

云南主栽玉米品种抗旱性鉴定与评价

杜彩艳^{1,2}, 段宗颜¹, 张乃明³, 邱学礼¹, 胡万里¹,
陈安强¹, 付 斌¹, 潘艳华¹, 余小芬¹, 陈拾华¹, 杨艳鲜¹

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南 昆明 650205;
2. 云南农业大学植物保护学院, 云南 昆明 650201; 3. 云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

摘 要: 以云南 8 个主栽玉米品种(甜糯 888、云糯 6 号、云瑞 999、云瑞 6 号、云瑞 47、云瑞 88、云优 105、云甜玉 2 号)为试验材料,人工控水条件下,通过盆栽试验,在玉米植株的苗期、开花期和灌浆期,测定 8 个品种的株高、叶面积、根冠比、SOD、POD 和 MDA 等与抗旱性有关的 14 个表型性状和生理生化指标,采用抗旱系数法和隶属函数值法,对各指标性状进行了干旱胁迫下的抗性评价和鉴定。结果表明,不同生育期相同指标性状评价不同玉米品种抗旱性存在明显差异,可将供试品种划分为抗旱性强、中和不抗旱 3 类,其中云瑞 47、云优 105、云甜玉 2 号 3 个品种具有较强抗旱能力,云瑞 6 号、云瑞 88 和云瑞 999 具有中等抗旱能力,而甜糯 888、云糯 6 号抗旱性差;干旱胁迫下,玉米苗期各形态性状和生理生化指标及其综合 *D* 值均可作为鉴定品种抗旱性的依据;干旱胁迫至开花期,只有株高、叶面积、SOD 和 Pro 与抗旱系数间为极显著相关;干旱胁迫至灌浆期,只有地上部鲜重、株高和 MDA 与抗旱系数间为极显著相关。无论在苗期、开花期或灌浆期,综合 *D* 值可作为鉴定品种抗旱性的指标,单一指标均不能准确判定某品种的抗旱性。

关键词: 玉米;主栽品种;综合评价;干旱胁迫;抗旱性
中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A

Identification and evaluation of drought resistance in different maize varieties widely grown in Yunnan

DU Cai-yan^{1,2}, DUAN Zong-yan¹, ZHANG Nai-ming³, QIU Xue-li¹, HU Wan-li¹,
CHEN An-qiang¹, FU Bin¹, PAN Yan-hua¹, YU Xiao-fen¹, CHEN Shi-hua¹, YANG Yan-xian¹

(1. Institute of Agricultural Resources & Environment, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China;
2. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China;
3. College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

Abstract: This research took eight main maize varieties in Yunnan (Tiannuo888, Yunnuo6, Yunrui999, Yunrui6, Yunrui47, Yunrui88, Yunyou105, and Yuntianyu2) as materials to investigate possible influences caused by water stress. A pot experiment was conducted to examine 14 morphological and biochemical indexes (plant height, fresh weight, ratio of root to shoot, POD, and SOD etc.) that were related to drought resistance under two levels of water content (70% ~ 80% and 50% ~ 60% of field moisture capacity) at seedling, flowering and filling stages of the maize varieties. Capabilities in drought resistance of varieties under water stresses were scored by the drought coefficient and subordinate function value methods. The results showed that the same index of drought resistance characterized in different maize varieties at various stages existed differences, and 8 maize varieties were divided into three grades: high tolerant, weaker tolerant, and drought susceptible. The high-tolerant cultivars include Yunrui47, Yunyou105 and Yuntianyu2; The varieties with weaker drought resistance were Yunrui6, Yunrui88 and Yunrui999. However, Tiannuo888 and Yunnuo6 were drought susceptible. Moreover, all morphological and biochemical indexes and their comprehensive *D* - values could be taken as evaluation criteria at seedling stage of maize varieties under water stress. From seeding to flowering

收稿日期: 2014-05-17
基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD40B02); 国家科技支撑计划(2012BAD40B01)
作者简介: 杜彩艳(1977—), 女, 云南维西人, 博士研究生, 副研究员, 主要从事植物营养和环境生态方面的研究。E-mail: caiyandu@126.com。
通信作者: 段宗颜(1964—), 研究员, 主要从事植物营养与农业面源污染方面研究。E-mail: duanzongy@163.com。
张乃明(1963—), 教授, 博导, 主要从事土壤质量演变与农业面源污染控制领域的研究。E-mail: zhangnaiming@sina.com。

stages, under water stress, only plant height, leaf area, SOD and Pro showed significant correlations with drought resistance indexes. From flowering to filling stages, under water stress, significant correlations between shoot fresh weight, plant height and MDA and drought resistance could be observed. No matter what growth stages the maize varieties were at, seeding, florescence or filling stages, underwater stress, the comprehensive D - value of the indexes had a significant correlation with drought resistance, which could be used to identify maize drought resistance, nevertheless any single index.

Keywords: maize; varieties grown in production; comprehensive evaluation; water stress; drought resistance

干旱是影响农业生产和生态环境的重要因素,对人类造成的损害相当于其他各种自然灾害造成的损失之和^[1-2]。玉米是中国重要的粮食作物,在饲料、食品和原料等方面起重要作用。干旱是制约世界玉米高产、稳产的重要原因,干旱使玉米的生长发育受到明显抑制,从而严重影响玉米产量^[3]。一般干旱年份减产 25% 左右,大旱年减产 30% ~ 35%,严重旱灾年份部分地区几乎绝收^[4-5]。因此,研究筛选抗旱性强的玉米品种尤为重要,且是一种重要、经济、有效的抗旱措施^[1,6-7]。而准确鉴定玉米品种的抗旱性首先要建立有效的玉米抗旱性鉴定指标评价体系,因此,系统开展优异抗旱品种的筛选及其抗旱性鉴定与评价的研究,对指导我国干旱半干旱地区玉米产业化稳步发展非常必要。玉米对干旱的适应主要通过避旱、御旱和耐旱 3 种机制。依靠植株形态、发达的根系、气孔开闭、酶保护系统的合理调控等方式,达到抗旱、避旱和耐旱。近年来,关于玉米抗旱性研究比较广泛,已筛选出许多与抗旱性相关的生理生化指标,如脯氨酸(Pro)、丙二醛(MDA)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等,及形态指标,如株高、叶面积、地上部鲜重、地下部干重、根/冠比等^[8-11]。干旱条件下维持较高水势、光合速率或净光合速率,以及较低的膜伤害和较大幅度升高的保护酶活性等,是玉米抗旱御旱的重要生理生化机制,但大多是针对某一方面的。而玉米的抗旱性是数量性状基因综合累加的结果,每个与抗旱性相关的性状对玉米的抗旱性都起作用,且这种作用是微效的^[11-16]。

以上的研究多侧重于从形态指标或单一的生理指标方面研究抗旱性,由于抗旱性是多个性状综合作用的结果,任何单项指标作为对玉米抗旱性的评价都难以获得准确有效的结果,需根据多个性状综合评价^[17-19];此外,作物抗旱性是一个复杂的问题,由于试验品种、试验地域和所采用的方法不同,所得结论也有所不同。关于云南主栽玉米品种鉴定、筛选这方面的研究,至今鲜见报道,因此,有针对性地加强玉米品种鉴定、筛选是十分必要的。

本研究以云南主栽的 8 个玉米品种为材料,利用隶属函数综合评价法,对 8 个玉米品种的形态指标与生理指标系统评价,比较玉米品种抗旱性,并用抗旱系数法和隶属函数法对玉米品种的各抗旱指标进行定量描述,探讨不同抗旱品种的抗旱机制,以期抗旱育种及资源鉴定与筛选,干旱、半干旱地区玉米品种选择及玉米产业化发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种共 8 个,主要是云南省近年来大面积生产应用的玉米品种。分别为甜糯 888、云糯 6 号、云瑞 999、云瑞 6 号、云瑞 47、云瑞 88、云优 105、云甜玉 2 号,种子购自云南省农业科学院粮食作物研究所。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2013 年 5—10 月在云南省农业科学院农业环境资源研究所温室进行。供试土壤取自本地农田耕作层红壤 0 ~ 20 cm,将土壤搅拌均匀过筛(3 mm),去掉石块、杂物后,用规格相同的塑料桶(内径 28 cm、高 35 cm),分别装相同风干土 18 kg,土壤田间最大持水量为 16.7%,pH 值为 5.7,有机质含量 $37.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $53.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷含量 $2.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾含量 $3.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $139.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量 $1.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量 $89.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

每个品种设置正常供水(CK,整个生育期控制土壤含水量为田间持水量的 70% ~ 80%)和中度干旱胁迫(控制土壤含水量为田间持水量的 50% ~ 60%) 2 个水分处理,6 次重复。播种前每盆施“施可丰”缓释复合肥(24 - 10 - 14)10 g 作为基肥,拔节期追施尿素 $4 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$,抽雄期再追施尿素 $4 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。处理前各盆浇水量相同。2013 年 6 月 5 日播种,每盆播种大小、饱满度一致的种子 10 粒,每盆定苗 2 株,置于云南省农科院农业环境资源研究所温室大棚内。

干旱胁迫处理从三叶期定苗后开始控水,连续

控水至灌浆期。中度干旱胁迫处理的植株中午有 50% 出现萎蔫时浇水至要求的含水量,正常供水处理则一直保持土壤含水量为田间持水量的 70% ~ 80%。采用隔日称重法严格控制使各处理水量恒定(忽略玉米生长过程中不同钵间生物量变化)。

分别于苗期、开花期和灌浆期取样进行植株形态指标与生理生化指标测定,样品的采集于中度干旱处理在相应生育期植株萎蔫浇水 24 h 后同步进行。每次每处理采样 2 株,调查植株样品的株高、叶面积、生物量和根冠比等,测定叶片 SOD、POD、脯氨酸等生理指标。6 月 5 日播种,10 月 18 日收获。以钵为单位收获,记录每盆和单株产量。处理间除桶内土壤水分明显差异外,其它农事操作保持一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积 在玉米苗期取样,测定各叶片长和最大叶宽,叶面积 = $\Sigma(\text{叶长} \times \text{叶宽} \times 0.75)$ 。

1.3.2 生物量及根/冠 取整株,分别将其根和地上部器官用滤纸吸干表面水分并包好,迅速带回实验室称取鲜重,然后在 105℃ 下杀青 30 min,然后在 70℃ 下烘干至恒量,称量。植株生物量 = 地上部生物量 + 根系生物量。

根/冠 = 根生物量(干质量)/(茎 + 叶柄 + 叶片)生物量(干质量)

1.3.3 保护酶活性 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[19];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法测定^[20];过氧化物酶(POD)活性采用分光光度法(420 nm)测定^[21];过氧化氢酶(CAT)采用高锰酸钾滴定法测定^[19]。测定所用的试剂均为南京建成生物工程研究所的测试盒^[22]。

1.4 抗旱性评价

为消除品种间基础性状的差异,采用性状相对值进行抗旱性的综合评价。抗旱系数 = 干旱胁迫下产量/正常供水下产量;各指标性状相对值(a) = 干旱胁迫下性状测定值/正常供水下性状测定值。在计算各个品种抗旱系数时用三个重复的单株粒重平均值作为每个品种的产量衡量指标。

1.4.1 抗旱性直接鉴定 以目前被广泛认可和采用的抗旱系数为指标,进行品种抗旱等级的直接评定^[7,23-27],抗旱系数 = 干旱条件下的产量/正常水分条件下的产量。

本试验以抗旱系数 ≥ 0.98 表示该品种具有较强的抗旱性,反之,其抗旱性较弱。

1.4.2 抗旱性间接鉴定 采用模糊数学中隶属函数方法^[28]对各抗旱性指标鉴定和综合评估。步骤为:通过公式(1)^[25]计算隶属函数值 $u(X_j)$,用公式

(2)计算标准差系数 V_j ,公式(3)归一化后得到各指标的权重 W_j ,用公式(4)计算各材料的综合评价价值 D , D 值越大表明抗旱性越强。

$$u(X_j) = \frac{(X_j - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中, $u(X_j)$ 为各品种第 j 个性状的隶属函数值, X_j 为各品种某一指标性状的相对值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为所有参试品种中第 j 个指标性状相对值的最大值和最小值。

品种抗旱性综合评价价值:

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \overline{X_j})^2}}{\overline{X_j}} \quad (2)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (3)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times W_j] \quad (4)$$

式中, $\overline{X_j}$ 为所有参试品种中第 j 个指标的平均值; X_{ij} 为 i 材料 j 性状的隶属函数值; V_j 表示第 j 个指标标准差系数; W_j 表示第 j 个指标权重; D 表示各材料的综合评价价值。玉米抗旱性分级标准参考文献^[17], D 值 > 0.7 为高抗;在 $0.6 \sim 0.7$ 之间,为中等抗旱型;在 $0.5 \sim 0.6$ 之间为为弱抗旱型;在 0.5 以下,为不抗旱型。

1.5 数据处理

利用 Microsoft Excel 2003 进行数据整理并作图,DPS v7.05 统计软件进行方差分析和相关分析^[29]。

2 结果与分析

2.1 参试玉米品种抗旱性的直接评定

由表 1 可知,不同玉米品种单株产量的抗旱系数对于干旱胁迫存在品种差异且差异明显,表现出不同的抗旱性。抗旱系数以云瑞 47 最高,为 1.368;甜糯 888 最低,仅为 0.360。其中云优 105 和云甜玉 2 号抗旱系数均大于 0.98,具有较强的抗旱性;其余 5 个品种的抗旱系数均明显小于 0.98,因而不具抗旱性。

2.2 参试玉米品种苗期形态性状与品种抗旱性的间接评定

由表 1 看出,苗期玉米各品种地上部鲜重、地下部干重、株高、根冠比、叶面积等形态指标隶属函数值因品种、指标的不同而不同,同一指标最大与最小隶属函数值(a 值)因品种不同而异。甜糯 888 地上部干重、叶面积和株高 a 值最小,云瑞 47 地下部鲜重、根冠比和叶面积 a 值最大,云优 105 株高 a 值最大,云甜玉 2 号地上部鲜重和地上部干重 a 值最

大,而其余指标最大或最小 a 值表现在不同的品种。说明苗期单一指标不能评价鉴定品种的抗旱性。综合 D 值大小可作为品种抗旱性依据,玉米苗期各品种各形态指标综合评价 D 值差别较大,具有

很强抗旱性的品种有云瑞 47、云甜玉 2 号和云优 105,其综合 D 值均大于 0.7;其余 5 个品种形态指标的综合 D 值均小于 0.5,不具抗旱性。

表 1 参试玉米品种苗期各形态指标隶属函数值和抗旱系数

Table 1 Subordinate functions and drought coefficients of morphological indexes of different maize varieties at the seedling stage									
品种 Variety	抗旱系数 Drought coefficient	隶属函数值 Subordinate function							D 值 $D - value$
		地上部鲜重 Shoot fresh weigh	地上部干重 Shoot dry weight	地下部鲜重 Root fresh weight	地下部干重 Root dry weight	根冠比 Ratio of root to shoot	叶面积 Leaf area	株高 Plant height	
甜糯 888 Tiannuo888	0.360d	0.181d	0.000d	0.041d	0.006d	0.205d	0.000c	0.000d	0.061d
云糯 6 号 Yunnuo6	0.610c	0.069d	0.264c	0.000d	0.000d	0.519c	0.067c	0.370c	0.160d
云瑞 999 Yunrui999	0.789c	0.496c	0.496c	0.398c	0.359c	0.458c	0.093c	0.476c	0.369c
云瑞 6 号 Yunrui6	0.623c	0.606b	0.708b	0.630b	0.523c	0.000d	0.357b	0.490c	0.477c
云瑞 47 Yunrui47	1.368a	0.649b	0.772b	1.000a	0.887b	1.000a	1.000a	0.911a	0.893a
云瑞 88 Yunrui88	0.509c	0.000d	0.308c	0.205c	0.339c	0.338c	0.384b	0.620b	0.386c
云优 105 Yunyou105	0.989b	0.448c	0.493c	0.251c	1.000a	0.830b	0.955a	1.000a	0.700b
云甜玉 2 号 Yuntianyu2	1.012b	1.000a	1.000a	0.635b	0.892b	0.811b	0.815a	0.719b	0.836a

注:数字后标以不同字母者在 5% 水平上的差异显著性。下同。
Notes: Values followed by different letter are significantly different at 5% probability level. The same below.

2.3 参试玉米品种苗期生理指标与品种抗旱性的间接评定

SOD 最小 a 值的品种为云瑞 6 号;POD、叶绿素 a 和叶绿素 b 最小 a 值的品种为甜糯 888;丙二醛最小 a 值的品种为云优 105;但叶绿素 b 和叶绿素($a + b$)两生理指标最大 a 值者分别为云优 105 和云瑞 47;POD、丙二醛、脯氨酸和叶绿素 a 各生理指标最

大 a 值者分别为云瑞 999、甜糯 888、云甜玉 2 号和云优 105。由此可见,不同生理指标表征同一品种抗旱性强弱程度有明显差异,使得苗期单一生理指标不能作为评价鉴定品种抗旱性的指标,更体现出综合评价玉米品种抗旱性,及以综合 D 值作为评价某一生育时期品种抗旱性的重要性(表 2)。

表 2 参试玉米品种苗期各生理指标隶属函数值与综合 D 值

Table 2 Subordinate functions and $D - value$ of physiological index of different maize varieties at the seedling stage								
品种 Variety	隶属函数值 Subordinate function							D 值 $D - value$
	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素($a + b$) Chl ($a + b$)	
甜糯 888 Tiannuo888	0.303cd	0.000d	1.000a	0.181d	0.000d	0.000d	0.434c	0.303d
云糯 6 号 Yunnuo6	0.585bc	0.55c	0.985a	0.215c	0.752c	0.225c	0.000d	0.426bc
云瑞 999 Yunrui999	0.136d	1.000a	0.240d	0.000d	0.714c	0.891a	0.551c	0.376cd
云瑞 6 号 Yunrui6	0.000d	0.577c	0.597c	0.273c	0.860b	0.837a	0.897b	0.510b
云瑞 47 Yunrui47	1.000a	0.939b	0.364cd	0.816b	0.911a	0.959a	1.000a	0.834a
云瑞 88 Yunrui88	0.450c	0.561c	0.736bc	0.131d	0.661c	0.619b	0.176d	0.401c
云优 105 Yunyou105	0.779b	0.628c	0.000d	0.794b	1.000a	0.907a	0.945b	0.706a
云甜玉 2 Yuntianyu2	0.566bc	0.857b	0.013d	1.000a	0.998a	1.000a	0.943b	0.782a

玉米苗期各生理指标综合 D 值品种间差异明显,以云瑞 47 最大,云甜玉 2 号和云优 105 分别居第二和第三,其 D 值均大于 0.7,为强抗旱性品种;云瑞 6 号综合 D 值在 0.5~0.6 间,为较弱抗旱性品种;其余 4 个品种不表现抗旱性(表 2)。

2.4 参试玉米品种开花期形态性状与品种抗旱性的间接评定

中度干旱胁迫使玉米开花期各形态指标 a 值因品种、指标表现各异。此期各品种各形态指标隶属函数值因品种、指标的不同而异,同一指标的隶属

函数值不同品种间有明显差异。云瑞 999 地下部干重、叶面积和株高 a 值最小,云瑞 88 地下部鲜重和根冠比 a 值最大,但其余指标最大或最小 a 值表现

在不同的品种。说明开花期单一指标不能评价鉴定品种的抗旱性(表 3)。

表 3 参试玉米品种开花期各形态指标隶属函数值与综合 D 值

品种 Variety	隶属函数值 Subordinate function							D 值 D - value
	地上部鲜重 Shoot fresh weigh	地上部干重 Shoot dry weight	地下部鲜重 Root fresh weight	地下部干重 Root dry weight	根冠比 Ratio of root to shoot	叶面积 Leaf area	株高 Plant height	
甜糯 888 Yunnuo888	0.432c	0.062d	0.549b	0.714b	0.882a	0.093c	0.000d	0.372c
云糯 6 号 Yunnuo6	0.610b	0.000d	0.111d	0.695bc	0.515c	0.067c	0.167d	0.292c
云瑞 999 Yunrui999	0.339c	0.513c	0.873a	0.000d	0.925a	0.000c	0.040d	0.378c
云瑞 6 号 Yunrui6	0.000d	0.704b	0.619b	0.910a	0.057	0.357b	0.384c	0.470bc
云瑞 47 Yunrui47	1.000a	1.000a	0.329c	0.537c	0.128d	1.000a	0.947a	0.711a
云瑞 88 Yunrui88	0.211cd	0.634b	1.000a	0.329c	1.000a	0.384b	0.085d	0.516b
云优 105 Yunyou105	0.952a	0.896ab	0.000d	0.781b	0.779b	0.955a	1.000a	0.773a
云甜玉 2 Yuntianyu2	0.846a	0.873ab	0.900a	1.000a	0.000d	0.815a	0.579b	0.697a

玉米开花期各形态指标综合 D 值大于 0.7 的品种有云瑞 47 和云优 105,二者具有很强的抗旱性; D 值在 0.6~0.7 之间具有中等抗旱性的品种有云甜玉 2 号; D 值在 0.5~0.6 之间具有较弱抗旱性的品种有云瑞 88;其余品种形态指标的综合 D 值均小于 0.5,不具抗旱性。

2.5 参试玉米品种开花期生理指标与品种抗旱性的间接评定

玉米开花期各生理指标 a 值因品种、指标表现各异。此期甜糯 888 丙二醛、叶绿素 b 和叶绿素(a

+ b) a 值最小,其生理指标综合 D 值亦最低,仅为 0.250,不具抗旱性;而此期的丙二醛、叶绿素 b 和叶绿素(a + b)三指标 a 值最大的品种为云甜玉 2 号;但其余指标最大或最小 a 值表现在不同的品种。由此可见,不同生理指标表征同一品种抗旱性强弱程度有明显差异,使得开花期单一生理指标不能作为评价鉴定品种抗旱性的指标,更体现出综合评价玉米品种抗旱性,及以综合 D 值作为评价某一生育时期品种抗旱性的重要性(表 4)。

表 4 参试玉米品种开花期各生理指标隶属函数值与综合 D 值

品种 Variety	隶属函数值 Subordinate function							D 值 D - value
	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素(a + b) Chl (a + b)	
甜糯 888 Tiannuo888	0.167c	0.460b	0.000d	0.179d	0.500b	0.000d	0.000d	0.250c
云糯 6 号 Yunnuo6	0.448c	0.000d	0.615b	0.203c	0.000c	0.452c	0.460c	0.305c
云瑞 999 Yunrui999	0.446c	0.293c	0.605b	0.494bc	0.554b	0.696b	0.576c	0.484b
云瑞 6 号 Yunrui6	0.000d	0.599b	0.563c	0.641b	0.684b	0.477c	0.490c	0.447b
云瑞 47 Yunrui47	1.000a	1.000a	0.891a	0.823a	1.000a	0.738b	0.300c	0.776a
云瑞 88 Yunrui88	0.284c	0.421c	0.755b	0.000d	0.626b	0.633bc	0.739b	0.482b
云优 105 Yunyou105	0.716b	0.647b	0.693b	1.000a	0.798a	0.897a	0.641b	0.704a
云甜玉 2 Yuntianyu2	0.608b	0.421	1.000a	0.802a	0.669b	1.000a	1.000a	0.731a

开花期各生理指标综合 D 值品种间差异明显,以云瑞 47 最大,云甜玉 2 号次之,云优 105 第三,三者综合 D 值大于 0.7,均为较强抗旱品种;其余品种 D 值均小于 0.5,不表现抗旱性(表 4)。

2.6 参试玉米品种灌浆期形态性状与品种抗旱性的间接评定

由表 5 看出,土壤干旱胁迫至灌浆期各品种各形态指标 a 值因品种、指标的不同而不同,同一指标的 a 值不同品种间有明显差异。甜糯 888 的地上

部鲜重、叶面积和株高 a 值均最小,其综合 D 值亦较低,仅为 0.386,不具抗旱性;云瑞 999 地下部鲜重和根冠比 a 值均最大,其综合 D 值亦较低,为 0.425,不具抗旱性;云甜玉 2 号地上部鲜重和叶面积 a 值均最大;而其余指标最大或最小 a 值表现在不同的品种。可见,灌浆期单一形态指标不能准确

地表征品种抗旱性强弱。
灌浆期各形态指标综合 D 值大于 0.7 的品种有云瑞 47 和云优 105,它们具有很强的抗旱性;云甜玉 2 号 D 值在 0.6~0.7 之间,具有中等抗旱性;其余 5 个品种形态指标的综合 D 值均小于 0.5,不具抗旱性。

表 5 参试玉米品种灌浆期各形态指标隶属函数值与综合 D 值
Table 5 Subordinate functions and D - value of morphological indices of different maize varieties at the filling stage

品种 Variety	隶属函数值 Subordinate function							D 值 D - value
	地上部鲜重 Shoot fresh weigh	地上部干重 Shoot dry weight	地下部鲜重 Root fresh weight	地下部干重 Root dry weight	根冠比 Ratio of root to shoot	叶面积 Leaf area	株高 Plant height	
甜糯 888 Yunnuo888	0.000c	0.637b	0.251d	1.000a	0.929a	0.000d	0.000d	0.386c
云糯 6 号 Yunnuo6	0.423b	0.000d	0.134d	0.368c	1.000a	0.140d	0.360c	0.346c
云瑞 999 Yunrui999	0.398b	0.839a	0.000d	0.844a	0.000d	0.570c	0.385c	0.425b
云瑞 6 号 Yunrui6	0.283c	0.532c	1.000a	0.743b	0.155d	0.194d	0.522c	0.485b
云瑞 47 Yunrui47	0.811a	0.738b	0.478c	0.732b	0.757b	0.780b	0.787b	0.725a
云瑞 88 Yunrui88	0.212c	0.654b	0.706b	0.196d	0.655b	0.513c	0.558bc	0.497b
云优 105 Yunyou105	0.589b	1.000a	0.522b	0.753b	0.359c	0.887a	1.000a	0.723a
云甜玉 2 Yuntianyu2	1.000a	0.190d	0.611b	0.000d	0.806a	1.000a	0.954a	0.668a

2.7 参试玉米品种灌浆期生理指标与品种抗旱性的间接评定

中度干旱胁迫使灌浆期玉米各生理指标 a 值因品种、指标表现各异。此期甜糯 888 丙二醛、脯氨酸和云糯 6 号 SOD 和叶绿素(a+b)的 a 值均为最小,它们的生理指标综合 D 值亦很低,分别为 0.483

和 0.214,均不具抗旱性;而云甜玉 2 号此期脯氨酸、叶绿素 a 和叶绿素(a+b) a 值最大,其生理指标综合 D 值为 0.667,具中等抗旱性。依此期综合 D 值判断,云瑞 47 和云优 105 具有强抗旱性;云甜玉 2 号具有中等抗旱性;云瑞 88 号和云瑞 999 具较弱抗旱性,甜糯 888、云糯 6 号和云瑞 6 号不具抗旱性(表 6)。

表 6 参试玉米品种灌浆期各生理指标隶属函数值与综合 D 值
Table 6 Subordinate functions and D - value of physiological index of different maize varieties at the filling stage

品种 Variety	隶属函数值 Subordinate function							D 值 D - value
	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA	脯氨酸 Pro	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素(a+b) Chl (a+b)	
甜糯 888 Tiannuo888	0.504bc	0.896a	0.000d	0.000d	0.622b	1.000a	0.821a	0.483c
云糯 6 号 Yunnuo6	0.000d	0.308cd	0.003d	0.423c	0.537b	0.364c	0.000d	0.214d
云瑞 999 Yunrui999	0.625b	1.000a	0.217c	0.557b	0.587b	0.553b	0.490c	0.548b
云瑞 6 号 Yunrui6	0.071d	0.883a	0.297c	0.617b	0.717b	0.513b	0.294cd	0.457b
云瑞 47 Yunrui47	0.361c	0.780b	1.000a	0.717b	0.839a	0.920a	0.636b	0.748a
云瑞 88 Yunrui88	1.000a	0.591c	0.488bc	0.560b	0.567b	0.000d	0.381c	0.525b
云优 105 Yunyou105	0.927a	0.790b	0.974a	0.839a	0.000c	0.919a	0.387c	0.726a
云甜玉 2 Yuntianyu2	0.350c	0.000d	0.611b	1.000a	1.000a	0.586b	1.000a	0.667a

采用抗旱系数直接评价法、隶属函数值法和综合 D 值法对玉米品种苗期、开花期和灌浆期抗旱性进行评价,其综合结果以云瑞 47、云优 105、云甜玉 2 号品种的抗旱能力较强。

2.8 抗旱性指标的综合评价

由表 7 可知,玉米苗期各形态指标和各生理指

标的隶属函数值,与抗旱系数间均呈显著或极显著相关关系。说明玉米苗期各指标隶属函数值均可作为鉴定玉米品种抗旱性的依据;干旱胁迫至开花期,各形态和生理指标与抗旱系数间存在显著相关关系的指标数量减少,只有地上部鲜重、地上部干重、株高、叶面积、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、

脯氨酸(Pro)和叶绿素 b 与抗旱系数间的相关关系呈显著或极显著水平,地下部鲜重、地下部干重、根冠比、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a 和叶绿素(a + b)与抗旱系数间均无显著相关关系。因此,选择开花期玉米植株形态指标和生理指标作为鉴定品种抗旱性指标时应慎重;干旱胁迫至灌浆期,各形态和生理指标与抗旱系数间存在显著相关关系的指标数量亦减少,只有地上部干重、株高、叶面积、丙二醛(MDA)和脯氨酸(Pro)与抗旱系数间的相关关系呈显著或极显著水平,地上部鲜重、地下部鲜重、干重、根冠比、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a + b)与抗旱系数间均无相关关系。因此,选择灌浆期玉米植株形态指标和生理指标作为鉴定玉米品种抗旱性指标时应慎重。

表 8 表明,各生育时期各类指标综合 D 值间及与抗旱系数间的相关程度不同。苗期、开花期和灌浆期形态指标和生理指标 D 值间,以及各类指标 D 值与抗旱系数间均存在显著或极显著的相关关系,因此,玉米各生育时期植株形态指标、生理指标隶属函数值以及综合 D 值均可作为鉴定品种抗旱性的指标。

表 8 不同生育时期形态及生理指标综合 D 值间的相关系数						
Table 8 Correlation coefficient of morphological and physiological indices D – value at different stages						
项目 Item	苗期形态指标 Morphological index at seedling stage	苗期生理指标 Physiological index at seedling stage	开花期形态指标 Morphological index at florescence stage	开花期生理指标 Physiological at flore scence stage	开花期生理指标 Physiological at florescence stage	灌浆期形态指标 Morphological index at filling stage
苗期生理指标 Physiological index at seedling stage	0.9529 ^{**}					
开花期形态指标 Morphological index at florescence stage	0.9090 ^{**}	0.8856 ^{**}				
开花期生理指标 Physiological at florescence stage	0.9831 ^{**}	0.9246 ^{**}	0.9273 ^{**}			
灌浆期形态指标 Morphological index at filling stage	0.9444 ^{**}	0.9263 ^{**}	0.9903 ^{**}	0.9575 ^{**}		
灌浆期生理指标 Physiological index at filling stage	0.8167 [*]	0.7164 [*]	0.8893 ^{**}	0.8625 ^{**}	0.8935 ^{**}	
抗旱系数 Drought coefficient	0.9032 ^{**}	0.9120 ^{**}	0.7626 [*]	0.9097 ^{**}	0.8421 ^{**}	0.7242 [*]

3 讨 论

3.1 玉米抗旱性鉴定指标的综合评价

作物抗旱性是复杂的数量性状,受多基因控制,不仅与作物的种类、品种基因型、形态性状及生理生化反应有关,而且受干旱程度发生时期、强度及持续时间的影响,是植物体内水分与生理功能相互作用的结果,也是植物与环境相互作用的结果^[30]。

表 7 不同生育时期各指标隶属函数值与抗旱系数间的相关系数			
Table 7 Correlation coefficients of subordinate function values and drought coefficients at different stages			
项目 Item	苗期 Seedling stage	开花期 Florescence stage	灌浆期 Filling stage
地上部鲜重 Shoot freshweigh	0.68 [*]	0.76 [*]	0.88 ^{**}
地上部干重 Shoot dry weigh	0.75 [*]	0.77 [*]	0.20
地下部鲜重 Root freshweigh	0.78 [*]	−0.26	0.06
地下部干重 Rhoot freshweigh	0.83 ^{**}	0.07	−0.09
根冠比 Ratio of root to shoot	0.87 ^{**}	−0.52	−0.08
株高 Plant height	0.85 ^{**}	0.81 ^{**}	0.80 ^{**}
叶面积 Plant area	0.82 ^{**}	0.85 ^{**}	0.77 [*]
超氧化物歧化酶 SOD	0.70 [*]	0.89 ^{**}	−0.01
过氧化物酶 POD	0.75 [*]	0.24	−0.14
丙二醛 MDA	−0.73 [*]	0.73 [*]	0.83 ^{**}
脯氨酸 Pro	0.78 [*]	0.81 ^{**}	0.73 [*]
叶绿素 a Chl a	0.71 [*]	0.63	0.15
叶绿素 b Chl b	0.75 [*]	0.74 [*]	0.39
叶绿素(a + b) Chl(a + b)	0.71 [*]	0.27	0.26

注:*,** 分别代表 0.05 和 0.01 显著性水平。下同。

Note: * and ** denote significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

大量研究表明,用单个指标评价和多个指标综合评价得出的结果也不完全一致^[1,6,23–24,27],这表明用单一指标评价作物的抗旱性存在片面性,采用多项指标综合评价,更能提高抗旱性鉴定结果的准确性和可靠性。辛国荣等^[31]认为抗旱性是一个较复杂的指标,鉴定一个品种的抗旱性强弱应取若干指标进行综合评价。这样既消除了个别指标带来的片面性,又使抗旱性鉴定与利用研究更有预见性。

李源等^[32]研究表明,干旱胁迫下苜蓿(*Medicago sativa*)植株的存活能力是反映材料抗旱性的最直接且最实用的指标,并利用 6 个形态指标对 18 份紫花苜蓿材料苗期抗旱性进行了综合评价。张智猛等^[33]对中国北方主栽花生品种抗旱性进行了研究,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了综合评价。

本研究在运用抗旱系数法的基础上,采用隶属函数值法综合评价品种抗旱性。结果表明,苗期是玉米需水的关键期,此期各类指标综合 *D* 值均可作为鉴定品种抗旱性的依据;开花期只有地上部鲜重、地上部干重、株高、叶面积、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和叶绿素 b 与抗旱系数间的相关关系呈显著或极显著水平,地下部鲜重、地下部干重、根冠比、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a 和叶绿素(a + b)与抗旱系数间均无显著相关关系。灌浆期只有地上部干重、株高、叶面积、丙二醛(MDA)和脯氨酸(Pro)与抗旱系数间的相关关系呈显著或极显著水平,地上部鲜重、地下部鲜重、干重、根冠比、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a + b)与抗旱系数间均无相关关系。因此,苗期各类指标都能较好地反应品种抗旱性,可作为评价品种抗旱性的指标;但选择开花期和灌浆期玉米植株形态指标和生理指标作为鉴定品种抗旱性指标时应慎重。对于某品种全生育期抗旱性鉴定,不仅需要形态指标、生理生化指标及产量指标相结合,还需要综合鉴定各生育时期的抗旱性,从而提高抗旱性鉴定的可靠性和科学性。

3.2 不同生育时期抗旱性鉴定指标的选用与体系的建立

作物抗旱性缺乏适当的标准评价体系已成为抗旱性改良的关键问题。因此需要建立抗旱性鉴定的优化指标体系,但目前仍未形成一套切实可行的抗旱性鉴定指标体系。以往在研究作物抗旱性指标时,较多是分别分析各指标与抗旱性的关系,即在干旱胁迫下这些指标的变化能否反映品种的抗旱性,继而明确哪些能用作品种抗旱性的鉴定指标^[24-27],诸如株高、叶面积、叶片萎蔫程度、根长等形态指标以及 MDA 含量、SOD、POD、CAT 等生理生化指标,然而这些研究结果无法比较指标与抗旱性关系的大小,且调查分析手段比较复杂,有的指标还无精确统一的标准,况且生理生化指标难以应用于大规模的品种鉴定^[23-27,34-36]。

本文在调查分析不同生育时期 14 个相关抗旱指标的基础上,对这些指标进行相关分析,筛选出不同生育时期与抗旱性关系密切程度不同的指标,以建立玉米不同生育时期品种抗旱性鉴定指标体系,使之更准确地反映品种的抗旱性。通过对玉米苗期、开花期和灌浆期表观形态特征及部分生理特征等 14 个指标与抗旱系数的相关分析表明,干旱胁迫对苗期的植株形态和生理活动影响较大,此期本研究所选用的 14 个指标均可作为鉴定评价品种抗旱性的指标,且此期各指标综合 *D* 值大小能较准确地反映该品种抗旱能力强弱。而干旱胁迫至开花期和灌浆期,在测定的指标中一半及以上与抗旱系数无明显相关关系,开花期有地上部鲜重、地上部干重、株高、叶面积、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和叶绿素 b 均可作为全生育期评价鉴定品种抗旱性的指标,但诸如地下部鲜重、地下部干重、根冠比、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a 和叶绿素(a + b)等指标不能作为品种抗旱性鉴定指标;灌浆期地上部干重、株高、叶面积、丙二醛(MDA)和脯氨酸(Pro)可作为全生育期评价鉴定品种抗旱性的指标,但诸如地上部鲜重、地下部鲜重、干重、根冠比、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a + b)等指标不能作为品种抗旱性鉴定指标。将本文筛选出的指标与前人的研究进行综合分析,建立一套更完善的科学分析体系有待进一步深入研究。

4 结 论

采用抗旱系数直接评价法、隶属函数值法和综合 *D* 值法对玉米苗期、开花期和灌浆期抗旱性评价表明,云瑞 47、云优 105、云甜玉 2 号品种的抗旱能力较强。

干旱胁迫至不同生育时期,各评价指标与抗旱系数间的相关系数以开花期超氧化物歧化酶最大,苗期根冠比和脯氨酸(Pro)次之;干旱胁迫下,玉米苗期各形态性状和生理生化指标及其综合 *D* 值均可作为鉴定品种抗旱性的依据;干旱胁迫至开花期,只有株高、叶面积、SOD 和 Pro 与抗旱系数间的相关极显著;干旱胁迫至灌浆期,只有地上部鲜重、株高和 MDA 与抗旱系数间为极显著相关;无论在苗期、开花期或灌浆期,综合 *D* 值可作为鉴定品种抗旱性的指标,单一指标均不能准确判定某品种的抗旱性。

参 考 文 献:

- [1] 山 仑.旱地农业技术发展趋向[J]. 中国农业科学,2002,35: 848-855.
- [2] 叶乃好,翟 衡,杜中军,等.水分胁迫条件下 10 种苹果砧木抗旱性评价[J]. 果树学报,2004,21:395-398.
- [3] 魏良明,贾了然,胡学安,等.玉米抗旱性生理生化研究进展[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(4):66-71.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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):3-6.
- [7] 黎 裕.作物抗旱鉴定方法与指标[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(1):91-99.
- [8] Tollemaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. Field Crop Research,2002,75:161-169.
- [9] Tollemaar M, Lee E A. Yield potentia ,l yield stability and stress to lerance in maize[J]. Field Crop Research,2002,75:161-169.
- [10] 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, 2003,83:51-65.
- [11] 孙军伟,孟丽梅,张 珂,等.玉米苗期抗旱性鉴定形态指标比较研究[J].现代农业科技,2011,17:66-67.
- [12] Passioura J B. Roots and drought resistance[J]. Agricultural water management, 1983,7:265-280.
- [13] 朱永波,张仁和,卜令铎,等.玉米苗期抗旱性鉴定指标的研究[J]. 西北农业学报,2008,17(3):143-146.
- [14] 薛慧勤,孙兰珍.水分胁迫对不同抗旱性花生品种生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(4):82-86.
- [15] 孙彩霞,刘志刚,荆艳东.水分胁迫对玉米叶片关键防御酶系活性及其同工酶的影响[J]. 玉米科学,2003,11(1):63-66.
- [16] 王贺正.水稻抗旱性研究及其鉴定指标的筛选[D].雅安:四川农业大学,2007.
- [17] 李贵全,李慧峰,张海燕.大豆花荚期抗旱性的鉴定与综合评价[J]. 中国生态农业学报,2007,15(6):96-100.
- [18] 邵艳军,山 仑.植物耐寒性机制研究进展[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):16-20.
- [19] Janero D R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1990,9(6):515-540.
- [20] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. Analytical biochemistry,1971,44(1):276-287.
- [21] Tewari R K, Kumar P, Sharma P N. Signs of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants[J]. Plant Science,2005,169(6):1037-1045.
- [22] Qing Ming Y, Xian Hui P, Wei Bao K, et al. Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress in vitro and in vivo[J]. Food Chemistry, 2010,118(1):84-89.
- [23] 王贺正,马 均,李旭毅,等.水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J].作物学报,2005,31(11):1485-1489.
- [24] 王育红,姚宇卿,张灿军,等.早稻抗旱性鉴定方法与指标研究——早稻苗期抗旱性[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):37-39.
- [25] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价[J].植物生态学报,2011,35(1):100-109.
- [26] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生品种芽期抗旱性指标筛选与综合性评价[J]. 中国农业科技导报,2010,12(1):85-91.
- [27] 张智猛,万书波,戴良香,等.不同花生品种对干旱胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):1-8.
- [28] 毛培春,孟 林,高洪文,等.20 份无芒雀麦种质材料苗期抗旱性综合评价及光合特性分析[J]. 草地学报,2011,19(4):619-624,630.
- [29] Banziger M, Edmeades G O, Beck D, et al. Breeding for drought and nitrogen stress to lerance in maize: from theory to practice[M]. Mexico D F: Mexico, C IMMYT, 2000.
- [30] Turner N C. Adaptation to water deficits: A changing perspective[J]. Australian Journal Plant Physiology, 1986,13(1):175-190.
- [31] 辛国荣,董美玲,宋淑明.牧草抗旱性研究 I :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.
- [32] 李 源,刘贵波,高 洪,等.紫花苜蓿种质苗期抗旱性综合评价研究[J]. 草地学报,2009,17(6):807-812.
- [33] 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.
- [34] 胡标林,余守武,万 勇,等.东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J].作物学报,2007,33(3):425-432.
- [35] Hsiao T C. Plant responses to water stress[J]. Annu Rev Plant Physiol, 1973,24:519-570.
- [36] 姜慧芳,任小平.干旱胁迫对花生叶片 SOD 活性和蛋白质的影响[J].作物学报,2004,30(2):169-174.