
区组间	2	0.19	0.46	0.77	0.28	2.12	6.05**	4.12*	0.15
材料间	9	4.07**	2.23**	3.85*	3.87*	3.65**	2.01	3.88**	8.20**
处理间	1	126.67**	26.48*	55.94**	109.78**	4.49*	11.78**	9.66**	49.37**
材料 × 处理	9	1.68	0.86	2.35*	29.00*	0.89	1.45	1.21	0.58

* 表示在 5% 水平上差异显著; ** 表示在 1% 水平上差异显著。下同

* significant at 5% level, ** significant at 1% level. The same as below

表 3 各单项指标的旱/水相对值及耐旱指数

Table 3 Relative value of the single index and drought-resistant index

材料 Material	超氧化物 歧化酶 SOD	丙二醛 MDA	电导率 Con	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl	产量 Yield	D11	D12
H1	0.64	1.51	1.47	3.04	0.79	0.59	0.74	0.70	1.17	0.79
H2	0.36	1.96	1.48	2.30	0.99	0.75	0.87	0.61	1.29	0.87
H3	0.39	1.16	1.37	3.49	0.78	0.77	0.78	0.60	0.90	0.61
H5	0.18	1.13	1.85	2.29	0.94	0.91	0.93	0.67	1.21	0.81
H6	0.25	1.57	1.65	4.17	0.96	0.84	0.90	0.84	1.86	1.25
H7	0.28	1.21	1.24	2.30	0.90	0.93	0.92	0.69	1.65	1.11
H8	0.59	2.38	1.76	4.38	0.91	0.95	0.93	0.85	2.22	1.49
H9	0.76	1.41	1.13	4.00	0.94	0.97	0.96	0.63	1.35	0.91
CK ₁	0.31	1.93	1.34	2.78	0.82	0.84	0.83	0.55	1.00	0.67
CK ₂	0.58	1.25	1.63	4.61	0.98	0.68	0.83	0.71	1.48	1.00

照时,巴西陆稻的 DI 为 1.48,对干旱表现为高抗;而当以巴西陆稻为对照时,6527 的 DI 仅为 0.67,对干旱表现为弱抗性。这一结果表明巴西陆稻比 6527 具有更强的耐旱性。尽管 6527 与巴西陆稻的耐旱性之间存在差异,但基于这 2 个 CK 所计算的 DI 在各导入系之间的变化趋势完全一致(表 3)。

从表 3 可以看出,各导入系的 D11 和 D12 变化趋势一致,因而用 D11 和 D12 均可反映各品系的相对耐旱性。此外在干旱处理条件下,除剑叶的丙二醛、电导率、脯氨酸含量增加外(相对值大于 1),其余各指标均下降(相对值小于 1),可明显看出,各导入系与对照相比,下降或增加的幅度有很大差异。

表 4 各生理指标及产量之间的相关分析

Table 4 Correlation analysis among 7 physiological parameters and yield

指标 Index	超氧化物歧 化酶 SOD	丙二醛 MDA	电导率 Con	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl	产量 Yield
丙二醛 MDA	0.01							
电导率 Con	-0.35	0.18						
脯氨酸 Pro	0.32	0.16	-0.11					
叶绿素 a Chl a	-0.31	0.07	0.32	0.06				
叶绿素 b Chl b	-0.23	0.13	-0.09	0.42	0.28			
总叶绿素 Chl	-0.30	0.12	0.08	0.36	0.66*	0.89**		
产量 Yield	-0.06	0.26	0.58*	0.66*	0.33	0.14	0.30	
D11	-0.10	0.45	0.38	0.75**	0.50*	0.41	0.56*	0.89**

虽然 DI 的分析结果显示巴西陆稻的耐旱性高于 6527,但这 2 个 CK 在所测定的各生理指标上的变化基本是一致的(表 3),且 D11 的值比 D12 相对较大,因此,在进行相关分析以及后续的主成分等分析过程中,均以受体亲本 6527(CK₁)为对照进行。

相关分析结果显示,Pro、Chl a 以及 Chl 与 D11 之间呈显著或极显著正相关,MDA、Con 以及 Chl b 与 D11 之间表现为正相关,但相关性不显著,而 SOD 则与 D11 之间表现为较弱的负相关。尽管 Chl a 与 Chl b 之间相关不显著,但与 Chl 之间则均达到显著或极显著正相关。而 Pro、Con 及 D11 与产量之间呈显著或极显著正相关(表 4)。

2.4 各生理指标的主成分分析及耐旱性综合评价

主成分分析结果显示,前4个主成分的贡献率分别为39.88%、21.06%、16.45%和9.95%,其累积贡献率达87.34%,表明这4个综合指标代表了原来9个(7个生理指标+DII+产量)单项指标的87.342%的信息。即通过主成分分析,将原来的9个单项指标转换为4个新的相互独立的综合指标。

由主成分分析所确立的4个新的综合指标中

(表5),第一主成分(PCo 1)中DII(49%)、Chl与产量(均为41%)的特征向量值较大,因此将该主成分确定为叶绿素因子与产量因子。第二主成分(PCo 2)中SOD(60%)与Pro(50%)特征向量值则相对较高,分别与植物体内活性氧化和渗透调节有关^[20]。第三主成分(PCo 3)中Con(61%)最大,与质膜透性有关;第四主成分(PCo 4)中MOA(91%)的特征向量值相对较大,是膜脂过氧化产物。因此将PCo 3和PCo 4主成分确定为质膜透性因子。

表5 各主成分的特征根值及贡献率

Table 5 Eigenvalue of principal components (PCOs) and contribution

主成分 PCo	超氧化物 歧化酶 SOD	丙二醛 MDA	电导率 Con	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl	产量 Yield	DII	贡献率(%) Contribution
PCo 1	-0.12	0.20	0.21	0.34	0.33	0.33	0.41	0.41	0.49	41.16
PCo 2	0.60	0.17	-0.21	0.50	-0.36	-0.15	-0.26	0.24	0.19	19.05
PCo 3	-0.13	0.18	0.61	-0.19	0.02	-0.52	-0.38	0.34	0.12	17.85
PCo 4	-0.09	0.91	-0.08	-0.20	-0.18	0.15	0.01	-0.24	0.00	9.85
累计贡献率(%) Accumulated contribution										87.90

根据各主成分的特征根值(表5)及各单项指标的相对值(表3)求出每一导入系及对照品种的4个综合指标值,并以此为基础计算出隶属函数值 $\mu(x_j)$ 、综合指标权重 w_j 、综合评价值 D_j 和预测值

VP(表6)。对于同一综合指标而言,根据各品种隶属函数值的大小可对其耐旱性进行分级,而综合评价价值可反映不同品系间的耐旱性强弱。因而可依据综合评价价值对水稻各导入系耐旱性强弱进行排序。

表6 各导入系综合指标值、隶属函数、权重、综合评价值和预测值

Table 6 The value of comprehensive index, $\mu(x_j)$, indexweight, comprehensive evaluation and prediction of each introgression line.

材料 Material	CI(1)	CI(2)	CI(3)	CI(4)	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	D	VP
H1	-2.48	1.52	1.58	-0.13	0.00	0.96	1.00	0.38	0.45	0.42
H2	-0.51	-1.44	0.52	1.16	0.32	0.30	0.75	0.81	0.46	0.44
H3	-2.70	1.16	-0.46	-0.51	-0.04	0.88	0.53	0.25	0.31	0.29
H5	0.28	-2.78	0.44	-0.63	0.45	0.00	0.74	0.21	0.38	0.36
H6	2.31	-0.20	0.93	-0.60	0.78	0.58	0.85	0.22	0.69	0.69
H7	0.97	-0.13	-1.59	-0.70	0.56	0.59	0.27	0.19	0.47	0.44
H8	3.67	1.69	0.69	1.15	1.00	1.00	0.79	0.80	0.94	0.91
H9	0.39	0.58	-2.74	-0.21	0.47	0.75	0.00	0.35	0.42	0.40
CK ₁	-1.82	-0.61	-0.50	1.74	0.11	0.49	0.52	1.00	0.37	0.37
CK ₂	-0.13	0.20	1.12	-1.27	0.38	0.67	0.89	0.00	0.51	0.48
权重 w_j	-	-	-	-	0.47	0.22	0.20	0.11	-	-

为了更直观地评价各系的耐旱性,以D值、DII值及产量相对值(耐旱系数)进行类平均法(UPGMA)聚类(图2)。聚类结果显示,以D值为标准可将8个导入系及2个对照品种划分为3类,第1类包括H8和H6,第2类包括H1、H2、H7、H9和巴西陆稻,第3类包括H3、H5和6527(图2-A)。以

DII值为标准同样可分为3类,第1类仅包括H8,第2类包括H6、H7和巴西陆稻,第3类则包括H1、H5、H2、H9、H3以及6527(图2-B)。以产量相对值为标准,8个导入系与2个CK同样被划分为3类,第1类包括H8和H6,第2类包括H1、H7、H5和巴西陆稻,第3类为H2、H3、H9和6527(图2-

C)。从基于不同参数的分类来看,2 个对照均被划分到不同的类群,而导入系 H8 则均独立于 2 个对照所处类群之外。结合这些导入系以及 2 个对照在所评价的生理参数以及产量上的综合表现,各不同分类方法所得到的 3 个类群在耐旱性上的表现依次

为:第 1 类为强耐旱型,第 2 类为中度耐旱型,第 3 类的耐旱性则最弱。除此以外,分类结果还显示,最耐旱的材料和最不耐旱的材料在不同的分类方法中的聚类结果基本相同,而中度耐旱型的材料,由于评价标准的不同,其聚类结果则存在一定差异(图 2)。

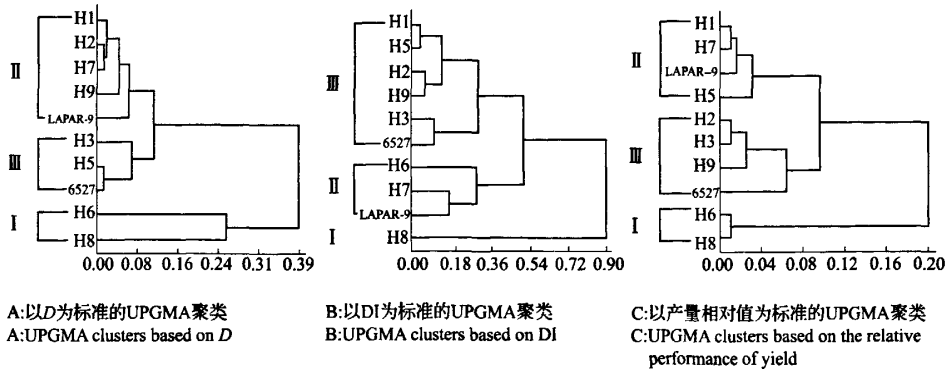


图 2 水稻导入系及对照品种的聚类图

Fig. 2 Dendrogram of 8 ILs and 2 CKs based on the parameters of comprehensive evaluation (D) and drought tolerance index (DI)

2.5 耐旱生理指标筛选

由于耐旱性综合评价值(D 值)与耐旱指数(DI)、产量相对值(耐旱系数)基本吻合,呈极显著正相关(相关系数分别为 $r=0.937$ 、 $r=0.936$,与产量的相关系数 $r=0.8878$),因此 D 值能从生理上较好地反映各导入系的耐旱性。以 D 值作为因变量,各单项指标的相对值作自变量,通过逐步回归分析建立的最优回归方程为:

$$D = -1.01 + 0.20X_2 + 0.15X_3 + 0.07X_4 + 0.22X_5 + 0.74X_8$$

式中 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_8 分别代表剑叶丙二醛、电导率、脯氨酸、叶绿素 a 和产量相对值,方程决定系数 $R^2 = 0.999$ ($P = 0.0009$)。因此,在 8 个单项指标中,上述 5 个指标对水稻抽穗期耐旱性具有显著影响,在鉴定中可选择性地测定这些指标。相关分析显示,10 个材料的耐旱性预测值(VP)与耐旱性综合评价值(D 值)之间的相关系数为 0.9986,存在极显著相关($P < 0.0001$),说明应用此方程对水稻品种的耐旱性进行预测,准确性高。

3 讨论

干旱是影响作物生产的最主要的非生物胁迫因素之一^[21-23]。作物的耐旱性是一个复杂的生理现象,与品种的基因型、形态性状的遗传建成以及生理生化特性有关^[24],是作物与生长环境相互作

用的结果^[25]。在干旱胁迫条件下,水稻的各种生理代谢过程发生显著的变化,如植株叶绿素含量有所下降,SOD、MDA 以及游离脯氨酸的积累量明显增加^[26-29];而且不同的基因型在对水分胁迫响应的机制上也存在一定的差异^[20],因此要确切地鉴定一个品种的耐旱性强弱,不能以某个单一生理生化指标进行判定^[20],而只能对多个指标进行综合分析。耐逆性强的品种一般有较高的生理活性,并且在受到逆境胁迫时,也更能维持较稳定的生理体系。

选择水、旱环境中各指标的相对值进行分析,可消除品种间固有差异的影响,从而比较不同品种的耐旱性;而且同一指标间或不同指标间均可作比较^[20]。而主成分分析,则可以在尽量不损失或少损失原有参数信息的基础上,将原有的众多的、且相互间具有不同程度相关关系的参数转换成数量少且相互独立的一组新的参数^[30]。本研究利用各生理指标的相对值进行主成分分析,确定了 3 个影响水稻花期耐旱性重要因子,即叶绿素因子、活性氧化与渗透调节因子以及质膜透性因子,对水稻花期耐旱性影响最为显著。通过进一步的回归分析表明,叶绿素、丙二醛、脯氨酸、电导率可以作为水稻花期耐旱性的鉴定指标。

由于耐高温干旱特性鉴定的结果受环境条件的影响较大,因此采用不同鉴定方法所得到的抗性鉴

定结果往往有所差异。王贺正^[20]认为综合评价指标可作为品种耐旱性的综合评价;张灿军等^[19]认为耐旱指数可较好地评价耐旱性。本研究结果表明利用多重鉴定方法可更准确地鉴定水稻品种的耐旱性,以生理综合评价指标、耐旱指数及耐旱系数的聚类分析表明,空心莲子草 DNA 导入系 H8 的综合耐旱性表现明显优于其受体品种 6527(CK₁)以及公认的水稻耐旱品种巴西陆稻(CK₂)^[31],是理想的耐旱品系,可作为优异的育种材料应用于水稻的耐旱育种,这对节约农业用水、提高水资源利用等具有重要的意义。

此外本研究结果还进一步表明利用空心莲子草对极端环境具有良好的适应性,将其基因组 DNA 导入水稻中,可以显著改良水稻的耐旱性。类似的研究在农作物的抗逆性研究中已有广泛的报道,如转化水稻 *OsMAPK4* 基因,提高烟草的抗旱性^[32]、转化细菌的 RNA 伴侣分子提高玉米在水分胁迫下的子粒产量^[33]等。从研究结果来看,尽管本研究只是利用 SSR 标记,从基因组水平上初步证实将空心莲子草的基因组 DNA 片段导入水稻,但是从导入系的生理表型来看,所导入的 DNA 片段已经发挥了明显的功能,显著提高了导入系(如 H8 等)对干旱的耐受性。至于所导入 DNA 片段的相关信息(包括片段的序列信息、序列的结构特征以及相关的功能注释等)、以及这些片段显著提高导入系 H8 的耐旱性的分子机理,则有待于后续进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 卢宝荣,葛颂,桑涛,等.稻属分类的现状存在问题[J].植物分类学报,2001,39(4):373-388
- [2] 郭亚龙,葛颂.稻族的系统发育及其研究进展[J].植物分类学报,2006,44(2):211-230
- [3] Jin J, Huang W, Gao J P, et al. Genetic control of rice plant architecture under domestication[J]. Nat Genet, 2008, 40: 1365-1369
- [4] Delseny M, Salses J, Cooke R, et al. Rice genomics: present and future[J]. Plant Physiol Bioch, 2001, 39: 323-334
- [5] Zou G H, Liu H Y, Mei H W, et al. Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field[J]. J Int Plant Biol, 2007, 49(10):1508-1516
- [6] Venuprasad R, Lafitte H R, Atlin G N. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice[J]. Crop Sci, 2007, 47(1):285-293
- [7] Yue B, Xiong L Z, Xue W Y, et al. Genetic analysis for drought resistance of rice at reproductive stage in field with different types of soil[J]. Theor Appl Genet, 2005, 111(6):1127-1136
- [8] Yue B, Xue W, Xiong L, et al. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance[J]. Genetics, 2006, 172(2):1213-1228
- [9] Lafitte H, Guan Y S, Shi Y, et al. Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice[J]. J Exp Bot, 2007, 58(2):169-175
- [10] Bernier J, Kumar A, Ramaiah V, et al. A Large-effect QTL for grain yield under reproductive-stage drought stress in upland rice[J]. Crop Sci, 2007, 47(2):507-516
- [11] Lanceras J C, Pantawan G, Jongdee B, et al. Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice[J]. Plant Physiol, 2004, 135(1):384-399
- [12] Jena K K, Khush G S, Kochert G. RFLP analysis of rice (*Oryza sativa* L.) introgression lines[J]. Theor Appl Genet, 1992, 84:608-616
- [13] 张格成,李继祥.空心莲子草主要生物学特性研究[J].杂草科学,1993(2):10-12
- [14] 武斌,李新海,肖木祺,等.53份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J].中国农业科学,2007,40(4):665-676
- [15] 孙群,胡景江.植物生理学研究技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:176-177
- [16] 刘祖祺,张石诚.植物抗性生物学[M].北京:中国农业出版社,1990:370-372
- [17] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:194-197,258-261
- [18] 熊庆娥.植物生理学实验教程[M].成都:四川科技出版社,2003:55-56
- [19] 张灿军,王育红,姚宇卿,等.早稻抗旱性鉴定方法与指标研究-II抗旱性鉴定评价技术规范[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):37-39
- [20] 王贺正.水稻抗旱性研究及其鉴定指标的筛选[D].四川:四川农业大学,2007
- [21] 安水平,强爱玲,张媛媛,等.渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J].植物遗传资源学报,2006,7(4):421-426
- [22] 景蕊莲.作物抗旱节水研究进展[J].中国农业科技导报,2007,9(1):1-5
- [23] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85
- [24] 许红云,陈丽娟,许为军,等.旱作条件下水陆稻资源的生物量与结实率的差异分析[J].植物遗传资源学报,2006,7(1):66-69
- [25] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2001:279-300
- [26] 钮福祥,华希新,郭小丁,等.甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J].作物学报,1996,22(4):392-398
- [27] 蔡永萍,杨其光,黄义德.水稻水作与旱作对开花后剑叶光合特性、衰老及根系活性的影响[J].中国水稻科学,2000,14(4):219-224
- [28] 蒋明义,杨文英,徐江,等.渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性损伤作用[J].植物学报,1994,36:289-295
- [29] 周瑞莲,王刚.水分胁迫下豌豆保护酶活力变化及脯氨酸积累在其抗旱中的作用[J].草业学报,1997,6(4):39-43
- [30] 区靖祥,邱建德.多元数据的统计分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:63-79
- [31] 金康书,钱秋平,饶祖坚.巴西陆稻的应用价值及高产栽培技术[J].中国种业,2001(2):25
- [32] 李杰,齐岩,李莹,等.转 *OsMAPK4* 基因烟草的抗旱性研究与遗传分析[J].遗传,2007,29(9):1144-1148
- [33] Castiglioni P, Warner D, Bensen R J, et al. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions[J]. Plant Physiol, 2008, 147:446-455

作者: [凌英华](#), [赵芳明](#), [杨正林](#), [张海军](#), [桑贤春](#), [杨前进](#), [何光华](#), [LING Ying-hua](#), [ZHAO Fang-ming](#), [YANG Zheng-lin](#), [ZHANG Hai-jun](#), [SANG Xian-chun](#), [YANG Qian-jin](#), [HE Guang-hua](#)

作者单位: [凌英华](#), [赵芳明](#), [杨正林](#), [张海军](#), [桑贤春](#), [何光华](#), [LING Ying-hua](#), [ZHAO Fang-ming](#), [YANG Zheng-lin](#), [ZHANG Hai-jun](#), [SANG Xian-chun](#), [HE Guang-hua](#) (西南大学水稻研究所/农业部西南作物遗传改良与育种重点开放实验室, 重庆北碚, 400715), [杨前进](#), [YANG Qian-jin](#) (安徽省农科院绿色食品工程研究所, 合肥, 230031)

刊名: [植物遗传资源学报](#) **ISTIC PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)

年, 卷(期): 2011, 12 (2)

参考文献(33条)

1. 金康书;钱秋平;饶祖坚 [巴西陆稻的应用价值及高产栽培技术](#)[期刊论文]-[中国种业](#) 2001(02)
2. [区靖祥](#); [邱建德](#) [多元数据的统计分析方法](#) 2002
3. [周瑞莲](#); [王刚](#) [水分胁迫下豌豆保护酶活力变化及脯氨酸积累在其抗旱中的作用](#) 1997(04)
4. [蒋明义](#); [杨文英](#); [徐江](#) [渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用](#) 1994
5. [蔡永萍](#); [杨其光](#); [黄义德](#) [水稻水作与旱作对开花后剑叶光合特性、衰老及根系活性的影响](#)[期刊论文]-[中国水稻科学](#) 2000(04)
6. [钮福祥](#); [华希新](#); [郭小丁](#) [甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探](#) 1996(04)
7. [Castiglioni P](#); [Warner D](#); [Bensen R J](#) [Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions](#)[外文期刊] 2008
8. [李杰](#); [齐岩](#); [李莹](#) [转OsMAPK4基因烟草的抗旱性研究与遗传分析](#)[期刊论文]-[遗传](#) 2007(09)
9. [Jena K K](#); [Khush G S](#); [Kochert G](#) [RFLP analysis of rice \(Oryza sativa L.\) introgression lines](#)[外文期刊] 1992
10. [Lanceras J C](#); [Pantuwan G](#); [Jongdee B](#) [Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice](#)[外文期刊] 2004(01)
11. [Bernier J](#); [Kumar A](#); [Ramaiah V A](#) [Large-effect QTL for grain yield under reproductive-stage drought stress in upland rice](#)[外文期刊] 2007(02)
12. [Lafitte H](#); [Guan Y S](#); [Shi Y](#) [Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice](#)[外文期刊] 2007(02)
13. [Yue B](#); [Xue W](#); [Xiong L](#) [Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance](#)[外文期刊] 2006(02)
14. [许红云](#); [陈丽娟](#); [许为军](#) [旱作条件下水陆稻资源的生物量与结实率的差异分析](#)[期刊论文]-[植物遗传资源学报](#) 2006(01)
15. [景蕊莲](#) [作物抗旱研究的现状与思考](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 1999(02)
16. [景蕊莲](#) [作物抗旱节水研究进展](#)[期刊论文]-[中国农业科技导报](#) 2007(01)
17. [安平永](#); [强爱玲](#); [张媛媛](#) [渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究](#)[期刊论文]-[植物遗传资源学报](#) 2006(04)
18. [Yue B](#); [Xiong L Z](#); [Xue W Y](#) [Genetic analysis for drought resistance of rice at reproductive stage in field with different types of soil](#)[外文期刊] 2005(06)

19. [Venuprasad R;Lafitte H R;Atlin G N Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice](#)[外文期刊] 2007(01)
20. [Zou G H;Liu H Y;Mei H W Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field](#)[期刊论文]-[Journal of Integrative Plant Biology](#) 2007(10)
21. [Jin J;Huang W;Gao J P Genetic control of rice plant architecture under domestication](#)[外文期刊] 2008(11)
22. [郭亚龙;葛颂 稻族的系统发育及其研究进展](#)[期刊论文]-[植物分类学报](#) 2006(02)
23. [卢宝荣;葛颂;桑涛 稻属分类的现状及存在问题](#)[期刊论文]-[植物分类学报](#) 2001(04)
24. [潘瑞炽 植物生理学](#) 2001
25. [王贺正 水稻抗旱性研究及其鉴定指标的筛选](#) 2007
26. [张灿军;王育红;姚宇卿 旱稻抗旱性鉴定方法与指标研究-II 抗旱性鉴定评价技术规范](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2005(03)
27. [熊庆娥 植物生理学实验教程](#) 2003
28. [李合生 植物生理生化实验原理和技术](#) 2000
29. [刘祖祺;张石诚 植物抗性生物学](#) 1990
30. [孙群;胡景江 植物生理学研究技术](#) 2006
31. [武斌;李新海;肖木辑 53份玉米自交系的苗期耐旱性分析](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2007(04)
32. [张格成;李继祥 空心莲子草主要生物学特性研究](#) 1993(02)
33. [Delseny M;Salses J;Cooke R Rice genomics:present and future](#)[外文期刊] 2001(3/4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201102025.aspx