

基于 GGE 双标图法的西瓜抗旱性 鉴定评价方法

孙小妹, 陈菁菁, 陈年来

(甘肃农业大学, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以 7 个已知抗旱性的西瓜品种为试材, 大田条件下测定其在正常供水、轻度和中度水分胁迫下的经济产量及产量构成性状。选用 7 种评价方法对试材的经济产量进行评价比较, 利用 GGE – biplot 双标图分析系统, 筛选西瓜抗旱性评价的适宜方法。结果表明: 随水分胁迫加剧, 供试西瓜材料的产量逐渐降低, 降幅具有明显的品种间差异; 抗旱品种为了实现最大可能性的产量产出, 单果重与单株坐果数间存在权衡效应, 而干旱敏感性品种的单果重与单株坐果数间并无权衡关系, 果型大小比较不稳定, 且单株坐果数变幅较大, 不能够保障产量丰收; 在 GGE – biplot 分析系统中利用折合公顷产量分析试材间抗旱性的相似性, 所得结果与已知品种抗旱性强弱规律一致; 以折合公顷产量为基准, 试材和评价方法位于 GGE – biplot 双标图不同的扇区内, 与已知抗旱性强的试材位于同一扇区的评价方法即为筛选出适宜的评价方法; 在轻度和中度水分胁迫下, 筛选出 YSI (抗旱系数)、DRI (抗旱指数)、MP (平均产量)、STI (耐旱指数) 与 GMP (几何平均产量) 为西瓜抗旱性评价的适宜方法, 其中 MP、STI 与 GMP 属同一类评价方法, YSI 与 DRI 属同一类。本研究结果对西瓜抗旱资源筛选和新品种抗旱性鉴定具有理论指导意义。

关键词: 西瓜; 抗旱性; GGE – biplot; 评价方法

中图分类号: S332.1; S651 **文献标志码:** A

Evaluation methods on watermelon drought resistance on the basis of GGE biplot

SUN Xiao-mei, CHEN Jing-jing, CHEN Nian-lai

(Gansu Agricultural University, Gansu Key Laboratory of Arid habitats Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field investigation with seven watermelon genotypes was conducted under three soil moisture levels, and the yield and its components were determined. The yield drought-resistance coefficients were calculated using seven evaluation methods. On the basis of principal component analysis and the correlations among the drought-resistance evaluation methods, the identification indexes were analyzed by GGE – biplot. The results showed that the fruit yield was decreased as soil moisture became reduced, and the extents varied within genotypes. Clear traits trade-off was found between fruit weight and fruit number per plant in varieties with higher drought resistance. For example, genotypes 238 and Xinongbahao with high fruit number per plant will have low fruit weight. However, traits trade-off was not found in drought sensitive genotypes. The results obtained from genotype comparisons using yield based GGE – biplot were similar to the known drought-resistant abilities of the genotypes. Based on the yield, YSI (yield stability index), DRI (drought resistant index), MP (mean productivity), STI (stress tolerance index) and GMP (geometric mean productivity) were selected as the suitable drought evaluation indexes under water stress after GGE – biplot analysis. MP, STI and GMP belonged to the same category, and YSI and DRI were in the other category. The results imply an important theoretical significance in guiding the screening of drought resistant watermelon germplasms and the identification of drought resistance of watermelon cultivars.

Keywords: watermelon; drought resistance; GGE – biplot; evaluation method

干旱限制植物生长发育, 导致作物产量下降, 其 不利影响已超过其它所有非生物胁迫的总和^[1]。培

收稿日期: 2016-01-22
基金项目: 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金资助 (GSCS – 2010 – 06)
作者简介: 孙小妹 (1986—), 女, 甘肃临洮人, 讲师, 主要从事植物生理生态学的研究。E-mail: sunxiaomei86@163.com。
通信作者: 陈年来 (1962—), 男, 甘肃民勤人, 教授, 主要从事植物生理生态学的研究。E-mail: chenln@gsau.edu.cn。

育抗旱品种是减少旱灾损失的重要途径^[2],而抗旱育种的效果和效率极大地依赖于对育种资源和育成品种抗旱性的准确鉴定与评价^[3]。我国作为世界上西瓜种植面积和产量、销量最大的国家^[4],西瓜产业可谓是具有较强国际竞争力和较大经济增长空间的重要园艺产业之一^[5]。然而,目前推广的西瓜品种多是在灌溉条件下选育的,难以适应西瓜抗旱栽培的需要。据我们所知,目前国内针对砂田等旱作条件的专用西瓜品种只有陇抗九号、宁农科三号等少数几个,因此,选育西瓜抗旱品种十分迫切^[6-8]。

多年来,国内外学者在作物抗旱性方面做了大量研究工作,提出了多种抗旱性评价方法。如敏感指数、抗旱指数、抗旱系数与隶属函数等^[3,9]。然而,利用这些评价方法分析材料的抗旱性强弱时,仅侧重于品种主效应的差异比较,忽略了品种与环境的互作效应^[10]。GGE - biplot 双标图分析系统弥补了这一缺憾,同时考虑了品种主效应(the genotypic main effect, G)以及品种 - 环境互作效应(genotype by environment interaction, GE),是一种研究二因素互作模式的图解法^[10]。此法借助辅助线以图解的方式划分相应生态区,获得品种、鉴定指标或者评价方法间的相互关系,准确直观地反映出何种品种在何种环境下表现最佳,哪种指标为适宜的鉴定指标或评价方法。该方法已在部分作物的研究中得到了有效应用,如小麦品种抗旱性鉴定指标的筛选^[11]、不同基因型甘蔗品种农艺性状及性状稳定性的研究^[12]、烤烟新品种重要经济性状的筛选^[13]等。

作物的抗旱性是一个受多基因控制的易与环境互作的复杂性状,利用单一的评价方法评价种质资源的抗旱性具有片面性,可能导致不同的结论^[11]。另外,单靠西瓜栽培种内的遗传资源已不能满足育种工作的需要,近缘种的抗性基因需要被引入西瓜抗旱育种的工作当中。因此,本研究选取抗旱性不同的西瓜材料,在三种土壤水分条件下测定产量相关性状指标,同时利用分析品种主效应与品种 - 环境互作效应的 GGE 双标图分析系统,试图建立西瓜种质资源成株期抗旱性评价的可靠方法,以期西瓜抗旱育种提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

依据文献资料^[6,14-15]和 2009 年预备试验结果,选择了 7 份抗旱性有差异的西瓜材料为试材。其中,PI - 296341(代号 328,北京市蔬菜研究中心提供)、PI 220779 Terboz(代号 238,北京市蔬菜研究中

心提供)和西农八号为抗旱性材料;白二号(籽瓜育种材料)和甜籽一号(籽瓢兼用西瓜新品种)为中间型;京欣二号和 Sweet Crimson 为干旱敏感品种。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地点 试验于 2010 年 5—8 月在石羊河下游民勤绿洲进行。试验期间利用微型气象站(Watchdog, 美国)记录降水量,2010 年西瓜生育期 8 次单次降水量 ≤ 5 mm,合计共 36.6 mm,其中 2 次在西瓜幼苗期。

1.2.2 试验方法 试验田间布置采用裂区设计:灌水处理为主区、供试材料为副区,三次重复,采用水旱塘种植模式沟灌。设正常灌水、轻度和中度胁迫三个灌水处理,每次灌水量分别为 234.6、183.6 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 122.4 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。48 小时后湿润层(0 ~ 40 cm)实测土壤含水率分别为 16.5% ~ 17.5%、14.5% ~ 15.5%和 13.0% ~ 14.0%。每个水旱塘宽 3 m、长 33 m,每沟种植 2 行,每个品种 20 株,随机排列,株距 0.4 m。播种前浇足底墒水,于伸蔓期末开始控水至果实成熟。用水泵连接水表控制灌水量。在实验地整地划垄之前,施用农家肥作为基肥。播种之后,追加伸蔓肥(施尿素 3 ~ 4 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$)和膨瓜肥(施尿素 5 ~ 10 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$,复合肥 15 ~ 20 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$,钾肥 10 $\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$)。采用三蔓整枝,花期自然授粉。每个品种均在果实膨大期结束后分 2 ~ 3 次采收。采收成熟度依据坐果节及其前后各 1 个节位的卷须枯萎程度和果实指弹回声判断。各品种第一次采收时仍未定个的幼小果实不计入产量。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 测定指标 果实成熟期统计小区株数,统计果数并单独称重折合公顷产量。

公顷产量 = 公顷株数 $\times$ (平均株果数 $\times$ 平均单果重)

1.3.2 评价方法

抗旱系数 YSI (yield stability index) = Y_s/Y_p ^[3]

耐旱指数 STI (stress tolerance index) = $(Y_s \times Y_p)/Y_{pi}$ ^{2[1]}

几何平均产量 GMP (geometric mean productivity) = $(Y_s \times Y_p)^{1/2[1]}$

平均产量 MP (mean productivity) = $(Y_s + Y_p)/2$ ^[1]

耐旱能力 TOL (stress tolerance) = $Y_p - Y_s$ ^[3]

百分比变幅 % Reduction = $(Y_p - Y_s)/Y_p \times 100\%$ ^[3]

抗旱指数 DRI (drought resistant index) = $(Y_s/Y_p) \times (Y_s/Y_{si})$ ^[16]

式中, Y_s 为某品种在水分胁迫下的指标值; Y_p 为某品种的对照指标值; Y_{si} 为所有参试品种在胁迫下的平均指标值; Y_{pi} 为所有参试品种的对照平均指标值。以上评价方法被许多研究者所采用,用于不同经济作物的抗旱性评价过程当中^[17-20]。

1.4 数据分析

利用 SPSS 16.0 统计软件进行方差分析,Duncan 多重比较法进行参试材料间各指标的差异显著性分析。应用 GGE biplot 分析系统验证试材的抗旱级别,分析不同评价方法和试材间的关系。对试材实验数据进行指标离差标准化,在经过主成分分析和特征值分配后,用前 2 个主成分值,即以第一主成分(PC1)为 x 轴,第二主成分(PC2)为 y 轴将品种和评价方法指标置于一个平面图上,形成 GGE 双标图。用图中指标向量和相邻指标间的夹角余弦值判断指标间的相关性。用直线将离原点最远的品种连接形成多边形,由原点作各边的垂线,将整个图分成几个扇形区,与已知抗旱性强的试材位于同一扇区的评价方法即为筛选出适宜的评价方法。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对参试品种产量性状的影响

从两个单株产量构成因素来看,除京欣二号在轻度胁迫下单果重有所增加(11.1%)外,其它品种在两个胁迫水平下均表现为降低,7 份材料的单果重平均降幅为 14.4%(轻度胁迫)至 33.1%(中度胁迫)。在轻度和中度水分胁迫下,238、西农八号和白二号 3 份材料的单株果数略有增加;其它 4 份材料

则不同程度降低,Sweet Crimson 的降幅更高,达 40.5%(轻度胁迫)和 46.7%(中度胁迫)。

农业生产的最终目的是获取经济产量,干旱胁迫下产量高低是作物抗旱性的最终衡量标准。虽然 328 在水分胁迫条件下的产量显著降低(在轻度和中度胁迫下分别降低 34.9% 和 45.3%),但由于其产量潜力(充分灌水时的产量)最高,所以在水分胁迫下的果实产量仍显著高于其它供试材料(表 1)。甜籽一号和 Sweet Crimson 虽然产量潜力也较高,但是在水分胁迫下产量降幅很大(分别为轻度胁迫下 26.2% 和 44.8%、中度胁迫下 45.9% 和 66.7%),故而在胁迫条件下的产量与 238 没有显著差异,后者在胁迫条件下产量降幅较小(分别为 7.8% 和 26.6%),但产量潜力不及甜籽一号和 Sweet Crimson。西农八号、白二号和京欣二号因产量潜力显著低于上述各品种,虽然在胁迫条件下的减产幅度并不是很大,但最终产量却不高。

利用 GGE biplot 分析系统,以参试品种的产量为标度,再次验证 7 个品种的抗旱性强弱。选取任意品种位于同心圆原点作为参照,按照其他品种离同心圆原点的距离比较参试材料间的相似性划分类别。在轻度与中度干旱胁迫下,西农八号与 238 离同心圆的原点最近,与 328 归为第一类;白二号与甜籽一号为第二类;京欣二号与 Sweet crimson 离原点最远为第三类(图 1)。这与品种的已知抗旱性结果一致,即 328、238 和西农八号为抗旱性品种,白二号和甜籽一号为中间型,京欣二号和 Sweet Crimson 为干旱敏感性品种。

表 1 供试品种水分胁迫处理下的产量性状(平均值±标准差)

Table 1 Yield characters of tested varieties under different treatments (mean±SD)

品种 Cultivar	单果重 Fruit weight per plant/kg			单株坐果数 Fruit number per plant/个			折合产量 Fruit yield/(kg·hm ⁻²)		
	对照 Control	轻度胁迫 Mild drought stress	中度胁迫 Moderate stress	对照 Control	轻度胁迫 Mild drought stress	中度胁迫 Moderate stress	对照 Control	轻度胁迫 Mild drought stress	中度胁迫 Moderate stress
328	3.16±0.22ab	2.28±0.17bc	2.14±0.02ab	2.25±0.03a	2.03±0.09a	1.82±0.19a	59266±3192a	38600±2805a	32423±2928a
238	3.26±0.16ab	2.90±0.04a	2.33±0.07a	1.05±0.17c	1.09±0.03b	1.09±0.14bc	28672±1539bc	26449±1523b	21060±1781b
西农八号 Xinong No.8	2.69±0.48bc	2.37±0.35bc	2.21±0.22ab	0.95±0.01c	1.00±0.07b	1.00±0.04bc	21331±1345c	19904±1245cd	18420±971b
白二号 Bai No.2	2.71±0.11bc	2.07±0.15c	1.94±0.45abc	0.93±0.08c	0.98±0.04bc	0.96±0.07bc	21084±2246c	16781±874d	15444±703bc
甜籽一号 Tianzi No.1	3.77±0.41a	2.89±0.15a	2.06±0.40ab	1.21±0.21bc	1.13±0.07b	1.14±0.13b	36978±1688b	27296±1345b	20011±1099b
京欣二号 Jinxin No.2	1.89±0.35c	2.10±0.05c	1.48±0.14c	1.16±0.01bc	0.86±0.18c	0.87±0.15c	18361±2834c	15053±786d	10719±523c
Sweet Crimson	2.92±0.1ab	2.51±0.26b	1.65±0.02bc	1.95±0.08ab	1.16±0.35b	1.04±0.07bc	43144±3430b	23818±1532bc	14373±1977bc

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

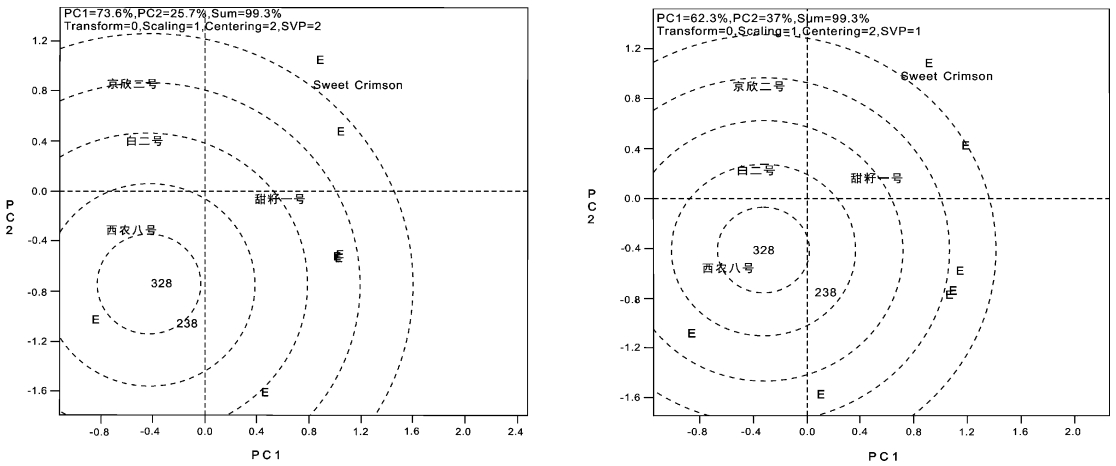


图 1 基于西瓜产量的参试品种的抗旱性(左图为轻度胁迫,右图为中度胁迫)

Fig.1 Drought resistance among watermelon genotypes based on yield per hectare
(Left is for mild drought stress, and right is for moderate stress).

2.2 抗旱性评价方法

2.2.1 基于经济产量评价方法间的比较 利用不同评价方法分别求得折合公顷产量的无量纲化系数,不同评价方法对同一西瓜品种的抗旱性排序不同(表 2)。如在轻度与中度胁迫处理下,评价方法 MP、STI 与 GMP 对参试西瓜品种的排序是一致的。在轻度与中度干旱胁迫下,百分比变幅所排品种抗旱性的结果相似,Sweet Crimson 的降幅最大,西农八

号降幅最低。DRI 评价的结果表明 328 的 DRI 评价值远高于其他品种。在轻度干旱胁迫下,328 与 Sweet Crimson 的 TOL 评价值差异不显著且高于其他品种;在中度干旱胁迫下,品种 328 的 MP、TOL、STI、GMP 与 DRI 评价值显著高于其他品种相应的评价值。可见,用任何一种评价方法排序品种的抗旱性存在片面性,所得到的结果均不尽相同,这也反映了西瓜品种抗旱性差异的复杂性及多样性。

表 2 基于产量不同评价方法评价结果的比较(平均值 ± 标准差)

Table 2 Result differences of the evaluation methods based on the yield(mean ± SD)

	品种 Cultivar	平均产量 /(kg·hm ⁻²) Mean productivity (MP)	耐旱能力 Stress tolerance (TOL)	耐旱指数 Stress tolerance index (STI)	几何平均产量 /(kg·hm ⁻²) Geometric mean productivity (GMP)	抗旱系数 Yield stability index (YSI)	抗旱指数 Drought resistant index (DRI)	百分比变幅 Reduction /%
轻度胁迫 Mild drought stress	328	48933 ± 2439a	20666 ± 510a	2.50 ± 0.26a	47829 ± 2480a	0.65 ± 0.05b	1.16 ± 0.16a	34.87 ± 4.86a
	238	27560 ± 4372b	2223 ± 101d	0.83 ± 0.08b	27538 ± 4423b	0.92 ± 0.11a	1.13 ± 0.35a	7.75 ± 1.04c
	西农八号 Xinong No.8	20618 ± 2638c	1427 ± 440d	0.46 ± 0.02c	20605 ± 2723c	0.93 ± 0.16a	0.86 ± 0.32ab	6.69 ± 0.28c
	白二号 Bai No.2	18933 ± 1948c	4302 ± 733c	0.39 ± 0.07c	18809 ± 1759c	0.80 ± 0.2ab	0.62 ± 0.17b	20.40 ± 9.94b
	甜籽一号 Tianzi No.1	32137 ± 4420b	9682 ± 639bc	1.10 ± 0.26b	31770 ± 3805b	0.74 ± 0.26ab	0.93 ± 0.17ab	26.18 ± 5.63b
	京欣二号 Jinxin No.2	16707 ± 1592c	3308 ± 598c	0.30 ± 0.05c	16625 ± 1379c	0.82 ± 0.27ab	0.57 ± 0.03b	18.02 ± 7.3bc
	Sweet Crimson	33481 ± 7148b	19325 ± 718ab	1.12 ± 0.26b	32056 ± 3695b	0.55 ± 0.35b	0.61 ± 0.13b	44.79 ± 5.22a
中度胁迫 Moderate stress	328	45845 ± 2866a	26843 ± 159a	2.10 ± 0.28a	43836 ± 2962a	0.55 ± 0.03ab	1.01 ± 0.15a	45.29 ± 3.24ab
	238	24866 ± 906bc	7612 ± 502b	0.66 ± 0.03bc	24573 ± 476bc	0.73 ± 0.15a	0.88 ± 0.25abc	26.55 ± 2.5b
	西农八号 Xinong No.8	19876 ± 1358cd	2911 ± 271c	0.43 ± 0.07bcd	19823 ± 1675cd	0.86 ± 0.23a	0.90 ± 0.04ab	13.65 ± 3.11b
	白二号 Bai No.2	18264 ± 2129cd	5639 ± 349b	0.36 ± 0.07cd	18045 ± 1872d	0.73 ± 0.17a	0.64 ± 0.15abc	26.75 ± 2.54b
	甜籽一号 Tianzi No.1	28494 ± 1606b	16967 ± 680ab	0.81 ± 0.13b	27202 ± 2217b	0.54 ± 0.06ab	0.61 ± 0.06abc	45.88 ± 6.29ab
	京欣二号 Jinxin No.2	14540 ± 178d	7642 ± 315b	0.22 ± 0.01c	14029 ± 1115d	0.58 ± 0.02ab	0.36 ± 0.09bc	41.62 ± 1.52ab
	Sweet Crimson	28758 ± 172b	28771 ± 538a	0.68 ± 0.04bc	24902 ± 1964bc	0.33 ± 0.01b	0.27 ± 0.06c	66.69 ± 5.53a

注:同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.2.2 基于经济产量分析评价方法间的关联性

GGE 双标图法可直观比较评价方法间的关联性(图 2),从坐标系原点出发到各个指标标志点进行连线,以某一个指标向量作为起始,进行顺时针旋转,其他指标向量与该线间夹角的余弦值可以判断指标间的相关性。夹角小于 90°表示正相关,说明两评价方法在同一水分条件下的表现相似;大于 90°表示负相关,接近 90°表示无相关。在轻度胁迫和中度胁迫处理下,评价方法 MP、GMP 和 STI 紧密正相关,STI 与

DRI 和 TOL 正相关。YSI 与除 DRI 外的其他评价方法负相关,百分比变幅与 DRI 和 YSI 负相关。另外,在图 2 中还能得到主成分分析后每种评价方法的变量载荷大小(x, y)。在轻度胁迫和中度胁迫处理下,通过比较变量载荷大小,抗旱性评价的 7 个评价方法均可用 2 个独立的相关因子表示:TOL、百分比变幅、MP、STI 与 GMP 为第一主成分,YSI 与 DRI 为第二主成分。

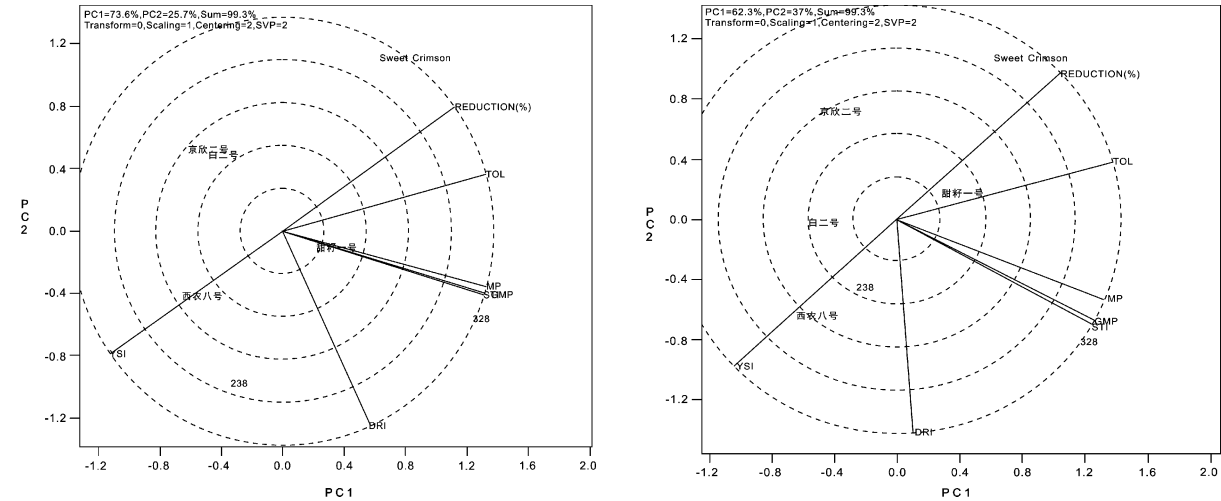


图 2 基于折合公顷产量分析评价方法间的关联性(左图为轻度胁迫,右图为中度胁迫)

Fig.2 Correlations between evaluation methods based on the yield per hectare
(Left is for mild drought stress, and right is for moderate stress).

2.2.3 评价方法的筛选

连接同一方向上距离原点最远的品种形成多边形,由原点发出的射线是对多边形各边的垂线。这些垂线把双标图分成几个扇形区,使不同的品种和相关的的评价方法位于相应的扇区。利用扇区内材料已知抗旱性强弱筛选出适宜

的抗旱性评价方法。在轻度胁迫和中度胁迫处理下(图 3),抗旱品种 328、238 与西农八号所在扇区内,相应的评价方法为 YSI、DRI、GMP、MP 与 STI,即为适宜的抗旱性评价方法。而 TOL 位于抗旱性与敏感性品种中间,百分比变幅适宜于敏感性品种的评价。

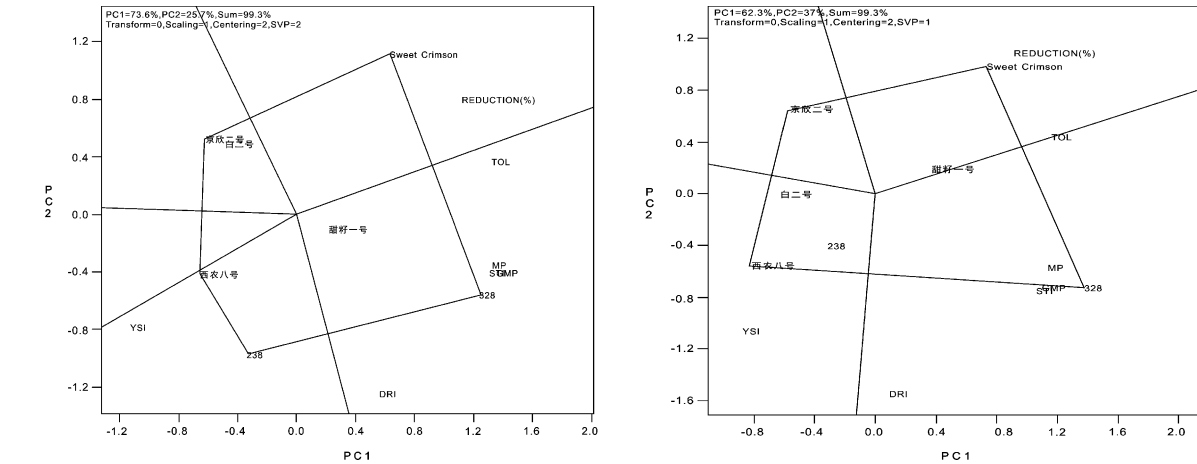


图 3 利用材料已知的抗旱性筛选适宜的评价方法(左图为轻度胁迫,右图为中度胁迫)

Fig.3 Identification of suitable drought evaluation indexes based on the drought-resistant abilities of known genotypes
(Left is for mild drought stress, and right is for moderate stress)

3 结论与讨论

农业生产的最终目的是获取果实产量,在干旱胁迫与适宜的生长环境中品种基因型的产量产出是判断在未知降雨生境中该品种是否是令人满意品种的标准^[21]。对玉米产量及其构成因素研究表明产量作为抗旱研究的可行性和有效性^[22]。我们利用 GGE biplot 分析系统,以轻度和中度干旱胁迫处理下的产量为标度,再次验证 7 个品种的抗旱性强弱,所得结果与参试材料已知抗旱性结果一致。分析参试材料的产量构成因素发现,抗旱性强的品种 328 单株坐果数显著高于其他品种;而 238 与西农八号的单果重虽然随水分胁迫加剧而降低,但是单株坐果数却逐渐增加,因此能够很好地保障产量丰收。植物生活史理论中关于约束条件的一个重要思想就是“不可兼顾”(trade-off)的概念,也称为“负偶联”,几乎所有微观进化过程中都存在负偶联^[23]。在水资源匮乏的生境下,抗旱性品种为了实现最大可能性的产量产出,单果重与单株坐果数间存在权衡效应。而干旱敏感性品种的单果重与单株坐果数间并不存在权衡关系,果型大小比较不稳定,而且单株坐果数变幅较大,不能够很好地保障产量丰收。

农业试验影响包括众多的单因子或者多种因子间的互作关系,传统的二维数据表难以处理众多因子间的互作效应,一种更好的方法是利用包含信息全面的双标图而非仅仅变量间的相关性鉴定品种的优劣^[19,24]。目前,在国内利用 GGE 双标图法筛选抗旱性评价方法的应用报道尚不多见。杨进文^[11]以不同抗旱性小麦品种与形态生理指标构建了双标图,为小麦品种抗旱性鉴定指标的筛选提供了直观、有效的手段。另外 Pantuwan 等^[17]提出,选取指标的有效性基于筛选指标的胁迫程度。利用水分胁迫环境下的评价指标得出作物抗旱性的结果要比在非水分胁迫环境下得到的结果更为可靠^[25]。本研究在轻度与中度水分胁迫下,利用已知抗旱性强弱的西瓜材料与多种评价方法构成了双标图,将品种与评价指标间的关系直观地展现出来。在轻度和中度水分胁迫下,筛选出 YSI、DRI、MP、STI 与 GMP 作为西瓜抗旱性评价的适宜方法。Raman 等^[1]对水稻的研究发现:在胁迫不是特别严重的情况下(与对照相比产量减产 31%~65%时),MP 评价法的准确性是可靠的。在干旱胁迫与灌溉处理下,MP、STI 与 GMP 是评价品种抗旱性强弱的有效评价方法,既考虑了

旱作条件下品种的稳产性又兼顾了丰产性^[3,24-25]。张文英^[26]在冬小麦的抗旱性鉴定中提出 DRI 做为评判抗旱性强弱的指标收到了良好效果。因为作物的抗旱性是由多种因素相互作用构成的较为复杂的综合性状^[27],所以需要多个评价方法分析作物的抗旱性,弥补单个评价方法的片面性。

致谢:感谢张凯和杨世梅在野外实验中的帮助,感谢杨进文老师在 GGE-biplot 分析系统操作过程中给予的指导和帮助。

参考文献:

- [1] Raman A, Verulkar S B, Mandal N P, et al. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities [J]. *Rice*, 2012,5(31):2-12.
- [2] Kutlu I, Kinaci G. Evaluation of drought resistance indicates for yield and its components in three triticale Cultivars[J]. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 2010,7(2):95-103.
- [3] Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K, et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions[J]. *Field Crops Research*, 2006,98:222-229.
- [4] FAO of the United Nations. Food and agricultural commodities production[DB/OL]. [2011-05-11]. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- [5] 包文凤,王吉明,尚建立,等.西瓜甜瓜质最性状的分子标准与定位研究进展[J]. *植物遗传资源报*, 2009,10(3):480-485.
- [6] 刘东顺,杨万邦,赵晓琴,等.西北旱砂田西瓜抗旱性鉴定指标与方法初探[J]. *中国蔬菜*, 2008,(7):17-21.
- [7] 张海英,宫国义,郭绍贵,等.西瓜种质资源抗旱性苗期筛选与评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2011,12(2):223-226.
- [8] Zhang H, Gong G, Guo S, et al. Screening the USDA watermelon germplasm collection for drought tolerance at the seedling stage[J]. *Hort Science*, 2011,46(9):1245-1248.
- [9] 王兴荣,张彦军,苟作旺,等.大豆种质资源抗旱性综合评价[J]. *干旱地区农业研究*, 2015,33(5):17-23.
- [10] 严威凯.双标图分析在农作物品种多点试验中的应用[J]. *作物学报*, 2010,36(11):1805-1819.
- [11] 杨进文,朱俊刚,王曙光,等.用 GGE 双标图和隶属函数综合分析山西小麦地方品种抗旱性[J]. *应用生态学报*, 2013,24(4):1031-1038.
- [12] 罗俊,张华,邓祖湖,等.用 GGE 双标图分析甘蔗品种性状稳定性及试点代表性[J]. *应用生态学报*, 2012,23(5):1319-1325.
- [13] 赵杰宏,谢升东,蒲文宣,等. GGE 双标图在烤烟新品种重要经济性状筛选布局中的初步应用[J]. *中国烟草科学*, 2013,34(6):10-14.
- [14] 杨安平,王鸣,安贺选.非洲西瓜种质资源苗期抗旱性研究[J]. *中国西瓜甜瓜*, 1996,(1):6-9.
- [15] Karipcin M Z, H. Kimak N Sari. Effects of drought on yield and pomological features of wild and domestic turkish watermelon genotypes

[J]. *Acta Horticulturae*, 2010,871:259-266.

[16] 兰巨生,胡福顺,张景端.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].*华北农学报*,1990,5(2):20-25.

[17] Pantuwan G, Fukai S, Cooper M, et al. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands: Part 1. Grain yield and yield components[J]. *Field Crops Research*, 2002,73:153-168.

[18] Ouk M, Basnayake J, Tsubo M, et al. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice[J]. *Field Crops Research*, 2006,99(1):48-58.

[19] Talebi R, Fayaz F, Naji A M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat(*Triticum durum* Desf.)[J]. *General and Applied Plant Physiology*, 2009,35(1):64-74.

[20] Nouri A, Etminan A, Jaime A, et al. Assessment of yield, yield – related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidumvar. durum* Desf.)[J]. *Australian Journal Crop Science*, 2011,5(1):8-16.

[21] Mohammadi A H, Belandria V, Richon D. Use of an artificial neural network algorithm to predict hydrate dissociation conditions for hydrogen + water and hydrogen + tetra – N – Butyl ammonium bromide + water systems[J]. *Chemical Engineering Science*, 2010,65(14):4302-4305.

[22] Monneveux P, Sánchez C, Beck D, et al. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations[J]. *Crop Science*, 2006,46(1):180-191.

[23] 张大勇,姜新华.理论生态学研究[M].北京:高等教育出版社,1999:21-23.

[24] Khalatbari A A, Bihamta M R, Khalatbari A M. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in inbred lines of maize in stress and non-stress conditions[J]. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2007,6(8):1293-1296.

[25] Khayatnezhad M, Hasanuzzaman M, Gholamin R. Assessment of yield and yield components and drought tolerance at end-of season drought condition on corn hybrids (*Zea mays* L.)[J]. *Australian Journal Crop Science*, 2011,5(12):1493-1500.

[26] 张文英,柳斌辉,彭海城,等.冬小麦抗旱性状遗传力分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):44-47.

[27] 祁旭升,刘章雄,关荣霞,等.大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究[J].*作物学报*,2012,38(8):665-671.

(上接第 184 页)

[19] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochimica et Biophysica Acta – General Subjects*, 1989,990(1):87-92.

[20] Branun G, Malkin S. Regulation of the imbalance in light excitation between photosystem II and photosystem I by cations and by the energized state of the thylakoid membrane[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1990,1017(1):79-90.

[21] 叶济宇,钱月琴.希尔反应的分光光度计法测定[C]//薛应龙,夏镇澳.植物生理学实验手册.上海:上海科学技术出版社,1985:92-107.

[22] Alshammary S F, Qian Y L, Wallner S J. Growth response of four turfgrass species to salinity[J]. *Agricultural Water Management*, 2004,66(2):97-111.

[23] 王 殿,袁 芳,王宝山,等.能源植物杂交狼尾草对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值[J].*植物生态学报*,2012,36(6):572-577.

[24] 陆嘉惠,吕 新,梁永超,等.新疆胀果甘草幼苗耐盐性及对 NaCl 胁迫的离子响应[J].*植物生态学报*,2013,37(9):839-850.

[25] 高 奔,宋 杰,刘金萍,等.盐胁迫对不同生境盐地碱蓬光合及离子积累的影响[J].*植物生态学报*,2010,34(6):671-677.

[26] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982,33(3):317-345.

[27] Foyer C H, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling[J]. *New Phytologist*, 2000,146(3):359-388.

[28] 尹海龙,田长彦.氮调控对盐环境下甜菜功能叶光系统 II 荧光特性的影响[J].*植物生态学报*,2013,37(2):122-131.

[29] 苏秀荣,王秀峰,杨凤娟,等.硝酸根胁迫对黄瓜幼苗叶片光合速率、PS II 光化学效率及光能分配的影响[J].*应用生态学报*,2007,18(7):1441-1446.

[30] Gilmore A M. Mechanistic aspects of xanthophyll cycle – dependent photoprotection in higher plant chloroplasts and leaves[J]. *Physiology Plant*, 1997,99(1):197-209.

[31] Horton P, Hague A. Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in isolated barley protoplasts. IV. Resolution of nonphotochemical quenching[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1988,932(1):107-115.

[32] 赵 滢,艾 军,王振兴,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄叶片叶绿素荧光和抗氧化酶活性的影响[J].*核农学报*,2013,27(6):867-872.