

高产抗旱玉米品种选择评价方法研究

徐蕊^{1,2}, 王启柏¹, 王滨², 张春庆¹

(1. 山东农业大学农学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 临沂烟草有限公司沂水分公司, 山东 临沂 276400)

摘 要: 对生产上推广的抗旱性不同的 30 个品种, 在 PVC 大棚、旱棚和大田三种条件下, 设正常浇水和干旱胁迫两个处理, 测定产量; 提出品种抗旱性评价胁迫稳产指数概念, 并用于分析单一水分胁迫条件和多种水分胁迫条件抗旱评价指标对高产抗旱品种选择的影响。结果表明, 在单一水分胁迫条件下, 依据正常浇水处理产量和抗旱系数选择高产抗旱的品种, 结果不可靠; 多种水分胁迫条件下, 运用正常浇水量平均值和胁迫稳产指数选取高产抗旱品种比运用正常浇水量平均值和抗旱系数平均值选取更可靠, 且运算简单, 易于在育种工作中运用。通过该法选出的高产抗旱品种有: 天泰 16、农大 81、登海 6213、中科 11、秀青 73-1。

关键词: 玉米; 抗旱育种; 选择方法; 胁迫稳产指数

中图分类号: S332.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0060-09

中国是世界上干旱严重的国家之一, 干旱半干旱耕地面积约占总面积的 51%, 干旱成为限制玉米高产、稳产的主要因素。抗旱育种是减小因干旱带来损失的经济有效的途径。进行抗旱育种首先要依赖于品种抗旱性准确的鉴定与评价。众多学者提出了各种鉴定筛选指标^[1~5], 包括生长发育指标、形态指标、生理生化指标、产量指标等, 并且进行了大量深入的研究, 其中以产量性状作为评价指标最为可靠。在水分亏缺条件下, 作物产量是与许多抗旱有关的性状综合作用的最终结果, 产量的高低反映的是植物体的一种协调能力, 协调能力的差异就是抗旱性总体意义上的差异。目前研究的抗旱指标主要有抗旱系数、抗旱指数、抗逆指数、耐旱系数、干旱伤害指数、干旱敏感指数、耐性等^[6,7], 其中抗旱系数是评价材料的抗旱性的较好指标。对于自交系的抗旱评价, 因不要求产量, 用抗旱系数来评价就较为可靠、简便; 而对于抗旱育种, 须要求在高产的前提下抗旱, 而抗旱系数难以满足对产量的评价, 因此需要建立用于品种选择评价的方法。目前, 研究玉米品种高产稳定性的方法主要有两类^[8~14], 一类是多指标评价法, 如依据品种稳定性评价方法评价品种在干旱条件下的产量水平。稳定性方法主要有 Eberhart 和 Russell 法、Perkins 和 Jinks 法、Freeman 和 Perkins 法、C. C. Tai 法、Plaisted 和 Peterson 法、Wricke 法、Shukla 法、Francis 和 Kannenberg 法等^[15], 评价指标一般采用样本方差、标准差 (S)、变异系数 (CV)、回归系数 (b) 来估算品种的稳定性,

但是上述方法在高产稳产品种的选择中计算复杂, 难以应用; 另一类是单一指标综合评价法, 温振民^[16]提出的高产稳产系数是目前唯一一个可以综合评价玉米高产稳产性的指标, 在生产上有一定的应用价值, 但经过比较, 发现其中也存在一些缺陷。本文以目前生产上推广的 30 个品种为材料, 通过三种水分胁迫条件下正常浇水处理 (CK) 和干旱胁迫后产量的测定, 以期建立一种简单、准确的高产抗旱品种选择评价方法, 为玉米抗旱育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

材料为目前生产上常用的抗旱性、丰产性不同的 30 个玉米品种, 如表 1 所示。运用胁迫稳产指数进行高产抗旱性分析时, 根据抗旱系数较高和正常浇水条件下产量也较高的原则选取对照品种, 本文以鲁单 981 和秀青 73-1 分别作为对照品种进行胁迫稳产指数的运算, 以秀青 73-1 作为对照品种进行高稳系数运算。

1.2 试验方法

试验于 2007 年 4 月至 2007 年 10 月在 PVC 大棚、旱棚和大田中分别进行抗旱测定, 三种试验条件下均设正常浇水处理 (CK) 和干旱胁迫两个处理。大田玉米于 4 月 26 日种植, 每个材料种植 30 株, 3 个重复, 除自然降雨外, 正常浇水部分于 5 月 28 日浇水一次。大田处理在大喇叭口期以前受到中度干旱胁迫, 虽大喇叭口期以后雨水较多, 但大喇叭口期

收稿日期: 2008-10-16

基金项目: 山东省重大科技专项 (2006JY06-6)

作者简介: 徐蕊 (1982-), 女, 山东莱州人, 硕士, 研究方向为玉米育种。E-mail: ruixu1982@163.com。

通讯作者: 张春庆 (1963-), 男, 教授, 博士生导师。

前已满足干旱胁迫水分要求。旱棚晴天开启,雨天关闭遮雨。两个棚内均为正方形水泥池,每个池子边长 3m,深 2m。玉米棵间蒸发量用蒸发器测定,结果如表 2 所示,PVC 大棚、旱棚和大田棵间土壤蒸发量不同,即三种胁迫条件有差异,此外,三种胁迫条件下正常浇水部分棵间土壤蒸发量均高于干旱胁迫部分。

PVC 大棚内玉米于 6 月 5 日种植,旱棚内玉米于 6 月 14 日种植,种植密度均为 6 万株/hm²。每个材料种植 15 株,2 个重复。PVC 大棚内对照部分于 7 月 2 日、29 日和 8 月 31 日各浇水一次,每个池

子灌水量为 2 m³,干旱胁迫处理部分不浇水。旱棚内对照部分于 6 月 29 日、7 月 11 日、7 月 30 日和 8 月 25 日各浇水一次,每个池子灌水量为 1.2 m³。干旱胁迫处理部分只在 6 月 29 日(苗期)浇水一次,其余管理条件相同。泰安地区干旱土壤含水量指标范围 10.6%~12.3%^[17],因此本试验干旱胁迫土壤含水量为表 3 所示时进行各指标测定,此时玉米处于吐丝散粉期。土壤含水量用烘干法^[18]测定。

籽粒产量测定,每个品种收获 10 株,测定其产量。抗旱系数(DC)=干旱胁迫后的产量/正常浇水处理的产量。

表 1 30 份玉米品种名称及编号
Table 1 Code of 30 maize cultivars used in the study

编号 Code	品种名称 Cultivar	编号 Code	品种名称 Cultivar	编号 Code	品种名称 Cultivar
1	晋单 42 Jindan 42	11	淄玉 2 号 Ziyu No. 2	21	鲁原单 23 Luyuan dan 23
2	鲁单 9002 Ludan 9002	12	费玉 4 号 Feiyu No. 4	22	秀青 73-1 Xiuqing 73-1
3	鲁单 981 Ludan 981	13	泰玉 2 号 Taiyu No. 2	23	五岳 97-1 Wuyue 97-1
4	鲁单 850 Ludan 850	14	泰玉 7 号 Taiyu No. 7	24	登海 3 号 Denghai No. 3
5	鲁单 661 Ludan 661	15	邯丰 10 号 Hanfeng No. 10	25	登海 3622 Denghai 3622
6	鲁单 8013 Ludan 8013	16	鑫丰 1 号 Xinfeng No. 1	26	登海 6213 Denghai 6213
7	鲁单 9006 Ludan 9006	17	农大 108 Nongda 108	27	良星 4 号 Liangxing No. 4
8	浚单 20 Jundan 20	18	农大 81 Nongda 81	28	聊玉 93-1 Liaoyu 93-1
9	浚单 18 Jundan 18	19	山农 8 号 Shannong No. 8	29	中科 4 Zhongke 4
10	聊玉 20 Liaoyu 20	20	天泰 16 Tiantai 16	30	中科 11 Zhongke 11

表 2 0~10 cm 土层的棵间蒸发量
Table 2 Evaporation of 0~10 cm soil layer

生育期 Stage	PVC 大棚(mm/d) PVC shed		旱棚(mm/d) Drought shed		大田(mm/d) Field	
	正常管理 CK	干旱胁迫 Drought-stress	正常管理 CK	干旱胁迫 Drought-stress	正常管理 CK	干旱胁迫 Drought-stress
播种 Seeding stage	7.64	7.64	4.55	4.55	3.31	3.31
拔节期 Elongation stage	3.88	2.17	2.98	2.65	3.50	2.89
抽雄吐丝期 Anthesis-silking stage	2.96	1.44	2.46	2.12	5.57	5.52
成熟期 Mature stage	3.91	1.02	2.31	1.55	5.76	5.64

表 3 PVC 大棚、旱棚及大田土壤含水量
Table 3 Soil water content of PVC shed, drought shed and field

土层(cm) Soil layer	PVC 大棚(%) PVC shed		旱棚(%) Drought shed		大田(%) Field	
	播种时 Sowing period	胁迫 40 天 40-day stress	播种时 Sowing period	胁迫 29 天 29-day stress	播种时 Sowing period	胁迫 7 天 7-day stress
0~10	17.27	7.53	15.23	9.00	16.47	10.95
10~20	17.89	10.07	15.51	11.17	16.84	11.20
20~30	17.46	10.81	19.72	10.04	17.92	11.33
30~40	15.94	10.60	16.59	10.07	15.94	11.26

1.3 统计分析方法

以 Excel 数据分析工具和 DPS 数据处理系统进行数据整理和分析。运用离差平方和法,以卡方距离进行聚类分析。

1.3.1 单一水分胁迫条件下高产抗旱品种的选择方法 抗旱育种的目标是高产、抗旱,因此应考虑在产量和抗旱性两个指标兼顾的前提下建立一种品种的选择评价体系。以集合运算的理论为依据,首先将各种植条件下各品种正常浇水处理产量和抗旱系数分别进行聚类分析,假设以产量聚类可分为 m 类,即为 m 个集合,以抗旱系数聚类可分为 n 类,即为 n 个集合;然后根据集合交的运算方法:
 $A \cap B = \{x | x \in A, \text{且} x \in B\}$ 确定同时属于 A, B 的两个集合的所有样本组成的集合,选取高产集合 (A 高产)和高抗旱集合 (B 高抗)的交集即为高产抗旱的品种。

1.3.2 多种水分胁迫条件下高产抗旱品种的选择方法 方法一。采用不同水分胁迫条件下抗旱系数的平均值,评价品种的抗旱性;采用不同胁迫条件下品种正产浇水处理产量的平均值,评价品种的丰产性。

方法二。本文以变异系数为基础,提出了评价抗旱稳定性的新概念—胁迫稳产指数。胁迫稳产指数 (stressed stable index) $SSI_i = (X_i / S_i) / (X_{CK} / S_{CK})$, 式中 SSI_i 为第 i 个品种的胁迫稳产指数,其值越大,表明该品种干旱胁迫稳产性越好; X_i 为第 i 个品种的多点平均产量; S_i 为第 i 个品种产量变异的标准差; X_{CK} 为对照平均产量; S_{CK} 为对照品种产量变异的标准差。

将三种条件下各品种正常浇水处理产量的平均值、抗旱系数的平均值和胁迫稳产系数,运用离差平方和法分别进行聚类分析,根据 1.3.1 选择高产、抗旱品种的集合运算方法,选择高产抗旱品种,比较两种抗旱评价方法对选择结果的影响。

2 结果分析

2.1 单一水分胁迫条件下高产抗旱品种的评价选择 获得高产是生产的最终目的,抗旱系数是评价不同基因型品种抗旱性强弱较好的指标。本文将在 PVC 大棚、旱棚、大田三种条件下的正常浇水处理 (对照)的产量和抗旱系数分别进行聚类分析,得聚类分析结果如图 1 所示。在每个聚类图中均可将品种分为三类:高产、中产和低产,高抗、中抗和低抗。将分类情况列表如表 4、5 所示。根据集合交的理论选取高产抗旱品种,结果如下:① 在 PVC 大棚胁迫条件下,高产集合和抗旱集合的交集 ($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$) 为 0,没有符合既高产又抗旱的品种;② 在旱棚胁迫条件下,高产集合和抗旱集合的交集 ($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$) 有:秀青 73—1、中科 4 号、天泰 16、聊玉 93—1、登海 6213、费玉 4 号、中科 11,这 7 个品种即为高产抗旱品种;③ 在大田胁迫条件下,高产集合和抗旱集合的交集 ($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$) 只有登海 3 号,为既高产又抗旱的品种。

综合三种胁迫条件的结果来看,胁迫条件不同,品种产量不同;干旱胁迫程度不同,品种的抗旱性表现也不同,胁迫条件对玉米的产量和抗旱性评价都影响很大,因此在单一胁迫条件下对玉米的抗旱性及产量进行评价分析,结果不太可靠,应综合分析多种胁迫条件下的产量结果。

表 4 三种胁迫条件下正常浇水处理产量分类

Table 4 Classification of the yield of CK under three water stress conditions

项目 Items	高产 High yield	中产 Middle yield	低产 Low yield
PVC 大棚 PVC shed	天泰 16、农大 81	登海 3 号、秀青 73—1、登海 6213、聊玉 20、 中科 11、鲁单 9002、五岳 97—1、鑫丰 1 号、 鲁原单 23、中科 4 号、鲁单 661、登海 3622、 鲁单 981、晋单 42、聊玉 93—1、鲁单 850、山 农 8 号	农大 108、鲁单 8013、淄玉 2 号、鲁单 9006、泰玉 2 号、浚单 20、邯丰 10 号、 费玉 4 号、泰玉 7 号、良星 4 号、浚单 18
旱棚 Drought shed	鲁单 8013、浚单 20、泰玉 2 号、中科 11、 鲁原单 23、鲁单 661、聊玉 93—1、聊玉 20、登海 6213、天泰 16、秀青 73—1、中 科 4、费玉 4 号	浚单 18、鑫丰 1 号、淄玉 2 号、晋单 42、良星 4 号、鲁单 9002、鲁单 981、山农 8 号、五岳 97—1、邯丰 10 号、鲁单 9006、泰玉 7 号、农 大 81、登海 3 号、鲁单 850	农大 108、登海 3622
大田 Field	登海 3622、鲁单 9006、鑫丰 1 号、登海 6213、登海 3 号、五岳 97—1	鲁单 981、鲁单 850、秀青 73—1、晋单 42、浚 单 18、中科 4、农大 108、浚单 20、费玉 4 号、 中科 11	泰玉 7 号、鲁单 661、鲁原单 23、泰玉 2 号、鲁单 8013、聊玉 20、天泰 16、农大 81、聊玉 93—1、鲁单 9002、邯丰 10 号、 山农 8 号、淄玉 2 号、良星 4 号

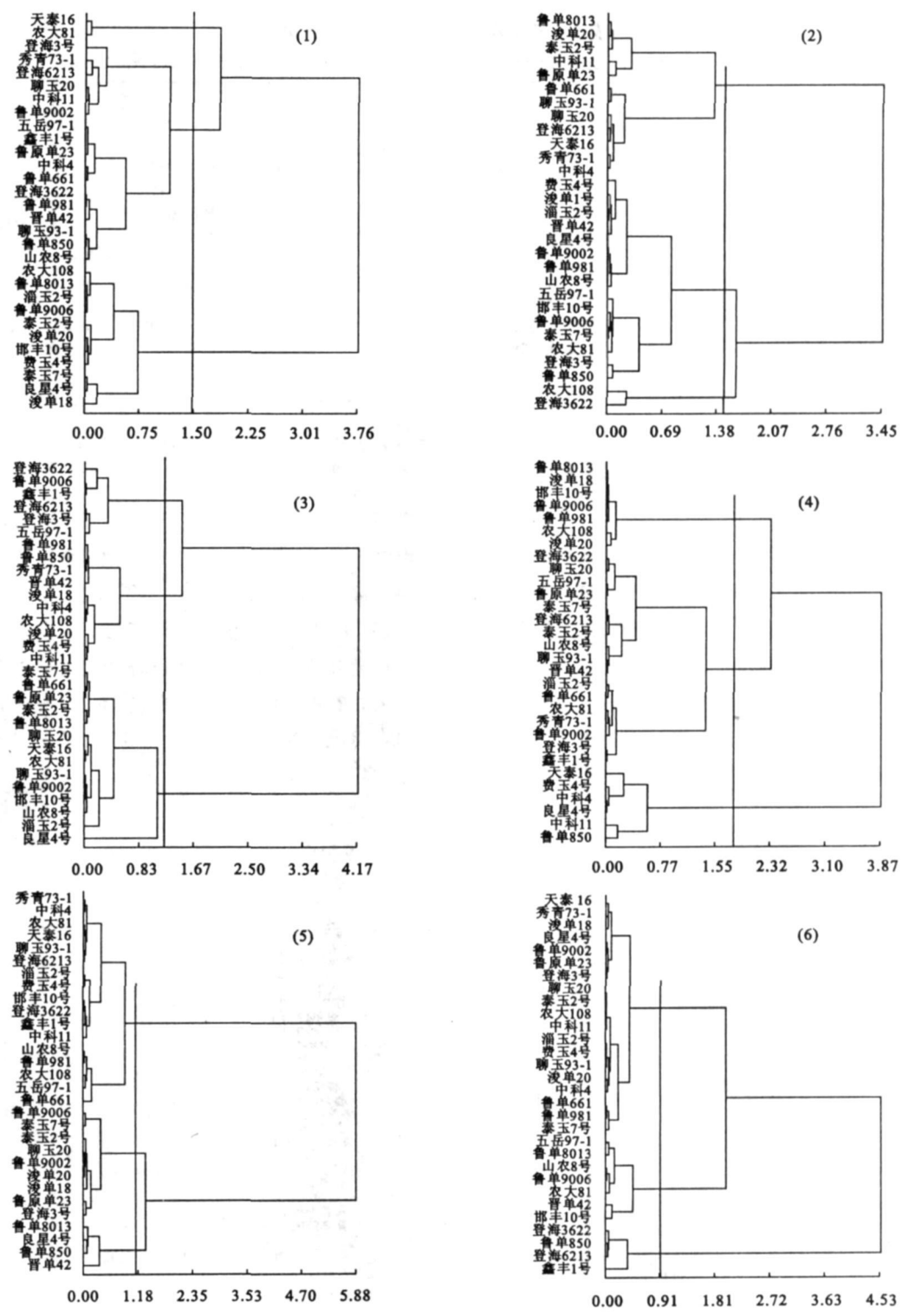


图 1 不同胁迫条件下玉米品种产量和抗旱系数聚类分析

Fig. 1 Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the yield and DC of Maize under different stressed conditions

(1)PVC 大棚对照处理产量聚类分析图(以卡方距离为 1.50 分类);(2)旱棚对照处理产量聚类分析图(以卡方距离为 1.40 分类);(3)大田对照处理产量聚类分析图(以卡方距离为 1.10 分类);(4)PVC 大棚抗旱系数聚类分析图(以卡方距离为 1.80 分类);(5)旱棚抗旱系数聚类分析图(以卡方距离为 1.18 分类);(6)大田抗旱系数聚类分析图(以卡方距离为 0.91 分类)

- (1) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the yield of CK in PVC shed (classify with 1.50 of χ^2 distance);
- (2) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the yield of CK in drought shed(classify with 1.40 of χ^2 distance);
- (3) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the yield of CK in field (classify with 1.10 of χ^2 distance);
- (4) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from DC in PVC shed (classify with 1.80 of χ^2 distance);
- (5) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from DC in drought shed (classify with 1.18 of χ^2 distance);
- (6) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from DC in field (classify with 0.91 of χ^2 distance);

表 5 三种胁迫条件下抗旱系数分类
Table 5 Classification of drought resistance coefficient under three water stress conditions

项目 Items	抗旱性强 Strongly resistant to drought	抗旱性中等 Middly resistant to drought	抗旱性弱 Lowly resistant to drought
PVC 大棚 PVC shed	鲁单 8013、浚单 18、邯丰 10 号、鲁单 9006、鲁单 981、农大 108、浚单 20	登海 3622、聊玉 20、五岳 97—1、鲁原单 23、泰玉 7 号、登海 6213、泰玉 2 号、山农 8 号、聊玉 93—1、晋单 42、淄玉 2 号、鲁单 661、农大 81、秀青 73—1、鲁单 9002、登海 3 号、鑫丰 1 号	天泰 16、费玉 4 号、中科 4、良星 4 号、中科 11、鲁单 850
旱棚 Drought shed	秀青 73—1、中科 4 号、农大 81、天泰 16、聊玉 93—1、登海 6213、淄玉 2 号、费玉 4 号、登海 3622、鑫丰 1 号、中科 11、山农 8 号、鲁单 981、农大 108、五岳 97—1、鲁单 661	鲁单 9006、泰玉 7 号、泰玉 2 号、聊玉 20、鲁单 9002、浚单 20、浚单 18、鲁原单 23、登海 3 号	鲁单 8013、良星 4 号、鲁单 850、晋单 42
大田 Field	天泰 16、秀青 73—1、浚单 18、良星 4 号、鲁单 9002、鲁原单 23、登海 3 号、聊玉 20、泰玉 2 号、农大 108、中科 11、淄玉 2 号、费玉 4 号、聊玉 93—1、浚单 20、中科 4、鲁单 661、鲁单 981、泰玉 7 号	五岳 97—1、鲁单 8013、山农 8 号、鲁单 9006、农大 81、晋单 42、邯丰 10 号	登海 3622、鲁单 850、登海 6213、鑫丰 1 号

2.2 多种水分胁迫条件下高产抗旱品种评价选择
2.2.1 以平均抗旱系数和正常浇水产量平均值进行高产抗旱品种的评价选择 将三种胁迫条件下不同品种的平均抗旱系数及正常浇水处理产量的平均值分别进行聚类分析,结果如图 2 所示。其中,根据平均产量进行聚类分析,以卡方距离为 1.54 可分为三类:① 高产品种 ($A_{\text{高产}}$) 有:天泰 16、登海 6213、秀

青 73—1、中科 11、鑫丰 1 号、登海 3 号、农大 81;② 中产品种有:五岳 97—1、浚单 20、鲁原单 23、鲁单 8013、中科 4、聊玉 20、泰玉 2 号、鲁单 9006、鲁单 661、鲁单 981、晋单 42、登海 3622、聊玉 93—1、鲁单 9002、鲁单 850、费玉 4 号;③ 低产品种有:浚单 18、山农 8 号、淄玉 2 号、农大 108、泰玉 7 号、邯丰 10 号、良星 4 号。

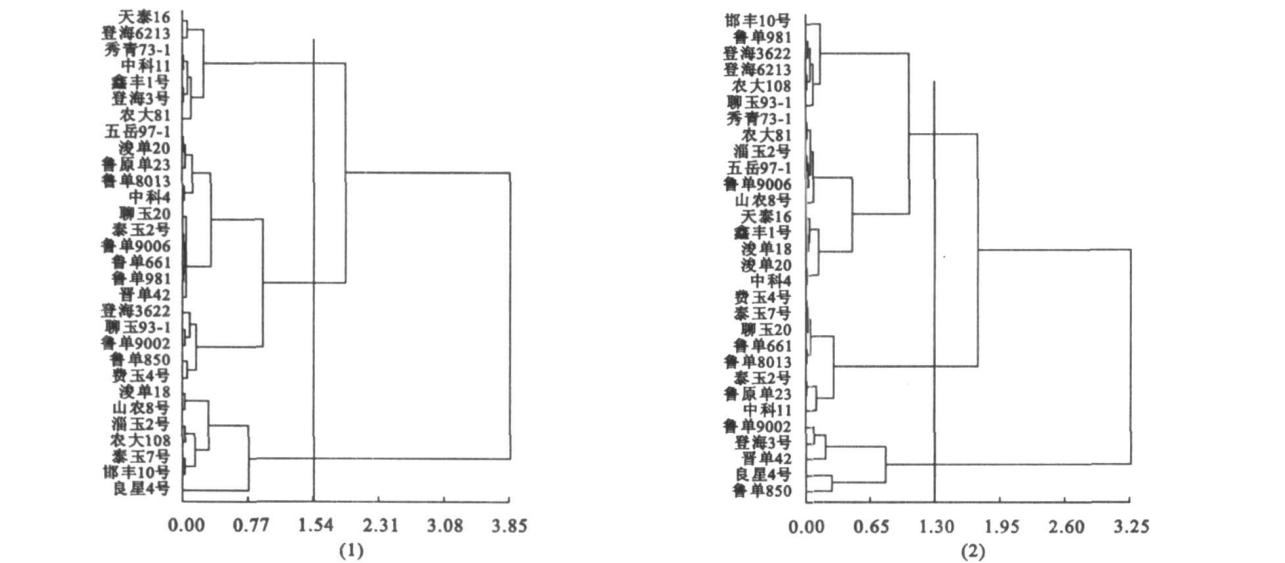


图 2 三种水分胁迫条件下玉米品种正常浇水处产量平均值和抗旱系数平均值聚类分析

Fig. 2 Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the mean value of yield and DC under three different water stress conditions

(1)正常浇水处理产量平均值的聚类分析;(2)平均抗旱系数的聚类分析

(1) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the mean value of yield of CK; (2) Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from the mean value of DC

根据平均抗旱系数进行聚类分析,以卡方距离为 1.30 可分为三类:① 抗旱性强的品种 ($B_{\text{高抗}}$) 有:邯丰 10 号、鲁单 981、登海 3622、登海 6213、农大 108、聊玉 93—1;② 抗旱性中等的品种有:秀青 73—1、农大 81、淄玉 2 号、五岳 97—1、鲁单 9006、山农 8 号、天泰 16、鑫丰 1 号、浚单 18、浚单 20、中科

4、费玉 4 号、泰玉 7 号、聊玉 20、鲁单 661、鲁单 8013、泰玉 2 号、鲁原单 23、中科 11;③ 抗旱性弱的品种有:鲁单 9002、登海 3 号、晋单 42、良星 4 号、鲁单 850。

根据聚类结果,求高产集合和抗旱集合的交集 ($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$),得登海 6213 为高产抗旱性品种。

2.2.2 以胁迫稳产指数和正常管理平均产量进行高产抗旱品种的评价选择 在三种水分胁迫条件下,以鲁单 981 和秀青 73—1 为对照品种计算胁迫稳产指数、正常浇水的产量及抗旱系数,结果如表 6 所示。根据表中结果对胁迫稳产指数进行聚类分析,结果如图 3 所示。对以鲁单 981 和秀青 73—1

为对照的胁迫稳产指数分别进行聚类分析,结果完全一致。以卡方距离为 1.50 均可分为三类:① 胁迫稳产指数较高的品种 ($B_{\text{高抗}}$) 包括天泰 16、农大 81、聊玉 93—1、聊玉 20、登海 6213、中科 11、鲁原单 23、秀青 73—1、鲁单 8013、鲁单 661、泰玉 2 号。② 胁迫稳产指数中等的品种有:浚单 20、淄玉 2 号、中科 4 号、山农 8 号、鲁单 9002、鲁单 981、邯丰 10 号、鑫丰 1 号、五岳 97—1。③ 胁迫稳产指数较低的品种有:登海 3 号、费玉 4 号、晋单 42、良星 4 号、鲁单 9006、泰玉 7 号、浚单 18、农大 108、登海 3622、鲁单 850。

表 6 品种产量及抗旱性

Table 6 Table of yield and drought resisitance of maize					
品种 Cultivar	正常浇水产量平均(kg/hm ²) Mean value of yield of CK	抗旱系数平均值 Mean value of DC	高稳系数 HSC	胁迫稳产指数 SSI ₁	胁迫稳产指数 SSI ₂
晋单 42 Jindan 42	6452.688	0.529	0.697	0.875	0.755
鲁单 9002 Ludan 9002	6181.974	0.610	0.483	1.030	0.889
鲁单 981 Ludan 981	6491.826	0.907	0.464	1.000	0.863
鲁单 850 Ludan 850	6098.226	0.374	0.943	0.753	0.650
鲁单 661 Ludan 661	6494.820	0.713	0.325	1.136	0.980
鲁单 8013 Ludan 8013	6629.328	0.712	0.328	1.139	0.982
鲁单 9006 Ludan 9006	6511.020	0.815	0.734	0.843	0.727
浚单 20 Jundan 20	6730.188	0.744	0.402	1.052	0.908
浚单 18 Jundan 18	5844.210	0.766	0.807	0.818	0.705
聊玉 20 Liaoyu 20	6551.196	0.719	0.254	1.198	1.033
淄玉 2 号 Ziyu No.2	5653.650	0.823	0.485	1.047	0.904
费玉 4 号 Feiyu No.4	6016.614	0.723	0.656	0.901	0.777
泰玉 2 号 Taiyu No.2	6517.146	0.685	0.384	1.088	0.939
泰玉 7 号 Taiyu No.7	5517.468	0.721	0.785	0.838	0.723
邯丰 10 号 Hanyu No.10	5499.990	0.949	0.561	0.993	0.857
鑫丰 1 号 Xinfeng No.1	7064.712	0.770	0.479	0.987	0.851
农大 108 Nongda 108	5623.026	0.889	0.816	0.814	0.702
农大 81 Nongda 81	6931.476	0.830	0.110	1.316	1.135
山农 8 号 Shannong No.8	5802.714	0.800	0.499	1.031	0.890
天泰 16 Tiantai 16	7403.046	0.781	0.098	1.490	1.285
鲁原单 23 Luyuantan 23	6716.508	0.682	0.267	1.176	1.014
秀青 73—1 Xiuqing 73—1	7132.200	0.833	0.211	1.159	1.000
五岳 97—1 Wuyue 97—1	6736.710	0.821	0.492	0.976	0.842
登海 3 号 Denghai No.3	7049.926	0.580	0.598	0.909	0.784
登海 3622 Denghai 3622	6339.864	0.898	0.923	0.758	0.654
登海 6213 Denghai 6213	7278.072	0.890	0.178	1.193	1.029
良星 4 号 Liangxing No.4	4903.668	0.451	0.783	0.865	0.747
聊玉 93—1 Liaoyu 93—1	6216.762	0.868	0.264	1.201	1.036
中科 4 Zhongke 4	6616.548	0.743	0.422	1.038	0.896
中科 11 Zhongke 11	7122.648	0.645	0.226	1.178	1.016

注:HSC 以秀青 73—1 为对照品种;SSI₁ 以鲁单 981 为对照品种;SSI₂ 以秀青 73—1 为对照品种。

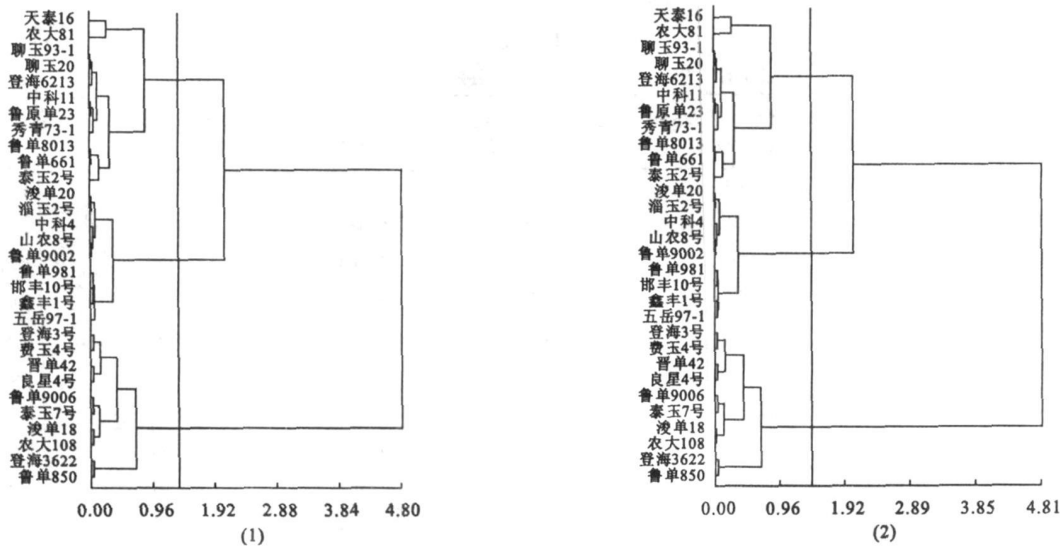
Note: HSC was calculated by Xiuqing 73—1; SSI₁ was calculated by Ludan 981; SSI₂ was calculated by Xiuqing 73—1.

根据正常浇水处理产量的平均值聚类〔图 2 (1)〕结果,以卡方距离为 1.54 分类,可知高产的品种($A_{\text{高产}}$)有:天泰 16、登海 6213、秀青 73-1、中科 11、鑫丰 1 号、登海 3 号、农大 81。根据高产品种和胁迫稳产指数较高品种集合的交集($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$)得高产高抗品种为:天泰 16、农大 81、登海 6213、中科 11、秀青 73-1。

在三种水分胁迫条件下,以秀青 73-1 为对照品种计算高稳系数,进行聚类分析,结果如图 4 所示。以卡方距离为 1.30 可分为三类:① 高稳系数较高的品种包括天泰 16、农大 81、登海 6213、秀青

73-1、中科 11、聊玉 20、聊玉 93-1、鲁原单 23。② 胁迫稳产指数中等的品种有:鲁单 661、鲁单 8013、泰玉 2 号、浚单 20、中科 4 号、鲁单 981、鑫丰 1 号、鲁单 9002、淄玉 2 号、五岳 97-1、山农 8 号。③ 胁迫稳产指数较低的品种有:邯丰 10 号、登海 3 号、费玉 4 号、晋单 42、鲁单 9006、良星 4 号、泰玉 7 号、浚单 18、农大 108、登海 3622、鲁单 850。

将高稳系数和胁迫稳产指数聚类结果比较发现,二者品种分类不完全一致。二者结果一致的高产抗旱的品种有:天泰 16、农大 81、登海 6213、中科 11、秀青 73-1。



注:(1)以鲁单 981 为对照;(2)以秀青 73-1 为对照
Note: (1) Ludan 981 as control; (2) Xiuqing 73-1 as control

图 3 胁迫稳产指数聚类分析

Fig. 3 Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from stressed stable index

3 讨论

3.1 高产抗旱品种评价选择体系

抗旱性和丰产性能否协调统一的问题曾是抗旱育种争论的焦点^[19],路贵和^[7]以 84 份骨干自交系为材料,采用 2 种不同的干旱胁迫处理,依据抗旱系数和抗旱指数剖析其抗旱性和丰产性,研究发现不同干旱胁迫条件下有些玉米自交系抗旱和丰产性表现出一致性。对于抗旱育种,要求在高产的前提下抗旱,抗旱系数和抗旱指数分析难以满足对产量的评价要求。

在单一水分胁迫条件下,将抗旱系数和正常管理的产量相结合,分析发现,由于胁迫条件不同,所得评价结果不一致,因此评价结果不可靠。

在多种水分胁迫条件下,运用平均抗旱系数和胁迫稳产系数两种指标评价品种抗旱性,结合正常

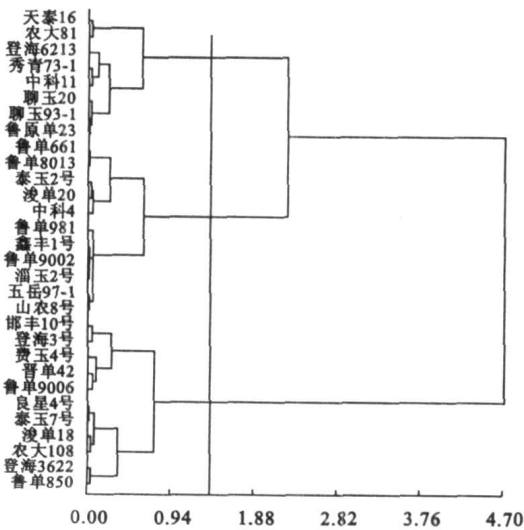


图 4 高稳系数聚类分析

Fig. 4 Dendrogram based on a cluster analysis of similarities from high stable coefficient

浇水处理产量平均值评价选择高产、抗旱品种,选择结果有较大差异。本研究以平均抗旱系数和正常管理产量平均值分析得出高产抗旱品种为登海 6213,而运用胁迫稳产指数和正常管理产量平均值进行分析得到高产抗旱品种有天泰 16、农大 81、登海 6213、中科 11、秀青 73-1。分析其原因,在于抗旱系数是某一品种干旱胁迫前后产量的相对值,与品种的绝对产量无关,此外忽视了同一试验不同品种之间产量的相对影响,抗旱系数高的品种不一定产量高,所以导致高产集合和抗旱集合的交集($A_{\text{高产}} \cap B_{\text{抗旱}}$)相对较少;而胁迫稳产指数综合考虑了品种对干旱胁迫的稳产性和不同品种之间产量的关系,以标准差为尺度评价产量,所以较抗旱系数评价更全面。选择高产抗旱品种运用胁迫稳产指数比平均抗旱系数方法更为可靠。

3.2 品种抗旱稳产性评价方法

在玉米抗旱育种中,前人^[20,21]曾采用高稳系数来评价玉米的高产稳产性。温振民以“作物产量表型 $P = \text{遗传基础 } G + \text{生产环境因素 } E$ ”为基础,以比对照品种更为高产稳产的目标品种产量作为具有竞争性的统一比较标准,将第 i 个品种的多点平均产量作为其产量的表型值,将其产量变异的标准差作为生产环境引起的变化成分看待,从而提出高稳系数(HSC_i)的概念,并得出计算公式: $HSC_i = [1 - (X_i - S_i) / (1.10 X_{CK} - S_{CK})] \times 100\%$,式中 HSC_i 为第 i 个品种的高稳系数,其值越小,表明该品种(系)高产性稳产性越好; X_i 为第 i 个品种的多点平均产量, S_i 为第 i 个品种产量变异的标准差, X_{CK} 为对照平均产量, S_{CK} 为对照品种产量变异的标准差。一般来说,试验所得产量的标准差比较小,而产量数值相对较大,将二者作差在一定程度上减少了标准差的影响,其计算值相当于 1 减抗旱指数,即 HSC_i 相当于抗旱指数的变换。本文以变异系数(s/X)为基础,提出了胁迫稳产指数(SSI_i)的概念, $SSI_i = (X_i / S_i) / (X_{CK} / S_{CK})$,该概念既考虑了干旱胁迫条件下的产量稳定性(标准差, S_i),同时又考虑了产量。评价时,选取一个产量较高、抗旱系数较高的品种作为对照品种,以此为参照计算胁迫稳产指数。本试验研究结果表明运用胁迫稳产指数可以较好地评价玉米的抗旱稳定性。

3.3 用不同对照品种计算胁迫稳产指数对评价结果的影响

在计算胁迫稳产指数时,选择对照品种的原则是:产量较高、抗旱性较强。根据这个原则,本文运用了鲁单 981 和秀青 73-1 两个品种分别作为对照

品种,以检验不同对照品种对分析结果的影响,通过对所得两个胁迫稳产指数聚类结果进行分析,可以看出结果完全一致,说明本文运用的选取原则是完全可行的。对照品种对于胁迫稳产指数的计算值有影响,但对评价选择结果无影响。

4 结 论

玉米抗旱育种的目标为高产、抗旱。本研究以此为出发点,以集合运算方法为依据,在单一水分胁迫条件和多种水分胁迫条件下均进行了高产抗旱品种的选择分析。结果表明,在单一水分胁迫条件下运用正常浇水处理产量和抗旱系数选取高产抗旱的品种,由于胁迫条件不同,所得评价结果不一致,评价结果不可靠;在多种水分胁迫条件下,通过分析得出,运用多种条件下产量平均值和胁迫稳产指数选取高产抗旱品种比较可靠,且运算简单,易于生产上运用。在 30 个参试材料中,通过该法选出的高产抗旱品种有:天泰 16、农大 81、登海 6213、中科 11、秀青 73-1。

参 考 文 献:

[1] Wesley B Bruce , Gregory O Edmeades , Thomas C Barker . Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53 (366):13-25.

[2] 付凤玲,周树峰,潘光堂,等. 玉米耐旱系数的多元回归分析[J]. 作物学报, 2003, 29(3):468-472.

[3] 张振平,齐 华,李 威,等. 玉米品种抗旱性筛选指标研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(5):65-68.

[4] Grzesiak M T, Grzesiak S, Skoczowski A. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in droughttolerance[J]. Photosyn-thetica, 2006, 44(4):561-568.

[5] Betran F J, Beck D, Banziger M, et al. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stressand nonstress environments in tropical maize[J]. Crop Science, 2003, 43(3):807-817.

[6] 黎 裕,王天宇,刘 成,等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3):210-215.

[7] 路贵和,戴景瑞,张书奎,等. 不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J]. 作物学报, 2005, 31(10):1284-1288.

[8] 吴伟华,柳家友,贾延钊. 玉米新品种高产稳产适应性综合评价[J]. 玉米科学, 2004, 12(增刊):46-47.

[9] 柳家友,柏志安,吴伟华,等. 玉米新品种豫玉 31 的丰产稳产性分析[J]. 玉米科学, 2004, 12(1):52-53.

[10] Mehdi Mohebodini, Hamid Dehghni, Sayyed Hossain Sabagh-pour. Stability of performance in lentil(*Lens culinaris Medik*) genotypes in Iran[J]. Euphytica, 2006, 149:343-352.

[11] 李发民,毛建昌. 品种稳定性参数和高稳系数在玉米区试中

的应用与分析[J]. 内蒙古农业大学学报, 2001, 22(1): 79—83.

[12] Reddy T Y, Reddy V R, Anbumozhi V. Physiological responses of groundnut (*Arachis Hypo-gea* L.) to drought stress and its amelioration: a critical review [J]. *Plant Growth Regulation*, 2003, 41: 75—88.

[13] 欧阳西荣, 涂先德, 吴玉林, 等. 玉米品种高产稳产性与抗旱性研究[J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2007, 33(3): 267—272.

[14] 蒋佰福. 玉米区试品种稳定性分析[J]. 玉米科学, 1999, 7(2): 36—38.

[15] 刘大群, 王恒立. 品种稳定性评价方法的比较和分析[J]. 作物学报, 1988, 14(4): 290—295.

[16] 温振民, 张永科. 用高稳系数法估算玉米杂交种高产稳产性的探讨[J]. 作物学报, 1994, 20(4): 508—512.

[17] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 485.

[18] 关连珠. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 294—295.

[19] 山 仑. 旱地农业技术发展趋向[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 848—855.

[20] 刘海燕. 利用高稳系数法综合分析玉米新品种的研究[J]. 玉米科学, 2003, 11(1): 37—38.

[21] 张丽颖, 王金君, 石清琢, 等. 高稳系数法在玉米区试中的应用与评析[J]. 杂粮作物, 2005, 25(2): 69—71.

Study on method of choosing maize cultivars with high yield and drought resistance

XU Rui¹, WANG Qi-bai¹, WANG Bin², ZHANG Chun-qing^{1*}

(¹. College of Agronomy, Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ². Yishui Sub-company of Linyi Tobacco Co. Ltd., Linyi, Shandong 276400, China)

Abstract: The drought and scarcity of water resources are more and more serious, which restrict agricultural development, especially maize production in China. So it is very important to choose cultivars with high yield and drought resistance. 30 maize cultivars were planted under the water stress and non-stress treatments designed in PVC shed, drought shed and field, of which the yield was tested under two treatments. A new concept, the stressed stability index (SSI), was brought forward to evaluate the drought-resistance capability of the cultivars. After comparing the influence of a kind of water stressed condition on choosing the cultivars to many kinds of water stressed conditions, and the influence of SSI and HSC (high-yield stability coefficient), a new method of choosing maize cultivars with high yield and drought-resistance was set up. The results showed that it was unreliable in a kind of water stressed condition to choose the cultivars using drought resistance coefficient and the yield under non-stress treatment. In many kinds of water stressed conditions it was more feasible to evaluate and choose cultivars of high yield and drought-resistance using the the yield under non-stress treatment and SSI than using the the yield under non-stress treatment and drought resistance coefficient. With this new method, which was easy to use in breeding, Tiantai 16, Nongda 81, Denghai 6213, Zhongke 11 and Xiuqing 73-1 were selected from the 30 cultivars as cultivars with high yield and drought-resistance.

Key words: maize; drought-resistance breeding; selecting method; stressed stability index