

糜子育成品种芽期抗旱性鉴定与评价研究

刘天鹏¹,董孔军²,何继红²,任瑞玉²,张磊²,杨天育^{1,2}

(¹甘肃农业大学生命科学技术学院,兰州 730070;²甘肃省农业科学院作物研究所,兰州 730070)

摘要:采用 PEG6000 胁迫处理对国内不同地区育成的 56 个糜子品种的芽期抗旱性进行了鉴定,并用直接评价和综合评价法对其抗旱性进行了评价。结果表明:经 20% (W/V) PEG6000 处理的 56 个品种与对照相比性状之间差异显著,品种抗旱性存在较大差异。用直接评价法和综合评价法相结合鉴定出强抗旱性品种 3 份,分别是晋黍 2 号、陇糜 5 号和陇糜 8 号。相对发芽率、相对芽干重、相对根干重、贮藏物质相对转运率 4 项指标可作为糜子芽期抗旱性鉴定评价指标,相对发芽率法和加权隶属函数值法是比较理想的糜子芽期抗旱性评价方法。

关键词:糜子;芽期;抗旱性;评价方法

Identification and Evaluation on the Drought Resistance of Broomcorn Millet Bred Cultivars at Germinating Stage

LIU Tian-peng¹, DONG Kong-jun², HE Ji-hong², REN Rui-yu², ZHANG Lei², YANG Tian-yu^{1,2}

(¹ Life Science and Technology College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070;

² Crop Research Institute, Gansu Province Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070)

Abstract: Drought resistance at germinating stage of 56 broomcorn millet bred cultivars from different provinces were identified using PEG6000 treatment, and also evaluated by direct and comprehensive assessment methods. The results showed that 56 cultivars existed great differences in investigated traits and drought resistance between 20% (w/v) PEG6000 treatment and the control. By two kinds of methods, three cultivars with better drought resistance had been screened, named Jinshu No. 2, Longmi No. 5, and Longmi No. 8. And relative germination rate, relative shoot dry weight, relative root dry weight, and storage matter relative transfer rate could also be used as the main drought resistance identification indexes of broomcorn millet at germinating stage. Relative germination rate and weighted subordinate function value method were the ideal methods of drought resistance evaluation at broomcorn millet germinating stage.

Key words: broomcorn millet; germinating stage; drought resistance; evaluation methods

我国北方干旱半干旱农业区,是农业生产的重要基地。由于降雨不足及时空分布不匀,农业生态环境较差,干旱频繁发生,严重地限制了农作物的生产^[1-2]。因此,研究干旱条件下提高作物产量的有效方法和途径是干旱半干旱地区农业发展需要解决的重大课题。糜子是黍属中黍稷种(*Panicum miliaceum* L.)子粒非糯性的类型,子粒为糯性者称之黍或黍子。本研究将黍和糜统称称为糜子。糜子是北方

干旱半干旱农业区重要的特色粮食作物,在种植业结构调整、利用多熟种植增加粮食产量、发展特色农业中都占有重要地位^[3]。糜子育成品种因其产量、品质、抗性、生态适应性等各方面的优点,在区域农业增收、市场供给、农村经济发展中发挥着重要作用,因此,研究糜子育成品种的抗旱性对于选育抗旱品种、提高糜子生产能力、促进生产发展都有着重要意义。前人关于糜子抗旱性研究深度及广度远不及

收稿日期:2013-09-05 修回日期:2013-10-10 网络出版日期:2014-06-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20140609.1423.016.html>

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-07-12.5-A5);甘肃省重大科技专项(0801NKDA016);甘肃省农业科学院农业科技创新专项(2013GAAS35)

第一作者研究方向为作物生态生理。E-mail:60260048@qq.com

通信作者:杨天育,主要从事小杂粮遗传育种与栽培研究。E-mail:13519638111@163.com

小麦、玉米、水稻、大豆等主要作物,仅有山仑等^[4]比较研究了糜子、谷子、高粱和玉米在种子吸胀、萌发、胚芽伸长和出土以及种苗初期不同成苗阶段的抗旱性,结果表明4种作物幼芽伸长阶段对水分最为敏感;王纶等^[5]采用反复干旱法对山西具有代表性的500份黍稷种质资源进行了抗旱性鉴定与评价,结果显示不同黍稷种质资源的抗旱性存在着较大差异,反复干旱法是简便易行、准确可靠进行大批量黍稷种质资源抗旱性鉴定评价的方法;贾根良等^[3]采用PEG模拟水分胁迫方法研究了水分胁迫对糜子幼苗生理特性的影响,认为抗旱能力不同的糜子品种,其幼苗叶片的细胞电解质外渗率、叶片的MDA含量、游离脯氨酸含量和可溶性等生理指标存在差异;张盼盼等^[6-7]进行了糜子芽期抗旱性指标鉴定与利用的研究和干旱条件下糜子叶片衰老与保护酶活性变化的研究,认为不仅不同品种之间抗旱性存在明显差异,而且相对发芽率、相对根长、相对芽干重、相对芽鞘长、相对芽长和相对根干重可作为糜子芽期抗旱性的鉴定指标;冯晓敏等^[8]采用盆栽控水试验,研究了不同水分处理对糜子苗期主要性状和光合参数的影响,结果表明水分胁迫下糜子品种的株高、叶面积、根重、叶绿素含量、根系活力、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间CO₂浓度都会下降,但抗旱性强的品种降幅要小于抗旱性弱的品种,抗旱性强的品种具有较高的电子传递速率和较强的光能转化能力。芽期是种子植物生活史中的关键阶段,也是衡量植物抗旱性强弱的重要时期,直接关系到植物的出苗情况^[6]。有关糜子育成品种芽期抗旱性鉴定和评价方法研究较少。为此,本研究利用PEG6000胁迫处理,参考小麦、玉米、水稻、大豆等作物常用的9种抗旱性评价方法对国内不同地区育成的56个糜子品种的芽期抗旱性进行了鉴定,为糜子芽期抗旱性鉴定与评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以我国不同地区育成的56份糜子品种为试验材料,名称及来源详见2.2。

1.2 试验设计

每个品种挑选正常成熟、大小一致的种子500粒,用70%酒精消毒2~3 min后用无菌蒸馏水冲洗干净,放入20 mL小烧杯中清水浸种24 h,而后用蒸馏水冲洗3次并用滤纸吸干附着水。各品种取萌动一致的糜子种子50粒摆放在发芽床上(直径9 cm、铺2层滤

纸的培养皿),加12 mL浓度20% (W/V)的PEG6000溶液进行胁迫处理,清水处理为对照,每盘为1次重复,处理组和对照组分别设3次重复,培养皿加盖,放于光照培养箱中,20℃恒温培养,每天光照8 h,以芽长达到0.2 cm、根长达0.4 cm作为发芽标准。

1.3 测定指标

1.3.1 发芽率、发芽势统计 种子萌发的第1~8天分别统计各重复发芽数,计算发芽势与发芽率。

1.3.2 生物学性状测定 种子萌发的第8天每处理各重复随机取10粒发芽种子测定胚芽鞘长度、芽长、根长,之后将所有生物量用蒸馏水冲洗3次,滤纸吸干水分,立即用万分之一天平称各重复芽、根鲜重,最后置烘箱中80℃烘至恒重,称干重(芽干重、根干重、未发芽子粒干重),计算贮藏物质转运率:贮藏物质转运率=(芽+根)×干重/(芽+根+子粒)×干重。

1.4 数据统计分析

1.4.1 抗旱性直接评价 参照杨子光等^[9]、曹俊梅等^[10]、鲁守平等^[11]、张健等^[12]、陈波等^[13]和M. Bouslama^[14]的方法,计算公式如下:

$$\text{相对发芽率 } RG = \sum (Gi/Gc) / 3,$$

$$\text{干旱伤害率 } RS = (Gc - Gi) / Gc,$$

$$\text{相对发芽指数 } RGI = GIS/GIC,$$

$$\text{发芽指数 } GI = \sum (Qt/Dt),$$

$$\text{种子萌发抗旱指数 } RPI = PIS/PIC,$$

$$\text{种子萌芽指数 } PI = 1.00 nd_2 + 0.75 nd_4 + 0.50 nd_6 + 0.25 nd_8,$$

$$\text{种子活力抗旱指数 } RVI = VIS/VIC,$$

$$\text{种子活力指数 } VI = PI \times Sx,$$

式中,Gi、Gc表示PEG6000处理与清水处理中的发芽率;GIS、GIC表示PEG6000处理与清水处理下的发芽指数,Qt、Dt表示第t天的发芽数与相应的发芽天数;PIS、PIC表示PEG6000处理与清水处理下的种子萌发指数,nd₂、nd₄、nd₆、nd₈分别为第2、4、6、8天各材料的萌芽率;VIS、VIC表示PEG6000处理与清水处理下的种子活力指数,Sx为第8天芽、根干重。

1.4.2 抗旱性综合评价 为了减少品种间的固有差异,各性状采用相对值,即TR(性状相对值)=Xd(PEG6000胁迫值)/Xw(清水对照值)。综合抗旱系数、平均隶属函数、加权隶属函数及灰色关联度分析分别参照贾寿山等^[15]、严明建等^[16]、武仙山

等^[17]、李贵全等^[18]的方法。灰色关联度分析以各性状的最大相对值为参考序列,数据采用标准化转化。计算公式如下:

$$\text{综合抗旱系数 } RI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TR_i,$$

$$\text{单项隶属函数值 } \mu(x) = \frac{TR - TR_{i \min}}{TR_{i \max} - TR_{i \min}},$$

$$\text{平均隶属函数值 } \bar{\mu}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu(x),$$

$$\text{加权隶属函数值 } D =$$

$$\sum_{i=1}^n [\mu(x) \times (|ri|) \div \sum_{i=1}^n |ri|],$$

$$\text{关联系数 } L_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}},$$

$$\text{灰色关联度 } \gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{0i}(k),$$

式中, $TR_{i \max}$ 、 $TR_{i \min}$ 为各相对性状最大值、最小值, ri 为各性状与综合抗旱系数相关系数, $|ri| \div \sum_{i=1}^n |ri|$ 为指数权数, 表示第 i 个指标在所有指标中的重要程度; $\Delta_{0i}(k)$ 表示 K 时刻两个比较序列的

绝对差, 即 $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - xi(k)|$, Δ_{\max} 和 Δ_{\min} 分别表示所有比较序列各个时刻绝对差中的最大值与最小值, 分辨系数 $\rho = 0.5$ 。

1.4.3 抗旱性分级标准 参考路贵和等^[19]抗旱性逐级分类法, 将供试品种的抗旱性划分为强抗旱、中度抗旱、弱抗旱 3 种类型。数据采用 Excel 2010 及 DPS 7.5 分析软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理间糜子芽期主要性状的差异

由表 1 可见, 对照处理除发芽率外, 品种间 9 个性状变异系数都在 10% 以上, 差异均达到极显著水平; 胁迫处理品种间 9 个性状变异系数都在 20% 以上, 差异均达到极显著水平, 说明不同品种间性状差异较大, 类型丰富, 利于抗旱性鉴定, 而清水处理中品种间发芽率差异不显著, 说明品种间种子发芽力较一致, 宜于芽期抗旱性鉴定。两处理间各性状配对 t 检验显示, 差异均达到了极显著水平, 说明供试品种胁迫处理下效果明显, 不同品种间抗旱性存在显著差异。

表 1 供试品种各性状相关统计参数

Table 1 Basic descriptive statistics for cultivars traits used in this study

处理	参数	芽鞘长 (cm)	芽长 (cm)	根长 (cm)	芽鲜重 (g)	根鲜重 (g)	芽干重 (g)	根干重 (g)	发芽率 (%)	贮藏物质 转运率 (%)
Treatment	Parameter	CL	SL	RL	FWS	FWR	DWS	DWR	GR	DMTR
PEG6000	平均值 Average	1.2272	1.2826	1.7232	0.1795	0.1364	0.0481	0.0232	51.9524	20.45
	标准差 SD	0.3339	0.3643	0.4189	0.1280	0.0512	0.0128	0.0068	15.1289	0.0636
	变异系数 (%) CV	27.21	28.41	24.31	71.32	37.55	26.69	29.35	29.12	31.09
	F 值 F-value	4.5700 **	4.1000 **	6.5490 **	6.9510 **	9.1120 **	2.2380 **	2.1750 **	5.7670 **	3.7350 **
CK	平均值 Average	2.3774	4.3630	3.9248	0.7599	0.2262	0.0581	0.0264	90.1190	36.13
	标准差 SD	0.5437	0.4530	1.0516	0.1420	0.0937	0.0115	0.0070	7.5967	0.0646
	变异系数 (%) CV	22.87	10.38	26.79	18.68	41.43	19.73	26.44	8.43	17.89
	F 值 F-value	14.7170 **	5.7320 **	10.9520 **	7.4270 **	7.4750 **	3.8450 **	4.3680 **	0.0110	7.2700 **
PEG6000 - CK	差数平均值 DJ	-1.1502	-3.0805	-2.2017	-0.5804	-0.0898	-0.0100	-0.0033	-38.1667	-15.67
	标准差 SD	0.6159	0.5631	0.8856	0.1844	0.0934	0.0149	0.0042	16.1541	0.0770
	差数标准误差 SE	0.0823	0.0753	0.1183	0.0246	0.0125	0.0020	0.0006	1.2463	0.0103
	t 值 t-value	13.9765 **	40.9355 **	18.6030 **	23.5552 **	7.1926 **	5.02442 **	5.7754 **	30.6240 **	15.2261 **

* 表示显著水平 ($P < 0.05$), ** 表示极显著水平 ($P < 0.01$), 下同

* represents 0.05 significant level, ** represents 0.01 significant level, CL: Coleoptile length, SL: Seeding length, RL: Radicle length, FWS: Fresh weight of seeding, FWR: Fresh weight of root, DWS: Dry weight of seeding, DWR: Dry weight of root, GR: Germination rate, DMTR: Dry matter transport rate. The same as below

2.2 糜子育成品种芽期抗旱性评价

表 2 列出了 9 种不同抗旱性评价方法 56 个育成品种的评价参数值, 表 3 为抗旱性分级标准, 根据

表 2 和表 3 数值对育成品种的抗旱性进行了分类和评价, 结果显示: 强抗旱品种、中度抗旱品种、弱抗旱品种分别占参试品种的 14.29% ~ 17.86%、

64.29% ~ 73.21%、12.50% ~ 21.43%。9 种方法间品种同级率为 32.14% ~ 100%, 5 种直接评价方法间品种同级率为 91.07% ~ 100%, 4 种综合评价方法间品种同级率为 71.43% ~ 91.07%, 其中强抗旱品种在 5 种直接评价方法中同级率达到了 60% ~ 100%, 同级品种为晋黍 2 号、雁黍 8 号、榆黍 1 号、陇糜 5 号、陇糜 7 号、陇糜 8 号。4 种综合评

价方法中,除灰色关联度外,强抗旱品种同级率为 66.67% ~ 88.89%, 同级品种为晋黍 2 号、陇糜 5 号、陇糜 8 号、榆黍 3 号、蟠龙黄糜子、陇糜 10 号。综合来看两类评价方法内品种同级率较高,方法间同级率较低,8 种方法(灰色关联度除外)共同筛选出的强抗旱级别品种有晋黍 2 号、陇糜 5 号、陇糜 8 号。

表 2 供试糜子育成品种名称、来源及各评价方法参数值

Table 2 The name, origin, and drought resistance evaluation parameters from broomcorn millet cultivars

序号 No.	品种 Cultivar	来源 Origin	直接评价 Direct evaluation					综合评价 Comprehensive evaluation				
			相对发芽率 RGR	干旱伤害率 DIR	相对发芽指数 RGI	种子萌发抗旱指数 SIDR	种子活力抗旱指数 VIDR	综合抗旱系数 CDRC	平均隶属函数值 ASFV	加权隶属函数值 WSFV	灰色关联度 GCD	
1	龙黍 21 号	黑龙江	0.3852	0.6148	0.2471	0.2389	0.1362	0.4331	0.1532	0.1573	0.7860	
2	龙黍 23 号	黑龙江	0.3488	0.6512	0.2483	0.2470	0.2854	0.8641	0.4236	0.4779	0.7954	
3	赤黍 1 号	内蒙古	0.4211	0.5789	0.2826	0.2725	0.1402	0.4943	0.2165	0.1907	0.8290	
4	赤黍 2 号	内蒙古	0.4662	0.5338	0.3673	0.3516	0.3143	0.9187	0.4654	0.4657	0.8507	
5	齐黍 1 号	黑龙江	0.4250	0.5750	0.3141	0.3214	0.2420	0.4477	0.1644	0.1762	0.7707	
6	九黍 1 号	吉林	0.6058	0.3942	0.4482	0.4265	0.4849	1.0060	0.5127	0.5441	0.8377	
7	雁黍 7 号	山西	0.5725	0.4275	0.4062	0.3942	0.3689	0.9092	0.4582	0.4775	0.8176	
8	粘丰 7 号	黑龙江	0.6444	0.3556	0.4804	0.4722	0.7118	0.8587	0.4816	0.5062	0.8156	
9	晋黍 6 号	山西	0.5956	0.4044	0.4696	0.4570	0.5158	0.6737	0.3697	0.3578	0.8370	
10	榆黍 3 号	陕西	0.5725	0.4275	0.4344	0.4214	0.6530	0.8906	0.5393	0.5630	0.8172	
11	晋黍 3 号	山西	0.6496	0.3504	0.5607	0.5438	0.8093	0.7695	0.4443	0.4604	0.7775	
12	晋黍 2 号	山西	0.8421	0.1579	0.6053	0.5629	1.0191	1.2387	0.7312	0.7837	0.8939	
13	雁黍 8 号	山西	0.7836	0.2164	0.5857	0.5915	0.8782	0.7463	0.4276	0.4731	0.7651	
14	晋黍 8 号	山西	0.7634	0.2366	0.5489	0.5406	0.7016	0.6876	0.3963	0.4115	0.7713	
15	晋黍 4 号	山西	0.6116	0.3884	0.5078	0.5171	0.3837	0.5585	0.2464	0.2654	0.7695	
16	榆黍 2 号	陕西	0.6484	0.3516	0.4688	0.4358	0.4216	0.7689	0.3860	0.4180	0.8597	
17	晋黍 5 号	山西	0.7518	0.2482	0.5790	0.5567	0.7536	0.6825	0.3971	0.4319	0.7428	
18	晋黍 7 号	山西	0.6483	0.3517	0.4356	0.4221	0.4162	0.5325	0.2780	0.2920	0.7103	
19	晋黍 9 号	山西	0.4519	0.5481	0.3627	0.3298	0.2542	0.4273	0.1824	0.1824	0.7522	
20	粘丰 5 号	黑龙江	0.5556	0.4444	0.4559	0.4124	0.4162	0.5276	0.2802	0.2841	0.7278	
21	榆黍 1 号	陕西	0.7368	0.2632	0.6172	0.6287	0.8727	0.7609	0.5242	0.5091	0.7357	
22	赤糜 2 号	内蒙古	0.6857	0.3143	0.4514	0.4334	0.7503	0.8419	0.5319	0.5441	0.7755	
23	赤糜 1 号	内蒙古	0.6042	0.3958	0.4923	0.4704	0.4036	0.6057	0.4163	0.3562	0.7290	
24	品糜 1 号	山西	0.6154	0.3846	0.4456	0.4260	0.6351	0.7621	0.4977	0.4932	0.7879	
25	蟠龙黄糜子	陕西	0.6972	0.3028	0.5019	0.4978	0.8048	0.8959	0.5963	0.5781	0.7788	
26	伊选黄糜	内蒙古	0.2690	0.7310	0.2066	0.2017	0.0882	0.3470	0.1567	0.0988	0.7005	
27	内糜 5 号	内蒙古	0.7500	0.2500	0.5283	0.5138	0.6395	0.7518	0.4825	0.4723	0.7807	
28	晋黍 1 号	山西	0.4722	0.5278	0.3194	0.3185	0.2416	0.4298	0.2345	0.2011	0.6638	
29	辽糜 3 号	辽宁	0.5286	0.4714	0.3282	0.3340	0.2657	0.4407	0.2380	0.2128	0.7055	
30	辽糜 56 号	辽宁	0.6133	0.3867	0.4454	0.4443	0.3836	0.4980	0.3041	0.2758	0.6593	
31	伊糜 5 号	内蒙古	0.6181	0.3819	0.4401	0.4106	0.4675	0.5698	0.3382	0.3382	0.7269	
32	宁糜 5 号	宁夏	0.6884	0.3116	0.4686	0.4533	0.5449	0.7142	0.4700	0.4511	0.7559	
33	宁糜 10 号	宁夏	0.6563	0.3438	0.4615	0.4207	0.4724	0.6854	0.4285	0.4084	0.7597	
34	宁糜 11 号	宁夏	0.7319	0.2681	0.4370	0.4258	0.5308	0.7410	0.4886	0.4670	0.7598	

表 2(续)

序号 No.	品种 Cultivar	来源 Origin	直接评价 Direct evaluation					综合评价 Comprehensive evaluation				
			相对 发芽率	干旱 伤害率	相对发 芽指数	种子萌发 抗旱指数	种子活力 抗旱指数	综合抗 旱系数	平均隶属 函数值	加权隶属 函数值	灰色 关联度	
			RGR	DIR	RGI	SIDR	VIDR	CDRC	ASFV	WSFV	GCD	
35	宁糜 13 号	宁夏	0.6414	0.3586	0.4616	0.4412	0.3885	0.5089	0.2807	0.2616	0.7439	
36	宁糜 14 号	宁夏	0.5352	0.4648	0.3847	0.3609	0.2847	0.4873	0.2610	0.2407	0.7333	
37	宁糜 15 号	宁夏	0.6690	0.3310	0.4885	0.4563	0.5739	0.7193	0.4483	0.4343	0.7532	
38	宁糜 16 号	宁夏	0.5175	0.4825	0.3688	0.3395	0.2328	0.4696	0.2889	0.2315	0.6817	
39	宁糜 17 号	宁夏	0.6475	0.3525	0.4595	0.4163	0.4163	0.5654	0.3318	0.3149	0.7171	
40	陇糜 3 号	甘肃	0.3333	0.6667	0.2482	0.2418	0.1243	0.3486	0.1419	0.1013	0.6746	
41	陇糜 4 号	甘肃	0.4825	0.5175	0.3448	0.3564	0.2061	0.4810	0.2390	0.2020	0.7310	
42	陇糜 5 号	甘肃	0.8246	0.1754	0.6621	0.6615	1.2723	1.0045	0.6037	0.6502	0.7781	
43	陇糜 7 号	甘肃	0.8696	0.1304	0.6795	0.6783	0.9988	0.8005	0.4854	0.5199	0.7509	
44	陇糜 8 号	甘肃	0.9250	0.0750	0.6574	0.6648	1.5632	1.0914	0.5632	0.5577	0.6334	
45	陇糜 9 号	甘肃	0.5492	0.4508	0.3805	0.3665	0.3720	0.5986	0.3796	0.3348	0.7260	
46	吉 2	吉林	0.3557	0.6443	0.2489	0.2442	0.1657	0.4832	0.2477	0.1835	0.7647	
47	蒙梗糜 7 号	内蒙古	0.4610	0.5390	0.3700	0.3682	0.4767	0.7855	0.4996	0.4646	0.7641	
48	吉 18	吉林	0.5724	0.4276	0.4444	0.4434	0.6547	0.7540	0.4326	0.4212	0.7813	
49	吉 12	吉林	0.3404	0.6596	0.1980	0.1889	0.0872	0.7480	0.3993	0.3056	0.7671	
50	吉 3	吉林	0.5221	0.4779	0.4673	0.4578	0.3033	0.4810	0.3166	0.2477	0.6762	
51	吉 9	吉林	0.5461	0.4539	0.3910	0.3815	0.4586	0.7605	0.4873	0.4358	0.7902	
52	蒙梗糜 1 号	内蒙古	0.4532	0.5468	0.2888	0.2804	0.2167	0.4920	0.2681	0.2276	0.6926	
53	陇糜 2 号	甘肃	0.4245	0.5755	0.3076	0.2972	0.2219	0.4493	0.2028	0.1844	0.7889	
54	吉 11	吉林	0.2847	0.7153	0.2326	0.2317	0.1015	0.2955	0.0796	0.0536	0.7042	
55	吉 4	吉林	0.5580	0.4420	0.5240	0.5261	0.6974	0.6619	0.4594	0.4324	0.6729	
56	陇糜 10 号	甘肃	0.5971	0.4029	0.4219	0.4160	0.6656	1.0239	0.6545	0.6220	0.8452	

RGR:Relative germination rate,DIR:Drought injure rate,RGI:Relative germination index,SIDR:Sprout index of drought resisting,VIDR:Vigor index of drought resisting,CDRC:Comprehensive drought resistance coefficient,ASFV:Average subordinate function valve,WSFV:Weight subordinate function valve,GCD:Grey correlative degree,the same as below

表 3 供试糜子品种抗旱性分类标准

Table 3 Grading standards of broomcorn millet drought resistance

抗旱等级 Drought grade	相对发芽率 RGR	干旱伤害率 DIR	相对发 芽指数 RGI	种子萌发 抗旱指数 SIDR	种子活力 抗旱指数 VIDR	综合抗 旱系数 CDRC	平均隶属 函数值 ASFV	加权隶属 函数值 WSFV	灰色关联度 GCD
强抗旱	≥0.7290	<0.2710	≥0.5457	≥0.5334	≥0.7906	≥0.8755	≥0.5233	≥0.5272	≥0.8123
中度抗旱	≥0.4324	≥0.2710	≥0.3108	≥0.2992	≥0.1912	≥0.4634	≥0.2386	≥0.2140	≥0.7026
	<0.7290	<0.5676	<0.5457	<0.5334	<0.7906	<0.8755	<0.5233	<0.5272	<0.8123
弱抗旱	<0.4324	≥0.5676	<0.3108	<0.2992	<0.1912	<0.4634	<0.2386	<0.2140	<0.7026

2.3 糜子芽期抗旱评价方法的比较

对 9 种抗旱性评价方法进行相关性分析,结果见表 4。可以看出,除灰色关联度外,其他评价方法间相关性均达到了极显著水平,说明各评价方法用于糜子芽期抗旱性评价的效果具有等同性。灰色关联度分析结果与其他方法差别较大,原因

可能与参评指标的数量和参考序列有关。由于相对发芽率仅需统计 1 次发芽数,可作为快速评价方法;而加权隶属函数值法较综合抗旱系数法、平均隶属函数法、灰色关联度法考虑了各性状的重要性,且不考虑对照品种,可作为芽期较为理想的综合评价法。

表 4 抗旱性评价参数间的相关性

Table 4 Correlation coefficient among drought resistance evaluation parameters

	相对发芽率 RGR	干旱伤害率 DIR	相对发芽指数 RGI	种子萌发抗旱指数 SIDR	种子活力抗旱指数 VIDR	综合抗旱系数 CDRC	平均隶属函数值 ASFV	加权隶属函数值 WSFV	灰色关联度 GCD
相对发芽率 RGR	1.00								
干旱伤害率 DIR	-1.00 **	1.00							
相对发芽指数 RGI	0.94 **	-0.94 **	1.00						
种子萌发抗旱指数 SIDR	0.93 **	-0.93 **	0.99 **	1.00					
种子活力抗旱指数 VIDR	0.87 **	-0.87 **	0.88 **	0.90 **	1.00				
综合抗旱系数 CDRC	0.62 **	-0.62 **	0.58 **	0.58 **	0.74 **	1.00			
平均隶属函数值 ASFV	0.69 **	-0.69 **	0.66 **	0.65 **	0.77 **	0.94 **	1.00		
加权隶属函数值 WSFV	0.73 **	-0.73 **	0.70 **	0.69 **	0.81 **	0.96 **	0.98 **	1.00	
灰色关联度 GCD	0.11	-0.11	0.08	0.06	0.12	0.56 **	0.44 **	0.50 **	1.00

2.4 糜子芽期主要性状与抗旱评价参数的关系

以相对发芽率和加权隶属函数值法 2 种理想的评价方法为基础,与参评指标进行相关性分析,筛选可作为糜子芽期抗旱性鉴定评价指标,结果见表 5。可以看出,贮藏物质相对转运率、相对发芽率、相对

根干重、相对芽干重 4 个指标与相对发芽率和加权隶属函数值相关性极显著,可作为糜子芽期抗旱鉴定指标。加权隶属函数值除相对芽鞘长外,与其他参评指标相关性均呈极显著,也说明任何指标一定程度上都与糜子抗旱性有关。

表 5 糜子各性状指标与抗旱性评价参数间的相关性

Table 5 Correlation coefficient between broomcorn millet traits and drought resistance evaluation parameters

	相对芽鞘长 RCL	相对芽长 RBL	相对根长 RRL	相对芽鲜重 RFWS	相对根鲜重 RFWR	相对芽干重 RDWS	相对根干重 RDWR	相对发芽率 RGR	贮藏物质 相对转运率 RDMTR
相对发芽率 RGR	0.07	0.21	0.12	0.12	0.03	0.68 **	0.74 **	1.00 **	0.79 **
加权隶属函数值 WSFV	0.23	0.38 **	0.40 **	0.54 **	0.54 **	0.82 **	0.76 **	0.73 **	0.89 **

RCL:Relative coleoptile length, RBL:Relative bud length, RRL:Relative root length, RFWS:Relative fresh weight of seeding, RFWR:Relative fresh weight of root, RDWS:Relative dry weight of seeding, RDWR:Relative dry weight of root, RGR:Relative germination rate, RDMTR:Relative dry matter transport rate

3 讨论

3.1 抗旱性评价方法

作物的抗旱性是个复杂的数量性状,由多基因控制,作用机理复杂,涉及多条生理调控途径^[20],因此,鉴定和评价作物的抗旱性要综合多个指标,相应的产生了多种评价方法。为了快速、准确、全面地鉴定作物的抗旱性,研究者常采用少数几个指标参评的直接评价法结合多个指标参评的综合评价法进行鉴定^[9-13]。

相对发芽率、干旱伤害率、相对发芽指数、种子萌发抗旱指数、种子活力抗旱指数 5 种方法主要以发芽率为评价依据,评价结果一致性较好,其中相对

发芽率、干旱伤害率分别以规定天数内发芽数和未发芽数为评价依据,评价结果完全一致;相对发芽指数是以规定天数内平均每天发芽数的累加和为依据,较相对发芽率能更加明显地反映种子活力下降的程度^[11],但需要每天调查发芽数。本研究中雁黍 7 号与榆黍 3 号发芽率均为 0.5725,相对发芽指数分别为 0.4062、0.4344,说明榆黍 3 号较雁黍 7 号种子活力较强。种子萌发抗旱指数与活力抗旱指数相关性极高,后者较前者又增加一个参评指标,能更可靠地评价作物芽期的抗旱性^[12-13],但两者计算较繁琐。

综合抗旱系数法、平均隶属函数值法、加权隶属函数值法、灰色关联度分析用于综合评价作物

的抗旱性,已广泛应用于小麦、水稻、玉米、大豆等作物抗旱性评价中^[9,15-18,21]。灰色关联度分析要以参考序列为基准来分析与其他序列的关联度,依此评价作物的抗旱性,在小麦^[9]、玉米^[21]等作物中有对照品种作为参考序列,评价结果可靠。本研究在没有对照品种的情况下,以所有材料各性状的最大值构建了一个理想品种作为参考序列,分析结果较其他方法差异大,原因可能在于理想品种与实际品种性状差异太大,影响分析结果。加权隶属函数值法较综合抗旱系数、平均隶属函数法既考虑了各指标间的相互关系,又考虑到各指标的重要性,从而使得出的结论与实际结果更为接近^[17,22]。因此,本研究认为糜子(黍稷)芽期快速鉴定可利用相对发芽率、综合鉴定与评价以加权隶属函数值法较可靠。

3.2 抗旱性鉴定指标

作物抗旱鉴定指标概括起来主要有农艺性状指标、生理生化指标^[15-19]。近年来相关抗旱基因、蛋白的研究更能确切地分析鉴定作物的抗旱性^[20,23-24],在糜子中已有抗旱节水相关基因 *PmMYB* 的报道^[2]。糜子芽期抗旱鉴定指标仅有张盼盼等^[6]采用 PEG6000 模拟干旱胁迫条件下,研究了不同糜子品种(系)芽期的芽长、芽鞘长、胚根长、根干重、芽干重等性状的变化,认为相对发芽率、相对根长、相对芽干重、相对芽鞘长、相对芽长和相对根干重可作为糜子芽期抗旱性的鉴定指标,本研究结合两类抗旱性评价方法,筛选出贮藏物质相对转运率、相对根干重、相对芽干重、相对发芽率可作为一级抗旱鉴定指标,与其研究基本相符。

3.3 抗旱品种筛选

不同作物品种对干旱的适应能力有较大差异,在干旱条件下抗旱品种产量比较稳定,因此旱作农业区品种选育非常重视品种的抗旱性。由于野生近缘种和农家品种在长期适应过程中具有较好的抗旱性,尽管存在产量低、植株高、抗病性差等不良性状,育种实践中常常被用作亲本材料来选育强抗旱品种。本研究筛选出3个强抗旱性品种晋黍2号、陇糜5号和陇糜8号,其中晋黍2号是从农家品种天镇黍子中系选育的,陇糜5号是用会宁野糜子作亲本创制的中间材料和农家品种杂交选育而成的,而陇糜8号是经过多年水旱条件下的穿梭选育,因此这些品种不仅抗旱性强,也具有较好的丰产性和适

应性,在生产上得到大面积应用。

参考文献

- [1] 江龙. 作物抗旱性的研究方法[J]. 贵州农业科学, 1999, 27(5): 70-72
- [2] 胡银岗, 林凡云, 王士强, 等. 糜子抗旱节水相关基因 *PmMYB* 的克隆及表达分析[J]. 遗传, 2008, 30(3): 373-379
- [3] 贾根良, 代惠萍, 冯佰利, 等. PEG 模拟干旱胁迫对糜子幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2073-2079
- [4] 山仑, 郭礼坤. 春播谷类作物成苗期间的抗旱性及其需水条件[J]. 作物学报, 1984, 10(4): 257-263
- [5] 王纶, 温琪汾, 曹厉萍, 等. 黍稷抗旱种质筛选及抗旱机理研究[J]. 山西农业科学, 2007, 35(4): 31-34
- [6] 张盼盼, 冯佰利, 王鹏科, 等. 糜子芽期抗旱性指标鉴定与利用研究[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 22-27
- [7] 张盼盼, 冯佰利, 王鹏科, 等. 干旱条件下糜子叶片衰老与保护酶活性变化[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 99-103
- [8] 冯晓敏, 张永清. 水分胁迫对糜子植株苗期生长和光合特性的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1513-1521
- [9] 杨子光, 张灿军, 冀天会, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究IV: 萌发期抗旱指标的比较研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 173-176
- [10] 曹俊梅, 周安定, 吴新元, 等. 不同基因型冬小麦抗旱性鉴定及相关抗旱指标分析[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(12): 2157-2164
- [11] 鲁守平, 孙群, 洪露, 等. 不同种源地乌拉尔甘草发芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(2): 189-194
- [12] 张健, 池宝亮, 黄雪芳, 等. 以活力抗旱指数作为玉米萌芽期抗旱性评价指标的初探[J]. 华北农学报, 2007, 22(1): 22-25
- [13] 陈波, 张燕, 蔡光泽, 等. 攀西地区玉米地方品种萌芽期抗旱性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 58-63
- [14] Bouslama M. Stress tolerance in soybeans[J]. Evaluation Crop Sci, 1984, 24: 933-937
- [15] 贾寿山, 朱俊刚, 王曙光, 等. 山西小麦地方品种萌发期的抗旱性[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 213-217
- [16] 严明建, 黄文章, 胡景涛, 等. 应用隶属函数法鉴定水稻的抗旱性[J]. 杂交水稻, 2009, 24(5): 76-79
- [17] 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
- [18] 李贵全, 李慧峰, 张海燕, 等. 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
- [19] 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
- [20] 栗文娟, 刘志斋, 石云素, 等. 基于元分析和生物信息学分析的玉米抗旱相关性状 QTL 一致性区间定位[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1457-1467
- [21] 张文英, 柳斌辉, 杨国航, 等. 玉米不同时期抗旱性鉴定指标的灰色关联度与聚类分析[J]. 华北农学报, 2008, 23(S): 96-98
- [22] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆材料抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412
- [23] Srividhya A, Vemireddy L R, Ramanarao P V, et al. Molecular mapping of QTLs for drought related traits at seedling stage under PEG induced stress conditions in rice [J]. Am J Plant Sci, 2011, 2: 190-201
- [24] 张洁, 谢惠民, 吕树作, 等. 水分胁迫条件下冬小麦幼苗应答蛋白的表达及其与品种抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 303-308