

水稻品种灌浆期耐热性的综合评判

张宏玉¹, 刘 凯¹, 钟平安¹, 王锋尖¹, 黄英金^{1,*}, 徐正进²

(1. 江西农业大学, 江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 南昌 330045; 2. 沈阳农业大学, 沈阳 110126)

摘要:建立了一种对水稻品种的灌浆期耐热性进行综合评判的方法。选取籽粒充实度、秕粒率、饱粒密度、垩白米率、垩白度等 5 个与水稻灌浆期耐热性强弱密切相关的性状, 以参评品种这 5 个性状的耐热系数为指标, 应用主成分分析法将 5 个彼此相关的单项指标转化为 2 个累计贡献率达到 85% 以上的相互独立的综合指标, 根据每一品种的 5 个单项性状的耐热系数和综合指标的标准化特征向量求出每一品种 2 个综合指标的得分。计算每一品种 2 个综合指标得分的隶属函数值, 并以综合指标的贡献率来确定 2 个综合指标的权重, 在此基础上进行加权求和, 从而得到每一品种灌浆期耐热性的综合评判值 (D 值)。采用系统聚类分析方法对各品种的综合评判值 (D 值) 进行数量分类, 同时结合生产实际的要求, 可把每一品种划归为不同的耐性等级。外部独立样本组的统计检验以及实践验证的结果表明, 所建立的综合评判方法具有理想的效果, 可以对不同品种灌浆期综合耐热性能的强弱作出客观、准确的评判。

关键词: 水稻; 灌浆期耐热性; 综合评判

文章编号: 1000-0933(2006)07-2154-07 中图分类号: S152 文献标识码: A

Comprehensive evaluated on heat tolerance at grain filling stage of different rice varieties

ZHANG Hong-Yu¹, LIU Kai¹, ZHONG Ping-An¹, WANG Feng-Jian¹, HUANG Ying-Jin^{1,*}, XU Zheng-Jin² (1. Jiangxi Agricultural University, Jiangxi Provincial Key Laboratory for Crop Physiology Ecology and Genetic Breeding, Nanchang 330045, China; 2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110126, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2154 ~ 2160.

Abstract: The characters of plants behave variously when stressed by adversity, and the range of variation of some certain character of different varieties under the stressed conditions is not completely identical. Consequently it is necessary to apply more than one index to give a comprehensive evaluation on stress resistant. In this article, taking the heat tolerance of different rice species at grain filling stage as an example, a comprehensive evaluation method that combines subordinative function method with principle component analysis and uses hierachical cluster analysis to do a quantitative classification has been set up to study the plants' stress resistant.

Principal component analysis can transfer many correlating indexes into several independent comprehensive indexes with little original information lost. Based on the test results which show that significance of difference is above the significant point, five correlated characters which have very close relationship with the effect of rice's heat tolerance at its filling stage are chosen. They are grain plumpness, imperfect grains percentage, density of full-filled grains, chalky grains percentage, and degree of chalkiness. By taking the heat tolerance coefficients of the five characters of evaluated varieties as the target and using principal component analysis, the five correlated single indexes are transferred into two independent comprehensive indexes with contribution ratio of accumulative total of more than 85%. Then according to heat tolerance coefficients and standardization eigenvector of five

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30160041)

收稿日期: 2005-11-26; 修订日期: 2006-04-10

作者简介: 张宏玉 (1964~), 女, 江西南昌人, 高级实验师, 主要从事植物生理生态研究. E-mail: jnzhanghy@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yjhuang_cn@yahoo.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30160041)

Received date: 2005-11-26; Accepted date: 2006-04-10

Biography: ZHANG Hong-Yu, Senior engineer, mainly engaged in plant physiological ecology. E-mail: jnzhanghy@126.com

respective characters of each variety, two comprehensive indexes' scores of every evaluated variety can be calculated accurately. The D value, comprehensive evaluation value of each variety's heat tolerance at its filling stage, can be deduced after calculating the subordinative function values of the two comprehensive indexes scores and using the contribution ratio of the comprehensive indexes to deduce the weight coefficient and then to weight sum. As the D value is a pure number between 0 to 1, the intensity difference of the stress resistant in different species and stress resistant grades of different species can be distinguished by using hierachical cluster analysis to do a quantitative classification and combining the produce requirement in reality.

The statistical test of the group of external independent sample and the result proved by practice show that the comprehensive evaluation method set up by this study has an ideal effect. It can give an objective and precise evaluation on the comprehensive heat tolerance at the grain filling stage of different varieties.

Key words: rice; heat tolerance at grain filling stage; comprehensive evaluation

目前在生态学研究中对植物适应性和抗逆性进行综合评判的方法运用较多的是隶属函数值法,并且通常是给各评判指标分配相同的权重^[1-5]。然而,由于各性状在抗逆机制中所起作用的大小不尽相同,对它们分配相同的权重显然与实际不符,同时,各性状的变化彼此之间存在相关性,因而所测定的数据会在一定程度上有信息的重叠。可见仅用隶属函数值法对植物的抗逆性进行综合评判仍存在着局限性。

水稻生长发育的过程对高温胁迫敏感^[6]。已有全球变暖导致水稻产量下降的直接证据^[7],因而水稻的耐热性研究显得十分迫切。灌浆期高温热害是影响我国水稻主产区双季早稻生产的主要自然灾害,造成早稻籽粒高温逼熟^[8-11]。有关水稻灌浆期耐热性的基因型差异及其生理生态和遗传机制的研究亟需进行^[12]。品种灌浆期耐热性的准确鉴定与评判,是开展相关研究的前提。水稻灌浆期高温热害的结果表现是多方面的,用单一指标将难以全面、准确地评判不同品种灌浆期耐热性的强弱^[10,11]。为此开展了水稻品种灌浆期耐热性综合评判方法的研究,现将结果报道如下。

1 材料与方 法

1.1 供试材料与试验设计

在广泛搜集、大量筛选与鉴定的基础上^[11,13-15],选择对灌浆期高温胁迫耐性有很大差异的赣良早 3 号、辐射 7055、中丝 2 号、中 86-44、中选 5 号、赣早籼 38 号、五山早占、D68、赣早籼 56 号等 18 个早稻纯系品种为试验材料。

试验于 2002 年和 2003 年在江西农业大学农学实验站进行,按温度×品种 2 因素设计,其中温度因素设乳熟期高温胁迫处理、常温对照 2 个水平,采用裂区试验设计,以温度为主区,品种为副区,小区面积 1.5 m×8m,3 次重复。根据各品种的播种至抽穗天数错期播种以使供试品种同期抽穗。各品种均在 4 月 26 日同时移栽,除试验因素外,其它因素保证均匀一致。

供试品种均在 6 月 22 日同期抽穗。高温胁迫处理于齐穗 7d 后进行,应用无色透明聚乙烯薄膜筒棚盖法^[11,16,17]连续处理 6d。据周际温度计记载,棚内气温在 8:00~10:00 就会较快上升,棚内气温比棚外气温高 3~4℃,棚内最高气温不超过 41℃,因而棚内气温可以模拟高温逼熟天气。

1.2 性状测定与测试方法

供试材料成熟后,同一品种选取有效穗数相等、生长发育正常且长势长相一致的单株进行取样,分别测定了 18 个供试品种灌浆期高温胁迫处理及常温对照成熟后的有关产量性状、品质性状及单株产量。取样当时将脱粒后的谷粒放入自来水(比重 1.0)精选,下沉者为饱粒,上浮者为空、秕粒,晒干,统一平衡水分含量为 13%,然后分别称重。其中,饱粒密度按徐云碧等的方法^[18]测定,空粒和秕粒用自制透光装置进行区分,秕粒率(%)=(每穗秕粒数/每穗总粒数)×100,籽粒充实度(%)=(受精粒粒重/饱粒粒重)×100。按农业部部颁标准《米质测定方法》测定稻米品质性状^[11]。

1.3 数据处理及统计方法

为消除品种间各性状固有差异的影响,将统计分析差异达显著水平的性状,按“胁迫指数 I = 高温胁迫处

理性状值/常温对照性状值”分别计算出每一品种各项性状的耐热系数 α 值。为了最终能正确地计算、运用隶属函数值,与耐热性方向不一致的性状,则用“反胁迫指数 $I_{反} = 1/(\text{高温胁迫处理性状值}/\text{常温对照性状值}) = \text{常温对照性状值}/\text{高温胁迫处理性状值}$ ”来计算其耐热系数 α 值。

根据品种灌浆期耐热性的前期筛选与鉴定结果,将 18 个供试品种分成高抗、中等、敏感等不同类别,然后再将各类别所包含的品种随机分配到 2 个相互独立的样本组分别进行数据统计分析。其中,第 1 组 11 个品种,分别以代码 G1-1、G1-2、G1-3、G1-4、G1-5、G1-6、G1-7、G1-8、G1-9、G1-10、G1-11 表示,第 2 组 7 个品种,分别为 G2-1、G2-2、G2-3、G2-4、G2-5、G2-6、G2-7。

运用 DPS 数据处理系统^[19]进行方差分析、差异显著性测验、主成分分析和聚类分析。其中每个品种各综合指标得分的隶属函数值按周宝焜介绍的方法^[20]计算。

2 结果与分析

2.1 不同水稻品种灌浆期耐热性强弱的评判指标

本研究测定了 18 个供试品种灌浆期高温胁迫处理及常温对照成熟后的有关产量性状、品质性状及单株产量。前期研究已表明水稻灌浆期高温胁迫后的结果表现主要为秕粒率增加、籽粒充实饱满、粒重降低、垩白增大等,最终表现是产量降低^[10,11]。由于产量是各个产量构成性状的综合,而且产量的准确鉴定对试验精确度要求很高^[11],考虑到大批供试品种性状测定的可行性和可靠性,因而在方差分析差异显著的基础上,选取籽粒充实度、秕粒率、饱粒密度、垩白米率、垩白度这 5 个性状进行耐热性综合评判研究。试验结果表明(表 1):灌浆期高温胁迫使水稻的籽粒充实度、饱粒密度下降,秕粒率提高,垩白米率、垩白度增加。这 5 个性状的方差分析结果显示其基因型差异均达到极显著统计水平,成对数据差异显著性测验均达到显著或极显著统计水平。可见这 5 个性状的耐热系数可以用作评判不同品种灌浆期耐热性强弱的指标。

表 1 灌浆期高温胁迫对水稻籽粒产量性状及品质性状的影响

Table 1 Effects of high temperature stress at grain filling stage on grain yield traits and quality traits of rice

处理 Treatment	籽粒充实度 GP (%)	秕粒率 IGP (%)	饱粒密度 DFG (g cm ⁻³)	垩白米率 CGP (%)	垩白度 DC (%)
高温胁迫 HT	92.69 ± 5.38	22.79 ± 5.31	1.05 ± 0.03	47.82 ± 26.21	7.32 ± 5.92
常温对照 NT	95.80 ± 2.37	12.76 ± 2.76	1.08 ± 0.03	32.18 ± 18.06	4.02 ± 3.75
差值 Difference	-3.11**	10.03**	-0.03*	15.64**	3.30**

*, ** 差异显著性达 5% 或 1% 统计水平; 下同 The significance at 0.05 or 0.01 statistical level; HT = High temperature stress, NT = Normal temperature contrast, GP = grain plumpness, IGP = imperfect grains percentage, DFG = density of full-filled grains, CGP = chalkiness grains percentage, DC = degree of chalkiness; the same below

2.2 供试品种各单项性状的耐热系数及其相关性

从供试品种 5 个性状的耐热系数 α 值(表 2)可以看出,各单项性状的耐热系数在不同品种间的大小次序是不一致的,因而单独用某一个性状的耐热系数来评判水稻品种灌浆期耐热性的强弱,则结果都会存在片面性。同时也说明水稻品种的灌浆期耐热性是一个复杂的综合性状,不同品种耐热性的性状表现各有侧重。

5 个性状的耐热系数 α 值的相关系数矩阵(表略)显示,所有单项指标间均存在不同程度的相关性,其中有些相关性达到极显著统计水平,表明它们所提供的整体信息会有重叠。同时,各单项指标在水稻灌浆期耐热性中的相对重要性也不一样。因而,如果直接利用这些指标采用隶属函数值法对不同品种的灌浆期耐热性进行综合评判,则评判结果将失之偏颇。

2.3 综合评判方法

2.3.1 主成分分析

主成分分析可以在很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转化为新的个数较少且相互独立的综合指标。2 个相互独立样本组 5 个单项指标的主成分分析结果(表 3)表明,第 1 组前 2 个综合指标的累计贡献率达到 87.8629%,第 2 组则达到 88.6909%,说明 2 个样本组中 2 个综合指标均能代表原来 5 个单项指标的绝大部分信息,而且各综合指标所代表的信息不再重叠。根据每一品种 5 个性状的耐热系数(表 2)和综合指标的标准化特征向量(表 3)计算出各供试品种前 2 个综合指标的得分列

于表 4。

表 2 各单项性状的耐热系数 α 值

Table 2 α value of every single characteristic's heat-tolerance coefficient

组别 Group	品种 Variety	籽粒充实度 GP	秕粒率 IGP	饱粒密度 DFG	垩白米率 CGP	垩白度 DC
第 1 组 Group 1	G1-1	0.9314	0.6451	0.9238	0.7311	0.5382
	G1-2	0.9730	0.5649	0.9665	0.7920	0.6904
	G1-3	0.9419	0.3724	0.9764	0.6806	0.5674
	G1-4	0.9402	0.3859	0.9291	0.4950	0.3471
	G1-5	0.9586	0.5626	0.9496	0.7650	0.6882
	G1-6	0.9788	0.7795	0.9856	0.6513	0.5259
	G1-7	0.9696	0.2717	0.9797	0.5950	0.3829
	G1-8	0.9837	0.7903	0.9748	0.5331	0.5249
	G1-9	0.9777	0.9334	0.9782	0.8060	0.7466
	G1-10	0.9856	0.8821	0.9862	0.8337	0.7643
	G1-11	0.9348	0.1642	0.9425	0.5619	0.2945
第 2 组 Group 2	G2-1	0.9855	0.6289	0.9842	0.4641	0.4341
	G2-2	0.9395	0.3871	0.9440	0.4152	0.2362
	G2-3	0.9392	0.3264	0.9528	0.6473	0.4323
	G2-4	0.9656	0.6287	0.9626	0.9700	0.7837
	G2-5	0.9734	0.3372	0.9388	0.6331	0.5551
	G2-6	0.9342	0.4795	0.9512	0.8777	0.6213
	G2-7	0.9814	0.9336	0.9775	0.9989	0.7212

表 3 供试品种前 2 个综合指标的标准化特征向量、特征值、贡献率和累计贡献率

Table 3 Standardization eigenvector of every varieties' comprehensive index (CI), eigenvalue, contribution ratio (CR) and contribution ratio of accumulative total (CRAT)

组别 Group	指标 Index	籽粒充实度 GP	秕粒率 IGP	饱粒密度 DFG	垩白米率 CGP	垩白度 DC	特征值 Eigenvalue	贡献率 CR (%)	累计贡献率 CRAT (%)
第 1 组 Group 1	CI(1)	0.4538	0.4676	0.3905	0.4175	0.4986	3.3019	66.0379	66.0379
	CI(2)	0.4835	0.0776	0.5765	-0.5440	-0.3632	1.0912	21.8250	87.8629
第 2 组 Group 2	CI(1)	0.3901	0.5256	0.4321	0.4141	0.4619	3.1032	62.0635	62.0635
	CI(2)	0.4614	0.1470	0.4581	-0.5876	-0.4587	1.3314	26.6274	88.6909

2.3.2 隶属函数值计算 按照隶属函数值的计算方法^[20],每一品种 2 个综合指标得分的隶属函数值用公式 $\mu(x_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ($j = 1, 2, \dots, n$) 计算,式中 X_j 表示第 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。计算结果列于表 4。

2.3.3 权重确定 根据各个主要综合指标贡献率的大小,用以下公式求出各综合指标的权重, ($W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j, j = 1, 2, \dots, n$),式中 W_j 值表示第 j 个综合指标的相对重要程度即权重, p_j 为第 j 个综合指标的贡献率。两组品种 2 个综合指标的权重计算结果列于表 4。

2.3.4 综合评判值计算 根据隶属函数值和权重的计算结果,用以下公式来量化每一品种的综合耐热性能的强弱, ($D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \cdot W_j], j = 1, 2, \dots, n$),本研究中, D 值为各品种灌浆期耐热性的综合评判值。

2.3.5 不同品种灌浆期耐热性强弱的综合评判 从 D 值结果(表 4)可以看出,第 1 组的 11 个品种其灌浆期耐热性强弱的次序为 G1-10 > G1-9 > G1-6 > G1-8 > G1-2 > G1-7 > G1-5 > G1-3 > G1-1 > G1-4 > G1-11。用类平均法对 D 值进行聚类分析,同时结合生产实际的要求,以 D 值 > 0.8 为高抗, D 值 < 0.2 为敏感,可进一步将上述品种划归为 3 类,高抗品种有 G1-10、G1-9,中等品种有 G1-6、G1-8、G1-2、G1-7、G1-5、G1-3、G1-1,敏感品种有 G1-4、G1-11。

第 2 组的 7 个水稻品种其灌浆期耐热性强弱的次序为 G2-7 > G2-1 > G2-4 > G2-5 > G2-6 > G2-3 > G2-2,也

可进一步将它们划归为3类,高抗品种有G2-7,中等品种有G2-1、G2-4、G2-5、G2-6、G2-3,敏感品种有G2-2。

表4 各品种综合指标得分(SCI)、隶属函数值($\mu(x_j)$)、权重、 $Y(x_j)$ 、D值、综合评判结果及预测值

Table 4 Score of comprehensive index (SCI), subordinate function value ($\mu(x_j)$), weight coefficient (WC), weight value ($Y(x_j)$), D-value, evaluation of heat tolerance (EHT) and forecast value (FV) of every varieties

组别 Group	品种 Variety	SCI(1)	SCI(2)	$\mu(1)$	$\mu(2)$	Y(1)	Y(2)	D	EHT	FV
第1组 Group 1	G1-10	2.8281	-0.1455	1.0000	0.5257	0.7553	0.1287	0.8839	高抗 HR	0.8731
	G1-9	2.4438	-0.3941	0.9344	0.4562	0.7058	0.1116	0.8174	高抗 HR	0.8102
	G1-6	1.0165	1.1480	0.6909	0.8874	0.5218	0.2172	0.7390	中等 ML	0.7652
	G1-8	0.5139	1.5506	0.6052	1.0000	0.4571	0.2447	0.7018	中等 ML	0.7237
	G1-2	1.1839	-0.5021	0.7195	0.4260	0.5434	0.1043	0.6477	中等 ML	0.5729
	G1-7	-0.9484	1.5381	0.3557	0.9965	0.2686	0.2439	0.5125	中等 ML	0.4760
	G1-5	0.4375	-1.1672	0.5921	0.2400	0.4472	0.0587	0.5060	中等 ML	0.4125
	G1-3	-0.5337	-0.1093	0.4264	0.5358	0.3221	0.1311	0.4532	中等 ML	0.4049
	G1-1	-1.1062	-2.0256	0.3288	0.0000	0.2483	0.0000	0.2483	中等 ML	0.1603
	G1-4	-2.8021	0.0056	0.0394	0.5680	0.0298	0.1390	0.1688	敏感 S	0.0968
	G1-11	-3.0331	0.1016	0.0000	0.5948	0.0000	0.1456	0.1456	敏感 S	0.0602
权重 WC			0.7553	0.2447						
第2组 Group 2	G2-7	2.9972	0.1016	1.0000	0.4143	0.6998	0.1244	0.8242	高抗 HR	0.8536
	G2-1	0.6974	2.3556	0.5852	1.0000	0.4095	0.3002	0.7097	中等 ML	0.6792
	G2-4	1.5953	-1.0046	0.7472	0.1268	0.5228	0.0381	0.5609	中等 ML	0.6619
	G2-5	-0.9102	-0.2311	0.2953	0.3278	0.2066	0.0984	0.3051	中等 ML	0.4254
	G2-6	-0.3197	-1.4927	0.4018	0.0000	0.2812	0.0000	0.2812	中等 ML	0.3800
	G2-3	-1.5127	-0.3298	0.1866	0.3022	0.1306	0.0907	0.2213	中等 ML	0.2931
	G2-2	-2.5474	0.6009	0.0000	0.5440	0.0000	0.1633	0.1633	敏感 S	0.1871
权重 WC			0.6998	0.3002						

HR: Highly Resistant; ML: Moderately level; S: Susceptible

2.4 综合评判方法的检验

2.4.1 统计检验 将第1组11个品种的灌浆期耐热性综合评判值(D值)作依变量,各单项性状的耐热系数(α 值)作自变量采用逐步回归方法建立最优回归方程,计算结果为: $D = -8.2801 + 5.1262X_1 + 0.2650X_2 + 4.3939X_3 + 0.1219X_4 + 0.0390X_5$,式中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别代表籽粒充实度、秕粒率、饱粒密度、垩白米率、垩白度5个性状的耐热系数。5个自变量的偏回归系数均达到极显著统计水平,方程的决定系数 $R^2 = 0.9999$,表明这5个自变量可决定D值总变异的99.99%。采用该回归方程对外部独立样本组即第2组7个品种的灌浆期综合耐热性能进行预测,其预测值一并列于表4,预测值与第2组本身计算出来的综合评判值(D值)在各品种间的大小次序是完全一致的,两者高度相关($r = 0.9797$),并达到极显著统计水平。表明所建立的最优回归方程能够很好地量化每一品种的灌浆期综合耐热性能与其各单项性状耐热系数之间的因果关系。

同样,利用第2组7个品种的数据也可建立相应的最优回归方程,结果为: $D = -9.4395 + 3.9659X_1 + 0.3917X_2 + 5.8138X_3 + 0.0393X_4 + 0.1431X_5$,5个自变量的偏回归系数均达到极显著统计水平,方程的决定系数 $R^2 = 0.9999$ 。采用该回归方程对第1组11个品种的综合耐热性能进行预测(表4),预测值与本身计算出来的综合评判值(D值)在各品种间的大小次序也是完全一致的,两者也高度相关($r = 0.9948$),达极显著统计水平,由此可知该方程也能很好地量化每一品种的灌浆期综合耐热性能与其各单项性状耐热系数之间的因果关系。

2.4.2 实践验证 品种在高温胁迫下灌浆成熟具有稳定的高产性能,是生产实践中对水稻品种灌浆期耐热性的根本要求。为此,进行了供试品种的灌浆期耐热性综合评判值(D值)与其单株产量耐热系数的相关分析。第1组11个品种的灌浆期耐热性综合评判值与各品种的单株产量耐热系数为高度相关($r = 0.9302$),并达到极显著统计水平;第2组7个品种,两者也高度相关($r = 0.9821$),达极显著统计水平。实践验证进一步表明,本研究所建立的耐热性综合评判方法具有理想的效果。

3 讨论与小结

3.1 关于综合评判方法的建立

植物受逆境胁迫后的性状表现是多方面的,而且不同品种在逆境胁迫下某一具体性状的变化幅度也不尽相同,因而必须同时采用多个指标对抗逆性进行综合评判;隶属函数法是目前对植物抗逆性进行综合评判中普遍采用的方法^[1-5]。然而,仅用隶属函数法对植物抗逆性进行综合评判仍存在着局限性。主成分分析可以在很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多且彼此相关的指标转化成少数几个相互独立的综合指标。在主成分分析基础上,求出每一品种主要综合指标的得分及相应的隶属函数值,并进行加权求和,即可得出每一品种抗逆性的综合评判值(D 值)。若采用系统聚类分析对 D 值进行数量分类,同时结合生产实际的要求,可更加便于把供试群体的每一品种划归为不同的抗逆性等级。隶属函数法与主成分分析相结合,既利用了各指标间内在的深层次的联系,克服了因各单项指标的相关性带来的信息重叠,也利用了主成分分析可以根据贡献率大小得到各综合指标的权重,从而避免了人为确定权重的主观性,可使植物抗逆性的综合评判更为科学、全面和合理,进而使不同品种间抗逆性的差异更具有可比性。

作为一种统计学方法,主成分分析只在众多的单项指标中提取少数综合指标,而不考虑研究性状与目标间的方向性问题。在本研究中,高温胁迫后品种的籽粒充实度、饱粒密度会降低,耐热性愈强的品种其籽粒充实度、饱粒密度的胁迫指数愈高,两者方向是一致的;而高温胁迫处理后品种的秕粒率、垩白米率、垩白度会增加,耐热性愈强的品种其秕粒率、垩白米率、垩白度的胁迫指数愈低,两者方向是相反的。如果不把各单项指标转化成同一方向,则不能正确地运用隶属函数值来计算它们对耐热性的贡献^[11]。为此,必需对不同方向的指标进行转化。本研究中,对与耐热性变化方向相一致的性状用胁迫指数 $I(\%) = \text{胁迫处理性状值} / \text{对照性状值} \times 100$ 计算其耐热系数 α ,对与耐热性变化方向相反的性状则用反胁迫指数 $I_{\text{反}} = 1 / (\text{胁迫处理性状值} / \text{对照性状值})$ 来计算其耐热系数 α ,从而使计算出来的耐热系数能够准确地反映各单项指标对耐热性的贡献,进而使水稻品种灌浆期耐热性的综合评判更为准确、可靠。

本研究将供试品种按照高抗、中等、敏感搭配的原则随机分成2个相互独立的样本组,分别进行统计分析。将第1组11个品种的耐热性综合评判值(D 值)作依变量,它们各单项性状的耐热系数(α 值)作自变量采用逐步回归方法建立了最优回归方程,采用该方程对第2组7个品种的综合耐热性能进行预测,预测值与第2组本身计算出来的综合评判值(D 值)在各品种间的大小次序是完全一致的,两者之间的相关系数为高度相关,达到极显著统计水平。同样,利用第2组建立的最优回归方程,对第1组11个品种的综合耐热性能进行预测,预测值与 D 值在各品种间的大小次序也是完全一致的,两者之间的相关系数也为高度相关,并达到极显著统计水平。对供试品种的灌浆期耐热性综合评判值(D 值)与其单株产量的耐热系数进行相关分析的实践验证进一步表明,本研究所建立的耐热性综合评判方法具有理想的效果。如果在统一条件下测定其它品种的上述5个性状并求耐热系数,根据耐热系数,也可对其它品种灌浆期耐热性的强弱作出预测。同理,还可采用这种方法进行其它的植物抗逆性综合评判。

本研究结果还表明,不同水稻品种其耐热性的性状表现不一样,其耐热机制也不尽相同。因而,利用所建立的方法对植物抗逆性进行综合评判的意义还在于可以根据某一品种每一项综合指标得分的高低来提高抗逆性育种的针对性,尤其是可以根据不同品种的得分情况采取相应的育种手段有针对性地提高品种得分低的 μ 值进行有目的地聚合育种,累加相应的基因则可进一步提高该品种的耐热性,从而使植物抗逆性的遗传改良具有更强的针对性和预见性。

3.2 关于水稻灌浆期耐热性的评判指标

与前期的研究相比^[11],本研究以籽粒充实度来量化不同品种灌浆期高温胁迫与否谷粒充实状况的变化。由于①水稻籽粒物质积累受颖壳的机械限制,②只有具受精能力的颖花才具有物质积累潜力,③因颖花位置差异或其它原因会产生饱粒和秕粒,因而籽粒充实度的衡量指标至少必需从单位库体积大小、结实率、饱粒粒重及所有受精谷粒(饱、秕粒)平均粒重4个方面来衡量具有一定体积的谷壳内子房填充的程度。本研究以受

精谷粒粒重与饱粒粒重之比作为籽粒充实度的衡量指标正好包含了上述4个因素,而且它还具有明确的专业意义,即受精粒的平均粒重反映了谷粒实际充实的程度,比重大于1.0的饱粒平均粒重表示可充实的限度,两者之比是谷粒实际充实量与可能最大充实量的比率。以品种的耐热性综合评判值(D 值)作依变量,各单项性状的耐热系数(α 值)作自变量建立的最优回归方程中,籽粒充实度 α 值具有较大的偏回归系数。因而,在水稻品种灌浆期耐热性的研究中可把籽粒充实度的耐热系数作为一项关键性的指标。

References:

- [1] Salski A. Fuzzy knowledge-based models in ecological research. *Ecol Model*, 1992, 63(1): 103 ~ 112.
- [2] Kenny G J, Shao J. An assessment of a latitude-temperature index for predicting climate suitability for grapes in Europe. *J Horticult Sci*, 1992, 67(2): 239 ~ 246.
- [3] 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.
- [4] Song H Y, Lei J J, Li C Q. The appraisal and valuation of heat stressed response and heat tolerance of the plants. *China Vegetables*, 1998, (1): 48 ~ 50.
- [5] Chen D M, Yu R P, Yang J S. Evaluation of salt resistance of wheat with subordinate function value method. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 368 ~ 374.
- [6] Surekha K A, Manu A, Anil G. Heat-tolerant basmati rice engineered by over-expression of hsp101. *Plant Molecular Biology*, 2003, 51(5): 677 ~ 686.
- [7] Peng S B, Huang J L, Sheehy J E, et al. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(27): 9971 ~ 9975.
- [8] Wang S Q, Chen Y N. Crops yield and weather climate. Beijing: Science Press, 1991. 158 ~ 159.
- [9] Wu X Z, Li L, Li L P. The local environment and the planting area delimits of rice area in Chinese. In: Xiong Z M, Cai H F chief eds. *Chinese Rice*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1992. 77 ~ 78.
- [10] Gao L Z, Li L. Rice meteorology and ecology. Beijing: Agricultural Press, 1992. 446 ~ 461.
- [11] Huang Y J, Luo Y F, Huang X Z, et al. Varietal difference of heat tolerance at grain filling stage and its relationship to photosynthetic characteristics and endogenous polyamine of flag leaf in rice. *Chinese J Rice Sci*, 1999, 13(4): 205 ~ 210.
- [12] Satoshi M, Jun-Ichi Y, Jun-Ichi T. Grain growth and endosperm cell size under high night temperatures in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*, 2005, 95(4): 695 ~ 701.
- [13] Zhang H Y, Huang Y J, Wang D H, et al. A study on developing near isogenic lines of heat tolerance at grain filling stage in rice. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(6): 847 ~ 853.
- [14] Huang Y J, Zhang H Y, Guo J Y, et al. Preliminary studies on the physiological mechanism and the breeding of high tolerance of heat-forced maturity in rice. *Science Technology and Engineering*, 2004, 4(8): 655 ~ 658.
- [15] Wang F J, Huang Y J, Li D L, et al. Analysis on the correlation among morphological anatomic traits in rice. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(4): 477 ~ 484.
- [16] Xu R Q, Sun Q X, Zhang S Z. Preliminary study on grain filling characteristics of wheat cultivars with different heat high temperature tolerance. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 1996, 12(6): 7 ~ 10.
- [17] Lu Z X, Qu J B, Fu H Y, et al. Study on variations of heat shock protein and endogenous hormone. *Soybean Science*, 1998, 17(4): 318 ~ 325.
- [18] Xu Y B, Shen Z T. Effects of waxy gene on yield components in rice (*Oryza sativa* L. sp. *indica*). *Acta Agronomica Sinica*, 1989, 15(3): 237 ~ 242.
- [19] Tang Q Y, Feng M G. Practical statistical analysis and its DPS data processing system. Beijing: Science Press, 2002.
- [20] Zhou B K. Fuzzy mathematics application and procedure in agriculture. Xiamen: Xiamen University Press, 1992. 220 ~ 256.
- [21] Xiao R B, Zhou Z X, Wang P C. Landscape pattern analysis and comprehensive assessment of greenbelt in Wuhan steel & iron industrial district. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1924 ~ 1930.
- [22] Sun Z H, Wang Q C. The estimate of root biomass in upper soil layer of *Fraxinus mandshurica* plantation by geostatistics method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 923 ~ 930.

参考文献:

- [3] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 等. 甘薯品种抗旱生理指标及其综合评价初探. *作物学报*, 1996, 22(4): 392 ~ 398.
- [4] 宋洪元, 雷建军, 李成琼. 植物热胁迫反应及抗热性鉴定与评价. *中国蔬菜*, 1998, (1): 48 ~ 50.
- [5] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍下小麦抗盐性的隶属函数值法评价. *土壤学报*, 2002, 39(3): 368 ~ 374.
- [8] 王世普, 程延年. 作物产量与天气气候. 北京: 科学出版社, 1991. 158 ~ 159.
- [9] 吴宪章, 李林, 李路平. 中国稻区的风土环境和种植区划. 见: 熊振民, 蔡洪法主编. *中国水稻*. 北京: 中国农业科技出版社, 1992. 77 ~ 78.
- [10] 高亮之, 李林. 水稻气象生态. 北京: 农业出版社, 1992. 446 ~ 461.
- [11] 黄英金, 罗永锋, 黄兴作, 等. 水稻灌浆期耐热性的品种间差异及其与剑叶光合特性和内源多胺的关系. *中国水稻科学*, 1999, 13(4): 205 ~ 210.
- [13] 张宏玉, 黄英金, 王德煌, 等. 水稻灌浆期耐热性近等基因系的选育研究. *江西农业大学学报*, 2004, 26(6): 847 ~ 853.
- [14] 黄英金, 张宏玉, 郭进耀, 等. 水稻耐高温逼熟的生理机制及育种应用研究初报. *科学技术与工程*, 2004, 4(8): 655 ~ 658.
- [15] 王锋尖, 黄英金, 李德荣, 等. 水稻形态解剖性状间的相关分析研究. *江西农业大学学报*, 2004, 26(4): 477 ~ 484.
- [16] 徐如强, 孙其信, 张树榛. 不同耐热性小麦品种的籽粒灌浆特性及其对高温反应的初步研究. *中国农学通报*, 1996, 12(6): 7 ~ 10.
- [17] 路子显, 曲建波, 傅鸿仪, 等. 大豆热激蛋白与内源激素变化的研究. *大豆科学*, 1998, 17(4): 318 ~ 325.
- [18] 徐云碧, 申宗坦. 水稻糯质基因对产量构成性状的影响. *作物学报*, 1989, 15(3): 237 ~ 242.
- [19] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002.
- [20] 周宝焜. 农业中的模糊数学应用及程序. 厦门: 厦门大学出版社, 1992. 220 ~ 256.
- [21] 肖荣波, 周志翔, 王鹏程. 武钢工业区绿地景观格局分析及综合评价. *生态学报*, 2004, 24(9): 1924 ~ 1930.
- [22] 孙志虎, 王庆成. 采用地统计学方法对水曲柳人工纯林表层根量的估计. *生态学报*, 2005, 25(4): 923 ~ 930.