

水稻抗旱性鉴定的形态指标

程建峰^{1,2}, 潘晓云², 刘宜柏², 戴廷波¹, 曹卫星¹

(1. 江西农业大学农学院, 江西南昌 330045; 2. 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 江苏南京 210095)

摘要: 随着全球水资源的日益匮乏和旱灾的日趋严重, 水资源短缺正成为制约我国农业发展的重要因素。培育抗旱栽培稻品种并实现水稻旱种, 不但可较大幅度地节约水资源, 且有利于稳产增产、节约能源和减少环境污染, 故栽培稻抗旱性研究作为稻作科学研究的重要课题显得愈来愈重要。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、生理与生化等的鉴定方法与指标, 且有的已利用分子标记对一些指标进行了基因定位; 但因大多数指标与产量的关系尚不甚清楚, 致使有些指标在抗旱性研究中的应用价值受到质疑。本研究以旱作和淹水试验为处理, 采用模糊隶属函数分析, 以穗颈节粗为指标进行水稻抗旱性的单因子间接评定和以穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽或结实率为指标进行水稻抗旱性的综合间接评定。以认同的采用产量抗旱系数(旱作下产量与淹水下产量之比)为鉴定指标的直接评定为依据, 对上述两种间接评定的结果进行判别分析, 从而验证试验中被采用指标和方法的准确性和可靠性。结果表明, 以旱作穗颈节粗为指标的水稻抗旱性单间接评定与以产量抗旱系数为指标的水稻抗旱性直接评定的吻合度为 88.2%~100.0%, 达极显著水平, 即穗颈节粗可作为水稻抗旱性鉴定与评价的单间接评定指标; 且吻合度随品种类型而变, 其中以籼型杂交稻的评定为最高(100.0%), 其次是常规籼稻(91.7%), 常规粳稻稍低(88.2%)。以旱作多个抗旱性状为指标的综合间接评定与以产量抗旱系数为指标的水稻抗旱性直接评定的吻合度均达 100%, 即穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率可作为水稻抗旱性鉴定与评价的综合间接评定指标, 且与品种类型无关。因此, 旱作条件下, 以穗颈节粗为指标的水稻抗旱性单间接评定和以穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率为指标的综合间接评定均是非常客观、简便易行、准确可靠和易被育种者接受的评定指标和方法, 可应用于生产实践。

关键词: 水稻; 形态指标; 抗旱性鉴定; 穗颈节粗; 模糊隶属函数分析; 判别分析

文章编号: 1000-0933(2005)11-3117-09 **中图分类号:** S511 **文献标识码:** A

Morphological indexes of drought resistance identification in rice

CHEN G Jian-Feng^{1, 2}, PAN Xiao-Yun², LIU Yi-Bai², DAI Ting-Bo¹, CAO Wei-Xing¹ (1. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, 330045, China; 2. Key Laboratory of Crop Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3117~3125

Abstract A long with the increasing scarcity of global water resource and gradual seriousness of drought, water shortage is crucial for restricting agricultural development in China. Breeding rice cultivars with drought resistance and cultivating them in the dryland are helpful not only to save water resource and to steady yield, but also to increase yield, to save energy and to decrease environmental pollution. So studies on drought resistance in rice have become increasingly important proposals of rice scientific researches. For more complex mechanism of drought resistance in rice, a series of morphological, developmental, physiological and biochemical identification methods and indexes related to drought resistance in rice were proposed by international scholars and some indexes were located in genes with molecular marker, but the application values of most indexes were doubted because of the indistinct relationships between them and yield. Thirty-eight indica, Japonica and hybrid rice cultivars were planted in the dryland and paddy field in this experiment and their drought-related traits including panicle

基金项目: 江西省“九·五”科技攻关资助项目; 江西省“十·五”科技攻关资助项目; 江西省自然科学基金资助项目(973063)

收稿日期: 2004-12-28; **修订日期:** 2005-06-20

作者简介: 程建峰(1972~), 男, 江西横峰人, 讲师, 博士, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: chjfkarl@163.com

Foundation item: by the “Ninth Five-Year Plan and Tenth Five-Year Plan” Key Program of Science and Technology of Jiangxi Province and the Natural Science Foundation of Jiangxi Province (No. 973063)

Received date: 2004-12-28; **Accepted date:** 2005-06-20

Biography: CHEN G Jian-Feng, Ph. D. candidate, mainly engaged in plant physiology and ecology. E-mail: chjfkarl@163.com

neck diameter, effective panicles per plant, filled grains per panicle, grain width and seed setting rate were measured. Using panicle neck diameter in the dryland as an index for single indirect evaluation and using the above-measured traits under in the dryland as the indexes for comprehensive indirect evaluation, drought resistance in different rice cultivars were evaluated with fuzzy Subordinate function analysis. In order to prove the reliability and accuracy of identification methods and indexes in the experiment, discriminant analyses on the above-mentioned two indirect evaluations to the accepted direct evaluations on drought resistance in rice according to drought resistance coefficient of yield the ratio of yield in the dryland to yield in the paddy field) were conducted. The results showed that the consistency of single indirect evaluation and direct evaluation on drought resistance in rice was 88.2%~100.0% and varied with changes of rice types, and the consistency of hybrid rice was the highest with 100.0%, the next was indica rice with 91.7%, the lowest was Japonica rice with 88.2%, but all consistencies were so extremely significant that panicle neck diameter in the dryland was taken as a index for single indirect evaluation on rice drought resistance. The consistency of comprehensive indirect evaluation and direct evaluation on rice drought resistance was 100.0% and wouldn't vary with changes of rice types, and namely panicle neck diameter, effective panicles per plant, filled grains per panicle, grain width and seed setting rate were taken as the indexes for comprehensive indirect evaluation on rice drought resistance. Therefore, single indirect evaluation on rice drought resistance using panicle neck diameter in the dryland and comprehensive indirect evaluation on rice drought resistance using panicle neck diameter, effective panicles per plant, filled grains per panicle, grain width and seed setting rate in the dryland were the very objective, simple, convenient, accurate, reliable and acceptable methods and indexes to rice breeder for drought resistance identification in rice, for which they could be widely applied in practice according to different research objectives.

Key words: rice; morphological index; panicle neck diameter; drought resistance identification; fuzzy subordinate function analysis; discriminant analysis

随着全球水资源的日益匮乏和旱灾的日趋严重,水资源短缺正成为制约我国农业发展的重要因素。培育抗旱栽培稻品种并实现水稻旱种,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,故栽培稻的抗旱性研究作为稻作科学研究的重要课题显得愈来愈重要^[1]。

抗旱育种最终目的是育成高产、抗旱性强的品种,无论采用哪种抗旱性鉴定指标和方法评价品种的抗旱性,都不应离开高产这个前提。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,且有的已利用分子标记对上述性状进行了基因定位(QTL);但因大多数性状与产量的关系尚不甚清楚,致使有些性状在抗旱性研究中的应用价值受到质疑^[1~20]。基于上述观点,通过对常规籼稻、常规粳稻和籼型杂交稻形态农艺性状与旱作单株产量及抗旱系数进行多种数据分析,筛选到分别表征它们抗旱性的不同性状,并首次报道穗颈节粗是表征水稻抗旱性的共同性状,不受品种类型的限制^[21];但能否仅仅通过少量的性状来鉴定和评价水稻品种的抗旱性,有待于进一步研究。为此,本研究首先采用模糊数学理论,分别对以水稻抗旱性的共同性状——穗颈节粗为指标进行模糊隶属函数分析和对以常规籼稻、常规粳稻和籼型杂交稻不同抗旱性状(穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率)为指标进行模糊隶属函数分析和综合抗旱能力的评价,然后以被大家普遍接受和认同的以产量抗旱系数(=旱作下产量/淹水下产量)为鉴定指标的直接评定为依据,对上述两种间接评定的结果进行判别分析,从而确定被采用指标和方法的准确性和可靠性,以期水稻抗旱性的鉴定和评价提供一种简单、易行、准确、可靠、客观和易被育种者接受的鉴定指标和方法。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于1998年在江西农业大学农学试验站进行。供试材料为38个水陆稻品种(组合),其中常规粳稻类型17个,常规籼稻类型12个,籼型杂交稻9个,品种名称及类型见后表,6月20日播种,7月20日移栽,单本栽种。试验设淹水和旱作栽培处理,每品种1小区,面积为2m²,4次重复,随机区组排列。淹水管理同常规水稻,旱作移栽时浇水活棵,分别在不同水稻品种的水分临界期(孕穗期和灌浆期)进行干旱处理,只依靠自然降水而不进行人工灌溉,降水量在97~132mm(是1951年有气象资料记录以来同期最小值,最高气温也是有气象记录以来之最),因品种全生育期长短而异,其它栽培管理同一般旱地。干旱处理的方法是通过遮盖白色塑料防雨薄膜控制土壤含水量,直至水稻叶片出现暂时萎蔫,并持续3d再复水。

1.2 水稻抗旱性状的调查

成熟时,每小区取10株为考察对象,考察项目是前文广泛筛选获得的水稻抗旱性状和单本株产量^[21],常规籼稻类型为穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗和谷粒宽,常规粳稻类型为穗颈节粗、单本株有效穗和实粒数/穗,籼型杂交稻为穗颈节粗和

结实率。利用单株产量计算抗旱系数=旱作处理单株产量(Y_D)/淹水处理单株产量(Y_W)^[8]。

1.3 数据分析与鉴定方法的筛选

(1) 抗旱性的直接鉴定 以目前被广泛认可和采用的产量抗旱系数为指标, 先进行模糊隶属函数的分析, 后对模糊隶属函数值进行聚类来进行抗旱等级的直接评定^[2, 9, 22]。

(2) 抗旱性的间接鉴定 以广泛筛选获得的常规籼稻、常规粳稻和籼型杂交稻的共同抗旱性状——穗颈节粗为指标, 先进行模糊隶属函数的分析, 后对模糊隶属函数值进行聚类来进行抗旱等级的间接评定^[2, 9, 22]。以前文广泛筛选获得的水稻抗旱性状为指标^[21], 计算某一品种的综合抗旱能力(D), 然后对 D 值进行聚类来进行抗旱等级的综合间接评定^[22~23]。 D 值的计算公式为:

$$D = \sum_{j=1}^n \left[\mu(x_j) \cdot \left(r_j / \sum_{j=1}^n |r_j| \right) \right] \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, D 为各品种在干旱胁迫下用表征水稻抗旱性状为指标进行综合评价抗旱性度量值, r_j 为各品种第 j 个指标与抗旱系数间的相关系数; $\mu(x_j)$ 为第 j 个指标的隶属函数值, 如果 r_j 为负值, 则以 $1 - \mu(x_j)$ 代替式中的 $\mu(x_j)$; $r_j / \sum_{j=1}^n |r_j|$ 为指标权数, 表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度。

(3) 鉴定方法的比较 以抗旱性的直接评定等级为参照, 对 和 的模糊隶属函数值和 D 值进行判别分析^[24], 确定抗旱性间接鉴定的准确性和可靠性。

以上所有数据分析均在统计分析软件包——SPSS11.5^[24]上进行。

2 结果与分析

2.1 供试水稻品种抗旱性的直接评定

作物抗旱性是由多种因素相互作用而构成的复杂综合性状, 致使作物的实际抗旱性目前尚无统一的指标来评定; 但一般说来, 作物在干旱条件下, 长势和形成产量的能力是鉴定抗旱性的最可靠指标, 故通常以水稻单株产量的抗旱系数作为水稻实际抗旱性的评定依据^[9, 22]。因抗旱系数间的极差往往较小, 给定性分级带来一定的困难, 则采用隶属函数法, 将各品种抗旱系数扩展到 $[0, 1]$ 闭区间, 并对其进行聚类分析进行等级划分(表1)。由表1可知, 不同水稻品种对干旱胁迫存在基因型差异, 表现出不同的抗旱性。常规籼稻类型中, 早稻95树村9号为高抗, 香丝苗2号、德旱1号和早稻961为中抗, 其余均为弱抗; 常规粳稻类型中, 早稻44号、早稻277号和早稻9号为高抗, 早稻95树村502、曙、吉备之华、早稻95树村104、海峡黄金、日本晴为中抗, 其余都为弱抗; 籼型杂交稻中, 两优培特和汕优10号为高抗, 培两优88、优1465和培矮64S/1068为中抗, 其余均为弱抗。

2.2 以表征不同水稻类型共同抗旱性状——穗颈节粗为单一指标的水稻抗旱性的间接评定

穗颈节粗是表征水稻抗旱性的共同性状, 不受品种类型的限制^[21]。为确认这一指标作为水稻抗旱性鉴定指标的可靠性, 以其为单一性状进行模糊隶属函数分析及其聚类分析, 来间接评定各品种的抗旱性(表2)。表2表明, 常规籼稻类型中, 早稻95树村9号为高抗, 香丝苗2号为中抗, 其余均为弱抗; 常规粳稻类型中, 早稻44号为高抗, 福光、朝二占和朝日为弱抗, 其余为中抗; 籼型杂交稻中, 两优培特和汕优10号为高抗, 培两优88、优1465和培矮64S/1068为中抗, 其余均为弱抗。

2.3 以表征不同水稻类型抗旱性状为指标的水稻抗旱性的间接综合评定

品种抗旱力的评价不仅与选择的指标有关, 还与该指标对抗旱力的影响程度有关。鉴于此, 本试验选用前文筛选的水稻抗旱性状^[21]作综合评价指标, 按照1.3的方法计算出各品种的综合抗旱能力(表2)。将常规籼稻、常规粳稻和籼型杂交稻的 D 值与品种抗旱系数进行相关分析, 相关系数分别为 0.9700^{**} 、 0.9510^{**} 、 0.9810^{**} , 呈极显著正相关, 远远高于任何单一指标与抗旱系数的相关性。综合评定结果是, 常规籼稻类型中, 早稻95树村9号为高抗, 香丝苗2号、德旱1号和早稻961为中抗, 其余均为弱抗; 常规粳稻类型中, 早稻44号、早稻277号和早稻9号为高抗, 早稻95树村502、曙、吉备之华、早稻95树村104、海峡黄金、日本晴为中抗, 其余都为弱抗; 籼型杂交稻中, 两优培特和汕优10号为高抗, 培两优88、优1465和培矮64S/1068为中抗, 其余均为弱抗。此评定结果与以水稻单株产量抗旱系数作为品种实际抗旱性的评定依据完全一致, 即说明以前文筛选的水稻抗旱性状为指标, 采用模糊隶属函数法对品种进行抗旱性综合间接评定是十分有效和可靠的, 能全面的反映水稻品种的抗旱性。

2.4 水稻品种抗旱性鉴定方法的判别分析

在2.1、2.2和2.3的结果与分析中, 对供试水稻品种分别进行了水稻抗旱性的直接评定和两种不同方法的间接评定, 但间接评定的可靠性如何, 无法从理论上给出正确的判断, 必须进行判别分析。从表3可知, 以穗颈节粗为单一指标的间接评定与以抗旱系数为指标的直接评定的吻合度, 随品种类型而变, 变幅为88.2%~100.0%, 其中以杂交稻的评定为最高(100.0%), 其次是常规籼稻(91.7%)、常规粳稻最差(88.2%), 但吻合度都达到了极显著水平, 即可以被用于生产实践, 但要视情况而定, 即

品种类型和评定目的。表 4 表明, 以广泛筛选获得的水稻抗旱性状为指标对某一品种的综合抗旱能力(D) 进行的间接评定与以抗旱系数为指标的直接评定的吻合度, 全部达 100%, 即完全吻合, 且与随品种类型无关, 这表明, 筛选的性状和方法比较可靠, 可广泛地用于生产实践。

表 1 供试水稻品种抗旱性的直接评定

Table 1 Direct Evaluation of drought resistance in rice cultivars						
品种类型 Variety type	品种名称 Name of cultivars	平均单株产量(g/株) Yield per single plant (gram per plant)		抗旱系数 Drought resistance coefficient	隶属函数值[u(x)] Subordinate function value	直接评定 Direct evaluation
		旱地Dryland	水田Wetland			
常规籼稻 Conventional indica rice	754	1. 18	15. 87	0. 0744	0. 0000	弱抗
	4015	2. 11	18. 13	0. 1164	0. 0510	弱抗
	巴西旱稻Brazilian Upland Rice	1. 14	7. 16	0. 1592	0. 1029	弱抗
	南丰糯Nanfengnuo	2. 52	15. 56	0. 1620	0. 1063	弱抗
	新桂早占Xingguizaozhan	2. 52	11. 43	0. 2205	0. 1773	弱抗
	赣晚粳19号Ganwanxian 19	6. 74	19. 51	0. 3455	0. 3289	弱抗
	旱稻87641Upland Rice 87641	4. 52	11. 31	0. 3996	0. 3946	弱抗
	望稻1号Wandao 1	7. 72	16. 71	0. 4620	0. 4703	弱抗
	旱稻961Upland Rice 961	6. 83	10. 41	0. 6561	0. 7058	中抗
	德旱1号Dehan 1	3. 10	4. 57	0. 6783	0. 7327	中抗
常规粳稻 Conventional Japonica rice	香丝苗2号Xiangsimiao 2	9. 91	14. 17	0. 6994	0. 7583	中抗
	旱稻95树村9号UR 95 Shucun 9	6. 47	7. 20	0. 8986	1. 0000	高抗
	福光 フクヒカリ	0. 81	11. 93	0. 0679	0. 0000	弱抗
	朝二占Chao'erzhan	1. 51	18. 30	0. 0825	0. 0184	弱抗
	夜露 ヤミロモチ	1. 26	9. 65	0. 1306	0. 0791	弱抗
	伊那 あそこまち	1. 48	10. 53	0. 1406	0. 0917	弱抗
	久之糯 ココノモチ	2. 31	14. 13	0. 1635	0. 1206	弱抗
	朝日 chaori	2. 37	12. 76	0. 1857	0. 1487	弱抗
	光 コミヒカリ	2. 40	11. 96	0. 2007	0. 1676	弱抗
	长粒粳Chanlijing	4. 03	18. 49	0. 2180	0. 1894	弱抗
籼型杂交稻 Indica hybrid combinations	日本晴Japanjin	2. 84	10. 68	0. 2659	0. 2499	中抗
	海峡黄金 せとこがね	3. 66	12. 72	0. 2877	0. 2774	中抗
	旱稻95树村104UR 95 Shucun 104	2. 69	9. 29	0. 2896	0. 2798	中抗
	吉备之华 吉備の華	3. 67	11. 03	0. 3327	0. 3342	中抗
	曙 アケボノ	3. 79	9. 76	0. 3883	0. 4043	中抗
	旱稻95树村502UR 95 Shucun 502	4. 65	9. 76	0. 4764	0. 5155	中抗
	旱稻9号Upland Rice 9	2. 72	4. 07	0. 6683	0. 7577	高抗
	旱稻277号Upland Rice 277	4. 92	6. 36	0. 7736	0. 8906	高抗
	旱稻44号Upland Rice 44	6. 53	7. 59	0. 8603	1. 0000	高抗
	165S/752	1. 46	24. 29	0. 0601	0. 0000	弱抗
	协优64Xieyou 64	3. 40	17. 65	0. 1926	0. 1776	弱抗
	汕优63Shanyou63	4. 05	18. 33	0. 2209	0. 2156	弱抗
	安湘S/明恢63	4. 82	19. 50	0. 2472	0. 2508	弱抗
	Anxiang S/Minghui 63					
	培两优88Peiliangyou 88	6. 42	14. 82	0. 4332	0. 5002	中抗
	培矮64S/1068Pei'ai 64s/1068	8. 36	19. 28	0. 4336	0. 5007	中抗
	优1465You 1465	9. 99	17. 35	0. 5758	0. 6914	中抗
	两优培特Liangyoupeite	10. 12	14. 03	0. 7213	0. 8864	高抗
	汕优10号Shanyou 10	11. 47	14. 23	0. 8060	1. 0000	高抗

Upland Rice was abbreviated to UR, 下同 the same below; Weak resistance; Medium resistance; Strong resistance

3 小结与讨论

干旱胁迫对水稻的所有生理生化过程均产生很大的影响, 最终表现在植株形态和产量上, 可用水分亏缺条件下最终所获得的产量高低来衡量抗旱性的大小, 故常被作为最可靠的抗旱性指标而用于水稻抗旱性的最终鉴定, 但其工作量大且费时, 难以大批量进行^[2, 11, 25~ 28]。1999 年, 在墨西哥召开的“利用分子途径进行作物遗传改良以稳定干旱地区作物产量”的国际讨论会上, Blum 提出, 缺乏适当的对作物抗旱性的标准评价体系已成为抗旱性改良的尖锐问题, 并指出“必须制订一套标准的抗旱性评价

系统, 这个系统要基于与抗性有关的所有研究范畴, 评价必须是对整个植株或植物群落, 抗性鉴定必须在田间进行^[29]。

表 2 供试水稻品种的隶属值 $[u(x)]$ 、D 值及抗旱性综合评定

Table 2 Subordinate value $[u(x)]$, D value and comprehensive evaluation of drought resistance in rice								
品种类型 Variety type	品种名称 Name of cultivars	穗颈节粗 Panicle neck diameter		单本株有效穗 Effective panicles per plant	实粒数/穗 Filled grains per panicle	谷粒宽 Grain width	D 值 D value	综合评价 Comprehensive evaluation
		隶属值 $[u(x)]$	评价					
		Subordinate value	Evaluation					
常规籼稻 Conventional <i>indica</i> rice	754	0.0000	弱抗	0.0000	0.0714	0.1304	0.0339	弱抗
	4015	0.0659	弱抗	0.1869	0.0102	0.0000	0.0689	弱抗
	巴西旱稻 Brazilian upland rice	0.2802	弱抗	0.1869	0.0000	0.3913	0.1743	弱抗
	南丰糯 Nanfengnuo	0.0989	弱抗	0.1121	0.0918	0.2609	0.1113	弱抗
	新桂早占 Xingguizaozhan	0.2308	弱抗	0.1963	0.1020	0.7391	0.2331	弱抗
	赣晚粳 19 号 Ganwanxian 19	0.2363	弱抗	0.4019	0.1939	0.6522	0.2989	弱抗
	旱稻 87641 Upland rice 87641	0.4176	弱抗	0.6262	0.2551	0.3478	0.3085	弱抗
	望稻 1 号 W andao 1	0.1868	弱抗	0.3738	0.3776	0.5217	0.3048	弱抗
	旱稻 961 Upland Rice 961	0.3132	弱抗	0.5140	0.4490	1.0000	0.4543	中抗
	德旱 1 号 Dehan 1	0.2527	弱抗	0.1589	1.0000	0.4348	0.4016	中抗
	香丝苗 2 号 Xiangsimiao 2	0.6099	中抗	0.8037	0.3571	0.6957	0.5475	中抗
	旱稻 95 树村 9 号 UR 95 Shucun 9	1.0000	高抗	1.0000	0.3367	0.8696	0.7203	高抗
	相关系数 Correlative coefficient	0.8063**		0.7979**	0.7190**	0.7192**	0.9700**	
	指标权重 Ratio of index	0.2650		0.2623	0.2363	0.2364		
常规粳稻 Conventional <i>Japonica</i> rice	穗颈节粗 Panicle neck diameter			单本株有效穗 Effective panicles per single plant	实粒数/穗 Filled grains per panicle	结实率 Seed setting rate	D 值 D value	综合评价 Comprehensive evaluation
	隶属值 $[u(x)]$							
	Subordinate value							
	评价							
	Evaluation							
	福光 フクヒカリ	0.0000	弱抗	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	弱抗
	朝二占 Chao'erzhan	0.1636	弱抗	0.0130	0.1333	0.0000	0.0743	弱抗
	夜露 ヤミロモチ	0.3000	中抗	0.1299	0.1833	0.3387	0.2388	弱抗
	伊那 あそこまち	0.3455	中抗	0.4156	0.0500	0.3226	0.2839	弱抗
	久之糯 コノノモチ	0.2818	中抗	0.2078	0.1167	0.0806	0.1684	弱抗
	朝日 chaori	0.1091	弱抗	0.1039	0.4833	0.2419	0.2359	弱抗
	光 コミヒカリ	0.4000	中抗	0.4416	0.1667	0.3387	0.3363	弱抗
	长粒粳 Chanlijing	0.5000	中抗	0.5455	0.3000	0.1290	0.3625	弱抗
	日本晴 Japanjin	0.5455	中抗	0.4026	0.3333	0.4516	0.4319	中抗
	海峡黄金せとこがね	0.4182	中抗	0.3117	0.5167	0.4839	0.4334	中抗
	旱稻 95 树村 104 UR 95 Shucun 104	0.5091	中抗	0.4675	0.3500	0.6452	0.4958	中抗
	吉备之华 吉備の華	0.6545	中抗	0.5065	0.4833	0.3548	0.4945	中抗
	曙 アケボノ	0.4364	中抗	0.2727	1.0000	0.4677	0.5429	中抗
	旱稻 95 树村 502 UR 95 Shucun 502	0.6909	中抗	0.9610	0.5000	0.3226	0.6128	中抗
	旱稻 9 号 Upland Rice 9	0.4455	中抗	0.5974	0.8667	0.7097	0.6587	高抗
	旱稻 277 号 Upland Rice 277	0.6273	中抗	0.9221	0.9333	0.8226	0.8295	高抗
	旱稻 44 号 Upland Rice 44	1.0000	高抗	1.0000	0.7500	1.0000	0.9382	高抗
	相关系数 Correlative Coefficient	0.7826**		0.8446**	0.8300**	0.9010**	0.9510**	
	指标权重 Ratio of index	0.2330		0.2515	0.2472	0.2683		

续表 2

品种类型 Variety type	品种名称 Name of cultivars	穗颈节粗 Panicle neck diameter		结实率 Seed setting rate	D 值 D value	综合评价 Comprehensive evaluation
		隶属值[$u(x)$]	评价			
		Subordinate value	Evaluation			
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid combination	165S/752	0.0000	弱抗	0.0000	0.0000	弱抗
	协优 64 Xieyou 64	0.3830	弱抗	0.2000	0.2895	弱抗
	汕优 63 Shanyou63	0.3972	弱抗	0.1714	0.2818	弱抗
	安湘 S/ 明恢 63 AnxiangS/M inghui 63	0.4255	弱抗	0.1857	0.3030	弱抗
	培两优 88 Peiliangyou 88	0.6738	中抗	0.3143	0.4901	中抗
	培矮 64S/1068 Pei'ai 64s/1068	0.5908	中抗	0.8286	0.5656	中抗
	优 1465 You 1465	0.6468	中抗	0.9286	0.6930	中抗
	两优培特 L iangyoupeite	1.0000	高抗	0.5000	0.7445	高抗
	汕优 10 号 Shanyou 10	0.7305	高抗	1.0000	0.8682	高抗
	相关系数 Correlative coefficient	0.7983**		0.8341**	0.9810**	
	指标权重 Ratio of index	0.4890		0.5110		

表 3 以穗颈节粗的隶属函数值为依据的评定与以抗旱系数为依据的直接评定的判别分析

Table 3 Discriminant analyses on the indirect evaluations according to subordinate value of panicle neck diameter and the direct evaluations according to drought resistance coefficient in rice

品种类型 Variety type	项目 Item	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation
	弱抗 Weak resistance	7	1	0	8
	中抗 Medium resistance	0	3	0	3
	高抗 Strong resistance	0	0	1	1
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	7	4	1	12
常规籼稻 Conventional <i>indica</i> rice	判别百分率(%) Discrimination percentage	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
	弱抗 Weak resistance	87.5	12.5	0.0	100.0
	中抗 Medium resistance	0.0	100.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	0.0	100.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	87.5	100.0	100.0	91.7 (11/12)
	弱抗 Weak resistance	13	0	0	13
	中抗 Medium resistance	1	1	0	2
	高抗 Strong resistance	0	1	1	2
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	14	2	1	17
	判别百分率(%) Discrimination percentage	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
常规粳稻 Conventional <i>Japonica</i> rice	弱抗 Weak resistance	100.0	0.0	0.0	100.0
	中抗 Medium resistance	50.0	50.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	50.0	50.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	87.5	100.0	100.0	88.2 (15/17)
	弱抗 Weak resistance	4	0	0	4
	中抗 Medium resistance	0	3	0	3
	高抗 Strong resistance	0	0	2	2
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	4	3	2	9
	判别百分率(%) Discrimination percentage	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
	弱抗 Weak resistance	100.0	0.0	0.0	100.0
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid rice	中抗 Medium resistance	50.0	50.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	50.0	50.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	87.5	100.0	100.0	88.2 (15/17)
	弱抗 Weak resistance	4	0	0	4
	中抗 Medium resistance	0	3	0	3
	高抗 Strong resistance	0	0	2	2
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	4	3	2	9

续表 3

	判别百分率(%) Discrimination percentage	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid rice	弱抗 Weak resistance	100.0	0.0	0.0	100.0
	中抗 Medium resistance	0.0	100.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	0.0	100.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	100.0	100.0	100.0	100.0 (9/9)

作物的抗旱性表现是作物本身的遗传性和环境的长期相互作用结果, 因时因地而异, 以致目前还难以精确地、定量地进行衡量。目前鉴定农作物的抗旱方法很多, 没有形成统一的规范化, 各有优缺点, 常用的方法主要是根据作物生长环境的不同(如田间试验法、干旱棚法、人工模拟气候箱法)和根据对作物干旱处理的方法不同(如土壤干旱盆栽法、大气干旱法和高渗溶液法等)^[2, 3, 9, 13, 17, 28], 还有 De Datta 等提出的营养生长期田间目测记分法^[12], Garrity 和 O' Toole 提出的生殖生长期冠层温度测定

表 4 以水稻 D 值为依据的综合评定与抗旱系数为依据的直接评定的判别分析

Table 4 Discriminant analyses on the comprehensive evaluations according to D value and the direct evaluations according to drought resistance coefficient in rice

品种类型 Variety type	项目 Item	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation
常规籼稻 Conventional <i>indica</i> rice	弱抗 Weak resistance	7	1	0	8
	中抗 Medium resistance	0	3	0	3
	高抗 Strong resistance	0	0	1	1
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	7	4	1	12
	判别百分率(%) Discrimination percentage	Weak resistance	Medium resistance	Strong resistance	Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
常规籼稻 Conventional <i>indica</i> rice	弱抗 Weak resistance	87.5	12.5	0.0	100.0
	中抗 Medium resistance	0.0	100.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	0.0	100.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	87.5	100.0	100.0	91.7 (11/12)
	弱抗 Weak resistance	13	0	0	13
常规粳稻 Conventional <i>Japonica</i> rice	中抗 Medium resistance	0	2	0	2
	高抗 Strong resistance	0	0	2	2
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	13	2	2	17
	判别百分率(%) Discrimination percentage	Weak resistance	Medium resistance	Strong resistance	Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
	弱抗 Weak resistance	100.0	0.0	0.0	100.0
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid rice	中抗 Medium resistance	0.0	100.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	0.0	100.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	100.0	100.0	100.0	100.0
	弱抗 Weak resistance	4	0	0	4
	中抗 Medium resistance	0	3	0	3
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid rice	高抗 Strong resistance	0	0	2	2
	综合鉴定类别的个数分布 Quantitative distributions of comprehensive evaluation	4	3	2	9

续表 4

	判别百分率(%) Discrimination percentage	弱抗 Weak resistance	中抗 Medium resistance	高抗 Strong resistance	直接鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage distributions of comprehensive evaluation
籼型杂交稻 <i>Indica</i> hybrid rice	弱抗 Weak resistance	100.0	0.0	0.0	100.0
	中抗 Medium resistance	0.0	100.0	0.0	100.0
	高抗 Strong resistance	0.0	0.0	100.0	100.0
	综合鉴定类别的判别百分率(%) Discrimination percentage of comprehensive evaluation	100.0	100.0	100.0	100.0 (9/9)

法^[30]。在本试验中, 通过以产量抗旱系数为指标的水稻抗旱性直接评定、以旱作穗颈节粗为指标的水稻抗旱性单一间接评定和以旱作的多个抗旱性状(穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率)为指标的综合间接评定(综合抗旱力*D* 值)及两种间接评定与直接评定的判别分析, 可知: 以旱作穗颈节粗为指标的水稻抗旱性单一间接评定和以旱作的多个抗旱性状(穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率)为指标的综合间接评定与以产量抗旱系数为指标的水稻抗旱性直接评定的吻合度为 88. 2%~ 100. 0%, 均达判别吻合度的极显著水平, 这表明穗颈节粗可作为水稻抗旱性鉴定与评价的单一评定指标, 穗颈节粗、单本株有效穗、实粒数/穗、谷粒宽和结实率可作为水稻抗旱性鉴定与评价的综合评定指标; 也从另一侧面佐证了前文^[21]筛选的水稻抗旱性状的典型性、准确性和可靠性。同时也说明, 本文中所采用的水稻抗旱形态指标及单一和综合评定方法是非常客观、简便易行、准确可靠和易被育种者接受的方法, 在生产实践上可根据具体试验加以选择应用。如要进行全面系统准确地评定水稻的抗旱性, 最好采用综合抗旱力(*D* 值) 为综合评定指标; 若要节约时间、减少工作量和大批量进行水稻抗旱性的田间评定时, 可以采用穗颈节粗为单一评定指标。

References

[1] Luo L J, Zhang Q F. The status and strategy on drought resistance of rice. *Chinese J. Rice Sci*, 2001, **15**(3): 209~ 214

[2] Li Y. The identification method and index for crop drought resistance. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, **11**(1): 91~ 99

[3] Jing R L. Present situation and approach of study on crop drought resistance. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, **17**(2): 79 ~ 85

[4] Sun C X, Shen X Y, Liu Z G. Status and advances in studies on the physiology and biochemistry mechanism of crop drought resistance. *Rain Fed Crops*, 2002, **22**(5): 285~ 288

[5] Zhang Z B, Xu P, Zhang J H, *et al*. Advances on study of molecular marker and gene cloning and transgenes in drought resistance and water saving in crops. *Acta Bot Boreal Occident Sin*, 2002, **22**(6): 1537~ 1544

[6] Gao N, Jing L L, Chen Y F, *et al*. Advances on molecular marker assisted selection of drought resistance in crops. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2003, **4**(3): 274~ 278

[7] Wu L Q, Fang Z M, Guo L, *et al*. Resistant drought and salt stress of rice with δ OAT gene. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**(19): 2050~ 2056

[8] Mu P, Li Z C, Li C P, *et al*. The correlation analyses on root system of paddy and upland to drought resistance rice traits and their mapping quantitative trait loci. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**(20): 2162~ 2169

[9] Li Y Q, Zhang W Y, Wang Y Z, *et al*. Advances of studies on crop drought resistance identification. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2004, **8**(1): 58~ 61

[10] Yu S W, Xie J K, Wan Y. Progress in mapping QTLs of drought resistance and related traits in rice. *Molecular Plant Breeding*, 2004, **2**(3): 391~ 400

[11] Turner N C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: Harry Mussall (ed.). *Stress Physiology in Crop Plants*. New York: John Wiley and Sons, 1979. 333~ 372

[12] De Datta, Malabuyac J, Aragon E, *et al*. A field screening technique for evaluating rice germplasm for drought tolerance during the vegetative stage. *Field Crops Res*, 1988, **19**: 123~ 13

[13] Yanbao E B. Drought Stress Index for Rice. *Philipp J. Crop Sci*, 1990, **13**(2): 105~ 111

[14] Fukai S, Cooper M. Development of drought-resistant cultivars using physiological and morphological traits in rice. *Field Crops Res*, 1995, **40**: 67~ 86

[15] Bohnert H J, Jensen R G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 1996, **14**: 89~ 97

[16] Turner N C. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 1997, **58**: 293~ 339

- [17] Nguyen H T, Babu R C, and Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations *Crop Sci*, 1997, **37**: 1426~ 1434
- [18] Grill E, Ziegler H. A plant dilemma *Science*, 1998, **282**: 252~ 253
- [19] Price A H, and Courtois B. Mapping QTLs associated with drought resistance in rice: progress, problems and prospects *Plant Growth Regulation*, 1999, 123~ 133
- [20] Hemamalini G S, Shashidhar H E, Hittalmani S. Molecular marker assisted tagging of morphological and physiological traits under two contrasting moisture regimes at peak vegetative stages in rice (*Oryza Sativa* L.), *Euphytica*, **112**: 69~ 78
- [21] Cheng J F, Chen F M, Pan X Y, et al. Panicle "neck" diameter: A new drought resistance trait of rice. In: Shaozhong Kang, Bill Davies, Lun Shan & Huanjie Cai eds. *Water-saving agriculture and sustainable use of water and land resources*. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2003. 209~ 215
- [22] Sun C X, Shen X Y. Advances in studies on identification indexes and methods of quantitative analyses for crop drought resistance. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, **18**(1): 49~ 51
- [23] Niu F X, Hua X X, Guo X D, et al. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, **22**(4): 392~ 398
- [24] Yu J Y, He X H. *Data Statistics Analysis and SPSS Application*. Beijing: People's Postal Press, 2003
- [25] Yang J C, Wang Z Q, Zhu Q S. Drought resistance and its physiological characteristics in rice varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, **28**(5): 65~ 72
- [26] Cai S X. Preliminary studies on evaluation of breeding value of traits related to drought resistance in wheat. *Acta Agrariae Boreali Occidentalis Sinica*, 1997, **6**(1): 26~ 29
- [27] Cai S X, Wang D X. Use value of some characters concerning drought resistance in winter wheat under water stress. *Acta Agrariae Boreali Sinica*, 1993, **8**(1): 1~ 6
- [28] Jiang L. Summary on research ways for crop drought resistance. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1999, **27**(5): 70~ 72
- [29] Blum A. Towards standard assays of drought resistance in crop plant. In: *Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments*. An international workshop held at the International Maize and Wheat Improvement Center, El Batán, Mexico, 1999, June 21~ 25, El Batán, Mexico: **MWIC**, 1999
- [30] Garrity D, O'Toole J C. Selection for reproductive stage drought avoidance in rice, using infrared thermometry. *Agron J.*, 1995, **87**: 773~ 779

参考文献:

- [1] 罗利军, 张启发. 栽培稻抗旱性研究的现状与策略. *中国水稻科学*, 2001, **15**(3): 209~ 214
- [2] 黎裕. 作物抗旱鉴定方法与指标. *干旱地区农业研究*, 1993, **11**(1): 91~ 99
- [3] 景蕊莲. 作物抗旱研究的现状与思考. *干旱地区农业研究*, 1999, **17**(2): 79~ 85
- [4] 孙彩霞, 沈秀瑛, 刘志刚. 作物抗旱性生理生化机制的研究现状和进展. *杂粮作物*, 2002, **22**(5): 285~ 288
- [5] 张正斌, 徐萍, 张建华, 等. 作物抗旱节水相关基因的标记和克隆及转基因研究进展. *西北植物学报*, 2002, **22**(6): 1537~ 1544
- [6] 高宁, 景蕊莲, 陈耀锋, 等. 作物抗旱相关分子标记及其辅助选择的研究进展. *植物遗传资源学报*, 2003, **4**(3): 274~ 278
- [7] 吴亮其, 范战民, 郭蕾, 等. 通过转 δ -OAT 基因获得抗盐抗旱水稻. *科学通报*, 2003, **48**(19): 2050~ 2056
- [8] 穆平, 李自超, 李春平, 等. 水、旱稻根系性状与抗旱性相关分析及其 QTL 定位. *科学通报*, 2003, **48**(20): 2162~ 2169
- [9] 栗雨勤, 张文英, 王有增, 等. 作物抗旱性鉴定指标研究及进展. *河北农业科学*, 2004, **8**(1): 58~ 61
- [10] 余守武, 谢建坤, 万勇. 水稻抗旱性相关性状的 QTLs 定位研究进展. *分子植物育种*, 2004, **2**(3): 391~ 400
- [22] 孙彩霞, 沈秀瑛. 作物抗旱性鉴定指标及数量分析方法的研究进展. *中国农学通报*, 2002, **18**(1): 49~ 51
- [23] 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. *作物学报*, 1996, **22**(4): 392~ 398
- [24] 余建英, 何旭宏编著. *数据统计分析与 SPSS 应用*. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [25] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究. *中国农业科学*, 1995, **28**(5): 65~ 72
- [26] 柴守玺. 小麦抗旱性状育种价值初步研究. *西北农业学报*, 1997, **6**(1): 26~ 29
- [27] 柴守玺, 王德轩. 水分亏缺条件下冬小麦几个抗旱性状的应用价值. *华北农学报*, 1993, **8**(1): 1~ 6
- [28] 江龙. 作物抗旱性的研究方法. *贵州农业科学*, 1999, **27**(5): 70~ 72