

糜子育成品种成株期抗旱性鉴定与评价

何继红¹, 刘天鹏^{1,2}, 董孔军¹, 刘敏轩³, 陆平³, 任瑞玉¹, 张磊¹, 杨天育^{1,2}

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

³ 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 在年降雨量不足 40 mm 的甘肃省敦煌市, 采用大田干旱胁迫法对我国不同地区育成的 56 份糜子品种成株期抗旱性进行了鉴定。结果表明, 成株期干旱胁迫对糜子主茎节数、单株有效穗数、单株草重、主穗长、千粒重、比叶重影响不显著, 而对株高、单株穗重、单株粒重、小区产量、旗叶面积、叶面积指数、生育期影响达到了极显著水平, 干旱胁迫处理后株高降低了 14.08 cm, 单株穗重、单株粒重和小区产量分别下降 2.65 g、2.19 g 和 86.18 g, 旗叶面积和叶面积指数分别减少 9.36 cm² 和 1.21, 生育期延长了 11.68 d; 以抗旱指数和抗旱性综合评价 D 的聚类结果为依据, 筛选出成株期 1 级抗旱品种 2 份: 陇糜 2 号、陇糜 10 号; 经灰色关联度分析, 旗叶面积、千粒重、单株有效穗数、小区产量均与抗旱指数、抗旱性综合评价 D 的关联度较大, 可作为成株期抗旱评价指标。

关键词: 糜子; 成株期; 抗旱性; 综合评价

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

HE Ji-hong¹, LIU Tian-peng^{1,2}, DONG Kong-jun¹, LIU Min-xuan³, LU Ping³, REN Rui-yu¹,

ZHANG Lei¹, YANG Tian-yu^{1,2}

(¹ Crop Research Institute, Gansu Province Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

² Life Science and Technology College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070;

³ Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Drought resistance identification of 56 broomcorn millet cultivars at adult stage was carried out by water stress in field in Dunhuang city Gansu province, where annual rainfall is less than 40 mm. The result showed that there was no significant to nodes of main stem, panicles per plant, straw weight per plant, main panicle length, 1000-grain weight, specific leaf weight, but reached great significant level in plant height, spike weight per plant, grain weight per plant, yield per plot, flag leaf area, leaf area index and growth period duration. After water stress, the plant height reduced 14.08 cm; spike weight per plant, grain weight per plant and yield per plot decreased 2.65 g, 2.19 g and 86.18 g separately; Flag leaf area and leaf area index reduced 9.36 cm² and 1.21; growth period duration prolonged 11.68 days. On the basis of cluster analysis of drought resistance index and comprehensive evaluation value D, two cultivars, Longmei No. 2 and Longmei No. 10 was screened as a class of drought resistant cultivar. By gray correlation analysis, flag leaf area, 1000-grain weight, panicles per plant and yield per plot can be used as the drought identification index at adult stage.

Key words: broomcorn millet; adult stage; drought resistance; comprehensive evaluation

收稿日期: 2014-12-09 修回日期: 2015-01-14 网络出版日期: 2015-12-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20151209.0938.050.html>

基金项目: 国家自然科学基金(31460381); 国家现代农业产业技术体系(CARS-07-12.5-A5); 国家科技支撑计划(2014BAD07B03)

第一作者主要从事小杂粮育种与种质资源研究。E-mail: hjh68-821@163.com; 刘天鹏为共同第一作者

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

干旱已成为我国乃至世界广大粮食产区重要的环境胁迫,是限制作物生产发展的重要因素^[1-2]。生物节水作为实现旱作农业可持续发展的重要途径,较之农艺节水、工程节水和管理节水有着独特的优势^[3]。生物节水利用植物自身的抗旱节水遗传潜力,在获得相同产量的条件下消耗较少的水分,或者在消耗相同水分的条件下获得较高的产量^[4],其研究热点就是挖掘并利用作物抗旱节水优异基因资源,提高作物的抗旱性和水分利用效率^[5]。因此,鉴定和评价作物种质资源的抗旱性,筛选抗旱品种,挖掘抗旱基因,对于缓解水资源危机,保障国家粮食安全、生态安全和社会可持续发展具有重要意义。

糜子(*Panicum milaceum* L.)具有抗旱耐瘠的特性,适宜于干旱少雨、土壤瘠薄、无霜期短的地区种植^[6]。糜子在印度、俄罗斯、日本、乌克兰、中东、土耳其、罗马尼亚、美国等国家一直有广泛的栽培^[6-7],国内主要集中在长城沿线地区和黑龙江、吉林等地区,是我国北方旱区的特色作物^[8-10]。由于具有较强的抗旱性,糜子也成为研究作物抗旱机理、挖掘抗旱基因资源和发展现代节水农业极有利用价值的一种作物,但糜子抗旱性研究远远落后于小麦、玉米、水稻、大豆等作物,且少数研究主要集中在萌芽期^[11]和苗期^[12-13]抗旱生理、生化等方面,对成株期的抗旱性研究未见报道。糜子成株期(抽穗至成熟)^[14]是其生长发育过程中干物质合成、转化、运输、积累的关键时期,直接决定着最终产量的形成,研究成株期抗旱性对认识糜子抗旱机理、挖掘强抗旱资源、促进糜子育种和栽培研究都十分必要。本研究利用敦煌年降雨量少、日蒸发量大、气候干燥的自然条件,采用大田干旱胁迫鉴定法,对我国不同地区育成的 56 份糜子品种进行了成株期抗旱性鉴定与评价,旨在为糜子抗旱性研究及抗旱资源利用提供一定的科学依据和材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以我国糜子主栽区育成的 56 份糜子品种为试验材料。

1.2 试验方法

试验设在年降水量不足 40 mm 的甘肃省敦煌市甘肃省农业科学院敦煌试验站,设干旱胁迫和正常灌水 2 个处理,以正常灌水处理为对照,3 次重复,完全随机区组排列,小区面积为 2.7 m² (2 行区,行宽 30 cm,行长 4.5 m),播种密度为 30 万株/hm²。

干旱胁迫处理播前、拔节期各灌 1 次水,以保证苗齐苗全且抽穗前不受干旱胁迫;正常灌水处理分别在播前、拔节期、抽穗期各灌水 1 次。每次灌水量均为 60 mm。

分别在出苗期、抽穗期和成熟期采用 5 点式取样法,分层测定 0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm、61~80 cm、81~100 cm 的土壤含水量。生育期内记录物候期;糜子成熟后每小区取样 10 株,测定株高、主茎节数、单株有效穗数、主穗长、单株穗重、单株粒重、千粒重、单株草重^[6],灌浆期测定叶面积指数、旗叶面积、比叶重;收获后测定小区产量。

1.3 抗旱性评价

抗旱性直接评价以抗旱指数^[15]为评价依据,以其聚类结果为分级依据;抗旱性综合评价^[16]以其综合评价 D 的聚类结果为依据;抗旱指标筛选以灰色关联度分析结果为依据。

$$\text{抗旱指数 } DI = \frac{Y_d}{Y_w} \times \frac{Y_d}{Y_{ad}}$$

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

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

$$\text{抗旱性综合评价 } D = \sum_{i=1}^n \left[\mu(x) \times \left(|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i| \right) \right]$$

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

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

式中:TR_{imax}、TR_{imin} 为各相对性状最大值、最小值, r_i 为第 i 个指标的贡献率, $|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|$ 为第 i 个指标在所有综合指标中的重要程度,表示第 i 个指标在所有指标中的重要程度; $\Delta_{oi}(k)$ 表示 k 时刻两比较序列的绝对差,即 $\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$, 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 数据分析

数据处理及分析采用 Excel 2010、SPSS 13.0、DPS 17.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 糜子生育期内干旱胁迫处理的土壤水分变化

从图 1 可见,0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm、

61~80 cm、81~100 cm 5 个土壤层次苗期干旱胁迫处理土壤水分变化与对照基本相同,抽穗期干旱胁迫处理土壤水分明显低于对照,而成熟期对照略高于干旱胁迫处理,说明两处理土壤水分的差异主要在成株期(抽穗期至成熟期)。对照处理抽穗期不同土层土壤水分均大于 9%,干旱胁迫处理抽穗期除 81~100 cm 外,0~80 cm 土壤水分均低于 8%,且 0~20 cm 土壤水分小于 6.5%,根据 0~20 cm 土壤相对含水量小于 30%,即土壤含水量小于 7.5% 达到了特重旱程度^[17-18],说明糜子成株期干旱处理是有效的。

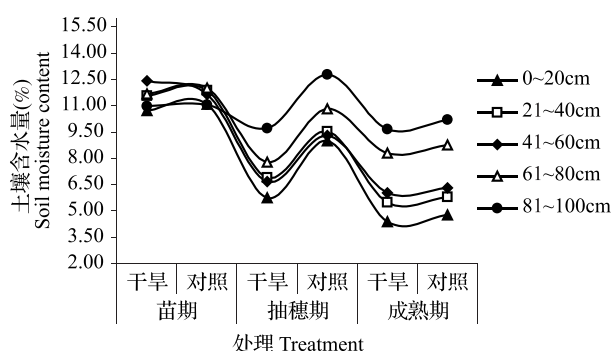


图 1 糜子不同生育阶段 0~100 cm 土壤水分变化

Fig. 1 Soil moisture content in 0-100 cm layer at Broomcorn millet different growth stages

2.2 成株期干旱胁迫处理对糜子生长发育的影响

从表 1 可以看出,在正常水分条件下 56 份糜子品种除单株有效穗数和主穗长 2 个性状差异不显著外,其余性状差异达到了极显著水平,说明参试品种类型丰富。干旱胁迫处理后参试材料所有考察性状差异均达到了极显著水平,说明供试材料适于进行抗旱性鉴定。配对分析结果显示,除糜子主茎节数、单株有效穗数、单株草重、主穗长、千粒重、比叶重外,株高、单株穗重、单株粒重、旗叶面积、叶面积指数、生育期和小区产量 7 个性状差异均达到极显著水平,干旱胁迫处理后株高降低了 14.08 cm,主穗长缩短 0.83 cm,旗叶面积减小 9.36 cm²,可以看出干旱胁迫处理不同程度的影响了糜子的形态建成;从产量构成因素也可以看出,单株有效穗数减少了 1.23 个,单株穗重、单株粒重、千粒重和小区产量分别减少了 2.65 g、2.19 g、0.06 g、86.18 g,说明干旱胁迫对糜子最终产量形成影响极大。从表 1 还可以看出,干旱胁迫后比叶重增加了 0.0002 g/cm²,叶面积指数降低了 1.21,糜子成株期受干旱胁迫叶片有加厚现象,光能利用率降低;生育期干旱胁迫后有延长现象,这与刘天鹏等^[19]试验结果一致。

2.3 糜子育成品种成株期抗旱性评价

作物抗旱性评价最终是以评价方法的参数值来划分抗旱级别的。依据抗旱指数聚类结果(图 2),对 56 份糜子育成品种成株期的抗旱级别进行划分,其中 1~5 级抗旱品种分别占参试品种的 3.57%、10.71%、44.64%、25.00%、16.07%;以抗旱指数为判定标准,1 级和 2 级抗旱的品种有陇糜 2 号、陇糜 10 号、蒙梗糜 1 号、宁糜 5 号、陇糜 4 号、陇糜 5 号、陇糜 9 号、龙黍 21 号(表 2)。依据权重隶属函数值的聚类结果(图 3),对 56 份糜子育成品种成株期的抗旱级别进行划分,其中 1~5 级抗旱品种分别占参试品种的 1.79%、17.86%、16.07%、32.14%、32.14%;以权重隶属函数为判定标准,1 级和 2 级抗旱的品种有陇糜 2 号、陇糜 10 号、蒙梗糜 1 号、宁糜 5 号、宁糜 15 号、吉 18、陇糜 7 号、吉 12、辽糜 3 号、宁糜 17 号、吉 11(表 2)。依据 2 种方法评价,筛选出 1 级抗旱品种 2 份,分别为陇糜 2 号、陇糜 10 号,2 个抗旱品种在正常灌水和干旱胁迫不同处理后的产量变化较小,单株有效穗数、单株穗重、单株粒重、千粒重等产量构成性状差异较小,而且旗叶面积和比叶重变化等影响光合产物形成的性状也较小(表 1)。

从图 2、图 3 也可以看出,2 级以上抗旱品种主要来源于甘肃、宁夏、吉林、内蒙古、辽宁地区,其中尤以甘肃育成品种所占比例最大,这可能与品种选育所处的自然生态条件有关,反映出品种对环境长期选择的适应性。甘肃、宁夏、吉林、内蒙古、辽宁地区选育品种多以干旱生境为主,在长期干旱条件下选育的品种对于干旱环境又较强的适应性,因此多数育成品种表现出较强的抗旱性。

2.4 糜子成株期抗旱鉴定指标与抗旱性相关性

成株期作物抗旱性的强弱最终要以产量高低来衡量,抗旱指数作为以产量为依据的作物抗旱性直接评价方法,在小麦、水稻、玉米等作物上被公认为有效的评价标准。本研究分别以抗旱指数、权重隶属函数值为参考序列,对株高、主茎节数、主穗长、单株有效穗数、单株穗重、单株粒重、单株草重、千粒重、生育期、旗叶面积、比叶重、叶面积指数、小区产量进行灰色关联度分析(表 3),结果表明旗叶面积、千粒重、单株有效穗数、小区产量与抗旱指数、抗旱性综合评价 D 两种评价方法参数值的关联度位次均居前列,而其余指标的关联度位次在两种抗旱性评价方法间变化较大,说明干旱胁迫下旗叶面积、千粒重、单株有效穗数、小区产量均与糜子成株期抗旱性有密切的相关性,4 项指标值可以作为糜子成株期鉴定抗旱性强弱评价的指标。

表 1 糜子成株期抗旱鉴定指标统计参数

Table 1 Statistic parameters of drought resistance traits at broomcorn millet adult stage

处理 Treatment	参数 Parameter	株高 (cm) Plant height	主茎 节数 Nodes of main stem	小区 产量 (g) Yield per plot	单株有 效穗数 Panicles per plant	单株 草重(g) Straw weight per plant	主穗长 (cm) Main panicle length	单株 穗重(g) Spike weight per plant	单株 粒重(g) Grain weight per plant	千粒重 (g) 1000- grain weight	旗叶 面积 (cm ²) Flag leaf area	比叶重 (g/cm ²) Speci fic leaf weight	叶面积 指数 Leaf area index	生育 期(d) Period of duration
胁迫 Stress	平均值 Average	160.60	7.96	759.50	2.32	15.73	34.45	9.38	6.30	6.05	34.04	0.0075	3.99	123.2
	标准差 SD	14.42	0.51	177.46	0.38	5.48	3.42	2.61	2.00	0.72	7.43	0.0010	0.53	6.71
	变异系数(%) CV	8.98	6.41	23.37	16.38	34.84	9.93	27.83	31.75	11.90	21.83	13.33	13.28	5.45
	F 值 F value	111.32**	1.80**	6.78**	2.62**	4.17**	3.23**	6.16**	7.68**	15.74**	15.56**	3.26**	82.74**	134.92**
	平均数 Average	174.67	7.91	845.68	2.45	15.37	35.27	12.03	8.50	6.11	43.40	0.0073	5.20	111.5
对照 CK	标准差 SD	12.35	0.54	229.20	0.90	4.17	2.87	2.50	1.99	0.72	6.55	0.0007	0.53	4.86
	变异系数(%) CV	7.07	6.83	27.10	36.73	27.13	8.14	20.78	23.41	11.78	15.09	9.59	10.19	4.36
	F 值 F value	28.19**	1.92**	12.69**	0.96	2.33**	1.32	4.84**	8.90**	15.37**	12.86**	15.27**	82.93**	70.80**
	差数平均数 DJ	-14.08	0.05	-86.18	-1.23	0.36	-0.83	-2.65	-2.19	-0.06	-9.36	0.0002	-1.21	11.68
	标准差 SD	11.68	0.51	205.83	0.89	4.47	3.97	3.58	2.70	0.29	9.14	0.0012	0.67	4.82
胁迫-对照 Stress-CK	差数标准误差 SE	1.56	0.07	27.51	0.12	0.60	0.53	0.48	0.36	0.04	1.22	0.0002	0.09	0.64
	t 值 t-value	-9.02**	0.78	-3.13**	-1.08	0.60	-1.56	-5.56**	-6.08**	-1.54	-7.66**	1.26	-13.43**	18.13**

* 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, the same as below

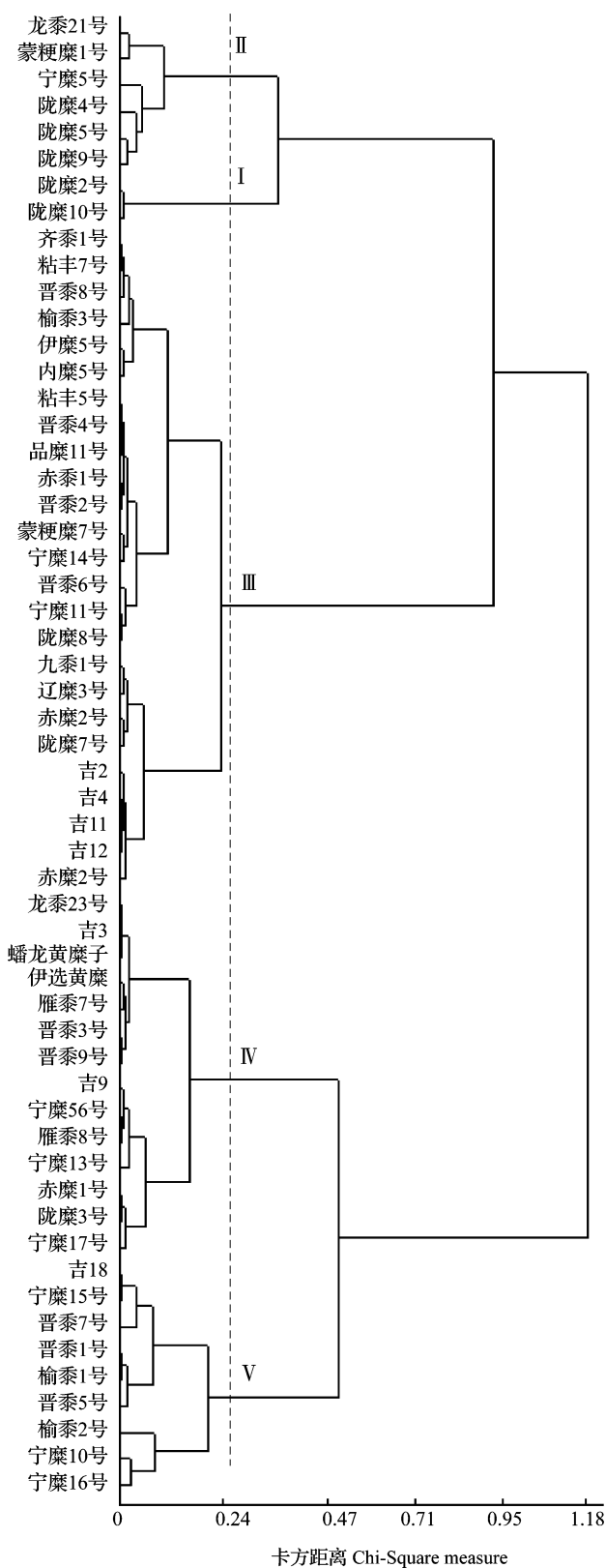


图2 以抗旱指数为依据的 56 份
糜子品种系统聚类图

Fig. 2 System cluster of 56 Broomcorn millet
cultivars by drought resistance index

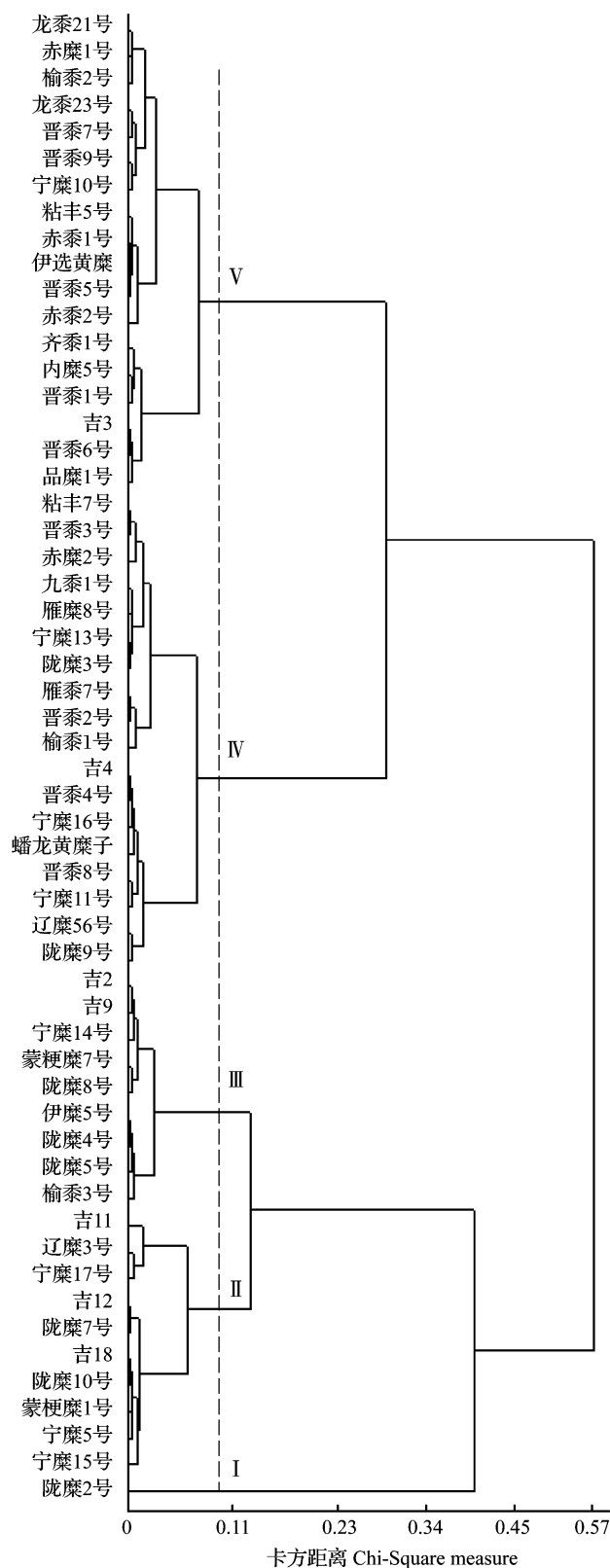


图3 以抗旱性综合评价值 D
为依据的 56 份糜子品种系统聚类图

Fig. 3 System cluster of 56 Broomcorn millet
cultivars by comprehensive evaluation value

表 2 56 份育成糜子品种名称、来源、粳糯性及抗旱性评价参数值

Table 2 The name, origin, trueness-waxyiness and drought resistance evaluation valve of 56 broomcorn millet cultivars

序号 No.	名称 Cultivar	来源 Origin	粳糯性 Trueness or waxyiness	抗旱指数/级别 DI/grade	权重隶属函数值/级别 Comprehensive evaluation valve D/grade
1	龙黍 21 号	黑龙江	糯	1. 2902/2	0. 2569/5
2	龙黍 23 号	黑龙江	糯	0. 8315/4	0. 2785/5
3	齐黍 1 号	黑龙江	糯	0. 9184/3	0. 3213/5
4	粘丰 5 号	黑龙江	糯	1. 0091/3	0. 2928/5
5	粘丰 7 号	黑龙江	糯	0. 9179/3	0. 3830/4
6	九黍 1 号	吉林	糯	1. 1567/3	0. 3654/4
7	吉 2	吉林	糯	1. 0854/3	0. 4702/3
8	吉 3	吉林	糯	0. 8313/4	0. 3295/5
9	吉 4	吉林	糯	1. 0958/3	0. 4106/4
10	吉 9	吉林	糯	0. 6725/4	0. 4742/3
11	吉 11	吉林	糯	1. 0962/3	0. 5965/2
12	吉 12	吉林	糯	1. 0977/3	0. 5316/2
13	吉 18	吉林	糯	0. 4859/5	0. 5213/2
14	辽糜 3 号	辽宁	糯	1. 1733/3	0. 5628/2
15	辽糜 56 号	辽宁	糯	0. 6792/4	0. 4217/4
16	赤黍 1 号	内蒙古	糯	0. 9962/3	0. 2881/5
17	赤黍 2 号	内蒙古	糯	1. 1341/3	0. 2994/5
18	赤糜 1 号	内蒙古	粳	0. 7408/4	0. 2628/5
19	赤糜 2 号	内蒙古	粳	1. 1085/3	0. 3912/4
20	伊选黄糜	内蒙古	糯	0. 8121/4	0. 2888/5
21	伊糜 5 号	内蒙古	粳	0. 9602/3	0. 4470/3
22	内糜 5 号	内蒙古	粳	0. 9489/3	0. 3158/5
23	蒙粳糜 1 号	内蒙古	粳	1. 3369/2	0. 5164/2
24	蒙粳糜 7 号	内蒙古	粳	0. 9880/3	0. 4640/3
25	雁黍 7 号	山西	糯	0. 8195/4	0. 3516/4
26	雁黍 8 号	山西	糯	0. 6798/4	0. 3686/4
27	晋黍 1 号	山西	糯	0. 5695/5	0. 3110/5
28	晋黍 2 号	山西	糯	1. 0004/3	0. 3511/4
29	晋黍 3 号	山西	糯	0. 8047/4	0. 3813/4
30	晋黍 4 号	山西	糯	1. 0066/3	0. 4110/4
31	晋黍 5 号	山西	糯	0. 5409/5	0. 2899/5
32	晋黍 6 号	山西	糯	1. 0272/3	0. 3314/5
33	晋黍 7 号	山西	糯	0. 4267/5	0. 2827/5
34	晋黍 8 号	山西	糯	0. 9301/3	0. 3989/4
35	晋黍 9 号	山西	糯	0. 8014/4	0. 2738/5
36	品糜 1 号	山西	粳	1. 0059/3	0. 3272/5
37	榆黍 1 号	陕西	糯	0. 5652/5	0. 3602/4
38	榆黍 2 号	陕西	糯	0. 2094/5	0. 2601/5
39	榆黍 3 号	陕西	糯	0. 8907/3	0. 4408/3
40	蟠龙黄糜子	陕西	粳	0. 8320/4	0. 4159/4
41	宁糜 5 号	宁夏	粳	1. 5809/2	0. 5187/2
42	宁糜 10 号	宁夏	粳	0. 3641/5	0. 2706/5
43	宁糜 11 号	宁夏	粳	1. 0440/3	0. 4036/4
44	宁糜 13 号	宁夏	粳	0. 6454/3	0. 3724/4
45	宁糜 14 号	宁夏	粳	0. 9792/3	0. 4785/3
46	宁糜 15 号	宁夏	糯	0. 4895/5	0. 5076/2
47	宁糜 16 号	宁夏	粳	0. 3227/5	0. 4088/4
48	宁糜 17 号	宁夏	粳	0. 7222/4	0. 5728/2
49	陇糜 2 号	甘肃	粳	1. 9704/1	0. 8769/1
50	陇糜 3 号	甘肃	粳	0. 7362/4	0. 3709/4
51	陇糜 4 号	甘肃	粳	1. 4037/2	0. 4484/3
52	陇糜 5 号	甘肃	粳	1. 4721/2	0. 4456/3
53	陇糜 7 号	甘肃	粳	1. 1453/3	0. 5297/2
54	陇糜 8 号	甘肃	粳	1. 0427/3	0. 4593/3
55	陇糜 9 号	甘肃	粳	1. 5095/2	0. 4263/4
56	陇糜 10 号	甘肃	粳	1. 9610/1	0. 5233/2

表 3 抗旱鉴定指标与抗旱性评价参数间的关联度及位次
Table 3 Association degree and order among drought resistance identification valve

项目 Item	关联度/位次 Association degree/order	
	抗旱指数	抗旱性综合
	DI	评价值 D
株高 Plant height	0.7401/4	0.6909/10
主茎节数 Nodes of main stem	0.6868/8	0.6882/11
主穗长 Main panicle length	0.6936/7	0.7303/6
单株有效穗数 Panicles per plant	0.7472/3	0.7635/2
单株穗重 Spike weight per plant	0.6730/9	0.7486/4
单株草重 Straw weight per plant	0.6610/12	0.6466/13
单株粒重 Grain weight per plant	0.6537/13	0.7012/8
生育期 Period of duration	0.6643/10	0.6947/9
千粒重 1000-grain weight	0.7655/2	0.7617/3
旗叶面积 Flag leaf area	0.7880/1	0.8073/1
比叶重 Specific leaf weight	0.7090/5	0.6708/12
叶面积指数 Leaf area index	0.6631/11	0.7413/5
小区产量 Yield per plot	0.6958/6	0.7014/7

3 讨论与结论

3.1 抗旱性鉴定方法

作物抗旱性鉴定方法,可以根据不同的研究目标,在不同环境条件下对作物前期、中期、后期和全生育期的抗旱性进行鉴定^[20-21]。采用高渗溶液法适用于芽期快速地对大批量供试材料进行抗旱性鉴定,采用盆栽、水泥池、干旱棚、温室、生长箱等控制水分创造干旱胁迫条件,对作物中后期及全生育期抗旱性鉴定具有结果可靠、重复性好等特点,这些方法在小麦、水稻、玉米等作物上被广泛采用^[22-24]。以自然降水造成干旱胁迫,在大田条件下直接按照作物产量或生长状况来评价供试材料的抗旱性,虽然受环境的影响较大,重复性较差,但简便易行,既能真实地反映作物在干旱条件下的生长状况,又有产量指标,因此目前常被育种工作者用作鉴定作物全生育期抗旱性的主要方式^[1]。糜子抗旱性鉴定的研究主要在芽期和幼苗期,如张盼盼等^[11]利用高渗溶液模拟干旱胁迫研究了糜子芽期的抗旱性,王纶等^[25]采用苗期反复干旱法对山西 500 份糜子种质资源的抗旱性进行鉴定与评价,冯晓敏等^[13]采用盆栽方法研究了糜子不同品种苗期干旱条件下的形

态和生理特性,而对糜子成株期抗旱性的研究未见报道。本研究利用干旱胁迫法在大田对 56 份糜子育成品种的抗旱性进行了鉴定,通过不同土层土壤水分变化动态的监测、干旱胁迫和正常供水不同处理下糜子生长发育状况的比较,结果显示在成株期采用干旱胁迫处理大田直接鉴定糜子抗旱性是有效的和可行的。

3.2 抗旱鉴定指标

研究表明,萌芽期、苗期和成株期一些形态指标和生理生化指标可以作为作物抗旱性鉴定的指标,如小麦、玉米、水稻等^[16,26-28]作物在萌发期采用胚根长、胚根干重、胚芽长、芽干重、发芽率、发芽势、贮藏物质转运率等作为抗旱性鉴定的指标;在苗期采用根干重、根体积、根相对生长量、叶龄、叶面积、苗高、地上部干重、地下部干重、根冠比、幼苗干旱存活率等作为抗旱性鉴定指标;在成株期以单株干物重、单位面积穗数、单株粒重、叶面积、单株分蘖数、穗实粒数、千粒重、株高、单株有效穗数等作为抗旱性鉴定指标;以叶片水势、叶片相对含水量、叶片相对电导率、叶绿素含量、光合速率、蒸腾速率、气孔导度、SOD、POD、CAT、MDA、脯氨酸含量、等生理生化指标作为不同生育时期的抗旱性鉴定指标^[29-32]。研究者在糜子抗旱性鉴定指标方面也进行了研究,如提出胚芽鞘长可作为芽期抗旱鉴定指标^[11],抗氧化酶活性^[33]以及叶绿素荧光参数 Fv、Fm、Fv/Fm 等指标的变化可鉴定糜子苗期旱抵御能力^[13]。糜子成株期抗旱性指标的研究尚未见报道,本研究以抗旱指数、抗旱性综合评价值 D 为依据,对 13 个考察指标经灰色关联度分析,结果显示旗叶面积、千粒重、单株有效穗数、小区产量均与二者关联度较大,其中旗叶面积、千粒重、单株有效穗数 3 项指标均位居前三,与糜子成株期抗旱性最为密切。由于倒一叶、倒二叶、倒三叶是禾谷类作物成株期光合作用的主要器官,特别是旗叶(倒一叶)为成熟期光合产物形成的主要部位^[34],直接影响到最终经济产量,而子粒是光合产物的贮藏器官,通过千粒重、小区产量可以表现出来,单株有效穗数反映干旱胁迫下抽穗至成熟期的糜子成穗能力和干物质有效积累能力^[35],因此,旗叶面积、千粒重、单株有效穗数、小区产量 4 项指标可以作为简单、易行的糜子成株期抗旱性强弱判定依据。

3.3 抗旱性分级标准

在抗旱性鉴定方法科学合理的条件下,作物抗旱性强弱的判定要有相应的分级标准才能区分不同

品种间的抗旱性差异。研究者因选用的材料、评价的方法、分级的标准等不同,同一批材料抗旱性分类结果也不尽相同。本研究以抗旱指数为依据,按照标准偏差分级法^[36]将糜子抗旱性划分为5级,1级抗旱($DI \geq 1.6504$)、2级抗旱($1.2972 \leq DI < 1.6504$)、3级抗旱($0.5908 \leq DI < 1.2972$)、4级抗旱($0.2377 \leq DI < 0.5908$)、5级抗旱($DI < 0.2377$)品种分别占参试品种的3.57%、8.93%、71.43%、14.29%、1.79%;按照逐级分类法^[37]将糜子抗旱性划分为5级,1级抗旱($DI > 1.2972$)、2级抗旱($1.2972 \leq DI < 1.0477$)、3级抗旱($0.7671 \leq DI < 1.0477$)、4级抗旱($0.5908 \leq DI < 0.7671$)、5级抗旱($DI < 0.5908$)品种分别占参试品种的21.43%、8.93%、41.07%、12.50%、16.07%;依据聚类结果将糜子抗旱性划分为5级,1级抗旱、2级抗旱、3级抗旱、4级抗旱、5级抗旱品种分别占参试品种的3.57%、10.71%、44.64%、25.00%、16.07%,可以看出采用不同的分类标准,抗旱性分级差别较大,说明糜子抗旱性评价不仅要方法科学,并且要有合理的分类标准。祁旭升等^[16]提出采用抗旱性度量值结合卡方距离、可变类平均法的系统聚类分析可兼顾各指标间的相互关系和重要性,具有可比性,本研究亦采用此方法对56份糜子成株期抗旱性进行了分类,其结果能够较客观的划分糜子的抗旱性强弱。

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] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions[M]. Drought: A global assessment. London & New York: Routledge, 2000: 3-9
- [3] 陈兆波. 生物节水研究进展及发展方向[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1456-1462
- [4] 山仑, 邓西平, 苏佩, 等. 挖掘作物抗旱节水潜力——作物对多变低水环境的适应与调节[J]. 中国农业科技导报, 2000(2): 66-70
- [5] 景蕊莲. 作物抗旱节水研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 1-5
- [6] 王星玉, 王纶, 崔彩霞, 等. 黍稷种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1-5
- [7] Hu X Y, Wang J F, Lu P, et al. Assessment of genetic diversity in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) using SSR markers[J]. J Genet Genom, 2009, 36: 491-500
- [8] Zarnkow M, Faltermaier A, Back W, et al. Evaluation of diVerent yeast strains on the quality of beer produced from malted proso millet (*Panicum miliaceum* L.) [J]. Eur Food Res Technol, 2010, 231: 287-295
- [9] 徐晓艺, 刘敏, 郝明远, 等. 糜子高产栽培技术及用途[J]. 粮食作物, 2010(10): 171-172
- [10] 柴岩. 糜子[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 2-3
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 董立, 马继芳, 董志平, 等. 谷子病虫害防治原色生态图谱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 97-101
- [15] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞, 等. 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
- [16] 祁旭升, 王兴荣, 许军, 等. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087
- [17] 高桂霞, 许明丽, 唐继业. 干旱指标及等级划分方法研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 5301-5305
- [18] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991
- [19] 刘天鹏, 董孔军, 何继红, 等. 不同生育阶段灌水处理对糜子农艺性状及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 213-216
- [20] 任永波, 吴中军, 段拥军. 作物抗旱研究方法与抗旱性鉴定指标[J]. 西昌农业高等专科学校学报, 2001, 15(1): 1-6
- [21] 张灿军, 冀天会, 杨子光, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 I 鉴定方法及评价指标[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 226-230
- [22] 景蕊莲, 吕小平. 用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(4): 292-296
- [23] Yoichiro Kato, Sawa Hirotsu, Keisuke Nemoto, et al. Identification of QTLs controlling rice drought tolerance at seedling stage in hydroponic culture[J]. Euphytica, 2008, 160: 423-430
- [24] 钱晓刚, 李家敏, 何金钊, 等. 贵州省常用杂交玉米品种萌芽期抗旱性评价研究[J]. 种子, 2004, 23(12): 32-35
- [25] 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
- [26] 赵红梅, 郭程瑾, 段巍巍, 等. 小麦品种抗旱性评价指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(1): 76-81
- [27] 罗淑平. 玉米抗旱性及鉴定指标的相关分析[J]. 干旱地区农业研究, 1990(3): 72-78
- [28] 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
- [29] He C M, Zhang W W, Gao Q, et al. Enhancement of drought resistance and biomass by increasing the amount of glycine betaine in wheat seedling[J]. Euphytica, 2011, 177: 151-167
- [30] 周伟, 侯建华, 高志军. 玉米芽苗期抗旱性鉴定指标的选取[J]. 玉米科学, 2008, 16(5): 66-69
- [31] 武仙山, 吕小平, 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
- [32] 张春霞, 谢惠民, 王婧, 等. 小麦品种叶片水势与抗旱节水性的关系[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 453-459
- [33] Dai H P, Zhang P P, Lu C, et al. Leaf senescence and reactive oxygen species metabolism of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) under drought condition[J]. Au J Crop Sci, 2011, 5(12): 1655-1660
- [34] 于振文, 赵明, 王伯伦, 等. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 33-34
- [35] 王忠, 王三根, 顾蕴洁, 等. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 265-273
- [36] 张平, 齐剑英, 杨春霞, 等. 分级提取 ICP-MS 法考察黄铁矿中重金属的相态分布[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1207-1209
- [37] 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