

花铃期干旱胁迫对陆地棉农艺性状的影响及其抗旱等级划分

郑巨云¹,王仲辉²,王俊铎¹,龚照龙¹,
梁亚军¹,张娜拉²,郭江平¹,李雪源¹

(1. 新疆农业科学院经济作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830091;2. 新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:为了探索花铃期干旱胁迫对不同棉花品种重要农艺性状的影响,并对品种进行等级划分,以前期鉴定的30份陆地棉品种进行试验,测定不同品种干旱胁迫组 and 对照组的农艺性状和品质指标等。通过含水量的差异性分析、农艺性状相关性分析、抗旱系数分析、3种综合评价值(D 、 CDC 、 WDC)相关性分析,证明3种评价结果一致。通过各性状与 D 值和 WDC 值的关联度分析,明确伸长率、单株产量、比强度和整齐度4个指标可作为品种抗旱性鉴定的重要指标。以 D 值进行聚类分析,对30份品种进行了抗旱等级分类,共分为4大类。第I大类,共有DG219、DG168、DG186等3份材料,属于强抗旱类别;第II大类,共有DG270、DG228等12份材料,属于抗旱类别;第III大类,仅有1份材料(DG248),属于较敏感类别;第IV大类,共有DG43、DG42等14份材料,属于敏旱类别。研究结果为品种的鉴定和利用提供了参考依据。

关键词:陆地棉;花铃期;干旱胁迫;抗旱等级划分

中图分类号:S562;S323 **文献标志码:**A

Effects of drought stress on agronomic traits of upland cotton at flowering boll stage and its classification of drought resistance

ZHENG Jvyun¹, WANG Zhonghui², WANG Junduo¹, GONG Zhaolong¹,
LIANG Yajun¹, ZHANG Nala², GUO Jiangping¹, LI Xueyuan¹

(1. Cash Corps Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China;

2. Agricultural College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Through the study the effects of drought stress on the root traits and the variety resources during the flowering and boll stage were divided into grades. 30 upland cotton varieties identified in the early stage were used to determine the agronomic traits and quality indexes of different varieties under two treatments: drought stress group and control group. Different analysis in water content, correlation analysis of agronomic traits, drought resistance coefficient, and correlation analysis of three comprehensive evaluation values (D , CDC , WDC) proved that the evaluation results of the three evaluation values were consistent. By analyzing the correlation between various traits and D and WDC values, it was clear that the four indexes of elongation, yield per plant, specific strength, and uniformity were important indicators for the identification of drought resistance of varieties. Based on the cluster analysis of D value, 30 varieties were classified into four categories. In the first category, there were 3 materials including DG219, DG168 and DG186, which belong to the category of strong drought resistance. In category II, there were 12 materials such as DG270 and DG228, which belong to the drought-resistant category. In category III, only DG248 material was used, which was a more sensitive category. In category IV, there were 14 materials such as DG43 and DG42, which belong to the category of sensitive drought. Thus, it provides a reference basis for the

收稿日期:2023-06-23

修回日期:2023-11-24

基金项目:新疆自然科学基金杰出青年基金项目(2022D01E20);国家重点研发计划子课题项目(2022YFD1200304-4);NSFC-新疆联合基金重点支持项目(U1903204);NSFC-地区基金项目(31760405)

作者简介:郑巨云(1981-),男,河北怀安人,研究员,主要从事陆地棉抗旱耐盐资源研究。E-mail: zjypp8866@126.com

通信作者:李雪源(1964-),男,辽宁沈阳人,研究员,主要从事陆地棉遗传育种研究。E-mail: xjmh2338@163.com

identification and utilization of varieties.

Keywords: upland cotton; flower and boll period; drought stress; classification of drought resistance

棉花是重要的油料和经济作物,是天然纤维的主要来源^[1]。2022 年新疆全区棉花种植面积达 250.6 万 hm⁻²,总产量达 512.9 万 t,占全国棉花总产量的 90%^[2]。随着全球水资源的日益匮乏,水资源短缺早已成为世界性农业生产问题,对我国西北内陆而言,干旱和半干旱为主要气候特征,其中新疆干旱面积最大^[3],干旱已成为制约新疆棉花产业高质量发展的关键因子。因此,研究干旱胁迫对棉花根系发育、株型性状、纤维品质的影响,明确与抗旱密切相关的性状,筛选抗旱能力强的种质资源,对新疆棉花抗旱遗传改良具有重要意义^[4]。

花铃期是棉花营养生长和生殖生长并进阶段,此时水肥供应尤为重要,否则会导致蕾铃大量脱落而造成大面积减产^[5]。花铃期遭受干旱会影响花粉母细胞正常分裂以及营养生殖生长的过渡,造成花粉败育,植株根系生长比例较大、植株生长缓慢,叶绿素含量下降,果枝、果节生长受限,棉铃脱落、单株产量下降、棉纤维发育不良,最终导致群体产量和棉纤维品质下降^[6-8]。同时,干旱胁迫导致棉株根系吸水量、蒸腾速率、气孔导度、净光合速率降低,从而导致地上部分及地下部分干、鲜质量不同程度地降低^[9-10]。

本研究以 30 份陆地棉品种为试验材料,设立干旱胁迫、正常灌水两个试验组,测定其农艺性状。利用根含水量差异性分析、性状间相关性、抗旱系数描述性统计,并通过 3 种综合评价值(*D* 值、*CDC* 值、*WDC* 值)相关性描述的综合分析以及灰色关联度分析,明确抗旱鉴定指标,并通过聚类分析,对 30

份品种进行抗旱等级分类,筛选出棉花花铃期不同抗旱级别品种,为棉花抗旱遗传改良提供理论参考及优质种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验供试材料来自新疆农业科学院经济作物研究所,共 30 份材料(见表 1)。

1.2 试验地概况

试验在新疆阿拉尔市十六团新疆农科院试验基地进行,试验基地位于天山南麓、塔克拉玛干沙漠北部、塔里木河畔。试验地属于温带大陆干旱荒漠气候区,无霜期长达 190~251 d,积温高达 3 299℃,年平均日照 2 855~2 967 h,太阳总辐射量 130~141 kcal·cm⁻²,平均年降水量 48.5 mm 左右,年均蒸发量 2 558.9 mm 左右。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 试验材料于 2022 年 4 月 10 日在试验基地旱池种植,均采用一膜六行种植模式,行距 0.45 m,株距 0.12 m,灌水方式采用膜下滴灌,一膜两管。30 份材料分别设置干旱胁迫组和正常灌溉组,旱池边行设置保护行。对照组管理方式同大田管理,滴水周期同大田滴水,共滴水 9 次(6 月 5 日—8 月 28 日,每隔 9 d 滴水一次),灌水定额为 450 m³·hm⁻²,灌溉定额为 4 050 m³·hm⁻²。于 6 月 25 日(花铃期前)干旱胁迫组开始断水,持续胁迫至 9 月 10 日(吐絮期),灌溉定额为 1 575 m³·hm⁻²。

表 1 供试品种及来源
Table 1 Test varieties and their sources

品种 variety	品种编号 Variety No.	来源 Source	品种 Variety	品种编号 Variety No.	来源 Source
赣棉 10 Ganmian 10	DG186	江西省 JiangXi	科欣 001 Kexin 001	DG248	河北省 HeBei
鄂抗棉 10 Ekangmian 10	DG168	湖北省 HuBei	新陆中 22 Xinluzhong 22	DG63	新疆 XingJiang
司 6524 Si 6524	DG219	中亚 Central Asia	新陆早 18 Xinluzao 18	DG16	新疆 XingJiang
鲁棉研 27 Luyanmian 27	DG270	山东省 ShanDong	新陆早 24 Xinluzao 24	DG21	新疆 XingJiang
新陆中 82 Xinluzhong 82	DG228	新疆 XingJiang	新陆早 29 Xinluzao 29	DG24	新疆 XingJiang
新陆早 3 Xinluzao 3	DG034	新疆 XingJiang	冀棉 12 Jimian 12	DG80	河北省 HeBei
塔什干 6 Tashengan 6	DG264	中亚 Central Asia	新陆早 45 Xinluzao 45	DG027	新疆 XingJiang
新陆早 77 Xinluzao 77	DG231	新疆 XingJiang	新陆早 9 Xinluzao 9	DG8	新疆 XingJiang
苏棉 8 Sumian 8	DG181	江苏省 JiangSu	川棉 65 Chuanmian 65	DG190	四川省 SiChuan
鄂棉 6 Emian 6	DG171	湖北省 HuBei	新陆早 23 Xinluzao 23	DG20	新疆 XingJiang
KK-1543	DG108	中亚 Central Asia	川 169-6 Chuan 169-6	DG153	四川省 SiChuan
豫棉 15 Yumian 15	DG154	河南省 HeNan	新陆早 21 Xinluzao 21	DG18	新疆 XingJiang
皖棉 8407 Wanmian 8407	DG176	安徽省 AnHui	新陆早 52 Xinluzao 52	DG43	新疆 XingJiang
17N9	DG238	新疆 XingJiang	太原 4 Taiyuan 4	DG069	山西省 Shanxi
中棉所 12 Zhongmainsuo 12	DG158	河南省 HeNan	新陆早 51 Xinluzao 51	DG42	新疆 XingJiang

1.3.2 叶绿素含量、农艺性状及纤维品质测定 于 9 月 3 日使用 SPAD 502 Plus 叶绿素仪 (KONICA MINOLTA) 进行叶绿素含量测定。每个材料选有代表性的 10 株,取打顶后主茎功能叶(倒 2 叶),在靠近主叶脉及其两侧位置各测 1 次,测定期间避免阳光直射,取平均值并记录。

于 8 月 30 日分别测定干旱胁迫组 and 对照组农艺性状,每个材料选取 10 株测量,测定指标包括株高 (PH)、果枝数 (FB)、果节数 (FN)、始节高 (HFNB)、始节数 (FNFB)、单株结铃数 (BN)、叶面积 (LA)。

于 9 月 20 日分别于干旱胁迫组 and 对照组材料中上部采摘 20 个铃,并进行单铃重 (SBW)、皮棉重 (SBLW) 的称量,同时计算衣分 (LP) 并记录。棉纤维品质由中国农业科学院棉花研究所纤维检测室检验,检测项目包括绒长 (FL)、比强度 (FS)、马克隆值 (MIC)、整齐度 (UNI) 和伸长率 (EL) 5 个纤维品质性状。

1.3.3 根系指标测定 在旱池取样,将吐絮期每个品种随机连续各取 5 株,于棉株主根左右两侧 15 cm、深 30 cm 人工取出完整根系,清水缓慢冲洗干净,用滤纸吸掉根系表面残留的水分。在子叶节处将其剪断,称量地上部分及根系鲜质量后,将地上部分和根系分别于 65℃ 烘干至恒重,并称量其干质量。

1.4 数据处理

采用 EXCEL 2022 和 SPSS 19.0 对田间所测数据及纤维品质数据进行统计分析。包括抗旱系数 (DC)、隶属函数 ($\mu(x)$)、综合抗旱系数 (CDC)、抗旱性度量值 (D)、权重系数 ($\omega_i(\gamma)$)、加权抗旱系数 (WDC)、根含水量。计算公式如下:

$$DC = \frac{X_d}{X_w} \quad (1)$$

式中, X_d 为某指标干旱胁迫条件下的测定值, X_w 为某指标正常灌水条件下的测定值。

$$\mu(x) = \frac{DC - DC_{imin}}{DC_{imax} - DC_{imin}} \quad (2)$$

式中, DC_{imin} 为抗旱系数最小值, DC_{imax} 为抗旱系数最大值。

$$CDC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DC, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (3)$$

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(x) \times (|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|)] \quad (4)$$

$$\omega_i(\gamma) = \gamma_i \div \sum_{i=1}^n \gamma_i, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

$$WDC = \sum_{i=1}^n [DC \times \omega_i(\gamma)], \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (6)$$

$$\text{根含水量} = (\text{根鲜质量} - \text{根干质量}) / \text{根鲜质量} \quad (7)$$

2 结果与分析

2.1 根含水量差异性分析

在干旱条件下,不同品种陆地棉之间生物量积累差异性显著。如表 2 所示,植株中根含水量越大,则说明根系吸收水分能力越强,即品种抗旱能力越好,反之越差。DG186、DG168 等品种根含水量适中,则抗旱能力适中; DG16、DG18、DG190 等品种根含水量较小,则抗旱能力较次。同时,根系吸收水分能力越强,越有利于地上部分进行光合产物的合成与积累,进一步促进了根系生长发育,即抗旱性越好的品种地上部分与根系的干质量、鲜质量越大。

2.2 单项性状抗旱系数相关性分析

由表 3 可知:不同性状抗旱系数之间相关性存在显著差异。株高与始节高、果枝数、单株产量呈极显著正相关,与果节数、叶面积呈显著性正相关;始节高和始节数呈极显著正相关,与果枝数和铃数呈显著正相关;始节数和叶面积呈极显著正相关;果枝数与果节数、单株产量呈极显著正相关,与铃数呈显著正相关;果节数与铃数呈极显著正相关,与单株产量呈显著正相关;铃数与单株产量呈极显著正相关,与 SPAD 值、叶面积呈显著正相关;SPAD 值与单株产量、比强度、伸长率呈极显著正相关,与单铃重、衣分呈显著正相关;叶面积与单铃重、衣分、单株产量、马克隆值、伸长率呈极显著正相关性,与绒长呈显著正相关;单铃重与单株产量呈极显著正相关;衣分与比强度呈极显著正相关,与马克隆值呈显著正相关,与绒长呈显著负相关;单株产量和伸长率呈极显著正相关;绒长与整齐度、比强度、伸长率呈极显著正相关,与马克隆值呈极显著负相关;整齐度与比强度和伸长率呈显著正相关;比强度与马克隆值、伸长率分别呈极显著负相关和极显著正相关。

2.3 各性状抗旱系数的统计分析

对不同性状抗旱系数进行统计分析(表 4)发现,30 份陆地棉品种 16 个性状的平均抗旱系数均 <1, DC_{SYP} 平均值最小,为 0.706, DC_{LP} 平均值最大,为 0.987。同一性状在不同品种间的稳定性具有显著性差异, DC_{LP} 标准差最小,表明该性状指标稳定性较好, DC_{FB} 标准差最大,表明该性状指标稳定性较差。各项性状的峰值值均 >0, 偏度值均 <0, 则表明

表 2 干旱条件下供试品种植株含水量的差异性分析

Table 2 Analysis of differences in moisture content of test varieties under drought conditions

品种 Variety	鲜质量 Fresh mass/g		干质量 Dry mass/g		根含水量 Root water content
	根部 Root	地上部 Above-ground part	根部 Root	地上部 Above-ground part	
DG186	24.412±2.305a	342.083±16.320a	15.575±1.319a	119.231±8.611a	0.942±0.062a
DG168	21.294±2.685b	337.896±12.755b	11.096±1.721b	85.754±4.657b	0.941±0.036a
DG219	20.997±1.590b	336.307±13.475b	10.849±0.593b	85.693±4.708b	0.941±0.044a
DG270	17.064±2.506c	278.976±19.316c	9.710±1.225c	78.262±5.302c	0.918±0.129ab
DG228	16.976±1.389c	278.038±12.341c	8.840±1.058c	79.708±4.500c	0.919±0.134ab
DG034	15.266±0.854d	260.878±3.783d	6.846±1.012d	61.900±5.494d	0.918±0.068ab
DG264	15.752±2.594cd	259.415±11.797d	6.770±0.882d	58.289±6.672d	0.914±0.085abc
DG231	15.736±0.604cd	256.044±4.993d	6.604±1.082d	57.932±7.188d	0.911±0.046abcd
DG181	15.412±0.664cd	255.974±5.245d	6.115±0.461d	56.641±3.840d	0.903±0.053abcd
DG171	15.506±1.501cd	254.194±8.773d	5.734±1.143ef	55.538±7.692d	0.904±0.068abcd
DG108	15.408±0.456de	209.153±22.674e	5.133±0.887ef	48.050±6.946e	0.904±0.025abcd
DG154	15.110±0.434de	206.368±11.093e	4.924±0.573ef	46.326±2.556e	0.909±0.044abcd
DG176	14.888±1.183f	189.600±6.783f	4.902±0.989ef	44.766±5.859ef	0.903±0.032abcd
DG238	14.388±0.723ef	187.824±8.195f	4.300±0.285efg	43.664±3.055ef	0.906±0.039abcd
DG158	14.358±0.993f	180.837±4.007fg	4.144±0.690efg	41.063±3.147efg	0.904±0.057abcd
DG248	14.216±0.485f	178.738±6.458fg	4.072±0.319efgh	40.932±3.147efgh	0.871±0.073abcde
DG63	13.192±0.812g	163.494±4.160hi	3.892±0.720ghi	38.238±5.375fghi	0.869±0.037abcde
DG42	11.192±1.121h	158.494±6.158hi	3.878±0.247hgi	37.026±5.341fghi	0.838±0.045abcde
DG21	10.258±1.074ij	152.512±3.620ij	3.614±0.817ghi	34.020±3.829ghi	0.808±0.059cdef
DG24	8.978±1.631gh	143.352±4.925jk	2.974±0.870hij	36.608±7.753ghij	0.825±0.033bcdef
DG80	8.808±1.950gh	163.896±9.790hi	2.857±0.661hij	35.761±3.71ghij	0.824±0.075bcdef
DG027	8.254±1.798gh	170.050±4.471gh	2.776±0.427hij	35.308±4.049ghij	0.820±0.064bcdef
DG8	8.250±1.892gh	158.875±6.204hi	2.738±0.549hij	35.006±2.838ghij	0.817±0.060bcdef
DG069	8.212±2.244gh	144.994±3.414jk	2.766±0.699hij	34.806±2.712hij	0.815±0.061bcdef
DG20	8.034±1.387hi	141.712±3.972jk	2.757±0.447hij	34.525±2.457hij	0.813±0.088bcdef
DG153	7.408±0.608hi	141.190±10.615jk	2.752±0.435hij	34.984±5.731hij	0.811±0.051bcdef
DG43	7.743±1.390hi	140.697±14.217jk	2.757±0.946hij	33.134±7.359hij	0.805±0.091cdef
DG18	6.056±0.611ij	138.536±11.505jk	2.738±0.524ij	32.229±4.973ij	0.796±0.076ef
DG190	5.322±0.745j	133.118±3.839k	2.502±0.769j	28.834±3.456j	0.794±0.017ef
DG16	5.110±0.667j	133.040±5.459k	2.180±0.110j	27.430±4.304j	0.762±0.141ef

注:表中数值为平均值±标准差。同列不同小写字母表示品种间显著差异 ($P<0.05$)。

Note: The values in the table are mean ± standard deviation. The different lowercase letters mean significant differences at $P<0.05$.

总体数据分布呈现出尖顶峰的陡峭趋势,且数据右侧的离散度较左侧弱,与正态分布相比更为明显。各性状抗旱系数的变异系数间差异明显;农艺性状中, DC_{LP} 的变异系数、范围最小,分别为 3.665%、0.142, DC_{BN} 变异系数、范围最高,分别为 46.434%、2.015,表明干旱胁迫对 30 份陆地棉种质资源的不同农艺性状有不同程度的影响,如不同品种间衣分变异最小,铃数变异最大,表明棉花产量受到干旱胁迫的影响较大;纤维品质中, DC_{UNI} 的变异系数、范围最小,分别为 18.408%和 0.475, DC_{MIC} 的变异系数、范围最大,分别为 32.108%和 0.924,这表明干旱胁迫对 30 份陆地棉种质资源的不同纤维性状指标产生了不同的影响,如不同品种之间整齐度的差异

较小,而马克隆值的差异较大,这表明不同品种的纤维细度和成熟度受到干旱胁迫的影响较大。

2.4 3 种综合评价的相关性

如表 5 所示:通过对 30 个陆地棉品种的综合抗旱系数(CDC)和加权抗旱系数(WDC)两种评价值的计算,进一步验证了不同品种的抗旱程度,上述两种方法的评估值作为与抗旱性进行综合评价(D)的标准参照,对其进行比较分析,从而得出各自相对准确的评判结果。试验结果表明,3 种抗旱性分析方法之间呈现出极为显著的正相关性,相关系数高达 0.977~1.000。这 3 种方法的结果一致,可以相互验证抗旱性评价结果的可靠性。

表 3 不同性状相关性统计分析
Table 3 Statistical analysis of correlation among different traits

性状 Trait	株高 <i>PH</i>	始节高 <i>AFNFB</i>	始节数 <i>FNFB</i>	果枝数 <i>FB</i>	果节数 <i>FN</i>	铃数 <i>BN</i>	叶绿素含量 SPAD value	叶面积 <i>LA</i>	单铃重 <i>BW</i>	衣分 <i>LP</i>	单株产量 <i>SYP</i>	绒长 <i>FL</i>	整齐度 <i>UNI</i>	比强度 <i>FS</i>	马克隆值 <i>MIC</i>	伸长率 <i>EL</i>
株高 <i>PH</i>	1.000															
始节高 <i>AFNFB</i>	0.341**	1.000														
始节数 <i>FNFB</i>	0.158	0.337**	1.000													
果枝数 <i>FB</i>	0.489**	0.456*	0.246	1.000												
果节数 <i>FN</i>	0.447*	0.129	0.091	0.439**	1.000											
铃数 <i>BN</i>	0.613	0.438*	0.152	0.353*	0.559**	1.000										
叶绿素含量 SPAD value	0.413	0.275	0.294	0.218	0.229	0.546*	1.000									
叶面积 <i>LA</i>	0.292*	0.141	0.217**	0.370	0.334	0.481*	-0.179	1.000								
单铃重 <i>BW</i>	0.095	-0.206	-0.120	0.152	0.207	0.180	0.376*	0.524**	1.000							
衣分 <i>LP</i>	-0.275	0.069	0.121	-0.244	-0.266	-0.240	0.392*	0.621**	-0.297	1.000						
单株产量 <i>SYP</i>	0.472**	0.331	0.081	0.402**	0.393*	0.764**	0.506**	0.535**	0.485**	0.183	1.000					
绒长 <i>FL</i>	-0.115	0.026	-0.031	0.207	0.045	0.064	-0.069	0.363*	0.125	-0.151*	0.017	1.000				
整齐度 <i>UNI</i>	0.013	0.214	-0.331	0.057	0.048	0.133	0.128	0.008	0.228	-0.163	0.121	0.733**	1.000			
比强度 <i>FS</i>	0.384	-0.156	0.105	-0.218	-0.080	-0.368	0.486**	0.203	-0.253	0.576**	-0.221	0.756**	0.556**	1.000		
马克隆值 <i>MIC</i>	-0.090	-0.032	0.144	0.019	-0.066	-0.209	-0.073	0.405**	-0.051	0.412*	0.003	-0.251**	-0.348	-0.208**	1.000	
伸长率 <i>EL</i>	-0.246	0.102	0.441	0.390	0.272	0.388	0.599**	0.316**	0.136	-0.295	0.486**	0.532**	0.576**	0.643**	0.077	1.000

注: ** 表示在 $\alpha=0.01$ 水平(双侧)上显著相关。* 表示在 $\alpha=0.05$ 水平(双侧)上显著相关。下同。
Note: ** indicates significant correlation at $\alpha=0.01$ level (bilateral). * indicates significant correlation at $\alpha=0.05$ level (bilateral). The same blow.

表 4 不同性状抗旱系数(DC)统计分析

Table 4 Statistical analysis of drought resistance coefficients for different traits

指标 Index	范围 Range	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV/%
株高 DC_{PH}	0.652	0.391	1.043	0.715±0.028	-0.164	0.836	21.532
始节高 DC_{HFNFB}	0.546	0.557	1.104	0.844±0.025	-0.304	0.625	16.105
始节数 DC_{FNFB}	0.615	0.828	1.442	0.838±0.027	-0.162	0.507	13.237
果枝数 DC_{FB}	1.621	0.275	1.895	0.740±0.047	-0.168	15.230	20.034
果节数 DC_{FN}	1.169	0.270	1.439	0.752±0.044	-0.015	1.939	32.357
铃数 DC_{BN}	2.015	0.292	1.308	0.819±0.070	-0.313	8.260	46.434
叶绿素含量 DC_{Chl}	0.308	0.770	1.077	0.957±0.013	-0.720	1.117	7.573
叶面积 DC_{LA}	1.197	0.437	1.097	0.762±0.044	-0.735	2.651	33.644
单铃重 DC_{BW}	0.279	0.909	1.187	0.826±0.013	-0.125	0.885	7.037
衣分 DC_{LP}	0.142	0.899	1.041	0.987±0.007	-1.508	1.093	3.665
单株产量 DC_{SYP}	0.691	0.293	1.985	0.706±0.040	-0.283	0.857	27.437
绒长 DC_{FL}	0.634	0.520	1.154	0.796±0.030	-0.189	0.598	18.576
整齐度 DC_{UNI}	0.475	0.550	1.025	0.775±0.030	-0.130	1.550	18.408
比强度 DC_{FS}	0.715	0.520	1.235	0.833±0.030	-0.167	0.625	18.754
马克隆值 DC_{MIC}	0.924	0.500	1.424	0.776±0.030	-0.616	5.860	32.108
伸长率 DC_{EL}	0.683	0.420	1.103	0.716±0.030	-0.451	0.679	23.518

2.5 灰色关联度分析

通过各性状抗旱系数与 D 值、 WDC 值进行关联度分析(表 6)可知:不同性状抗旱系数与 D 值、 WDC 值关联程度不同。其中,伸长率、单株产量、比强度、整齐度 4 个性状抗旱系数 D 值和 WDC 值的关联度排序是完全一致的,且关联程度较大;而株高、铃数等性状抗旱系数与 D 值、 WDC 值关联度排序差异比较大。

2.6 聚类分析

利用 SPSS 19.0 软件对 30 个陆地棉品种的 D 值进行综合抗旱性聚类分析,得出结果如图 1 所示。在 $k=5$ 时,可以将 30 份具有相似抗旱能力的品种归纳为 4 个大类。其中,第 I 大类 D 值最高,属于强抗旱类别,包括 DG219、DG168 和 DG186 这 3 个品种,占据总资源数的 10%;第 II 大类 D 值较高,属于抗旱类别,涵盖了 12 个品种,包括 DG270、DG228、DG264 等,这些品种占据了总资源数的 40%;第 III 大类 D 值较低,属于较为敏旱类别,仅有 DG248,占据总资源数的 3%;第 IV 大类 D 值最低,属于敏旱类别,包括 DG43、DG42、DG8、DG16 等 14 个品种,占据了总资源数的 47%。研究结果表明,在总资源中,抗旱材料和敏旱材料占据了绝大多数,分别占据总资源 40% 和 47% 的比例。经过筛选, DG219、DG168、DG186 被认定为具有极强抗旱能力的材料,为棉花的抗旱遗传改良提供了独特的种质资源。

表 5 3 种综合评价值的相关性

Table 5 Correlation of three comprehensive evaluation values

评价价值 Evaluation value	CDC	WDC	D
CDC	1.000		
WDC	1.000 **	1.000	
D	0.977 **	0.977 **	1.000

表 6 各性状与 D 值、 WDC 值关联度分析

性状指标 Trait	D		WDC	
	关联度 Correlation degree	排名 Rank	关联度 Correlation degree	排名 Rank
伸长率 EL	0.890	1	0.946	1
单株产量 SYP	0.866	2	0.913	2
比强度 FS	0.863	3	0.891	3
整齐度 UNI	0.838	4	0.877	4
马克隆值 MIC	0.832	5	0.873	6
果枝数 FB	0.826	6	0.873	5
绒长 FL	0.818	7	0.827	11
衣分 LP	0.787	8	0.846	7
始节数 $FNFB$	0.785	9	0.842	8
株高 PH	0.779	10	0.823	13
单铃重 BW	0.776	11	0.837	9
叶绿素含量 SPAD value	0.771	12	0.830	10
铃数 BN	0.769	13	0.789	16
始节高 $HFNFB$	0.765	14	0.823	12
叶面积 LA	0.759	15	0.795	14
果节数 FN	0.753	16	0.794	15

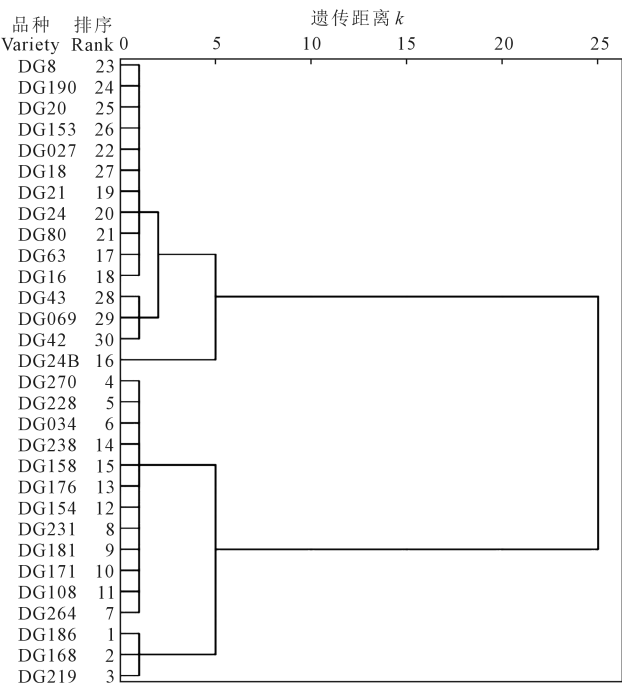


图 1 基于 *D* 值的 30 个陆地棉品种聚类分析
Fig.1 Cluster analysis of 30 upland cotton varieties based on *D*-value

3 讨 论

根系是棉花吸收水分和养分的器官,同时还有激素合成、固定支持等作用,与抗旱性息息相关。本研究测定 30 份陆地棉材料地上部分及地下部分干、鲜质量进行差异性分析,结果表明:在干旱条件下,由于强抗旱性材料根系受干旱影响较小,则根系发育较好,从而地上部分协同生长发育也较好,则其生物量也较大;反之亦然,敏旱材料根系受干旱影响程度较大,则根系发育受到限制,从而地上部分协同生长发育较差,该部分生物量较小。这与张海燕等^[11]研究结果一致:抗旱性越好的品种根系吸水能力越强,则根含水量越大,且抗旱能力不同品种间根含水量表现出显著性差异。同时,筛选出的 3 份(G186、DG168、DG219)强抗旱品种;DG270、DG228、DG264、DG231、DG1881 等 12 份抗旱品种;仅有 1 份材料 (DG248) 属于干旱较敏感品种;DG16、DG18、DG190 等 14 份属于敏旱品种。

本研究以 30 份品种为试验材料,分别测量了干旱和正常灌溉条件下各品种的株高、始节高、果枝数、果节数、铃数等农艺性状指标及绒长、整齐度、马克隆值、伸长率等纤维品质性状指标。通过各性状抗旱系数与综合评价值 (*D*)、加权抗旱系数值 (*WDC*) 进行灰色关联度分析,结果表明:不同性状之间的相关性存在一定差异,其中伸长率、单株产

量、果枝数、马克隆值、比强度、单铃重、伸长率与其他性状之间存在较高的相关性,与 *D* 值和 *WDC* 值关联度中呈现较高的一致性,说明这些指标可作为品种抗旱性鉴定指标,这与前人研究结果一致^[12];也说明持续干旱胁迫对纤维品质性状指标的影响大于农艺性状指标,这与孙丰磊等^[13]、Singh 等^[14]研究结果一致。

对每个性状的抗旱能力进行了描述性统计分析,并发现各性状的变异系数存在显著差异。在农艺性状中,*DC_{BN}* 的变异系数最大,*DC_{LP}* 的变异系数最小,这与王海标等^[15]研究结果基本一致,不同棉品种的衣分受干旱影响的程度相对较小,而铃数相对较大;而 *DC_{HFNFB}* 和 *DC_{PH}* 的变异系数处于中等水平。在纤维品质方面,*DC_{MIC}* 的变异系数最大,表明干旱胁迫对不同品种马克隆值的影响程度存在显著差异;*DC_{UNI}* 的变异系数最小,表明不同品种整齐度受干旱胁迫的程度相对较稳定;而 *DC_{FS}* 的变异系数处于中等水平;也间接表明不同品种纤维细度和成熟度在干旱胁迫下的影响程度相对较大。

本研究利用 *CDC*、*WDC* 和 *D* 评价值之间的相关程度,验证不同品种抗旱能力的可靠性。结合李憬霖等^[16]评价方法,研究结果表明,多种综合方法彼此印证,从而防止单一方法的局限性和漏洞,有效地评估了品种的抗旱性能,对于鉴别和利用不同抗旱品种具有重要的参考价值。

本研究中根含水量差异性分析和聚类分析的结果基本一致。根据聚类分析将供试品种划分成 4 个抗旱等级,第 I 类为强抗旱性材料,有 3 个品种,即 DG219、DG168、DG186;第 II 类为抗旱材料,有 DG270、DG228、DG264 等 12 个品种;第 III 类为较敏旱材料,仅有品种 DG248;第 IV 类为敏旱材料,有 DG190、DG16、DG18 等 14 个品种,这与李海明等^[17]、李忠旺等^[18]研究结果不同,可能与气候、土壤、干旱胁迫程度等不同有关。

4 结 论

利用多种综合筛选方法,通过对重要农艺性状和品质指标的综合分析,对 30 份陆地棉品种进行抗旱等级分类,筛选出 DG219、DG168、DG186 为强抗旱品种,可以为棉花抗旱遗传改良提供优质种质资源,为今后育种工作奠定基础。

参 考 文 献:

[1] 赵海燕,渠云芳,黄晋玲. 棉花重要数量性状基因定位研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 57-61.
ZHAO H Y, QU Y F, HUANG J L. Research progress on gene map-

- ping of important quantitative traits in cotton [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, 12(2): 57-61.
- [2] 张若薇, 陈玉兰, 赵达君. 新疆棉花产业发展现状与建议[J]. 智慧农业导刊, 2023, 3(6): 1-5.
ZHANG R W, CHEN Y L, ZHAO D J. Development status of cotton industry in Xinjiang and the suggestions[J]. Journal of Smart Agriculture, 2023, 3(6): 1-5.
- [3] 王海标. 棉花品种苗期与花期抗旱性评价及遗传多样性分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
WANG H B. Evaluation of drought resistance and analysis of genetic diversity in cotton varieties under drought stress of seedling stage and flowering stage[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013.
- [4] 张建国, 熊黎黎, 姜培燕, 等. 浅述棉花抗旱和育种现状、存在问题 and 对策[J]. 新疆农业科技, 2019, (6): 12-15.
ZHANG J G, XIONG L L, JIANG P Y, et al. A brief discussion on the current situation, existing problems, and countermeasures of cotton drought resistance and breeding[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2019, (6): 12-15.
- [5] SEPASKHAH A R, KANOONI A, GHASEMI M M. Estimating water table contributions to corn and sorghum water use [J]. Agricultural Water Management, 2003, 58(1): 67-79.
- [6] 李腾宇, 汤孟玲, 曹跃芬, 等. 棉花抗旱研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20): 64-69.
LI T Y, TANG M L, CAO Y F, et al. Research progress of dry resistance of cotton [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(20): 64-69.
- [7] 杜传莉, 黄国勤. 棉花主要抗旱鉴定指标研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 17-20.
DU C L, HUANG G Q. Research progress of major identification indicators in the cotton drought-resistance [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(9): 17-20.
- [8] 田又升, 叶春秀, 张国丽, 等. 棉花蕾期至初花期抗旱性评价及指标筛选[J]. 西南农业学报, 2018, 31(2): 306-312.
TIAN Y S, YE C X, ZHANG G L, et al. Drought resistance evaluation and indexes screening of cotton during bud stage to flowering stage[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(2): 306-312.
- [9] 郑巨云, 王俊铎, 龚照龙, 等. 花铃期干旱胁迫对不同棉花品种光合作用影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(12): 2190-2197.
ZHENG J Y, WANG J D, GONG Z L, et al. Photosynthetic characteristics of different cotton variety under drought stress during flowering and boll-setting stage [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(12): 2190-2197.
- [10] 赵冀, 赵喜娟, 方爱国, 等. 水分胁迫对不同基因型马铃薯产量形成、光合生理特性及根系发育的影响[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(6): 508-516.
ZHAO J, ZHAO X J, FANG A G, et al. Effects of water stress on yield formation, photosynthetic physiological characteristics and root development of different genotypes of potato [J]. Chinese Potato Journal, 2022, 36(6): 508-516.
- [11] 张海燕, 郭忠军, 姚正培, 等. 抗旱、敏旱棉花材料苗期根系特性研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(10): 1772-1776.
ZHANG H Y, GUO Z J, YAO Z P, et al. The growing situation of cotton under the simulate hydroponic drought condition [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(10): 1772-1776.
- [12] 郑巨云, 王俊铎, 龚照龙, 等. 棉花品种资源花铃期抗旱性鉴定与评价[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 150-163.
ZHENG J Y, WANG J D, GONG Z L, et al. Identification and comprehensive assessment of drought resistance of upland cotton variety resources during flower and boll stage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(2): 150-163.
- [13] 孙丰磊, 曲延英, 陈全家, 等. 棉花抗旱相关指标综合评价及灰色关联分析[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 233-239.
SUN F L, QU Y Y, CHEN Q J, et al. Comprehensive evaluation of cotton drought tolerance indexes and gray relational analysis [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(1): 233-239.
- [14] SINGH C, KUMAR V, PRASAD I, et al. Response of upland cotton (*G.hirsutum* L.) genotypes to drought stress using drought tolerance indices [J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2016, 19(1): 53-59.
- [15] 王海标, 陈全家, 刘鹏鹏, 等. 苗期干旱胁迫对棉花生理特性、产量构成因素和纤维品质的影响 [J]. 新疆农业科学, 2013, 50(12): 2172-2181.
WANG H B, CHEN Q J, LIU P P, et al. Effect of drought during seedling stage on physiological traits, yield components and fiber quality of 4 kinds of cotton [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2013, 50(12): 2172-2181.
- [16] 李璟霖, 刘绍东, 张思平, 等. 棉花品种资源全生育期抗旱性评价及抗旱指标筛选[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(10): 52-65.
LI J L, LIU S D, ZHANG S P, et al. Identification of drought tolerance during whole growth period in cotton germplasm resources and resistance index screening [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(10): 52-65.
- [17] 李海明, 刘绍东, 张思平, 等. 陆地棉种质资源花铃期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选 [J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 583-597.
LI H M, LIU S D, ZHANG S P, et al. Identification and indices screening of drought tolerance at flowering and boll setting stage in upland cotton germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 583-597.
- [18] 李忠旺, 陈玉梁, 罗俊杰, 等. 棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 240-247.
LI Z W, CHEN Y L, LUO J J, et al. Screening and evaluation for drought resistance of cotton varieties [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 240-247.