文章编号:1000-7601(2019)02-0136-08 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.02.20

广西玉米品种开花期抗旱性鉴定与评价

邹成林,谭　华,郑德波,翟瑞宁,黄爱花,莫润秀,韦新兴,黄开健

(广西壮族自治区农业科学院玉米研究所,广西 南宁 530007)

摘　要:选取 20 个广西玉米品种,在开花期进行干旱胁迫处理,测定叶片相对含水量、可溶性糖含量、叶绿素含量、丙二醛含量、SOD 酶活性等生理指标,同时测定产量指标。通过五级评分法对生理生化指标进行抗旱性打分,通过产量指标计算抗旱指数,综合评价玉米开花期的抗旱性。结果表明,五级评分法综合得分在 1.9293~5.6595 之间,其中正大 619、桂单 162 和桂单 0810 得分大于 5.0,其次为迪卡 008、先玉 30T60、先正达 901、庆农 68、南美 1 号和万川 1306 得分在 4.0~5.0 之间。而抗旱指数值在 0.4104~1.0963 之间,其中桂单 0810、太平洋 99 和正大 619 抗旱指数大于 1.0,先玉 30T60、迪卡 008 和南美 1 号抗旱指数在 0.9~1.0 间。两种评价结果之间的相关性为 0.5887,达到极显著相关。五级评分法与抗旱指数可同时用于玉米开花期抗旱性评价。两方面评价结果均表现抗旱的品种为桂单 0810、正大 619、先玉 30T60、迪卡 008 和南美 1 号,其中桂单 0810 和正大 619 为抗旱性极强品种。

关键词:玉米;抗旱性鉴定;抗旱指数;开花期干旱胁迫

中图分类号:S513　　**文献标志码**:A

Identification and evaluation of drought tolerance of different maize varieties during flowering stage in Guangxi

ZOU Cheng-lin, TAN Hua, ZHENG De-bo, ZHAI Rui-ning, HUANG Ai-hua, MO Run-xiu, WEI Xin-xing, HUANG Kai-jian

(*Maize Research Institute*, *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, *Nanning*, *Guangxi* 530007, *China*)

Abstract: Taking 20 maize varieties in Guangxi as materials, the drought-resistant physiological and biochemical indexes of maize during flowering stage and yield index were determined under drought stress. We synthetically evaluated the drought resistance of the maize flowering stage through the scores from a five-level grading method of drought-resistant physiological and biochemical indexes and drought index of yield. The results showed that five-level grading method composite scores were between 1.9293~5.6595, of which the evaluation scores of Zhengda 619, Guidan 162, and Guidan 0810 were higher than 5.0, followed by Dika 008, Xianyu 30T60, Xianzhengda 901, Qingnong 68, South America No. 1 and Wanchuan 1306 scored between 4.0~5.0. Their drought indexes were between 0.4104~1.0963 among them, Guidan 0810, Pacific 99, and Zhengda 619 were higher than 1.0, followed by Xianyu 30T60, Dika 008 and South America No. 1 were between 0.9~1.0. The relationship between the two kinds of evaluation results was significantly correlated with a coefficient of 0.5887. Thus, five-level grading method and drought index could be used to evaluate drought resistance of maize at flowering stage. Two aspects of the evaluation results showed that Guidan 0810, Zhengda 619, Xianyu 30T60, Dika 008, and South America No. 1 were drought resistant varieties. Among them, Guidan 0810 and Zhengda 619 were strong drought resistant varieties.

Keywords: maize; identification of drought resistance; drought index; drought stress at flowering stage

收稿日期:2018-04-18　　**修回日期**:2019-01-05

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0101206-6);国家现代农业产业技术体系广西创新团队建设岗位专家项目(nycytxgxcxtd);广西自然科学基金(2015GXNSFBA139061);广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204064);广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2016YM42);广西农业科学院玉米研究所科技发展基金(玉 ZX2015001)

作者简介:邹成林(1982-),男,湖北钟祥人,助理研究员,主要从事玉米遗传育种与栽培研究。E-mail:chenglin354822@163.com

通信作者:黄开健(1963-),男,广西灵山人,研究员,主要从事玉米遗传育种与栽培研究。E-mail:huangjian49@yahoo.com.cn

玉米是广西仅次于水稻的第二大粮食作物,对广西农业生产具有重要意义。广西属于亚热带季风气候区,年降水量丰富,但受冬、夏季风的交替影响,导致降水量季节变化不均匀,旱涝灾害频繁发生[1]。春旱影响春玉米播种和出苗,秋旱影响秋玉米授粉灌浆,均对玉米生产造成严重影响[2]。干旱是制约广西玉米产量提高的第一要素[3]。通过提高灌溉效率和改进栽培技术等工程措施可改善作物的生长环境,是在经济允许条件下克服干旱的主要途径[4]。但广西以山地为主,地理环境复杂,通过上述措施解决干旱问题面临诸多困难。因此研究选育抗旱性强的玉米品种是抵御干旱的主要方向[5-6]。玉米在不同时期对水分敏感程度不同,生产实践表明玉米开花期对水分胁迫反应最敏感,此时期缺水使抽丝延迟,花粉活力降低,导致玉米产量严重下降[7-9]。武斌等[10]用幼苗叶片相对含水量等指标结合水分胁迫下的幼苗存活率,评价了 53 份玉米自交系的苗期耐旱性,筛选出耐旱系 13 份、中等耐旱系 16 份和旱敏感系 24 份。谭静等[11]收集了 145 个杂交玉米新组合与产量和耐旱性相关的主要农艺和生理性状,筛选出一批产量高、耐旱性强及其他农艺性状优良的玉米新品种。杜彩艳等[12]以 8 个玉米品种为材料,分析与抗旱性有关的 13 个表型性状和生理生化指标的变化,并运用标准差系数赋予权重法对其苗期抗旱性进行综合评价。余贵海等[13]用 20%聚乙二醇溶液模拟干旱胁迫,对 14 个玉米品种进行了萌发期抗旱性评价。杜伟莉等[14]运用灰色关联分析和主成分分析方法, 以抗旱隶属度、产量抗旱系数和抗旱指数为评价参数,结合模糊函数法, 对各玉米品种的抗旱性进行综合评价。覃永媛等[15]综合运用 DC、DI 和 SV 等评价参数并结合主成分分析和聚类分析评价玉米自交系的耐旱性,认为玉米产量、行粒数、穗长和穗粗等性状是生产中筛选耐旱种质的重要指标。何静丹等[16]探讨了广西不同玉米品种在抽雄期对干旱胁迫及旱后复水的响应。

目前玉米苗期抗旱性研究已有许多报道[17],而玉米开花期抗旱性研究报道则较少,且大多以农艺性状和产量作为评价指标[18-19],方法单一。通过产量指标结合抗旱生理生化指标评价广西主要玉米品种开花期抗旱性的研究未见报道。本研究以广西主要种植的 20 个玉米品种为试验材料,在防雨大棚内控制水分,玉米开花期进行干旱胁迫处理,根据产量计算抗旱系数及抗旱指数,同时结合抗旱相关生理生化指标,综合评价玉米开花期的抗旱性,为广西抗旱玉米品种的培育和筛选提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试品种共 20 个,分别为:天单 101、正大 619、正大 808、桂单 0810、先玉 30T60、贵玉 1 号、川桂 336、先正达 901、南美 1 号、万川 1306、太平洋 98、太平洋 99、钻卡巴巴、庆农 68、绿海 733、绿玉 269、迪卡 008、桂单 162、亚航 0919、南校 969,种子均购自广西农业科技市场。

1.2　试验设计

试验在广西农业科学院科研核心示范区防雨大棚内进行。土壤为红壤土,有机质含量 10.39 g·kg^{-1},碱解氮 65.8 mg·kg^{-1},速效钾 157.5 mg·kg^{-1},速效磷 15.68 mg·kg^{-1},pH 值 5.60。采用直播法,每个品种处理种植 2 行,行长 3 m,行距 0.7 m,株距 0.3 m,随机区组设计,设置正常供水(CK)和干旱胁迫(T)两种处理,两种处理分别种在不同抗旱池,中间由宽 1.5 m 的水泥地隔开,3 次重复。2016 年 8 月 8 日播种,播种后每行一次性施入金正大控释肥 48 g 作基肥($N:P_2O_5:K_2O=24:8:10$)。正常供水处理使土壤含水量在玉米整个生育期保持在田间最大持水量的 75%以上,干旱胁迫处理在开花期前约 15 d(9 月 26 日)开始停止供水,各品种开花期集中在 10 月 11 日-10 月 18 日之间,期间控水使土壤含水量维持在田间最大持水量的 52.8%~55.2%,达到中度干旱胁迫程度[20],在 10 月 19 日采集穗位叶片,每个品种处理采集 3 片叶,混合后取样测定生理生化指标。在所有品种开花期结束后 10 d(11 月 3 日),测得土壤含水量为田间最大持水量的50.1%,恢复灌水。12 月 1 日收获玉米果穗,脱粒晒干折算产量。

1.3　测定项目及方法

1.3.1　*生理生化指标及五级评分法*　叶片相对含水量、叶绿素含量、可溶性糖含量及丙二醛含量均按照《植物生理学实验指导》[21]的方法测定;SOD 酶活性采用南宁建成生物工程研究所提供的测试盒测定。

五级评分法,参照吴文荣[22]方法。其中相对含水量、叶绿素含量和 SOD 酶活性的抗旱系数计算公式为:

$$\text{相对含水量抗旱系数}=\frac{\text{相对含水量干旱测定值}}{\text{相对含水量对照测定值}}$$

$$\text{叶绿素抗旱系数}=\frac{\text{叶绿素干旱测定值}}{\text{叶绿素对照测定值}}$$

$$\text{SOD 酶活性抗旱系数}=\frac{\text{SOD 酶活性干旱测定值}}{\text{SOD 酶活性对照测定值}}$$

可溶性糖的抗旱系数计算公式为:

可溶性糖抗旱系数=

$$\frac{\text{可溶性糖干旱测定值}-\text{可溶性糖对照测定值}}{\text{可溶性糖对照测定值}}$$

丙二醛的抗旱系数计算公式为：

丙二醛抗旱系数=

$$1-\frac{\text{丙二醛干旱测定值}-\text{丙二醛对照测定值}}{\text{丙二醛对照测定值}}$$

将各指标最大值与最小值间的极差定为 5 分，规定最小值为 1 分，则最大值为 6 分，各指标任意值得分的计算公式如下：

$$D=\frac{Hh-Hl}{5}$$

$$F=\frac{H-Hl}{D}+1$$

式中，D 为得 1 分的极差值；Hh 为各指标测定的最大值；Hl 为各指标测定的最小值；F 为应得分；H 为各指标测定的任意值。

根据各指标的变异系数确定各指标参与综合评价的权重系数矩阵，其公式为：

$$\text{任一指标权重系数}=\frac{\text{任一指标变异系数}}{\text{各指标变异系数之和}}$$

在参照吴文荣[22]划分玉米品种抗旱性基础上，增加一类抗旱性极强品种类型，将综合得分≥5.0 的定为抗旱性极强品种，4.0~5.0 的为抗旱性强品种，3.0~4.0 的为抗旱性中等品种，<3.0 的为抗旱性较弱品种。

1.3.2 *产量、抗旱系数及抗旱指数* 每个处理连续取中间 8 株果穗进行脱粒晒干，折算为籽粒含水量 14%的每公顷产量。以下列公式分别计算抗旱系数（DC）和耐旱指数（DI）。

$$DC=\frac{\text{干旱胁迫下某玉米品种籽粒产量}}{\text{正常供水下该玉米品种籽粒产量}}$$

$$DI=\frac{DC\times\text{干旱胁迫下某玉米品种籽粒产量}}{\text{干旱胁迫下所有玉米品种籽粒的平均产量}}$$

在参考兰巨生等[23]划分抗旱作物类型基础上，结合广西玉米生产实践将 DI 值≥1.00 的视为抗旱性极强品种，0.90~1.00 为抗旱性强品种，0.80~0.90 为抗旱性中等品种，<0.80 为抗旱性较弱品种。

1.4 统计分析

采用 Excel 2007 进行数据处理，用 DPS 16.05 进行数据显著性检验及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对玉米开花期叶片相对含水量的影响

相对含水量常被用作表示植株在受干旱胁迫后水分亏缺程度的一个参数。由表 1 可知，各参试品种在干旱胁迫下，玉米开花期叶片相对含水量较对照均有不同程度的降低，降低幅度越小其抗旱系数越大，抗旱性越强。以相对含水量指标计算的抗旱系数为判断依据，桂单 162、庆农 68、桂单 0810、正大 619 和南美 1 号抗旱系数均高于 0.9，属于抗旱性强品种。

2.2 干旱胁迫对玉米开花期叶片叶绿素含量的影响

干旱胁迫下叶绿素含量的变化影响着植物光合作用的效率。由表 2 可知，各参试品种在干旱胁迫下，玉米开花期叶绿素含量较对照均有不同程度的降低，降低幅度越小其抗旱系数越大，抗旱性越强。整体分析发现干旱胁迫下玉米开花期叶绿素含量较对照变化幅度相对较小，20 个参试品种有 9 个抗旱系数在 0.9 以上，且方差分析表明抗旱系数排名靠前的 11 个品种间没有显著性差异。

表 1 干旱胁迫对玉米开花期叶片相对含水量的影响

Table 1 Effects of drought stress on relative water content of maize leaves at flowering stage

品种 Variety	相对含水量/% Relative water content			抗旱系数 Drought coefficient
	CK	T	增幅/% Growth rate	
桂单 162 Guidan 162	93.68	86.86	−7.28	0.9272a
庆农 68 Qingnong 68	94.65	86.96	−8.12	0.9188ab
桂单 0810 Guidan 0810	92.63	84.46	−8.82	0.9118abc
正大 619 Zhengda 619	94.03	85.61	−8.95	0.9105abc
南美 1 号 South America No.1	93.12	83.87	−9.93	0.9007abcd
万川 1306 Wanchuan 1306	91.42	81.98	−10.33	0.8967abcde
先玉 30T60 Xianyu 30T60	92.61	82.91	−10.47	0.8953abcde
迪卡 008 Dika 008	94.73	84.37	−10.94	0.8906bcde
先正达 901 Xianzhengda 901	93.03	82.71	−11.09	0.8891bcdef
绿海 733 Lvhai 733	93.69	82.61	−11.83	0.8817cdefg
正大 808 Zhengda 808	94.97	82.45	−13.18	0.8682defgh
亚航 0919 Yahang 0919	91.44	79.08	−13.52	0.8648efghi
南校 969 Nanxiao 969	93.66	80.28	−14.29	0.8571fghi
绿玉 269 Lvyu 269	90.71	77.51	−14.55	0.8545ghij
贵玉 1 号 Guiyu No.1	91.10	77.24	−15.21	0.8479hijk
太平洋 99 Pacific 99	93.83	78.75	−16.07	0.8393hijk
天单 101 Tiandan 101	92.72	77.69	−16.21	0.8379hijk
钻卡巴巴 Zuankababa	92.17	76.83	−16.64	0.8336ijk
太平洋 98 Pacific 98	93.95	77.40	−17.62	0.8238jk
川桂 336 Chuangui 336	94.73	77.53	−18.16	0.8184k

注：同列数据后不同小写字母表示品种间差异达显著水平（$P<0.05$）。下同

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant difference between varieties ($P<0.05$). The same below.

表 2　干旱胁迫对玉米开花期叶片叶绿素含量的影响

Table 2　Effects of drought stress on chlorophyll content of maize leaves at flowering stage

品种 Variety	叶绿素含量/(mg·g^{-1}) Chlorophyll content			抗旱系数 Drought coefficient
	CK	T	增幅/% Growth rate	
庆农 68 Qingnong 68	2.202	2.062	-6.38	0.9362a
万川 1306 Wanchuan 1306	2.157	2.014	-6.61	0.9339a
桂单 0810 Guidan 0810	2.317	2.161	-6.74	0.9326a
桂单 162 Guidan 162	2.855	2.657	-6.95	0.9305a
正大 619 Zhengda 619	2.150	1.994	-7.26	0.9274a
南美 1 号 South America No.1	2.517	2.296	-8.78	0.9122ab
迪卡 008 Dika 008	2.381	2.167	-9.00	0.9100ab
先正达 901 Xianzhengda 901	2.415	2.197	-9.04	0.9096ab
先玉 30T60 Xianyu 30T60	2.668	2.420	-9.3	0.9070ab
绿海 733 Lvhai 733	2.094	1.879	-10.28	0.8972abc
绿玉 269 Lvyu 269	2.397	2.137	-10.86	0.8914abc
正大 808 Zhengda 808	1.917	1.674	-12.65	0.8735bcd
太平洋 98 Pacific 98	1.872	1.631	-12.89	0.8711bcd
钻卡巴巴 Zuankababa	2.289	1.984	-13.34	0.8666bcd
南校 969 Nanxiao 969	2.085	1.785	-14.37	0.8563cde
天单 101 Tiandan 101	2.178	1.837	-15.64	0.8436def
贵玉 1 号 Guiyu No.1	2.047	1.708	-16.58	0.8342def
川桂 336 Chuangui 336	1.969	1.635	-16.95	0.8305def
亚航 0919 Yahang 0919	2.506	2.045	-18.41	0.8159ef
太平洋 99 Pacific 99	2.208	1.780	-19.39	0.8061f

2.3　干旱胁迫对玉米开花期叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是植物体内重要的活性氧清除酶,保护细胞免受过量活性氧胁迫的伤害。由表 3 可知,各参试品种在干旱胁迫下,玉米开花期叶片 SOD 活性较对照均有不同程度的降低,降低幅度越小其抗旱系数越大,抗旱性越强。整体分析发现干旱胁迫对玉米开花期 SOD 活性的影响较大,最大降低幅度甚至达到了 43.73%,其中正大 619、先正达 901 和迪卡 008 降低幅度较小,抗旱系数均达到了 0.8 以上,说明其有较强的抗旱性。

2.4　干旱胁迫对玉米开花期叶片可溶性糖含量的影响

可溶性糖是植物体内普遍存在的一种具有渗透调节作用的有机溶质,而渗透调节是植物抵抗干旱胁迫的一种重要方式。由表 4 可知,各参试品种在干旱胁迫下,玉米开花期叶片可溶性糖含量较对照均有不同程度的增加,增加幅度越大其抗旱系数越大,抗旱性越强。由可溶性糖含量变化所反映的抗旱系数排在前列的玉米品种分别为桂单 162、先玉 30T60、桂单 0810、正大 619 和南美 1 号,且与其它品种的抗旱系数有显著性差异。

表 3　干旱胁迫对玉米开花期叶片 SOD 活性的影响

Table 3　Effects of drought stress on SOD activity of maize leaves at flowering stage

品种 Variety	SOD 酶活性/(U·mg^{-1}) SOD activity			抗旱系数 Drought coefficient
	CK	T	增幅/% Growth rate	
正大 619 Zhengda 619	1349.51	1150.32	-14.76	0.8524a
先正达 901 Xianzhengda 901	1454.43	1216.77	-16.34	0.8366a
迪卡 008 Dika 008	1529.50	1274.84	-16.65	0.8335a
桂单 162 Guidan 162	1516.84	1209.68	-20.25	0.7975ab
桂单 0810 Guidan 0810	1550.79	1200.00	-22.62	0.7738bc
天单 101 Tiandan 101	1629.25	1189.68	-26.98	0.7302cd
南美 1 号 South America No.1	1647.54	1189.03	-27.83	0.7217cde
绿海 733 Lvhai 733	1588.41	1129.68	-28.88	0.7112de
南校 969 Nanxiao 969	1569.74	1096.77	-30.13	0.6987def
太平洋 99 Pacific 99	1447.72	1006.45	-30.48	0.6952defg
钻卡巴巴 Zuankababa	1592.81	1099.35	-30.98	0.6902defg
先玉 30T60 Xianyu 30T60	1534.81	1058.71	-31.02	0.6898defg
绿玉 269 Lvyu 269	1592.45	1092.26	-31.41	0.6859defg
川桂 336 Chuangui 336	1656.14	1093.55	-33.97	0.6603efgh
庆农 68 Qingnong 68	1608.42	1041.94	-35.22	0.6478fghi
万川 1306 Wanchuan 1306	1712.96	1085.16	-36.65	0.6335ghij
亚航 0919 Yahang 0919	1740.29	1081.94	-37.83	0.6217hij
贵玉 1 号 Guiyu No.1	1658.52	990.97	-40.25	0.5975ijk
正大 808 Zhengda 808	1689.84	974.19	-42.35	0.5765jk
太平洋 98 Pacific 98	1742.75	980.65	-43.73	0.5627k

表 4　干旱胁迫对玉米开花期叶片可溶性糖含量的影响

Table 4　Effects of drought stress on soluble sugar content of maize leaves at flowering stage

品种 Variety	可溶性糖含量/(mg·g^{-1}) Soluble sugar content			抗旱系数 Drought coefficient
	CK	T	增幅/% Growth rate	
桂单 162 Guidan 162	21.97	29.70	35.17	0.3517a
先玉 30T60 Xianyu 30T60	21.36	28.84	35.01	0.3501a
桂单 0810 Guidan 0810	22.48	30.20	34.33	0.3433a
正大 619 Zhengda 619	19.81	26.49	33.69	0.3369a
南美 1 号 South America No.1	19.04	25.43	33.54	0.3354a
先正达 901 Xianzhengda 901	20.44	26.61	30.19	0.3019b
绿玉 269 Lvyu 269	25.03	32.55	30.07	0.3007b
万川 1306 Wanchuan 1306	23.69	30.50	28.73	0.2873b
迪卡 008 Dika 008	23.48	30.20	28.62	0.2862b
庆农 68 Qingnong 68	22.52	28.50	26.56	0.2656c
亚航 0919 Yahang 0919	25.70	32.43	26.18	0.2618c
正大 808 Zhengda 808	21.02	26.51	26.11	0.2611c
绿海 733 Lvhai 733	19.98	25.02	25.27	0.2527cd
南校 969 Nanxiao 969	23.11	28.59	23.73	0.2373d
太平洋 99 Pacific 99	22.45	27.72	23.44	0.2344d
贵玉 1 号 Guiyu No.1	23.52	29.01	23.33	0.2333d
太平洋 98 Pacific 98	26.30	31.42	19.46	0.1946e
川桂 336 Chuangui 336	23.62	28.17	19.26	0.1926e
天单 101 Tiandan 101	27.24	32.28	18.47	0.1847e
钻卡巴巴 Zuankababa	24.66	28.70	16.38	0.1638f

2.5 干旱胁迫对玉米开花期叶片丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛是植物在遭受逆境胁迫下质膜过氧化的主要产物,其含量高低反映着质膜过氧化程度。由表 5 可知,各参试品种在干旱胁迫下,玉米开花期丙二醛含量较对照均有不同程度的增加,增加幅度越小其抗旱系数越大,抗旱性越强。丙二醛含量变化反映出亚航 0919 和正大 619 抗旱系数大,抗旱性强,其次为先玉 30T60、桂单 162、迪卡 008、桂单 0810、万川 1306、钻卡巴巴和庆农 68,抗旱系数较大,抗旱性较强。

2.6 玉米开花期生理生化抗旱性综合评价

将表 1~表 5 各生理生化指标计算的抗旱系数根据五级评分法换算成相应得分,计算各指标的变异系数,根据变异系数确定各指标参与综合评价的权重系数矩阵,通过复合运算获得各品种的综合评价得分(表 6)。根据表 6 生理生化综合评价结果可知:正大 619、桂单 162 和桂单 0810 综合得分大于 5,抗旱性极强;迪卡 008、先玉 30T60、先正达 901、庆农 68、南美 1 号和万川 1306 综合得分 4.0~5.0 间,抗旱性强;绿海 733、亚航 0919 和绿玉 269 综合得分 3.0~4.0 间,抗旱性中等;其它品种综合得分均小于 3.0,抗旱性较弱。

表 5 干旱胁迫对玉米开花期叶片丙二醛(MDA)含量的影响

Table 5 Effects of drought stress on MDA content of maize leaves at flowering stage

品种 Variety	丙二醛含量/(μmol·g^{-1}) Malondiadehyde content			抗旱系数 Drought coefficient
	CK	T	增幅/% Growth rate	
亚航 0919 Yahang 0919	31.59	36.11	14.32	0.8568a
正大 619 Zhengda 619	34.68	40.11	15.66	0.8434ab
先玉 30T60 Xianyu 30T60	28.48	34.47	21.01	0.7899bc
桂单 162 Guidan 162	28.49	34.74	21.95	0.7805bc
迪卡 008 Dika 008	32.79	40.36	23.08	0.7692c
桂单 0810 Guidan 0810	26.96	34.15	26.63	0.7337cd
万川 1306 Wanchuan 1306	32.34	41.09	27.04	0.7296cde
钻卡巴巴 Zuankababa	31.41	40.04	27.47	0.7253cde
庆农 68 Qingnong 68	29.06	37.11	27.71	0.7229cde
绿海 733 Lvhai 733	28.34	37.06	30.79	0.6921def
先正达 901 Xianzhengda 901	28.35	37.47	32.14	0.6786defg
太平洋 98 Pacific 98	32.54	43.04	32.26	0.6774defg
正大 808 Zhengda 808	28.40	38.13	34.25	0.6575efgh
南美 1 号 South America No.1	26.89	37.03	37.71	0.6229fgh
南校 969 Nanxiao 969	30.62	42.44	38.60	0.6140gh
川桂 336 Chuangui 336	32.16	44.98	39.86	0.6014h
天单 101 Tiandan 101	30.18	42.50	40.80	0.5920h
贵玉 1 号 Guiyu No.1	29.51	41.69	41.31	0.5869h
绿玉 269 Lvyu 269	26.96	39.93	48.09	0.5191i
太平洋 99 Pacific 99	29.86	44.37	48.59	0.5141i

表 6 不同玉米品种生理生化指标抗旱性综合评价

Table 6 Results of drought-resistant comprehensive evaluation of physiological and biochemistry index

品种 Variety	各指标抗旱评价得分 Drought-resistant evaluation score of each index					综合得分 Composite score
	相对含水量 Relative water content	叶绿素含量 Chlorophyll content	SOD 酶活性 SOD enzyme activity	可溶性糖含量 Soluble sugar content	丙二醛含量 Malondiadehyde content	
正大 619 Zhengda 619	5.2325	5.6618	6.0000	5.6062	5.8045	5.6595
桂单 162 Guidan 162	6.0000	5.7809	5.0525	6.0000	4.8868	5.5437
桂单 0810 Guidan 0810	5.2923	5.8616	4.6434	5.7765	4.2040	5.1501
迪卡 008 Dika 008	4.3180	4.9931	5.6738	4.2571	4.7219	4.7966
先玉 30T60 Xianyu 30T60	4.5340	4.8778	3.1936	5.9574	5.0239	4.6970
先正达 901 Xianzhengda 901	4.2491	4.9777	5.7273	4.6748	3.4001	4.6137
庆农 68 Qingnong 68	5.6140	6.0000	2.4688	3.7089	4.0464	4.3580
南美 1 号 South America No.1	4.7822	5.0776	3.7442	5.5663	2.5874	4.3488
万川 1306 Wanchuan 1306	4.5983	5.9116	2.2220	4.2863	4.1441	4.2104
绿海 733 Lvhai 733	3.9090	4.5012	3.5630	3.3656	3.5970	3.7847
亚航 0919 Yahang 0919	3.1324	1.3766	2.0183	3.6078	6.0000	3.2151
绿玉 269 Lvyu 269	2.6590	4.2782	3.1263	4.6429	1.0730	3.1473
正大 808 Zhengda 808	3.2886	3.5903	1.2382	3.5891	3.0922	2.9426
南校 969 Nanxiao 969	2.7785	2.9293	3.3473	2.9558	2.4575	2.8975
钻卡巴巴 Zuankababa	1.6985	3.3251	3.2006	1.0000	4.0814	2.6536
天单 101 Tiandan 101	1.8961	2.4412	3.8909	1.5561	2.1366	2.3954
贵玉 1 号 Guiyu No.1	2.3557	2.0799	1.6006	2.8494	2.0622	2.1851
太平洋 98 Pacific 98	1.2482	3.4981	1.0000	1.8196	3.3826	2.1611
太平洋 99 Pacific 99	1.9605	1.0000	3.2868	2.8787	1.0000	2.0413
川桂 336 Chuangui 336	1.0000	1.9377	2.6845	1.7664	2.2737	1.9293
变异系数 *CV*	42.2700	39.2934	42.0613	39.7101	39.6741	—
权重系数 Weight coefficient	0.2082	0.1936	0.2072	0.1956	0.1954	—

2.7　玉米产量及抗旱性评价

由表 7 可知,根据产量指标计算出的抗旱系数和抗旱指数结果并不完全一致,抗旱系数侧重反映作物的稳产性,而抗旱指数不仅反映作物的稳产性且兼顾了丰产性。以抗旱指数为评价依据,桂单 0810、太平洋 99 和正大 619 抗旱指数大于 1.0,属于抗旱性极强品种;先玉 30T60、迪卡 008 和南美 1 号耐旱指数在 0.9~1.0 间,属于抗旱性强品种;桂单 162、万川 1306、先正达 901、绿海 733、正大 808 和庆农 68 抗旱指数在 0.8~0.9 间,属于抗旱性中等品种;其它品种抗旱指数均小于 0.8,属于抗旱性较弱品种。

2.8　玉米产量抗旱指数与生理生化指标系数相关性

由表 8 相关分析可知,玉米产量抗旱指数与生理生化综合评价得分、相对含水量抗旱系数、叶绿素含量抗旱系数、SOD 活性抗旱系数、可溶性糖抗旱系数间呈正相关,其中与生理生化综合评价得分和相对含水量抗旱系数相关性极显著,与可溶性糖抗旱系数相关性显著,与叶绿素含量抗旱系数和 SOD 酶活性抗旱系数相关性不显著。

3　讨论与结论

作物的抗旱性是由多方面因素引起,较早的报道仅围绕单一抗旱生理指标进行研究,虽取得了一定进展,但由于分析方法单一,缺乏相应的统计方法,众多结果间重复性较差,单一指标存在局限性[24-27]。本研究测定了与玉米抗旱相关的多个抗旱生理生化指标,分析发现每个品种在各个抗旱生理生化指标中所反映出的抗旱性并不一致,一个品种并非在所有指标中均表现突出,因此需综合多个指标进行评价,以减小用单个指标评价的片面性。许多研究者均认识到单一指标所带来的缺陷[12,28],开始采用一套科学合理的数学、统计学方法对玉米抗旱性进行综合评价。何雪银等[29]运用抗旱系数结合

表 7　干旱胁迫对不同玉米品种产量指标的影响

Table 7　Effect of drought stress on yield parameters in different maize varieties

品种 Variety	产量 Yield /(kg·hm^{-2}) CK	T	抗旱系数 Drought coefficient	抗旱指数 Drought index
桂单 0810 Guidan 0810	6000	5475	0.9125a	1.0963a
太平洋 99 Pacific 99	5790	5370	0.9275a	1.0929a
正大 619 Zhengda 619	5745	5190	0.9034ab	1.0289ab
先玉 30T60 Xianyu 30T60	6630	5250	0.7919abcd	0.9123abc
迪卡 008 Dika 008	5160	4620	0.8953abcde	0.9077abc
南美 1 号 South America No.1	5865	4920	0.8388abc	0.9057abc
桂单 162 Guidan 162	5505	4680	0.8501abc	0.8731abc
万川 1306 Wanchuan 1306	5445	4650	0.8540abcd	0.8714abc
先正达 901 Xianzhengda 901	6765	5100	0.7539abcde	0.8437abcd
绿海 733 Lvhai 733	5310	4500	0.8475abcd	0.8369abcde
正大 808 Zhengda 808	5010	4335	0.8653abc	0.8231abcde
庆农 68 Qingnong 68	5955	4695	0.7884abcde	0.8123abcde
亚航 0919 Yahang 0919	5940	4560	0.7677abcde	0.7682abcde
南校 969 Nanxiao 969	6240	4575	0.7332abcdef	0.7361bcde
天单 101 Tiandan 101	6210	4530	0.7295abcdef	0.7251bcde
钻卡巴巴 Zuankababa	6180	4335	0.7015cdef	0.6673cdef
贵玉 1 号 Guiyu No.1	5730	3750	0.6545def	0.5386def
绿玉 269 Lvyu 269	4890	3450	0.7055bcdef	0.5341def
川桂 336 Chuangui 336	6030	3780	0.6269ef	0.5200ef
太平洋 98 Pacific 98	6090	3375	0.5542f	0.4104f

表 8　玉米产量抗旱指数与生理生化指标抗旱系数相关性

Table 8　Correlation of maize yield drought index and the drought coefficient of physiological and biochemical indexes

相关系数 Correlation coefficient	抗旱指数 Drought index	综合得分 Comprehensive score	相对含水量 Relative water content	叶绿素 Chlorophyll	SOD	可溶性糖 Soluble sugar	丙二醛 Malondialdehyde
抗旱指数 Drought index	1						
综合得分 Comprehensive score	0.5887**	1					
相对含水量 Relative water content	0.6853**	0.7955**	1				
叶绿素 Chlorophyll	0.4068	0.7143**	0.8404**	1			
SOD	0.4253	0.3050	0.5122*	0.4599*	1		
可溶性糖 Soluble sugar	0.5380*	0.7133**	0.8581**	0.6988**	0.5009*	1	
丙二醛 Malondialdehyde	0.2740	0.4439*	0.5769**	0.4597*	0.2838	0.4123	1

注:* 和 ** 分别代表 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 显著性水平。

Note: * and ** denote significance at the $P<0.05$ and $P<0.01$ probability levels, respectively.

模糊隶属函数法对 13 个参试玉米材料的抗旱性进行了研究,利用 4 个相关抗旱生理指标对其抗旱性进行综合评价。张智猛等[30]对中国北方主栽花生品种抗旱性进行研究,采用抗旱系数法和隶属函数值法,利用 13 个相关指标对其抗旱性进行综合评价。杜彩艳等[20]运用标准差系数赋予权重法,以 8 个玉米品种为试验材料,分析了与抗旱性有关的 13 个表型性状和生理生化指标的变化,对其苗期抗旱性进行了综合评价。本研究采用五级评分法将各项指标的测定值经过换算进行定量,并根据各指标的变异系数(CV)确定各指标参与综合评价的权重系数矩阵,经过权重分析,进行抗旱性综合评价;从中筛选出玉米开花期抗旱性极强的品种依次为正大 619、桂单 162、桂单 0810,这与前期研究中玉米苗期桂单 0810 和正大 619 属于抗旱性强品种的研究结果基本一致[31]。

在对作物进行抗旱性评价的过程中,产量指标被认为是玉米品种抗旱(耐旱)性鉴定的最重要和最直接的指标[32],通过产量指标计算抗旱系数和抗旱指数,抗旱系数反映了该品种的稳定性,抗旱指数则在考虑品种稳定性的基础上,同时兼顾高产性,使农作物抗旱性鉴定的产量指标在生物学意义上有了实质性的改进[23],近年来的研究也表明利用抗旱指数来研究作物的抗旱性差异,获得了一定的共识[33]。本研究同时对不同品种玉米开花期干旱胁迫后的产量进行了分析,计算抗旱系数和抗旱指数,抗旱指数结果表明桂单 0810、太平洋 99 和正大 619 抗旱性强,同时抗旱系数显示其稳产性较好;其中桂单 0810 和正大 619 抗旱性结果与陈坤[18]通过产量得出的结论相似,同时也与本研究通过五级评分法对生理生化指标综合评价的结果基本一致。但从整个抗旱鉴定结果来分析,产量得出的抗旱性与生理生化指标综合评价的结果并不完全一致。在对两方面结果进行相关性分析后发现,抗旱指数与生理生化综合评价达到了极显著中度相关,抗旱指数与生理生化各单项指标分析中,除与相对水含量达到极显著中度相关外,与其它各指标相关性不显著或为低度相关。导致相关性不高或不显著的原因可能与生理生化指标的选择或干旱胁迫的时期等多方面因素相关,因此如何利用单个生理生化指标与产量指标来判断玉米开花期耐旱性之间的关联性尚需进一步研究。

尽管两方面分析的结果不完全一致,但耐旱指数评价结果与多个生理生化综合鉴定的结果达到了一个极显著的中度相关。两方面评价均表现为抗旱的品种为桂单 0810、正大 619、先玉 30T60、迪卡 008 和南美 1 号,另外桂单 162、先正达 901、万川 1306 和庆农 68 抗旱性较好。其中桂单 0810 和正大 619 抗旱性表现突出,两方面评价均为抗旱性极强品种,相关研究[3,16,18]以及生产实践均表明桂单 0810 在耐受干旱和贫瘠方面具有良好的表现。

本研究结果表明,抗旱指数评价结果与生理生化五级评分法综合鉴定结果可同时用于玉米开花期抗旱性评价。两方面评价结果表明 20 个参试玉米品种中桂单 0810、正大 619、先玉 30T60、迪卡 008 和南美 1 号抗旱性强,其中桂单 0810 和正大 619 抗旱性极强,适宜在广西干旱山区推广种植。

参 考 文 献:

[1] 王文静,延军平,刘永林,等.广西旱灾对称性特征及趋势判断[J].中山大学学报(自然科学版),2015,54(6):163-168.

[2] 张述宽.广西玉米育种目标及种质改良对策[J].广西农业科学,2004,35(2):108-110.

[3] 田树云,文仁来,何静丹,等.广西主栽玉米品种苗期干旱胁迫及复水补偿效应研究[J].西南农业学报,2016,29(3):479-485.

[4] 朴明鑫,李成,金峰学,等.玉米耐旱鉴定研究进展[J].玉米科学,2013,21(4):89-93.

[5] 山仑,张岁岐.节水农业及其生物学基础[J].水土保持研究,1999,6(1):2-6,13.

[6] 山仑.旱地农业技术发展趋向[J].中国农业科学,2002,35(7):848-855.

[7] 宋凤斌,戴俊英,张烈,等.水分胁迫对玉米花粉活力和花丝受精能力的影响[J].作物学报,1998,24(3):368-372.

[8] 张凤路,D.kirubi.玉米雌雄穗开花间隔与产量关系研究[J].作物学报,2002,28(1):76-78.

[9] 孙宝成,刘成,王天宇,等.转基因玉米株高、ASI 和穗部性状与抗旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2012,49(11):1961-1965.

[10] 武斌,李新海,肖木辑,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.

[11] 谭静,刘帆,李自卫,等.玉米品种耐旱性鉴定及耐旱指标筛选[J].西南农业学报,2013,26(1):26-31.

[12] 杜彩艳,段宗颜,王建新,等.云南 8 个玉米品种苗期抗旱性研究[J].西北农业学报,2014,23(10):82-89.

[13] 余贵海,起雪宏,王正启,等.14 个玉米杂交种萌发期抗旱性评价[J].西南农业学报,2016,29(7):1499-1505.

[14] 杜伟莉,高杰,卜令铎,等.玉米品种开花期抗旱性鉴定指标筛选[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):71-76,86.

[15] 覃永媛,时成俏,王兵伟,等.48 份玉米种质的耐旱性鉴定与评价[J].南方农业学报,2014,45(11):1926-1934.

[16] 何静丹,文仁来,田树云,等.抽雄期干旱胁迫与复水对不同玉米品种生长及产量的影响[J].南方农业学报,2017,48(3):408-415.

[17] 彭云玲,赵小强,任续伟,等.开花期干旱胁迫对不同基因型玉米生理特性和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2014,

32(3):9-14.
[18] 陈坤,杨耀迥,苏琪,等.不同干旱胁迫对玉米产量的影响[J].安徽农业科学,2016,44(6):70-71,162.
[19] 李叶蓓,陶洪斌,王若男,等.干旱对玉米穗发育及产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(4):383-391.
[20] 杜彩艳,段宗颜,张乃明,等.云南主栽玉米品种抗旱性鉴定与评价[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):181-189.
[21] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:15-16,74-76,144-148,210-211.
[22] 吴文荣.玉米不同品种芽苗期抗旱性及指标的研究[D].北京:中国农业科学院研究生院,2008.
[23] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.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.
[24] Bolanos J, Edmeades G O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize[J]. Field Crops Research,1996,48(1):65-80.
[25] Bolanos J, Edmeades G O, Martinez L. Eight cycles of selection for drought tolerance in low land tropical maize. Ⅲ.Responses in drought adaptive physiological and morphological traits[J]. Field Crops Research,1993,31(3-4):269-286.
[26] Bruce W B, Edmeades G O, Barker T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance [J]. Journal of Experimental Botany,2002,53(366):13-25.
[27] Betran F J,Beck D,Banziger M,et al. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize[J].Field Crops Research,2003,83(1):51-65.
[28] 辛国荣,董美玲,宋淑明.水分胁迫下几种燕麦品种的一些生理生化变化及其与植物抗旱性关系的研究[J].草业科学,1996,13(5):50-55.
[29] 何雪银,文仁来,吴翠荣,等.模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J].西南农业学报,2008,21(1):52-56.
[30] 张智猛,戴良香,丁红,等.中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价[J].作物学报,2012,38(3):495-504.
[31] 邹成林,谭华,黄开建,等.广西玉米品种苗期生理生化指标与其抗旱性的综合评价[J].南方农业学报,2015,46(3):408-414.
[32] 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.
[33] 于永涛,刘成,吕玲,等.玉米品种耐旱性评价及相关鉴定指标的研究[J].作物杂志,2008,(4):55-58.

(上接第 135 页)

参 考 文 献:

[1] 张晓娜,宋书红,林艳艳,等.生育期和品种对紫花苜蓿产量及品质的影响[J].草地学报,2016,24(3):676-681.
[2] 刘倩,高娅妮,柳旭,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(16):1-13.
[3] 张学云,杨丽,范金,等.紫花苜蓿体细胞胚的辐射诱变及耐盐性筛选[J].中国草地学报,2015,37(3):31-36.
[4] 杨静慧,吴志瑜,刘艳军,等.盐胁迫下耐盐苜蓿松散型愈伤组织生理生化特性变化[J].天津农学院学报,2016,23(4):38-42.
[5] 李源,刘贵波,高洪文,等.NaCl 胁迫对不同苜蓿种质苗期生长特性的影响[J].华北农学报,2010,25(8):109-116.
[6] Varsha S, Gopal R K. Salinity-induced modulation of growth and antioxidant activity in the callus cultures of miswak (*Salvadora persica*)[J]. Biotech,2013,3(1):11.
[7] Liu L, Fan X D, Wang F W, et al. Coexpression of ScNHX1,and ScVP, in transgenic hybrids improves salt and saline-alkali tolerance in Alfalfa (*Medicago sativa* L.)[J]. Journal of Plant Growth Regulation,2013,32(1):1-8.
[8] 周玉丽,方林森,胡能兵,等.薄荷不定芽诱导及 NaN_3 诱变研究[J].中药材,2016,39(1):1-5.
[9] 付凤玲,李晚忱,荣廷昭,等.用 γ 射线和叠氮化钠诱变的玉米愈伤组织筛选耐旱和雄性不育材料[J].核农学报,2005,19(5):356-359.
[10] 韩晓玲.小冠花抗 L-羟基脯氨酸(Hyp)变异系离体筛选及其耐盐性研究[D].西安:西北大学,2006.
[11] 景建洲.谷子耐盐变异体和草木樨状黄芪抗乙硫氨酸变异体的筛选[D].西安:西北大学,2000.
[12] 王尚军.水杨酸与烯效唑对盐胁迫下黑果枸杞愈伤组织生理生化特性的影响研究[D].兰州:兰州大学,2011.
[13] 王妍,胡胜,付文成,等.一种快速测定可溶性糖的新方法:TBA 法[J].井冈山大学学报(自然科学版),2013,(3):37-40.
[14] 冯学金,郭秀娟,杨建春,等.诱变技术在亚麻育种中的应用[J].核农学报,2017,31(7):1310-1316.
[15] Ehsanpour A A, Fatahian N. Effects of salt and proline on *Medicago sativa*, callus[J]. Plant Cell Tissue & Organ Culture, 2003,73(1):53-56.
[16] 罗雷,梁燕,崔霞,等.化学诱变剂诱导番茄耐低温突变体的初步研究[J].中国农学通报,2012,28(22):138-143.
[17] 赵邯郸,关淑艳,徐丹丹,等.玉米愈伤组织的耐盐性筛选[J].湖北农业科学,2015,54(1):206-209.
[18] 范小峰,杨颖丽,程转霞.NaCl 胁迫下唐古特白刺愈伤组织生理生化变化研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):203-207.
[19] Amini F, Ghanbarzadeh Z, Askary M. Biochemical and Physiological Response of Salsolaarbuscula, Callus to Salt Stress[J]. Iranian Journal of Science & Technology Transactions A Science, 2017,41(2):321-328.
[20] 柳福智,羊健麟.盐胁迫对甘草愈伤组织渗透调节的影响[J].植物生理学报,2015,51(7):1038-1044.
[21] Liu T, Staden J V. Growth rate, water relations and ion accumulation of soybean callus lines differing in salinity tolerance under salinity stress and its subsequent relief[J]. Plant Growth Regulation,2001,34(3):277-285.
[22] 张玉霞,张立军,王艳树,等.盐碱对芦笋胁迫效应的分析[J].安徽农业科学,2006,34(18):4678-4679.
[23] 温日宇,刘建霞,宋亚静,等.叠氮化钠对绿豆种子和幼苗生长的诱变效应[J].山西农业科学,2017,45(12):1933-1936.