

利用全生育期极度干旱法鉴定谷子抗旱资源

刘 婧^{1,2}, 徐 杰¹, 张立全^{2,5}, 王根平³, 范光宇⁴, 张杰伟^{2,5}, 张 婷³,
王 峰⁴, 王晓明⁴, 李丛丛^{2,5}, 冯小磊⁴, 魏建华^{2,5}, 程汝宏³, 姚 磊^{2,5}

(¹ 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022; ² 北京市农林科学院农业生物技术研究中心, 北京 100097;

³ 河北省农林科学院谷子研究所, 石家庄 050035; ⁴ 张家口市农业科学院, 河北张家口 075000;

⁵ 农业基因资源与生物技术北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 抗旱种质资源的鉴定与筛选是抗旱育种的基础。本试验利用全生育期极度干旱法对 68 份谷子种质资源进行抗旱鉴定, 运用模糊数学中隶属法进行综合评价。研究表明, 全生育期极度干旱处理情况下, 高度抗旱材料较不抗旱材料苗期普遍长势旺盛, 拔节期至抽穗期部分不抗旱资源出现“卡脖子”现象; 干旱胁迫对穗长的影响大于对株高的影响。结果显示冀谷 37、特早 1、张杂 10、张杂 11、张杂 12 共 5 个品种达到高抗水平, 15 个品种达到中抗水平, 12 份材料为弱抗水平, 36 份材料为不抗材料。

关键词: 谷子; 全生育期; 极度干旱; 抗旱鉴定

Identification of Foxtail Millet Drought Resistance Resource in Whole Growth Period under Extreme Drought Condition

LIU Jing^{1,2}, XU Jie¹, ZHANG Li-quan^{2,5}, WANG Gen-ping³, FAN Guang-yu⁴, ZHANG Jie-wei^{2,5},
ZHANG Ting³, WANG Feng⁴, WNAG Xiao-ming⁴, LI Cong-cong^{2,5}, FENG Xiao-lei⁴,
WEI Jian-hua^{2,5}, CHENG Ru-hong³, YAO Lei^{2,5}

(¹ College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhehaote 010022; ² Beijing Agro-Biotechnology

Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry, Beijing 100097; ³ Institute of Millet Crops, Hebei

Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035; ⁴ Zhangjiakou Academy of

Agricultural Sciences, Zhangjiakou Hebei 075000; ⁵ Beijing Key Laboratory of Agricultural

Genetic Resources and Biotechnology, Beijing 100097)

Abstract: Identification of drought resistant germplasm resources are the basis of drought resistant breeding. In this study, 68 germplasm accessions of foxtail millet were tested for drought resistance by the method of extreme drought in the whole growth period. The fuzzy subordinate function method was used to quantify the drought resistance. Under the period of extreme drought treatment, the drought-resistant genotypes vs. drought-susceptible genotypes were much stronger at seedling stage, while some of the drought-susceptible accessions appeared "stuck neck drought" phenotype. The influence of drought stress on panicle length was greater than that of plant height. The results showed that five accessions including Jigu 37, Tezao 1, Zhangza 10, Zhangza 11, Zhangza 12 were highly drought-resistant, while 15, 12 and 36 varieties showed moderate resistant, weak-resistant and susceptible to the drought stress, respectively.

Key words: foxtail millet; drought resistance; extreme drought; whole growth period

收稿日期: 2018-02-06 修回日期: 2018-03-13 网络出版日期: 2018-04-25

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180425.1628.004.html>

基金项目: 北京市科技计划(Z161100000916003); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20170203); 河北省杂粮研究实验室开放课题(ZL201702)

第一作者研究方向为植物生物与生态学, E-mail: 137577043@qq.com。徐杰为共同第一作者

通信作者: 姚磊, 研究方向为生物技术育种, E-mail: yaolei@baafs.net.cn

程汝宏, 研究方向为谷子育种, E-mail: rhcheng63@126.com

干旱是影响农业生产最为显著的自然灾害。我国 51% 的耕地面积处于干旱或半干旱区,水资源缺乏很大程度制约了我国粮食作物的产量,因此发展旱作和节水型农业成为解决水资源短缺和提高利用率的主要措施^[1-4]。谷子是我国北方地区主要的杂粮作物,主要分布在内蒙古、山西、河北等降雨量较少的干旱半干旱地区。长期的驯化与种植,使谷子在适应干旱气候和生态环境方面形成了明显优势^[5-10]。谷子的根部吸水能力较高、叶形狭窄、水分蒸腾量较少,具有抗旱性好、耐贫瘠、病虫害轻、适应性强、耐储藏、可粮饲兼用等优点,是旱作农业最重要的作物之一^[11]。尽管谷子相对其他大部分作物耐旱,但干旱地区自然降水短缺仍是限制谷子产量的关键因素^[12]。萌发期干旱,会降低谷子的萌发率,且生长缓慢;拔节期至孕穗期遇到干旱,容易使谷子抽穗困难,群众俗称“卡脖旱”;灌浆期干旱,则会导致出现大量秕谷,从而造成谷子产量下降^[8]。

虽然谷子的耐旱性较强,谷子的耐旱机制目前尚不明确,但不同品种的抗旱能力存在着明显的差异。当前有效提高谷子抗旱性的方法主要是进行抗旱品种的选育^[3,7,13]。抗旱种质资源的鉴定与筛选是抗旱育种的基础。谷子抗旱性的鉴定根据生育时期主要分为芽期、苗期和全生育期 3 种鉴定方法。芽期抗旱性鉴定是在室内条件下,利用高渗透压溶液模拟水分胁迫,通过相对的萌发率、发芽率、发芽势、芽长、芽重、根长、根重等指标进行抗旱鉴定^[10,14-17]。芽期鉴定的特点是简便易行,便于在短期内对大批量种质进行重复鉴定,但其主要反映的是种子从萌发至出土阶段抵御干旱的能力,不能全面反映谷子的抗旱性。苗期抗旱性鉴定多采用苗期反复干旱法,通过谷苗存活率、叶绿素含量、叶片相对含水量等指标进行抗旱鉴定^[8,11,18-20],其代表了植株早期生长阶段的抗旱能力。苗期鉴定的结果与穗期鉴定结果较为一致,为目前我国谷子资源抗旱性鉴定中采用的主要方法^[18]。由于谷子在拔节期、孕穗期、灌浆期遇到干旱,对后期的产量影响显著,尤以拔节期干旱最为严重^[21-22],因此苗期鉴定仍无法客观反映谷子的抗旱性^[20,23]。全生育期抗旱性鉴定一般是借助旱棚、旱池、人工遮盖或在降水量少的干旱地区田间直接种植。在谷子全生育期受到干旱胁迫后,对其株高、穗长、单株粒重、根冠比、光合速率、蒸腾速率、气孔导度、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶等一系列生理生化指标进行鉴定^[11,23-24]。全生育期鉴定方法存在周期长、消耗人力、材料数量相对

受限等因素,目前在谷子抗旱鉴定中研究应用较少^[11,23],但结果更为可靠^[11]。全生育期抗旱性鉴定中,有一种在极度干旱地区鉴定的方法^[25-26],它是指在极干旱地区大田条件下只在播种前浇适量底墒水,覆膜后全生育期不再浇灌,最终以株高、穗长、粒重、草重等指标评价材料的抗旱性,方法相对简单易行。在抗旱性鉴定直接评价中,除使用绝对数值的变化比值评价外,抗旱系数和抗旱指数在评价体系中应用较为广泛^[23];而在综合评价中,更多的应用模糊数学中的隶属函数法进行抗旱性综合评价^[14,27-28]。

为了对当前生产中谷子品种的抗旱性加以认识,寻找抗旱育种资源,在结合前人试验结果的基础上,本试验在利用旱棚和旱池条件下,通过全生育期极端干旱法,对株高和穗长两项与抗旱性极度相关的简单指标^[11]进行鉴定,利用模糊数学隶属法评价,对 68 份种质资源进行了抗旱性筛选,获得了一些珍贵的抗旱种质资源。

1 材料与方法

1.1 材料

试验选取在生产中有代表性的育成品种、农家种及育成新品种,共计 68 份材料用于鉴定(表 1)。其中部分材料由河北省农林科学院谷子研究所及张家口市农业科学院谷子所提供。

1.2 方法

试验在北京市房山区北京农业生物技术研究中心试验基地进行,使用旱棚配合旱池模拟干旱胁迫。每个旱池为 3 m(长)×3 m(宽)×3 m(深)见方,四周及底部均做水泥防水处理。在播种前每个旱池灌水约 1 m³作为底墒水,此后全生育期不再进行任何给水。2016 年 6 月 4 日播种,旱池内每份材料播 2 行,行距 0.3 m,株距 5~6 cm,留 100 苗。同时与在大田种植相同材料进行对比,行距 0.35 m,株距 5~6 cm,播种前根据土壤墒情适量喷灌造墒,保证正常出苗。播种前及生育后期在每个旱池内按对角线均匀选取 3 个点,钻取距离地表 0~20 cm 的土壤,用烘干法测定土壤绝对含水量,并进行差异显著性分析。2016 年 6~9 月北京总计降水 553.1 mm,与往年持平,试验田中谷苗未受到任何干旱胁迫。

成熟期不同材料间抗旱性显现出差异常后,除去全部出现“卡脖旱”的材料,每份材料内不同个体间也表现出抗旱性差异,株高明显分为高、中、矮 3 个类型。通过目测将每份材料全部植株按自然高、中、

表 1 全生育期干旱胁迫谷子抗旱性的综合评价

Table 1 Comprehensive evaluation of drought resistance of foxtail millet under drought stress during the whole growth period

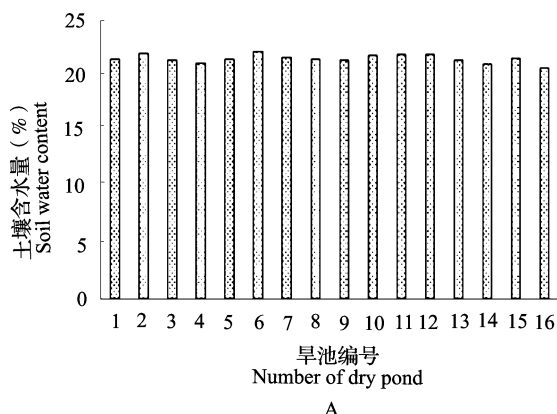
名称 Varieties	田间株高 (cm) Plant height in the field	高株数量 Number of high plant	高株高 (cm) Height of high plant	中株数量 Number of middle plant	中株高 (cm) Height of middle plant	矮株数量 Number of dwarf plant	矮株高 (cm) Height of dwarf plant	株高抗旱 系数 Drought resistance coefficient of plant height	田间 穗长 (cm) Panicle length in the field	大穗数量 Number of large panicle	大穗长 (cm) Length of large panicle	中穗数量 Number of middle panicle	中穗长 (cm) Length of middle panicle	穗长抗旱 系数 Drought resistance coefficient of panicle length	株高 隶属值 Subordinate value of plant height	穗长 隶属值 Subordinate value of panicle length	品种 隶属度 Subordinate degree of varieties
冀谷 37	145	73	145	-	-	27	70	0.86	24	44	23	29	17	0.63	1	1	1
特早 1	135	68	135	-	-	32	70	0.85	26	52	25	15	17	0.61	0.98	0.96	0.97
张杂 12	145	67	125	-	-	33	75	0.75	26	55	24	12	19	0.60	0.84	0.96	0.90
张杂 11	135	52	125	14	105	34	78	0.79	26	52	21	15	16	0.51	0.89	0.82	0.86
张杂 10	155	68	130	-	-	32	90	0.76	26	68	20	-	-	0.53	0.85	0.84	0.84
张杂 8	150	34	125	7	100	59	85	0.66	20	35	20	7	16	0.41	0.72	0.65	0.68
改良 8	140	40	125	8	110	52	62	0.65	26	39	22	9	15	0.39	0.70	0.62	0.66
赤谷 16	210	55	170	-	-	45	100	0.66	26	45	18	10	14	0.37	0.71	0.58	0.65
冀谷 38	145	33	135	9	115	58	71	0.66	23	33	21	9	16	0.36	0.71	0.57	0.64
峰红谷	180	43	145	-	-	57	93	0.64	24	17	18	26	15	0.29	0.68	0.46	0.57
龙谷 25	140	5	120	-	-	95	90	0.65	19	5	11	80	5	0.24	0.70	0.38	0.54
张杂 3	155	29	135	9	95	62	74	0.60	36	29	28	9	21	0.28	0.63	0.44	0.54
冀谷 35	140	14	140	21	130	65	63	0.63	23	14	18	21	12	0.22	0.66	0.35	0.51
香谷	145	47	100	-	-	53	60	0.54	24	30	16	17	12	0.29	0.54	0.45	0.50
沁谷 1	185	29	123	-	-	71	106	0.60	16	29	12	-	-	0.22	0.62	0.35	0.49
张杂 13	130	14	105	4	85	82	74	0.61	18	14	14	4	12	0.13	0.63	0.21	0.42
张杂 5	155	29	100	-	-	71	74	0.53	30	5	24	24	20	0.20	0.52	0.32	0.42
冀谷 36	145	15	125	19	115	66	50	0.51	24	15	17	19	13	0.21	0.49	0.33	0.41
张杂 6	145	6	120	11	90	83	83	0.59	28	6	23	11	17	0.12	0.61	0.19	0.40
张杂 16	155	22	110	7	100	71	70	0.52	26	21	18	7	14	0.18	0.51	0.29	0.40
冀谷 31	135	9	130	8	110	83	64	0.55	23	9	22	8	17	0.15	0.54	0.23	0.39
马缰绳	140	16	110	-	-	84	70	0.55	22	9	17	7	14	0.11	0.55	0.18	0.36

表 1(续)

名称 Varieties	田间株高 (cm) Plant height in the field	高株数量 Number of high plant	高株高 (cm) Height of high plant	中株数量 Number of middle plant	中株高 (cm) Height of middle plant	矮株数量 Number of dwarf plant	矮株高 (cm) Height of dwarf plant	株高抗旱 系数 Drought resistance coefficient of plant height	田间 穗长 (cm) Panicle length in the field	大穗 数量 Number of large panicle	大穗长 (cm) Length of large panicle	中穗 数量 Number of middle panicle	中穗长 (cm) Length of middle panicle	穗长抗旱 系数 Drought resistance coefficient of panicle length	株高 隶属值 Subordinate value of plant height	穗长 隶属值 Subordinate value of panicle length	品种 隶属度 Subordinate degree of varieties
豫谷 18	135	8	130	11	80	81	60	0.50	23	8	23	11	13	0.14	0.48	0.23	0.35
S67	150	13	125	-	-	87	75	0.54	22	3	19	10	16	0.10	0.54	0.16	0.35
冀谷 42	145	16	120	5	70	79	58	0.47	19	16	16	5	12	0.16	0.44	0.26	0.35
冀张谷 5	155	11	130	-	-	89	85	0.58	30	7	19	4	15	0.06	0.60	0.10	0.35
大金苗	140	21	105	-	-	79	60	0.50	25	8	18	13	15	0.14	0.47	0.22	0.34
中谷 1	145	3	130	12	115	85	61	0.48	20	3	20	12	16	0.13	0.45	0.20	0.33
冀谷 40	130	15	105	-	-	85	61	0.52	23	3	22	6	16	0.07	0.51	0.11	0.31
冀谷 19	140	10	130	-	-	90	65	0.51	23	3	20	7	17	0.08	0.49	0.12	0.31
传统红谷	175	24	120	-	-	76	47	0.37	27	24	23	-	-	0.20	0.29	0.33	0.31
14H718	130	8	130	7	70	85	48	0.43	25	8	25	7	21	0.14	0.38	0.22	0.30
绿谷种	140	7	105	-	-	93	68	0.50	19	1	16	6	12	0.05	0.49	0.07	0.28
红谷 1 号	170	4	145	-	-	96	85	0.51	25	2	20	2	16	0.03	0.50	0.05	0.27
黑粘谷	150	16	90	-	-	84	65	0.46	22	15	11	-	-	0.08	0.42	0.12	0.27
赤谷 17	175	14	125	-	-	86	65	0.42	20	1	17	13	15	0.11	0.36	0.17	0.27
冀谷 39	145	5	110	4	95	91	60	0.44	21	5	20	4	16	0.08	0.39	0.13	0.26
冀谷 41	145	12	120	-	-	88	51	0.41	23	5	23	7	17	0.10	0.35	0.16	0.25
妒沙谷	195	7	130	6	120	87	80	0.44	32	7	20	6	14	0.07	0.39	0.11	0.25
赤谷 8	180	6	150	7	110	87	65	0.41	19	6	17	7	12	0.10	0.34	0.16	0.25
赤谷 10	195	16	125	-	-	84	65	0.38	20	3	18	13	13	0.11	0.31	0.18	0.24
小红谷子	180	2	123	-	-	98	86	0.48	25	1	19	1	13	0.01	0.45	0.02	0.24
乌金谷	175	12	130	-	-	88	60	0.39	23	4	19	8	15	0.09	0.32	0.14	0.23
衡早 2	140	6	115	7	60	87	47	0.37	25	12	20	1	15	0.10	0.29	0.16	0.23
赤谷 5	175	4	140	4	100	92	70	0.42	20	4	13	4	10	0.05	0.37	0.07	0.22

矮群体分类并测量株高。将测量数值与大田相同材料的株高做比较,确定株高抗旱系数。对能否抽穗结实、穗数及穗大小进行调查,全部谷穗按大、中、未成穗分类测量穗长,并与大田相同材料穗长做比较,确定穗长抗旱系数。运用模糊数学中隶属法计算各品种每个指标的隶属值 F_{ij} 。 F_{ij} 为 i 品种性状指标测定的具体隶属值, X_{ij} 为 i 品种 j 性状的抗旱系数, X_{jmin} 和 X_{jmax} 分别为所有品种的 j 性状抗旱系数的最小值和最大值。各品种的隶属度为该品种各性状隶属值的平均值。隶属度按四级标准划分:隶属度 > 0.7 为高抗, $0.4 \sim 0.7$ 为中抗, $0.3 \sim 0.4$ 为弱抗, 隶属度 < 0.3 为不抗^[14,27-30]。

$$\begin{aligned} \text{株高抗旱系数} &= \frac{\text{平均高株株高}}{\text{平均田间株高}} \text{高株占比} + \\ &\frac{\text{平均中株株高}}{\text{平均田间株高}} \text{中株占比} + \frac{\text{平均矮株株高}}{\text{平均田间株高}} \text{矮株占比}; \\ \text{穗长抗旱系数} &= \frac{\text{平均大穗穗长}}{\text{平均田间穗长}} \text{大穗占比} + \end{aligned}$$



平均中穗穗长
平均田间穗长 中穗占比;

$$F_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}}.$$

2 结果与分析

2.1 土壤含水量

播种前对所有旱池 20 cm 土层进行含水量测定,结果显示土壤绝对含水量在 20.72% ~ 22.19% 之间,且差异不显著(图 1A)。生育后期,在品种材料间抗旱性表现出明显差异后,于 8 月 17 日对土壤含水量进行了复测。结果显示各池土壤含水量在 3.69% ~ 5.81% 之间,差异达显著标准(图 1B)。分析原因,土壤含水量少的 7 号池(图 1B)和 15 号池因材料抗旱性差,普遍表现出植株矮小,不能抽穗,生长受到抑制,造成植株地表覆盖少,水分散失主要表现为地表蒸腾为主,导致土壤含水量偏低。

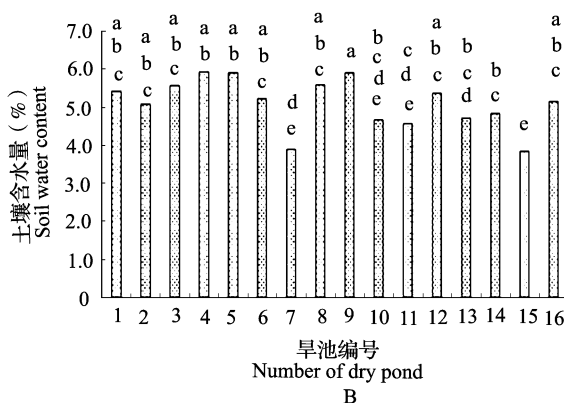


图 1 播种前(A)与收获期(B)旱池土壤含水量

Fig. 1 The water content in soil before sowing(A) and harvest period(B)

2.2 干旱胁迫对谷苗长势的影响

播种后约 1 个月,谷苗进入拔节期,各品种的长势显现出明显差异。其中冀谷 37、张杂谷的特早 1 较其他材料明显表现出叶片浓绿、宽大舒展、谷苗长势旺盛,生长未显现受到抑制(图 2)。张杂谷谷苗长势普遍较好,但品种间长势有略微差异,张杂 5 和张杂 6 较其他张杂谷长势略弱。此外,冀谷 38 及来自赤峰地区的峰红谷、沁谷、赤谷 16、赤谷 17、香谷、大金苗、黄金谷的谷苗也表现出良好的长势。此时,大部分材料的谷苗表现出生长受到干旱胁迫,叶片卷曲上举,严重的呈针状。其中来自山西的晋谷 21、晋谷 40、晋谷 56、长生 07、长生 08、沁黄 2 号等表现出叶色发白,部分材料叶片萎蔫下垂。

2.3 干旱胁迫对谷子株高的影响

谷子生育后期各材料间在株高性状上表现出明显的差异(图 3)。按照前述公式计算各材料的株高抗旱系数(表 1)。由表中可见冀谷 37 和特早 1 的旱池与大田对应材料株高性状差异不大,高株株高与大田对应材料株高相同(表 1),株高抗旱系数 ≥ 0.85 ,从株高性状上几乎看不出受到干旱胁迫(图 3A),两者中冀谷 37 的抗倒伏性强于特早 1。张杂 10、张杂 11、张杂 12 这 3 个品种的株高较大田对应材料降低较小,且中高株数量较多,占到 65% 以上,品种的株高生长受干旱胁迫影响较小,株高抗旱系数 ≥ 0.75 。张杂谷整体的抗旱性、结实性较好,株高抗旱系数在 0.52 ~ 0.85 之间,但有部分倒伏现象。其中张杂 5、张杂 6 和张杂 16 的抗旱性逊色于其他

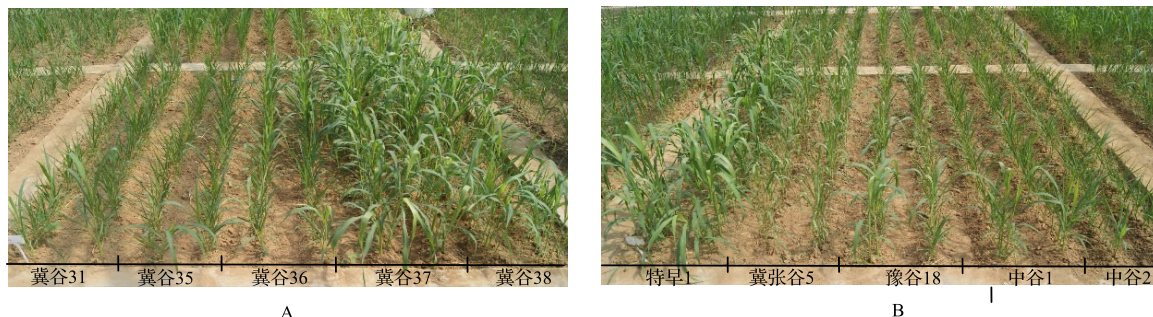


图 2 拔节期干旱对谷苗的影响

Fig. 2 Effect of drought at jointing stage of foxtail millet seedling

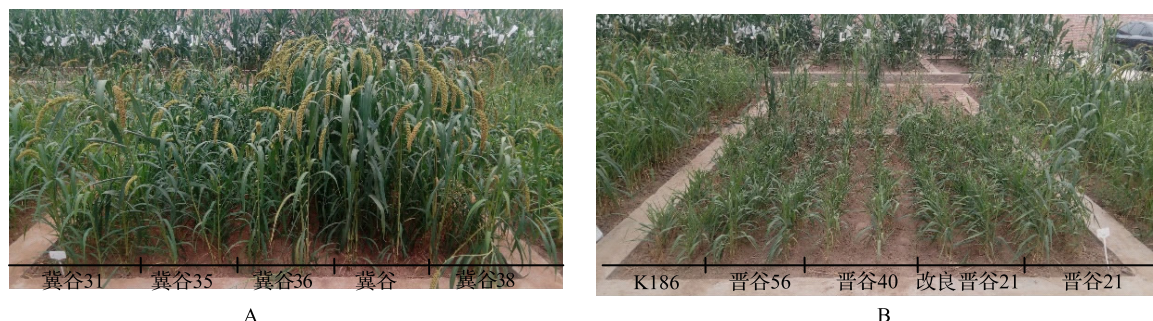


图 3 全生育期干旱条件下谷子进入成熟期

Fig. 3 The mature period of foxtail millet under the condition of drought in the whole growth period

张杂谷品种,且倒伏相对严重,张杂 5 和张杂 6 倒伏最重。赤峰的品种全部发生倒伏,且与大田对应材料相比株高差异显著,部分品种表现出一定的抗旱性;其中赤谷 16、峰红谷和沁谷 1 的株高抗旱系数 ≥ 0.6 ,而其他品种株高抗旱系数在 $0.33 \sim 0.58$ 之间。此次来自西北春谷区的育成品种和新品系全部表现出典型的“卡脖旱”表型,大部分几乎没有抽出穗(图 3B);个别品种只有几株能正常生长和抽穗结实,但与大田对应材料相比株高差异显著,株高抗旱系数在 $0.17 \sim 0.32$ 之间。西北农家种马缰绳、黑粘谷、炉沙谷、乌金谷、传统红谷的抗旱性好于大部分育成品种,株高抗旱系数在 $0.33 \sim 0.55$ 之间,但大部分倒伏较严重。华北夏谷区品种的株高抗旱系数变化范围较大,冀谷 37 最高,为 0.86 ,衡谷 10 最低,为 0.30 ,大部分品种的株高抗旱系数在 $0.40 \sim 0.66$ 之间。

2.4 干旱胁迫对谷子穗长的影响

将每份材料的全部谷穗按穗长分成大、中、未成穗分类,按照前述公式计算各材料穗长的抗旱系数(表 1)。由表中可见,全生育期干旱胁迫对谷子成穗的影响大于对株高的影响,全部材料穗长的抗旱系数均小于 0.7 。但冀谷 37、特早 1、张杂 10、张杂 11、张杂 12 这 5 个品种的大中穗数量占比还是超过了 60% ,穗长抗旱系数 >0.5 ,抗性较高。张杂 8、改

良 8、赤谷 16、冀谷 38 的穗长抗旱系数 >0.35 ,具有一定的抗旱性。其他材料有的大穗的穗长虽较大田对应材料相等或减少较小,但大中穗数量随着穗长抗旱系数降低,占比急剧变小,抗性变弱。总体上看张杂谷的抗旱性较强,穗长受干旱胁迫影响较小。同株高性状一样,张杂 5 和张杂 6 的大穗数量较少,在张杂谷中抗性较弱。赤峰的品种中赤谷 16 的穗长抗旱系数是 0.37 ,相对当地其他品种的穗长抗旱系数 $0.29 \sim 0.30$ 较为抗旱。来自西北的品种在穗长性状上同株高性状一样,表现抗性较差,抗旱系数 ≤ 0.2 ,其中农家种好于育成品种。夏谷品种的穗长抗旱系数与株高性状一样,变化范围较大在 $0 \sim 0.63$ 之间。

2.5 抗旱性综合评价

利用模糊数学中隶属法对株高和穗长性状的抗旱性分别进行分析,然后再进行综合评价。结果显示冀谷 37、特早 1、张杂 10、张杂 11、张杂 12 这 5 个品种隶属度值 >0.7 ,抗旱性达到高抗水平。张杂 8、改良 8、赤谷 16、冀谷 38、峰红谷、龙谷 25、张杂 3、冀谷 35、香谷、沁谷 1、张杂 13、张杂 5、冀谷 36、张杂 6、张杂 16 共 15 个品种隶属度值介于 $0.4 \sim 0.7$ 之间,达到中抗水平。冀谷 31、马缰绳、豫谷 18、S67、冀谷 42、冀张谷 5、大金苗、中谷 1、冀谷 40、冀谷 19、传统红谷、14H718 这 12 份材料隶属度值介于 $0.3 \sim$

0.4 之间,为弱抗水平。绿谷种等 36 份材料隶属度值 < 0.3 , 为不抗旱材料。

3 讨论

3.1 全生育期抗旱鉴定与其他方法鉴定结果的差异

谷子抗旱性鉴定因方法和时期的不同评价较为复杂。萌芽期、苗期的鉴定结果虽然和全生育期鉴定的大部分一致^[11,19],但也有结果不同的现象^[9,23]。本试验中张杂谷品种整体表现抗旱性较强,品种隶属度在 0.4 ~ 0.97 之间,为高抗至中抗。但张杂 13、张杂 5、张杂 6、张杂 16 在张杂谷品种中表现稍差,品种隶属度为 0.4 ~ 0.42。这与张金玲等^[14]用芽期鉴定的结果不全相同。晋谷 21 在本试验中表现为不抗旱,也与李会芬等^[28]用芽期鉴定的结果截然不同。这可能是因拔节期和灌浆期的干旱引起较大抗性差异的结果。张杂 5 每 667 m² 最高产量 810 kg 的纪录正是诞生于张家口下花园的水浇地^[31],这也许能从侧面反映出该品种结实对水分的敏感性。考虑到生产中一般都是在土壤墒情足够的情况下播种,谷子萌芽和苗期所需的水分基本能够得以保证。谷子关键需水时期是在拔节期后,苗期干旱在生产中不作为主要抗旱关注重点^[23-24]。虽然全生育期抗旱鉴定投入高、费时、工作量大,但其结果应该更直观也更客观地反应了一个品种在实际生产中的抗旱性。

3.2 苗期长势与抗旱性分析

本试验中的极度干旱法与前人在极度干旱区的抗旱鉴定略有不同。本试验没有进行覆膜保墒,旱棚与旱池防止了自然降水的补充,干旱胁迫更为充分。在底墒水一致且保证出苗的情况下,不同供试材料从拔节期开始抗旱性显现出明显差异,部分材料出现“卡脖旱”现象。试验结果证明拔节期为谷子对干旱的敏感时期,这与张艾英等^[21]和王永丽等^[22]的研究结果一致。本试验中高度抗旱品种较不抗旱品种苗期普遍长势旺盛,尤以冀谷 37 和特早 1 更为突出。2016 年春天华北地区大旱,冀谷 37 在京郊旱作地区保苗率高,表现出良好的抗旱性,与本次抗旱鉴定结果一致。此外,在土壤水分充足没有旱情的情况下,大田生产中冀谷 37 也较其他品种苗期表现出更加旺盛的生长势态。分析其原因,我们认为高度抗旱材料在生育初期土壤水分减少不是太多时,植株通过本身迅速生长能用较短的时间渡过拔节关键时期,避免因干旱发生不可逆的影响^[22]。这提示在谷子抗旱育种中应多加注意,苗期

生长越旺盛的材料可能抗旱性越强。

3.3 谷子抗旱资源分析

由表 1 中可见,除了 4 份 100% 全部出现“卡脖旱”的材料,大部分品种材料内的抗旱性并不完全一致。高抗材料的中高株数量较多,占到 65% 以上,大中穗数量占比超过了 60%;同时高度抗旱材料中也有少量不抗旱的矮株。中抗和弱抗材料中随着抗性减弱,高株和大穗数量迅速减少,但仍有部分高株表现抗旱,且与大田比较变幅不大。即使在不抗材料中也有个别高株出现。分析其原因,我们认为,抗旱性是多基因控制的性状,只有多个抗旱基因聚合的植株具有较高的抗旱性。但在实际育种中,育种家更多关注的是农艺性状和经济性状的聚合和纯合,并未对抗旱性状进行干旱条件下的实质性筛选,育成品种群体的抗旱性状并没有纯合,导致干旱条件下个体间表现出明显差异。本试验中的高抗品种冀谷 37 由弱抗的冀谷 31 回交 2 代同样是弱抗的冀谷 19 育成,而冀谷 31 又含有冀谷 19 的血缘^[32];中抗品种沁谷 1 是从不抗品种赤谷 5 中选育^[33]。这说明可能是父母本抗旱基因的聚合使其后代的抗旱性强于双亲。本次试验中来自西北的晋谷 21、改良晋谷 21、晋谷 40^[34]、晋谷 56^[35]和长生 08^[36]几个育成品种都表现出不抗旱,这可能是与这些品种中都有不抗旱的晋谷 21 血缘有关。西北农家种马缰绳和传统红谷表现出弱抗,其他的农家种中也有少量抗旱高株,说明抗旱基因的存在没有地域性的差异,在传统农家种资源中普遍存在。此次选用的山西品种总体表现抗旱性较弱,有可能是选育过程中没有选择压,造成抗旱基因的丢失;也可能与生育期较长,在土壤水分蒸腾较多时才进入拔节、孕穗阶段有关。张杂谷品种普遍抗旱性较好,可能与其育成的地理环境及品种选育中注意使用干旱选择压有关^[25,30],也可能与生育期较短,在土壤失水较少时就进入拔节、孕穗阶段有关。由于在参试材料中,张杂谷的抽穗期普遍早于其他材料,这预示两个方面,一是干旱地区应选择发育迅速的早熟品种,二是不同光温环境下的抗旱性鉴定结果会有一定差异。试验中夏谷区材料的隶属度变幅最大为 0.11 ~ 1.0,说明其抗性基因存在丰富的遗传多样性。育种中只要合理地利用选择压,应该能够较容易培育出高抗品种。

3.4 谷子全生育期极度干旱鉴定法的简单评价指标

张艾英等^[21]和王永丽等^[22]的研究结果表明拔

节期干旱对谷子的株高、穗长、穗粗、茎粗、产量的影响较大;灌浆期干旱对单株粒重和产量影响大,秕谷率高。张文英等^[23]的研究结果表明全生育期干旱胁迫下谷子的株高、单穗粒重和茎秆重反应敏感。本试验极度干旱处理下与田间对照材料相比,品种间株高和穗长的变化幅度差异显著,与上述结果一致。试验中穗长抗旱系数明显小于株高抗旱系数,说明干旱胁迫对穗长的影响大于对株高的影响;但两者的趋势性基本一致,尤其是高抗品种的株高和穗长的隶属值均和最终的综合评价结果相差不大,说明株高和穗长这两个性状完全可以用于高抗材料的鉴定与筛选。遗憾的是本次试验因后期鸟啄,单穗粒重不准,故没有将单穗粒重指标加入综合评价。考虑到除了秕谷率外,穗粒重与穗长密切相关;结合试验的表观结果与评价分析,株高、穗长、单穗粒重可作为谷子全生育期极度干旱鉴定法的简单评价指标。这3个性状的观测相对简单直观,不需要借助较复杂的仪器设备。运用该方法在有防雨遮盖或降水量少的干旱地区即可简便进行谷子品种的抗旱鉴定。

本试验利用谷子株高和穗长两个与干旱高度相关的指标,对68份资源进行了抗旱鉴定。通过综合评价,确定冀谷37、特早1等5个品种为高抗,15个品种为中抗,12个材料为弱抗,36份不抗材料。

参考文献

- [1] 朱学海. 谷子耐旱资源筛选及其遗传多样性分析. 北京: 中国农业科学院, 2008: 1
- [2] 刘佳. 二氧化硫在谷子和拟南芥干旱胁迫过程中的生理作用. 太原: 山西大学, 2015: 1
- [3] 秦岭, 杨延兵, 管延安, 张华文, 王海莲, 刘宾, 陈二影. 不同生态区主要育成谷子品种芽期耐旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2013, 14(1): 146-151
- [4] 韩金龙, 王同燕, 徐子利, 徐立华, 徐相波, 邢燕菊, 阴卫军. 玉米抗旱机理及抗旱性鉴定指标研究进展. 中国农学通报, 2010, 26(21): 142-146
- [5] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 柴岩, 胡银岗. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675
- [6] 张耀元, 张彬, 马芳芳, 丁美娇, 胡韬光, 李萍, 韩渊怀. 不同品种谷子幼苗对干旱胁迫的生理响应及 *SiZFP252* 基因的表达分析. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2016(9): 614-618
- [7] 张雁明. 不同谷子品种抗旱性比较及干旱相关基因表达分析. 太原: 山西农业大学, 2014
- [8] 张雁明, 刘晓东, 马建萍, 温琪汾, 韩渊怀. 谷子抗旱研究进展. 山西农业科学, 2013, 41(3): 282-285
- [9] 代小冬, 杨育峰, 朱灿灿, 鲁晓民, 王春义, 杨晓平, 杨国红, 李君霞. 谷子萌芽期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价. 华北农学报, 2015, 30(4): 139-144
- [10] 裴师帅, 尹美强, 温银元, 黄明镜, 张彬, 郭平毅, 王玉国, 原向阳. 不同品种谷子种子萌芽期对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价. 核农学报, 2014, 28(10): 1897-1904
- [11] 崔纪菡, 范佳兴, 李顺国, 赵宇, 刘猛, 宋世佳, 任晓利, 刘斐, 南春梅, 夏雪岩. 谷子抗旱性鉴定研究进展. 东北农业大学学报, 2017, 48(1): 89-96
- [12] 李东山. 谷子抗旱高产栽培技术. 农业技术与装备, 2010(9): 38-39
- [13] 田志刚, 王海岗. 1998-2012 年山西省谷子种植情况分析. 农业科技通讯, 2016(1): 15-17, 22
- [14] 张金玲, 张艳阳, 张叶, 彭媛, 王君焕, 宋晋辉, 刘岩. 张家口地区谷子主栽品种萌芽期抗旱性评价. 中国农业科技导报, 2017, 19(4): 65-72
- [15] 郭世华, 顾翔峰, 杨文耀, 吴宝华, 高志军, 张永虎. 谷子萌芽期抗旱性初步研究. 北方农业学报, 2017, 45(1): 1-5
- [16] 柯贞进, 尹美强, 温银元, 黄明镜, 黄学芳, 郭平毅, 王玉国, 原向阳. 干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响. 核农学报, 2015, 29(3): 563-570
- [17] 刘桂红, 王珏, 杜金哲, 管延安. 谷子萌芽期抗旱性鉴定研究. 中国农学通报, 2013, 29(3): 86-91
- [18] 张文英, 黄建明, 尉文彬. 我国谷子抗旱性研究进展. 安徽农业科学, 2013, 41(4): 1469-1470
- [19] 秦岭, 杨延兵, 陈二影, 张华文, 王海莲, 刘宾, 陈桂玲, 管延安. 不同生态区主要育成谷子品种苗期抗旱性鉴定. 山东农业科学, 2016, 48(6): 28-31
- [20] 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. 河北农业科学, 1992(4): 9-11
- [21] 张艾英, 郭二虎, 范惠萍, 李瑜辉, 王丽霞, 王秀清, 程丽萍. 谷子不同生育时期水分胁迫抗旱生理特性研究. 山西农业科学, 2014, 42(7): 669-671
- [22] 王永丽, 王珏, 杜金哲, 管延安. 不同时期干旱胁迫对谷子农艺性状的影响. 华北农学报, 2012, 27(6): 125-129
- [23] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 彭海成, 李伟, 王永芳, 李海权, 栗雨勤, 刁现民. 谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 560-565
- [24] 代小冬, 徐心志, 朱灿灿, 杨育, 王春义, 杨晓平, 杨国红, 李君霞. 谷子苗期对不同程度干旱胁迫的响应及抗旱性评价. 作物杂志, 2016(1): 140-143
- [25] 赵治海, 冯小磊, 史高雷, 宋国亮, 范光宇, 王小明, 王峰. 极度干旱区杂交谷子水分高效利用研究. 节水灌溉, 2017(7): 42-46
- [26] Zhao Z H, Feng X L, Shi G L, Fan G Y, Su X, Song G L, Yang T Y, Dong K J, Nan H Y. Drought-resistant hybrid millet under watersaving irrigation in extreme drought area of Dunhuang city. Agricultural science & technology, 2014, 15(2): 231-235
- [27] 高汝勇, 时丽冉, 崔兴国, 李明哲. 谷子品种抗旱性评价. 河南农业科学, 2013(12): 28-32
- [28] 李会芬, 时丽冉, 崔兴国, 李明哲. 黑龙江地区不同品种谷子萌芽期抗旱性评价. 种子, 2013, 32(6): 85-87
- [29] 何芳兰, 赵明, 王继和, 尉秋实, 张锦春. 几种荒漠植物种子萌发对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究. 干旱区地理: 汉文版, 2011, 34(1): 100-106
- [30] 付凤玲, 李晚忱, 潘光堂. 模糊隶属法对玉米苗期耐旱性的拟合分析. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 83-85
- [31] 乔春花, 杨立军, 李登来. 优质高产杂交谷子新品种“张杂谷5号”. 现代农村科技, 2009(22): 17
- [32] 师志刚, 夏雪岩, 张婷, 相金英, 陈媛, 程汝宏. 优质高产简化栽培型谷子新品种冀谷31的选育研究. 河北农业科学, 2014, 18(2): 1-3
- [33] 韩志强, 姜艳红. 谷子新品种沁谷一号选育报告. 中国种业, 2008(9): 51-52
- [34] 史关燕, 陈瑛, 杨成元, 侯国亮, 史更生. 优质谷子新品种晋谷40号的选育. 作物杂志, 2006(2): 56-57
- [35] 宋秀珍, 王玉文, 李会霞, 田岗, 李志华, 刘鑫. 抗除草剂谷子新品种晋谷56号选育及关键栽培技术. 山西农业科学, 2014, 42(2): 115-118
- [36] 郝晓芬, 王节之, 王根全, 王晓宇, 王潞英, 秦玉忠. 谷子新品种长生08的选育及高产栽培. 山西农业科学, 2013, 41(4): 317-320