

谷子孕穗期抗旱指标筛选

张文英¹, 智慧², 柳斌辉¹, 谢俊雪¹, 李积铭¹, 李伟³,
贾冠清², 王永芳³, 李海权³, 柴杨², 栗雨勤¹, 刁现民²
(¹河北省农林科学院旱作农业研究所, 衡水 053000;

²中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ³河北省农林科学院谷子研究所, 石家庄 050031)

摘要:为研究谷子孕穗期在干旱环境的形态、生理、生化性状变化趋势, 筛选谷子孕穗期抗旱性鉴定指标, 以 20 个谷子品种为试验材料, 在模拟干旱棚中分析了谷子孕穗期干旱胁迫条件下形态和生理、生化指标的变化。试验表明: 单穗重、单穗粒重、株高、穗下茎长、千粒重与抗旱指数的相关性显著, 可作为孕穗期抗旱性的形态指标; 叶绿素含量、可溶性糖、丙二醛含量和超氧化歧化酶活性(SOD)4 个指标与抗旱指数的相关性显著, 可作为孕穗期的生理、生化指标。通过主成分分析确立了千粒重、单穗重、叶绿素和 SOD 等 4 个指标的相对值为谷子孕穗期抗旱性综合指标, 以抗旱指数为因变量, 4 个综合指数为自变量建立的回归方程对供试品种的抗旱性进行预测具有高的准确性。

关键词:谷子; 孕穗期; 抗旱性指标; 旱胁迫

Screening of Indexes for Drought Tolerance Test at Booting Stage in Foxtail Millet

ZHANG Wen-ying¹, ZHI Hui², LIU Bin-hui¹, XIE Jun-xue¹, LI Ji-ming¹, LI Wei³,
JIA Guan-qing², WANG Yong-fang³, LI Hai-quan³, CHAI Yang², LI Yu-qin¹, DIAO Xian-min²
(¹Dryland Farming Institute, Hebei Academy Agricultural & Forestry Sciences Hengshui, 053000;

²Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

³Institute of Millet Crops, Hebei Academy Agricultural & Forestry Sciences Shijiazhuang, 050031)

Abstract: Foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) may suffer from serious drought stress during growth period, which affects its morphological characteristics and physiological metabolic activities. Previous studies identified that booting stage before heading is the most sensitive period to water shortage in foxtail millet development, but no detail study on the response to drought stress was reported in both morphological and physiological traits. In this study, the morphological and physiological characteristics correlated with drought resistance index were monitored under both normal and drought stress conditions during booting stage using 20 foxtail millet cultivars. The results showed that relative panicle weight, grain weight per panicle, plant height, length of rachis, and thousand-grain-weight were significantly correlated with DRI under drought condition, which could be used as the morphological index to test drought resistance. Relative chlorophyll, soluble protein, malondialdehyde, and superoxide dismutase were significantly correlated with DRI under drought condition, which could be used as the physiological index to identify drought resistance in foxtail millet. Integrated drought resistance indexes including the relative TGW, panicle weight, chlorophyll, and contents were selected by principal components analysis. The drought resistance performances of foxtail millet varieties in field conditions confirmed the efficiency to predict the drought resistance during booting

收稿日期: 2011-09-07 修回日期: 2012-05-28

基金项目: 国家自然科学基金 (30630045); 国家“863”课题 (2006AA10Z157, 200810Z158); 国家科技部支撑计划项目 (2007BAD69B01, 2006BAD02B02); 国家现代农业产业技术体系

作者简介: 张文英, 副研究员, 硕士。主要从事农作物抗旱性鉴定及遗传规律研究。E-mail: zxm.0223@163.com

通讯作者: 刁现民, 研究员, 博士生导师, 主要从事谷子起源进化与种质创新、谷子功能基因组和有益基因发掘的研究。

E-mail: xmdiao@yahoo.com.cn

stage in foxtail millet using the integrated identification index and the recursive equation established in this study.

Key words: Foxtail millet; Booting stage; Drought resistance index; Drought tolerance

谷子 (*Setaria italica* (L.) Beauv.) 在中国已有 8700 年的驯化和栽培史, 是我国北方的主要粮食作物^[1-4]。谷子及其近缘野生种青狗尾草 [*S. viridis* (L.) Beauv.] 因其为二倍体、自花授粉和基因组小等特点, 正在发展成为禾本科作物功能基因组分析和 C₄ 高光效光合途径研究的模式植物^[1-4]。由于谷子主要种植在旱薄地, 品种的抗旱性对生产应用极为重要, 同时谷子抗旱性也为抗旱功能基因研究提供了新的认识作物抗旱性机理的机会。作物对干旱的适应性和抵抗能力最终要体现在产量上, 各种生理生化指标和生态物候指标的正确与否最终仍需以作物产量结果做出判别。而抗旱指数 (DRI) 将产量和抗旱性有效“融合”在一起, 是简单有效、经济方便、实用可靠, 可直接应用于生产的抗旱性鉴定指标。但作物的抗旱性是一个复杂的综合特性, 发生在生长发育的各个阶段。作物在不同生育时期对水分的反应不同, 抵抗干旱胁迫的内在机制也不同。因而不仅需将形态指标、生理生化指标及产量指标相结合, 且需综合评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^[5]。同其他作物一样, 谷子在遇到干旱胁迫时, 会调整其形态发育及生理生化反应来适应干旱环境求得生存, 研究谷子在不同生育阶段为适应干旱环境而在形态和生理生化方面的变化, 对认识谷子品种的抗旱性、培育抗旱品种及进行谷子抗旱功能基因研究具有重要意义。

植物在长期进化过程中, 为保护自身免受干旱胁迫的伤害会产生一系列适应性反应, 这种反应可表现在形态性状和生理生化性状等方面。如在干旱胁迫条件下, 作物不同生育阶段可以通过增加可溶性糖、脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白质等渗透调节物质, 提高或减少体内过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 等酶类的活性和抗坏血酸等非酶类物质, 以及通过光合速率和形态特征改变等机制来适应水分的变化^[6-8], 已有的这类研究多集中在水稻等主要农作物上。小麦幼芽、幼苗在水分胁迫条件下丙二醛 (MDA) 与抗旱性呈负相关, SOD、CAT、 α 及 β -淀粉酶这 4 种酶活性的变化与小麦的抗旱性呈显著正相关, 它们是小麦抗旱性鉴定较可靠的生化指标^[9], 小麦生育

期间叶片含水量、失水率、植株高度、拔节期苗高、穗茎节长、抽穗度与抗旱性有着密切的相关关系, 可作为选择抗旱性的生理和形态指标^[10]; MDA 含量、POD 活性、SOD 活性、CAT 活性、Vc 含量及电导率与玉米苗期耐旱性存在极显著的相关关系^[11]。

相对于水稻、小麦和玉米等主要农作物, 谷子的抗旱性研究较为缺乏。李荫梅等^[3-4]利用苗期反复干旱法将谷子品种的抗旱性分为 5 级, 并对 10369 份谷子品种资源进行了大范围的苗期抗旱性鉴定。温琪汾等^[12]利用苗期反复干旱法对山西省的部分品种资源进行了抗旱性鉴定。其他谷子抗旱性的研究主要是苗期抗旱性鉴定方法, 如张锦鹏等^[13]利用甘露醇为胁迫剂以 5 个谷子品种为试材, 试验了谷子芽期人工模拟胁迫抗旱性鉴定的方法。朱学海等^[14]采用 PEG-6000、甘露醇 2 种渗透剂模拟水分胁迫, 用 10 个谷子农家品种研究芽期耐旱性鉴定的水分胁迫条件, 结果表明 -0.75MPaPEG-6000、-1.00MPa 甘露醇处理可以作为谷子芽期耐旱性鉴定的水分胁迫条件。谷子孕穗期包括从拔节到抽穗的一段时间, 是谷子的水分敏感期, 对产量影响最为严重^[15], 但谷子孕穗期的抗旱鉴定指标及谷子对孕穗期旱胁迫的形态和生理生化反应未见有研究报道。本研究利用模拟干旱棚控水试验, 通过对孕穗期旱胁迫和对照的一些形态特征、生理生化性状测定比较, 旨在探讨谷子孕穗期一些形态特征、生理生化特性与品种抗旱性的关系, 筛选出孕穗期谷子抗旱性鉴定的形态和生理生化指标, 为谷子抗旱品种选育和抗旱功能基因组研究提供鉴定指标和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

由中国农业科学院作物科学研究所提供的经苗期反复干旱鉴定抗旱性不同的谷子品种 20 个, 抗旱性强的品种: 鉴 61、冀谷 11 号、小穗黄、豫谷 1 号、小白谷和红根谷; 抗旱性中等品种: 红腿谷、毛剪谷、狼尾巴、饿死驴、东方亮、鹅羊谷、大青秸、七月黄、大齐头白和气死稗谷; 抗旱性弱的品种: 谷上谷、红苗大白谷、黄谷和气死雀粘谷。

1.2 设计与处理

试验于 2009 年在河北省农林科学院旱作农业研究所节水试验站干旱棚内进行。灌水量用水表计量,遇雨时干旱防雨棚自动关闭,保证灌水量的准确,每个干旱池离池壁等距离安装 2 根 PVC 管,随时用 CPN503DR 中子土壤水分测试仪测定干旱池土壤水分变化。

试验处理设对照和干旱处理,干旱池最大含

水量 28%,播前灌水达最大持水量。对照处理全生育期满足水分供应(如图 1 所示:分别在 7 月 3 日、7 月 27 日、9 月 6 日灌水,每次 63m³/667m²,总灌水量 200m³);孕穗期干旱胁迫处理,播种后在 7 月 3 日灌水 40m³/667m²,至孕穗期(7 月 22 到 8 月 10 日)不再灌水,使处理在孕穗期处在旱胁迫状态,孕穗期过后覆水;而对照孕穗期满足供水(图 1)。

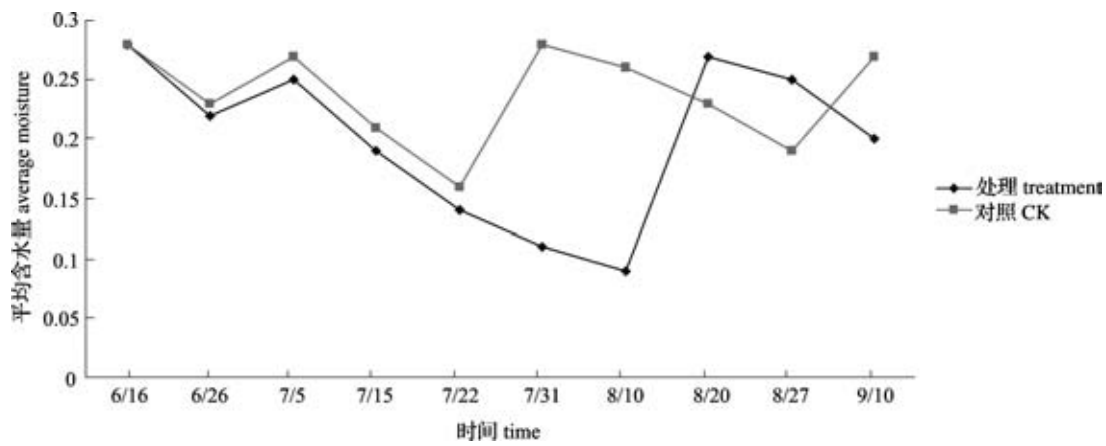


图 1 处理与对照各时期土壤含水量(0~60cm)对比

Fig. 1 Comparison of soil moisture(0-60cm) between drought stress treatment and the control of the test, indicating drought stress occurred during the booting stage

种植方式:各处理各品种 3 次重复,随机排列;行长 2.1m,行距 0.2m,3 行区,小区面积 1.3m²。留苗密度按照华北夏谷区生产上的 3.5 万株/667m²操作。全小区收获,测定小区产量。用抗旱指数(DRI)^[16]表示各基因型的抗旱性。

1.3 测定项目与方法 在谷子孕穗期后期(7 月 26 日),选取参试品种旗叶叶片测定各项指标,重复测定 3 次。

用直尺人工测定每个单株整株绿叶的长度和宽度,计算叶面积(叶长×叶宽×0.75)。每小区测定 10 株,取平均值。

用 SPAD-502 叶绿素仪直接测定活体叶绿素含量。测 10 片叶,取平均值。

用熊庆娥^[17]方法测定 SOD、POD、过氧化氢酶活性;可溶性糖用蒽酮比色法^[18]测定;脯氨酸含量用茚三酮比色法^[18]测定;丙二醛含量用硫代巴比妥比色法^[18]测定。

茎粗(10 株并列量基部第 2 节)、植株株高、单株节数、穗下茎长、穗长、穗重、粒重和千粒重的测定:收获前单株取样,每个小区随机选取有代表性的 10 株,收获后室内考种。

1.4 统计方法

统计分析采用唐启义等^[19]研制的《DPS 数据处理系统》对所得的数据进行分析。

抗旱性评价指标——抗旱指数^[20-21]由下述公式计算:
$$DRI = \frac{(Ya)^2}{Ym} \times \frac{YM}{(YA)^2}$$

式中,Ya 是参试品种旱处理产量,Ym 是参试品种水处理产量,YM 是参试品种水处理平均产量,YA 是参试品种旱处理平均产量。

相对值 = 旱处理/水处理。

2 结果与分析

2.1 各品种抗旱性的确定

从表 1 看出,孕穗期干旱胁迫使旱处理的谷子品种产量明显下降,各品种的抗旱指数差异明显。可将 20 个品种划分为 4 类:第 1 类是豫谷 1 号、大齐头白和七月黄,抗旱性极强;第 2 类是黄谷、毛剪谷、饿死驴、红根谷、冀谷 11 号、小白谷、大青桔和东方亮,抗旱性强;第 3 类是鉴 61、鹅羊谷、红腿谷、气死稗谷、红苗大白谷、狼尾巴和小穗黄,抗旱性中等;其余谷上谷和气死雀粘谷为

第 4 类,抗旱性弱。

表 1 应试谷子品种的产量和抗旱指数

Table 1 Yield performances under normal and stress conditions and their drought resistance index(DRI)

品种	产量(kg/hm ²)	Yield	抗旱指数
Cultivar	旱胁迫	对照	DRI
	Treatment	Control	
豫谷 1 号 Yugulhao	3269.21a	4483.550b	1.25a
大齐头白 Daqitoubai	3622.24a	4398.89b	1.24ab
七月黄 Qiyuehuang	3391.18abc	3880.13de	1.23ab
黄谷 Huanggu	2889.66efgh	3007.40j	1.16abc
毛剪谷 Maojiangu	3084.86def	3511.38fgh	1.13abc
饿死驴 Esilv	3145.98cde	3801.72e	1.08abcd
冀谷 11 号 Jigulhao	3555.57ab	5001.16a	1.05abcde
小白谷 Xiaobaigu	3269.21bcd	4242.07bc	1.05abcde
东方亮 Dongfangliang	2631.83hij	2507.40k	1.04abc
大青秸 Daqingjie	3062.39defg	3773.31ef	1.03bcdef
红根谷 Honggengu	2881.58efghi	3469.90ghi	1.00cdefg
鉴 61Jian61	2779.31ghi	3368.77hi	0.95cdefg
鹅羊谷 Eyanggu	2732.84hij	3328.43hi	0.93cdefg
红腿谷 Hongtuigu	2291.43kl	2213.08l	0.92cdefg
气死稗谷 Qisibaigu	3244.71cd	4931.84a	0.89defgh

表 2 谷子孕穗期形态性状指标相对值

Table 2 Relative values and indexes of morphological traits at booting stage

品种	株高	穗长	穗下茎长	茎节数	茎粗	叶面积	单穗粒重	单穗重	千粒重
Cultivar	Height	Panicle	Rachis	Node	Stem	LAI	Grain	Spike	TDW
		length	length	numbers	diameter		weight	weight	
谷上谷	0.89a	0.96a	0.98bcdefg	0.97abcd	0.89de	0.80a	0.92abc	0.79abcd	0.89ij
大青秸	0.86abcde	0.84abc	1.00bcdef	0.99abc	0.96cde	0.63bcd	0.83a	0.85ab	0.99cdefghi
黄谷	0.77fg	0.84abc	0.79hi	0.93bcde	0.78e	0.64bc	0.91abc	0.90abcd	1.01cdefg
狼尾巴	0.75gh	0.76d	0.84ghi	0.91cde	0.81e	0.69b	0.76de	0.85de	1.04bcdef
红根谷	0.85abcde	0.82abc	0.89efgh	0.83e	0.78e	0.58de	0.97a	0.90abc	1.03bcdefg
东方亮	0.84bcde	0.81abc	0.88fghi	0.96abcd	0.96cde	0.65bcd	0.89abc	0.75abc	0.96efghij
鹅羊谷	0.82ef	0.77bc	1.03abcde	0.93bcde	0.73e	0.55def	0.86abcd	0.87abc	1.07bcd
毛剪谷	0.88abcd	0.80abc	1.04abc	0.96abcd	0.87de	0.62bcd	0.93abc	0.79abcd	1.11ab
鉴 61	0.83de	0.81abc	0.87fghi	0.96abcd	0.69e	0.50gh	0.80abc	0.83abc	1.09bc
气死雀粘谷	0.84bcde	0.94a	1.05abc	0.94abcd	1.48a	0.58def	0.99ab	0.79abcd	0.89ij
大齐头白	0.89ab	0.84abc	1.07abc	0.98abc	0.96cde	0.65bcd	0.85abcd	0.92abcd	0.93ghij
豫谷 1 号	0.85abcde	0.83abc	1.16a	0.91cde	1.23ab	0.53bcd	0.94abcd	0.89bcd	0.98defghi
小穗黄	0.83de	0.86abc	0.88fghi	1.03a	0.93cde	0.53fgh	0.93abc	0.88abcd	0.90hij
冀谷 11 号	0.75g	0.85abc	0.97bcdefg	0.88de	0.87de	0.47gh	0.91abc	0.85cd	0.97defghij
红腿谷	0.84abcde	0.92ab	1.09ab	0.99abc	0.90de	0.54efg	0.78abcd	0.97a	1.00abc
小白谷	0.84cde	0.85abc	1.04abcd	1.01ab	1.10bcd	0.61cde	0.89bcd	0.94abc	0.94fghij
红苗大白谷	0.75gh	0.78bc	0.90efgh	0.90cde	1.20bc	0.53fgh	0.83abc	0.87abcd	1.01bcde
饿死驴	0.89abc	0.85abc	0.96bcdefg	0.95abcd	0.70e	0.60cde	0.90abc	0.87abcd	1.20a
七月黄	0.68i	0.76c	0.75i	0.87de	0.85e	0.48h	0.79cd	0.68cde	0.87j
气死稗谷	0.69hi	0.57d	0.95cdefg	0.94abcd	0.89de	0.59de	0.71e	0.65e	1.00cdefgh
LSD _{0.05}	0.057	0.153	0.138	0.099	0.265	0.055	0.138	0.148	0.107

相对值:旱处理/水处理,下同

Relative values:Drought values /Water values,the same as below

续表			
品种	产量(kg/hm ²)	Yield	抗旱指数
Cultivar	旱胁迫	对照	DRI
	Treatment	Control	
红苗大白谷 Hongmiaodabaigu	2578.04ijk	3206.27ij	0.86defgh
狼尾巴 Langweiba	2472.23jk	2979.56j	0.85efgh
小穗黄 Xiaosuihuang	187.83fghi	4085.82cd	0.81fgh
谷上谷 Gushanggu	2621.48hij	3648.31efg	0.78gh
气死雀粘谷 Qisiqueniangu	2052.03l	2481.26l	0.71h
LSD 0.05	304.83	266.87	0.23

同一列内不同字母表示多重比较差异达到 5% 显著水平。下同
Values within a column followed by the different letters are significantly different at $P < 0.05$ level,the same as below

2.2 干旱胁迫对谷子孕穗期形态指标的影响及抗旱性鉴定指标的筛选

由表 2 可见,各品种在干旱胁迫下叶面积、株高、穗长、茎干重和粒重等明显下降,说明这 5 个性状受旱胁迫的影响最大,尤以叶面积受的影响最大,水分胁迫下的植株叶面积比对照相应品种植株叶面积下降幅度大,叶面积相对值大部分品种在 0.60 左右,但不同抗旱品种间变化趋势不明显。茎节数、茎粗和单穗重变化相对较小,说明这 3 个性状受旱胁迫的影响较小。抗旱性强的品种千粒重的相对值多数在 1 左右,说明旱胁迫对谷子抗旱性强的品种千粒重影响不大。

表 3 表明,相对单穗重与抗旱指数间的相关系数 $r=0.459(r_{0.05}=0.4438)$,呈显著相关;相对单穗粒重与抗旱指数间的相关系数 $r=0.814(r_{0.01}=0.5614)$,呈极显著相关;相对穗下茎长、相对千粒重和相对株高与抗旱指数的相关系数 r 值分别为 0.375、0.326 和 0.249,相关关系较密切。相对单穗粒重与抗旱指数的关联度为 0.547,关联度最大。

表 3 孕穗期形态指标相对值与抗旱指数的相关系数和灰色关联度值

Table 3 Correlational coefficients between relative value of morphological index and DRI and the gray relational grade under drought conditions at booting stage

名称	株高	穗长	穗下茎长	茎节数	茎粗	叶面积	单穗重	单穗粒重	千粒重
Varieties	Height	Panicle	Rachis	Node	Stem	LAI	Spike	Grain	TGW
		length	length	numbers	diameter		weight	weight	
相关系数 Correlation coefficient	0.246	0.194	0.375	0.088	-0.080	-0.101	0.459 *	0.814 **	0.326
灰色关联度 Gray relational grade	0.478	0.467	0.436	0.436	0.386	0.378	0.478	0.547	0.417

* 表示 $P<0.05$ 的显著水平, ** 表示 $P<0.01$ 的显著水平。下同
* significant at $P<0.05$, ** significant at $P<0.01$. The same as below

2.3 干旱胁迫对谷子孕穗期生理生化指标的影响及抗旱性鉴定指标的筛选

表 4 的结果表明,谷子孕穗期干旱胁迫下叶绿素含量和 POD 酶活性降低(相对值小于 1);可溶性糖、脯氨酸、丙二醛、SOD 酶活性等增加(相对值大

其次是相对株高和相对单穗重与抗旱指数的关联度值均为 0.478;相对穗下茎长、相对茎节数和相对千粒重关联度分别为 0.436、0.436 和 0.417,关联度与抗旱指数比较密切。据此,谷子的相对单穗粒重和相对穗重可作为抗旱性评价的生长发育指标,或者称农艺性状指标,相对穗下茎长、相对千粒重和相对株高在评价谷子抗旱性时可作为参考指标。

于 1);CAT 酶活性有增也有减,品种间表现不同。表 5 的结果表明,叶绿素含量、可溶性糖、丙二醛、SOD 酶与抗旱指数的相关显著或极显著,灰色关联度值较大,可以作为谷子孕穗期抗旱性鉴定的生理生化指标或辅助指标。

表 4 谷子孕穗期生理生化指标相对值

Table 4 Relative values of physiological and biochemical indexes at booting stage

品种	叶绿素	可溶性糖	脯氨酸	丙二醛	过氧化氢酶	超氧化物歧化酶	过氧化物酶
Cultivar	Chl	SP	Pro	MDA	CAT	SOD	POD
谷上谷	0.96ab	2.85de	2.43cdef	1.19ab	0.88cde	1.07ab	0.81a
大青秸	0.95abc	3.00bed	1.76ijkl	1.23ab	0.97bed	1.08ab	0.75abcd
黄谷	0.98abc	3.61bed	0.71l	1.04bcd	1.00bed	1.21a	0.80ab
狼尾巴	1.00abc	3.56abc	1.01kl	1.11abcd	0.70e	1.03ab	0.58fgh
红根谷	0.97a	3.01cde	5.31a	1.13abc	0.92bede	1.05ab	0.64defg
东方亮	0.92bcd	2.83cde	4.98b	1.16abc	0.78de	1.00b	0.44ijk
鹅羊谷	0.97abc	2.87de	3.18kl	1.04bcd	0.78de	0.95b	0.43ijk
毛剪谷	0.94bcd	2.94bed	2.61c	1.11abcd	0.80cde	1.00b	0.54ghi
鉴 61	0.96abc	2.89bed	3.81ijkl	1.05bcd	0.78de	1.01b	0.66cdefg
气死雀粘谷	0.96abc	2.98bed	1.48ijkl	1.04bcd	0.90cde	1.00b	0.79abc
大齐头白	0.92cd	4.44a	2.11ijk	1.24a	1.06abc	1.06ab	0.50hij
豫谷 1 号	0.98abc	3.89ab	3.11cd	1.01abcd	1.20a	1.05ab	0.58efgh
小穗黄	0.99abc	2.80de	1.74hij	1.08abcd	1.16ab	1.05ab	0.76abcd
冀谷 11 号	0.98abc	2.77de	2.58cde	1.14abc	1.03bcd	1.02ab	0.36jk
红腿谷	0.99abc	3.57abc	2.02ghij	0.97d	0.81cde	1.00b	0.69bedef
小白谷	0.97bcd	3.69bed	2.40cde	1.00bcd	0.97bed	1.03ab	0.72abcde
红苗大白谷	0.93cd	3.94ab	2.99fghi	1.02bcd	0.94bede	1.01ab	0.54ghi
饿死驴	0.97abcd	3.26ab	4.05jkl	0.96cd	0.86cde	1.06ab	0.35ghi
七月黄	0.88d	2.45bed	2.99efgh	1.19ab	1.15ab	1.01b	0.71abcdef
气死稗谷	0.94bcd	2.32e	1.56defg	1.15abc	0.96bed	1.01ab	0.47hijk
LSD _{0.05}	0.072	0.839	0.649	0.189	0.245	0.18	0.136

Chl:chlorophyll;SP:soluble protein;Pro:proline;MDA:malondialdehyde;CAT:catalase;SOD:superoxide dismutase;POD:peroxidase. The same as below

表 5 孕穗期生理生化指标相对值与抗旱指数的相关系数和灰色关联度值

Table 5 Correction coefficient and gray relational grade between relative value of physiological and biochemical index and DRI under Drought conditions during booting stage

名称	叶绿素	可溶性糖	脯氨酸	丙二醛	过氧化氢酶	超氧化物歧化酶	过氧化物酶
Varieties	Chl	SP	Pro	MDA	CAT	SOD	POD
相关系数 Correlation coefficient	0.6931 **	0.5919 **	0.115	0.5656 **	0.117	0.322 *	-0.04
灰色关联度 Gray relational grade	0.545	0.621	0.363	0.564	0.537	0.626	0.477

2.4 谷子品种孕穗期抗旱性综合指标的筛选

对于和抗旱指数相关密切的各形态指标和生理生化指标的相对值进行主成分分析,由表 6 可知,第 1 主成分主要由千粒重、可溶性糖和单穗粒重的相对值构成,占总方差的 36.29%。第 2 主成分主要由单穗粒重、丙二醛相对值构成,占总方差17.49%。第 3、第 4 主成分主要由单穗重、叶绿素含量、千粒重、丙二醛和 SOD 的相对值构成,分别占总方差的

14.08% 和 10.20%。前 4 个主成分的贡献率累计为 78.07%,其他贡献率较小可忽略不计。由表 7 可知,构成前 4 个主要成分的主要因素中除千粒重、单穗粒重、叶绿素含量和 SOD 4 个指标的相对值的两两关系不显著外,其他指标间均有相关显著或极显著的关系,说明千粒重、单穗粒重、叶绿素含量和 SOD 这 4 个指标相对值相对独立,可以作为谷子孕穗期抗旱性鉴定指标或辅助指标。

表 6 谷子孕穗期抗旱性综合指标特征值和特征向量

Table 6 Characteristic values and characteristic vectors of integrated index of drought resistance during booting stage

主成分	特征值	特征向量 Characteristic vectors									方差贡献率(%)
		株高	千粒重	穗下茎长	单穗重	单穗粒重	叶绿素含量	可溶性糖	超氧化物歧化酶	丙二醛	
Principal component	Characteristic value	Height	TGW	Rachis length	Spike weight	Grain weight	Chl	Pho	SOD	MDA	Variance distribution
1	3.63	0.306	0.508	-0.089	0.017	0.266	-0.035	0.33	-0.503	0.044	36.29
2	1.749	0.203	-0.3	-0.418	-0.093	0.705	-0.069	-0.02	0.397	0.05	17.49
3	1.408	0.278	0.38	-0.377	0.302	-0.11	0.337	0.231	0.29	-0.318	14.08
4	1.02	0.275	0.437	0.076	-0.377	-0.23	-0.535	-0.11	0.466	0.126	10.20

表 7 谷子孕穗期抗旱性指标相关系数

Table 7 Characteristic values and characteristic vectors of index of drought resistance during booting stage

指标	株高	千粒重	穗下茎长	单穗粒重	单穗重	叶绿素含量	可溶性糖	丙二醛	超氧化物歧化酶
Index	Height	TGW	Rachis length	Grian weight	Spike weight	Chl	Pho	MDA	SOD
株高	1								
千粒重	0.1593	1							
穗下节长	0.587 **	0.1115	1						
单穗粒重	0.602 **	-0.118	0.337	1					
单穗重	0.462 *	0.2728	0.368	0.3904	1				
叶绿素含量	0.2651	0.2258	0.2566	0.3331	0.575 **	1			
可溶性糖	0.302	0.1276	0.3609	0.1317	0.722 **	0.1409	1		
丙二醛	-0.0712	-0.514 *	-0.2105	-0.253	-0.467 *	-0.472 *	-0.2819	1	
超氧化物歧化酶	0.1078	-0.086	-0.2489	0.1823	0.3013	0.2439	0.318	0.0539	1

2.5 谷子孕穗期抗旱性聚类分析

以千粒重、单穗粒重、叶绿素和 SOD 4 个指标的相对值做聚类分析(图 2),可将 20 个品种划分为 3 类:第 I 类为红根谷、东方亮、豫谷 1 号、大齐头白、七月黄、黄谷、冀谷 11 号、大青桔和小白谷,抗旱强;第 II 类为毛剪谷、饿死驴、鹅羊谷、鉴 61、红腿谷、红苗大白谷、气死稗谷和狼尾巴,抗旱性中等;小穗黄,谷上谷和气死雀粘谷为第 III 类,抗旱性弱。

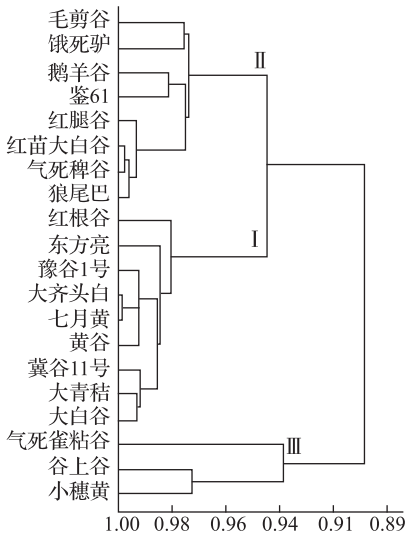


图 2 20 个品种抗旱性聚类图

Fig. 2 Dendrogram of 20 Millet cultivars based on the drought resistance

2.6 谷子孕穗期抗旱性鉴定回归方程的建立

以抗旱指数作为因变量(Y),各综合指标的相对值作为自变量(X)通过回归分析,建立回归方程为 $Y = 1.6640 + 0.2359X_1 + 0.3829X_2 - 2.6189X_3 + 1.2057X_4$ 。式中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别代表单穗粒重、千粒重、叶绿素和 SOD 4 个指标的相对值。方程的决定系数 $R^2 = 0.6302$, F 值为 4.77, 方程显著。由方程可知,上述 4 个指标对谷子孕穗期的抗旱性有显著影响,故可以在试验中有选择的测定这些指标,以简化工作。

3 讨论

由于作物的抗旱性是受多基因控制的数量性状,受多个抗旱相关基因控制,对任何单一机理的研究都有一定局限性。因此,从形态、生理、生化等众多指标中筛选出能反映作物抗旱性的几个综合指标鉴定作物的抗旱性已成共识^[22]。而且,仅使用某些指标的绝对值来比较其抗旱性,不能消除品种间固有差异的影响,必然影响到判断的准确性^[23]。所以,选择水、

旱环境中各指标的相对值进行分析,则较之绝对值更能体现抗旱性的内涵,消除了品种间固有差异,不仅同一指标间可以直接比较,不同指标间也可以进行比较,指标间的变化趋势十分明显,可比性更强。

玉米杂交种于孕穗灌浆期,在水分胁迫下脯氨酸含量增加可以调节细胞的渗透势,从而使耐旱性增强,SOD 活性的强弱可以用来衡量作物的耐旱性大小^[24]。六倍体小黑麦灌浆期干旱胁迫下,各种农艺性状指标与抗旱性的关系,研究发现单株粒重(0.757)、主茎穗粒数(0.713)、千粒重(0.669)与灌浆期抗旱性关系密切^[25]。小麦开花 7d 后的 SOD 含量、花后 CAT、脯氨酸含量,开花 14 d 后的可溶性蛋白和可溶性糖含量能更好地地区分小麦品种的抗旱性^[26]。而在本试验中单穗重、单穗粒重、株高、穗下茎长、千粒重、叶绿素含量、可溶性糖、丙二醛含量、SOD 等指标与抗旱指数的相关显著或极显著,可作为孕穗期的形态、生理、生化指标,这同玉米和小麦的结果是一致的,说明禾本科作物间在抗旱性方面的共性表现。通过回归分析,从 10 个单项指标中,筛选出了千粒重、单穗粒重、叶绿素和 SOD 4 个对抗旱性有显著影响的指标,既包含生态指标,又包含生理、生化指标,较为合理和全面。按照此方程计算可知鉴 61、冀谷 11 号、小穗黄、豫谷 1 号、小白谷和红根谷抗旱性强;红腿谷、毛剪谷、狼尾巴、饿死驴、东方亮、鹅羊谷、大青桔、七月黄、大齐头白和气死稗谷抗旱性中等;其余谷上谷、红苗大白谷、黄谷和气死雀粘谷抗旱性较弱,与用抗旱指数法实际得到的品种抗旱性分级基本一致,证明该方程式具有实用意义。这种建立某个生育时期与抗旱性密切相关的其他指标的回归方程,最终确定抗旱鉴定指标的方法已在水稻上研究实施^[27]。

同其他作物一样,谷子抗旱性是一个复杂的性状,本研究显示,孕穗期的指标和前人试验得出的萌发期、苗期的指标以及对品种抗旱性的划分不太一致^[28,12],不同时期的抗旱强弱次序不同,不能以一个时期的抗旱性代替整个生育期的抗旱性^[29]。小麦不同基因型抗旱种质资源有些表现为全生育期抗旱,而有些材料只在苗期、拔节期、开花期和灌浆期等一个或几个生育时期表现抗旱^[30],不同小麦品种不同生理性状在雨养和灌溉条件下评价抗旱性时发现,多数生理性状对抗旱性的贡献不同,不同水分条件下评价小麦抗旱性应选择不同的生理性状^[31]。本研究中,20 个谷子品种孕穗期的抗旱性与前期苗期反复干旱鉴定的抗旱性进行比较,可以看出在苗

期鉴定抗旱性强的鉴 61、小穗黄品种在孕穗期抗旱性减弱,表现为中等;而黄谷品种在苗期鉴定抗旱性为弱,但在孕穗期抗旱性加强。萌芽期抗旱的品种,苗期抗旱性不一定强;苗期抗旱的品种,孕穗期时抗旱性不一定好;谷子各生育时期对水分反应不同,对胁迫的应对机制也有一定差异,所以在生长发育的不同时期采用不同的鉴定指标来鉴别品种是必要的,本研究筛选的指标适合谷子孕穗期抗旱性鉴定,对研究谷子孕穗期的抗旱性有指导意义。

4 结论

千粒重、单穗粒重、叶绿素含量和 SOD 这 4 个指标的相对值与谷子孕穗期抗旱性紧密相关,可作为谷子孕穗期抗旱性鉴定的指标。这 4 个指标的相对值与抗旱指数建立的回归方程对谷子孕穗期的抗旱性预测准确、有效、简便、快速。

参考文献

- [1] Doust A N, Kellogg E A, Devos K M, et al. Bennetzen. Foxtail millet: A sequence-driven grass model system[J]. *Plant Physiol*, 2009, 149: 137-141
- [2] Brutnell T P, Wang L, Swartwood K, et al. *Setaria viridis*: A model for C_4 photosynthesis[J]. *Plant Cell*, 2010, 22: 2537-2544
- [3] 李荫梅. 谷子(粟)品种资源抗旱性鉴定研究[J]. *华北农学报*, 1991, 6(3): 20-25
- [4] 李荫梅. 苗期反复干旱法鉴定谷子抗旱性的可靠性与实用性[J]. *河北农业科学*, 1992(4): 9-11
- [5] 栗雨勤, 张文英, 王有增, 等. 作物抗旱性鉴定指标研究及进展[J]. *河北农业科学*, 2004, 8(1): 58-61
- [6] 孙骏威, 杨勇, 黄宗安. 聚乙二醇诱导水分胁迫引起水稻光合下降的原因探讨[J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(6): 539-543
- [7] 李长明, 刘保国, 任昌福. 水稻抗旱机理研究[J]. *西南农业大学学报*, 1993, 15(15): 409-411
- [8] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究[J]. *中国农业科学*, 1995, 28(5): 65-72
- [9] 陈红兵, 郭继虎, 王金胜, 等. 水分胁迫时小麦生化指标与抗旱性的关系[J]. *山西农业大学学报*, 2000, 20(2): 129-131
- [10] 刘桂茹, 张荣之, 卢建祥, 等. 小麦品种抗旱性鉴定指标与产量性状关系的探讨[J]. *河北农业大学学报*, 1995, 18(1): 10-14
- [11] 魏秀俭. 玉米种质苗期耐旱性鉴定及其生理生化机制的探讨[D]. 雅安: 四川农业大学, 2003
- [12] 温琪汾, 王纶, 王玉玉. 山西省谷子种质资源及抗旱种质的筛选利用[J]. *山西农业科学*, 2005, 33(4): 32-33
- [13] 张锦鹏, 王茅雁, 白云凤, 等. 谷子品种抗旱性的苗期快速鉴定[J]. *植物遗传资源学报*, 2005, 6(1): 59-62
- [14] 朱学海, 宋燕春, 赵志海, 等. 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(1): 62-67
- [15] 赵姚阳. 黄土丘陵沟壑区两种立地条件下农田水量平衡及作物反应的比较研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003
- [16] 栗雨勤, 刘毅, 张文英, 等. 冬小麦抗旱高产品种鉴定方法的研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 1999, 30(6): 581-585
- [17] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 2003: 55-56
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [19] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 46-70
- [20] 兰巨生. 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
- [21] 栗雨勤. 河北省地方标准--农作物品种抗旱性鉴定规程[C]. (GB13/T 398. 5-1999)
- [22] 王贺正, 李艳, 马均, 等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. *作物学报*, 2008, 33(9): 1523-1529
- [23] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 399-404
- [24] 陈军, 戴俊英, 沈秀瑛, 等. 不同玉米杂交种孕穗、开花和灌浆期抗旱性研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 1993, 24(1): 1-5
- [25] 孙黛珍, 周福平, 工曙光, 等. 六倍体小黑麦灌浆期抗旱性分析[J]. *中国农学通报*, 2008, 23(7): 236-240
- [26] 张玉梅, 林琪, 刘义国, 等. 不同抗旱性小麦品种花后旗叶生化特性的研究[J]. *华北农学报*, 2006, 21(4): 23-27
- [27] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 399-404
- [28] 白玉. 谷子萌发期和苗期抗旱性鉴定指标的筛选及谷子 DnaJ 蛋白基因和 3-磷酸甘油醛脱氢酶基因在干旱胁迫下的表达[D]. 北京: 首都师范大学, 2008
- [29] 任学良, 李国柱, 程文林, 等. 绿豆突变体的抗旱性研究[J]. *核农学报*, 2004, 18(2): 100-103
- [30] 景蕊莲, 昌小平. 小麦抗旱种质资源的遗传多样性[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(3): 410-416
- [31] 武仙山, 昌小平, 景蕊莲. 小麦灌浆期抗旱性鉴定指标的综合评价[J]. *麦类作物学报*, 2008, 28(4): 626-632

欢迎订阅 2013 年西北农林科技大学学报(自然科学版)

《西北农林科技大学学报(自然科学版)》其前身是《西北农业大学学报》,主办单位西北农林科技大学。本刊为中国自然科学核心期刊、全国综合性农业科学核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊和中国科技核心期刊。本刊立足国际科学发展前沿,兼顾理论探索与应用开发研究,面向社会,主要刊登农业科学、林业科学、植物保护、资源环境科学、园艺科学、动物科学、动物医学、食品科学、生命科学、农田水利与建筑工程、机械与电子工程等方面的原创性学术研究成果。读者对象为国内外农林科技工作者、高等院校教师、研究生和农林管理干部。

月刊,每月 10 日出版,国内外公开发行。每期定价 15 元,全年 180 元。邮发代号为 52-82,全国各地邮局均可订阅,亦可直接向本刊编辑部订阅。国外总发行为中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱)。

地址:(712100)陕西杨凌 西北农林科技大学北校区 40 号信箱

电话:029-87092511 E-mail: xnxbz@nwsuaf.edu.cn;xb2511@yahoo.com.cn

网址: <http://www.xnxbz.net>