

棉花花铃期抗旱性综合评价及指标筛选

刘光辉¹, 陈全家¹, 吴鹏昊¹, 曲延英¹, 高文伟¹, 杨军善², 杜荣光¹

(¹新疆农业大学农业生物技术重点实验室, 乌鲁木齐 830052; ²新疆华西种业, 乌鲁木齐 831100)

摘要:以 90 份国内棉花为材料, 在大田采用花铃期胁迫, 考察 6 个农艺性状和单株产量(Y 值)指标, 采用综合抗旱系数、因子分析、隶属函数值、聚类分析、灰色关联度和广义遗传力分析相结合的方法, 对其抗旱性进行综合评价、抗旱性划分和评价指标筛选。结果表明, 基于 D 值相关性指标对干旱胁迫关联度位次依次为: 单株产量、有效铃数、有效果枝数、株高、单铃重、衣分、第一果枝节位。因子分析表明, 3 个公因子可代表棉花抗旱性 72.45% 的原始数据信息量。基于 D 值和加权抗旱系数(WDC 值)的各品种抗旱性排序相近, 位居前 10 位的抗旱品种基本相同。各品种 D 值与综合抗旱系数(CDC 值)、WDC 值之间均呈极显著正相关, 广义遗传率分析表明 D 值的遗传率为 55.4%, 为最高, 其次为 CDC 值、WDC 值。各品种 Y 值与 CDC、WDC 值间极显著正相关; 根据 D 值将试验材料划分为 5 个抗旱级别, 可较好地反映品种的选育条件及适应地区。试验结果说明基于遗传力大小的综合抗旱指标中用 D 值为主要参数, WDC 为辅助评价参数, 评价以单株产量为主要考量目标的棉花抗旱性是适宜且必须的; 以抗旱性综合评价方法进行棉花抗旱性综合评价、抗旱性划分和评价指标筛选是可行且有效的。

关键词:棉花; 农艺性状; 抗旱性综合评价; D 值

Screening and Comprehensive Evaluation of Drought Resistance Indices of Cotton at Blossing and Boll-forming Stages

LIU Guang-hui¹, CHEN Quan-jia¹, WU Peng-hao¹, QU Yan-ying¹,
GAO Wen-wei¹, YANG Jun-shan², DU Rong-guang¹

(¹Xinjiang Agricultural University, Agricultural Biological Technology Key Laboratory, Urumqi 830052;

²West China Seed Industry in Xinjiang, Urumqi 831100)

Abstract: Six main agronomic traits and yield per plant(Y) of ninety main cotton germplasm resources in China were measured at flowering and boll setting stage-under drought stress. Comprehensive drought resistance coefficient(CDC value), factor analysis, subordinate function coefficients, clustering analysis, grey relational analysis, broad-sense heritability were used to evaluate the drought resistance, classify drought resistance and select evaluation indices in tested cottons. D value based on traits related to drought stress were Correlation degree of order bits; yield per plant(Y), effective number, effective fruit branch number, plant height, single boll weight, lint percentage, initial internodes of fruiting branch. Factor analysis showed that three common factors could represent 72.45% of the original information of cotton drought resistance data. The ranks of drought resistance of tested cotton sbased on drought resistance comprehensive evaluation values(D value) and weight drought resistance coefficient(WDC value) were similar. D values of tested cottons correlated positively with CDC value, WDC value and Y value. Broad-sense heritability showed that the highest rate of genetic generalized D value was 55.4%, followed by CDC value, WDC value. Y values of tested cotton also had very significant and positive correlation with CDC value and WDC

收稿日期: 2015-01-24 修回日期: 2015-03-10 网络出版日期: 2015-12-09

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20151209.0917.032.html>

基金项目: 国家“863”计划(2012AA101108-05); 新疆自治区产学研联合培养研究生示范基地项目(xjauxy-yjs-20131021); 内蒙古旱区棉花新品种选育及配套技术研究与示范-抗旱、耐盐碱棉花新品种筛选及新材料创制(2014BAD03B01)

第一作者研究方向为作物遗传育种。E-mail: 332044173@qq.com

通信作者: 曲延英, 研究方向为棉花分子育种。E-mail: xjyyq5322@126.com

value. Tested cultivars were divided into five drought grades according to D value, and reflected the variety of breeding conditions and adaptation to regional well. Based on the comprehensive index of drought resistance, the size of heritability D value was the main parameter, assisted by WDC for evaluation parameters, with evaluation of the yield per plant as the main consideration goal, yield drought resistance of cotton were appropriate and necessary. Drought resistance comprehensive evaluation methods used in studying comprehensive evaluation of drought resistance drought resistant and screening evaluation indices in cotton were feasible and effective.

Key words: cotton; agronomic traits; drought resistance comprehensive evaluation; D value

全球水资源一直匮乏和日益短缺^[1],水资源短缺已经是制约农业生产的世界性问题。同时干旱已经严重影响我国的农业生产,在我国,干旱与半干旱地区主要分布在西北、内蒙古等地区,面积占全国土地面积的1/2,其中新疆干旱面积最大^[2]。而棉花作为新疆种植的优势作物,缺水对棉花产量影响最深。由于棉花育种周期长,培育抗旱性强的棉花品种耗时耗力,所以利用棉花抗旱种质资源、挖掘现有主栽品种的抗旱潜力是快速找到抗旱性的优势品种的有效捷径^[3]。

前人对棉花抗旱性评价主要从生理生化^[4]和农艺性状^[5]两方面进行研究,本研究主要用综合抗旱系数^[6]、主成分分析^[7]、隶属函数值^[8]、广义遗传率^[9]和灰色关联度分析^[10]等相结合的方法对90个不同的棉花品种,通过测定花铃期与抗旱性相关的农艺性状和单株产量指标,探讨各指标与品种抗旱性的关系,明确影响棉花花铃期抗旱性的关键性因素,建立棉花花铃期抗旱性鉴定的综合评价指标,试图明确其抗旱性评价中可借鉴的性状指标及简单、可靠的方法,以期挖掘现有主栽品种的抗旱潜力,为抗旱育种及品种生产应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

棉花品种共90份,均由新疆农业大学遗传育种试验室提供。

1.2 试验设计

试验于2014年在新疆农业大学棉花育种试验田进行,设干旱胁迫与正常灌水2个处理。4月22日播种,每个品种随机3次重复种植,每个重复按0.5 m×3 m的2行规模种植,株距0.1 m,采取1膜6行的种植模式,对照组与胁迫组中间以0.5 m走道作为隔离带,灌水采用膜下滴灌的灌水方式,滴灌为一头进水,毛管配置方式为“一管两

行”配置模式(20~25) cm+(50~60) cm宽窄行,毛管置于(20~25) cm窄行之间,毛管浸润范围包括3行棉花。于7月11日(花铃期)对照组正常浇水,胁迫组不浇水,根据土壤中水分含量变化,7月16日对胁迫组复水,其后2个处理都正常浇水。8月26日吐絮期,测定农艺性状及单株产量。

1.3 数据处理及统计分析

参考前人^[11-16]的研究方法,以2014年供试棉花品种各小区农艺性状作为基础数据,对各性状测定值进行平均数差异显著性分析,按公式(1)和(2)分别计算单项抗旱系数(DC)及综合抗旱系数(CDC),式中 x_i 、 CK_i 表示干旱、对照处理的性状测定值。

$$DC = \frac{x_i}{CK_i}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

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

按公式(3)计算因子权重系数(ω_i),式中 P_i 为第 i 个综合指标贡献率,表示其在所有指标中的重要程度。

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

按公式(4)计算各基因型各综合指标的隶属函数值 $[\mu(x_i)]$,式中 x_i 、 x_{imin} 、 x_{imax} 分别表示第 i 个综合指标及第 i 个综合指标的最小值、最大值。

$$\mu(x_i) = \frac{x_i - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

根据因子权重(ω_i)及隶属函数值 $[\mu(x_i)]$,按公式(5)计算抗旱性度量值(D)。

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(x_i) \times (P_i \div \sum_{i=1}^n P_i)], i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

按公式(6)、(7)计算关联系数(ξ_i)及关联度(γ_i),式中 $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最小差,

$\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最大差, ρ 为分辨系数(取值 0.5)。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

根据各性状关联度 γ_i , 按公式(8) 计算各性状指标权重系数 $[\omega_{i(\gamma)}]$, 并据公式(9) 计算加权抗旱系数(WDC), 式中 γ_i 为各基因型关联度。

$$\omega_{i(\gamma)} = \gamma_i \div \sum_{i=1}^n \gamma_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

$$WDC = \sum_{i=1}^n [DC \times \omega_{i(\gamma)}], i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

广义遗传力 = 基因型方差/表型方差, 表示为:

$$H_b^2 = VG/VG + VE \times 100\% \quad (10)$$

针对棉花品种 D 值进行聚类分析, 划分抗旱级别并分别以 D 值、CDC 值、WDC 值为参考序列, 对各性状 DC 值进行逐步回归分析, 求取回归方程。采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 20.0 分析软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 棉花品种处理间各性状测定值分析

棉花品种主要农艺性状平均值的差异显著性分析(配对处理 t 检验)表明(表 1) 干旱胁迫对供试品种的主要农艺性状均有显著影响, 除第一果枝节位外($P > 0.05$), 处理间差异极显著($P < 0.01$), 品种间差异显著($P < 0.05$), 品种间各性状均值变异系数介于 0.12 ~ 0.27 之间。说明本试验所选棉花品种类型较丰富, 所考察的主要农艺性状对干旱胁迫反应较为敏感。

另外, 所选品种各性状在干旱胁迫和正常灌水下, 除第一果枝节位外($P > 0.05$), 其他性状相关性差异极显著($P < 0.01$)。这进一步说明各性状对胁迫的敏感程度存在较大差异, 但采用各单一性状测定值难以直接考量其抗旱性。

2.2 棉花品种单项指标的抗旱性分析

根据公式(1) 获得各性状抗旱系数(DC 值), 由表 1 分析表明, 与正常灌水处理相比, 各品种在花铃期干旱处理后, 所选性状均发生了不同程度变化, 性状间变异系数介于 0.064 ~ 0.261 之间。同一性状各品种的 DC 值差异明显, 但不同品种间 DC 值所反映的抗旱性不同, 且同一品种各性状的 DC 值存在较大差异, 说明各性状指标对干旱胁迫的敏感程度各异, 且所测指标间的关系复杂。

表 1 干旱胁迫处理和正常灌水处理条件下的棉花品种主要农艺性状测定值及其均值差异分析

Table 1 Measured value of main agronomic traits of cotton cultivars under drought stress and irrigation and its mean variance analysis

统计参数 Statistical parameter	有效铃数 EN		衣分 LP		单铃重(g) SBW		单株产量(g) YPP		株高(cm) PH		第一果枝节位(cm) IIFB		有效果枝数 EFBN	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
均值 Average	9.00	7.18	0.36	0.30	5.45	4.88	39.70	49.20	71.80	60.97	18.76	18.30	7.63	6.48
变异系数 CV	0.27	0.21	0.12	0.10	0.14	0.12	0.16	0.24	0.12	0.13	0.19	0.20	0.18	0.14
标准误 SE	0.15636		0.00356		0.05379		0.98545		0.74685		0.26583		0.09516	
T	41.089 **		13.983 **		32.836 **		78.612 **		73.675 **		0.738		45.914 **	
P	0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.3910		0.0001	
相关系数 r	0.431 **		0.268 **		0.393 **		0.551 **		0.539 **		0.064		0.451 **	
DC average	0.811		0.943		0.894		0.710		0.858		1.005		0.855	
DC CV	0.261		0.164		0.064		0.237		0.150		0.257		0.191	

T1: 正常灌水处理; T2: 花铃期胁迫处理。* 和 ** 分别表示差异在 0.05 和 0.01 上显著水平, 下同

T1: drought-stress treatments, T2: irrigated treatments. * significant at 0.05 probability level, ** significant at 0.01 probability level, EN: Effective number, LP: Lint percentage, SBW: Single boll weight, YPP: Yield per plant, PH: Plant height, IIFB: Initial internodes of fruiting branch, EFBN: Effective fruit branch number, the same as below

90份材料各性状DC值的连续次数分布统计分析表明(表2)同一区间各性状DC值分布次数和频率相差较大,DC值在 $0.9 < DC \leq 1.2$ 区间的衣分分布频率为59.34%,而第一果枝节位的分布频率在

42.86%,DC值在 $0.6 < DC \leq 0.9$ 区间的株高、有效果枝数、有效铃数、单铃重和单株产量等指标的分布频率也均大于50.0%,其中株高和单铃重的DC值在此区间分布频率达60.0%以上。

表2 棉花品种各性状指标的抗旱系数及其在不同区间的分布

Table 2 Drought resistance coefficient of traits indices and different distributions of cotton cultivars

性状 Trait	0.3 < DC ≤ 0.6		0.6 < DC ≤ 0.9		0.9 < DC ≤ 1.2		1.2 < DC ≤ 1.5		1.5 < DC ≤ 1.9	
	次数	频次(%)	次数	频次(%)	次数	频次(%)	次数	频次(%)	次数	频次(%)
	Times	Frequency	Times	Frequency	Times	Frequency	Times	Frequency	Times	Frequency
株高 PH	1	1.10	61	67.04	28	30.77	1	1.10	0	0
第一果枝节位 IIFB	1	1.10	35	38.46	39	42.86	9	9.90	7	7.70
有效果枝数 EFBN	4	4.40	53	58.24	32	35.16	2	2.20	0	0
有效铃数 EN	14	15.38	47	51.65	26	28.57	4	4.40	0	0
衣分 LP	2	2.20	32	35.16	54	59.34	3	3.30	0	0
单铃重 SBW	0	0	58	63.74	33	36.26	0	0	0	0
单株产量 YPP	28	30.77	49	53.85	14	15.38	0	0	0	0

通过分析表明衣分和第一果枝节位指标对于干旱胁迫的反应较为迟钝,有效果枝数、有效铃数和单株产量次之,而株高和单铃重性状则较为敏感。但由于单项指标之间差异大,不能单独作为决定性抗旱指标,有必要借助综合抗旱系数(CDC值)及因子分析确定其权重系数(ω)后进行抗旱性综合评价。

2.3 因子分析

采用因子分析对各性状指标DC值分析,获得特征向量、因子载荷和贡献率(表3)。结果表明,各

表3 因子载荷矩阵及方差贡献率

Table 3 Rotated factor pattern and cumulative variance contribution

性状 Trait	因子载荷 Factor pattern		
	F1	F2	F3
株高 PH	0.53*	0.04	-0.01
第一果枝节位 IIFB	0.43	0.73*	0.22
有效果枝数 EFBN	0.74*	-0.35	-0.21
有效铃数 EN	0.89*	-0.25	-0.19
衣分 LP	-0.12	0.43	-0.70*
单铃重 SBW	0.04	-0.29	0.77*
单株产量 YPP	0.86*	-0.32	0.01
特征根 CR	3.58	1.59	1.35
贡献率(%) CCR	39.82	17.67	14.96
累计贡献率(%) CCR	39.82	57.50	72.45
因子权重 FW	0.55	0.24	0.21

*表示某指标在各因子中的最大绝对值

* means the biggest absolute value of each index in all factors, CR: Characteristic root, COR: Contribution rate, CCR: Cumulative contribution rate, FW: Factor weight

因子特征值中前3个因子的累积贡献率已达到72.45%,其特征根 $\lambda > 1.35$ 。抽取前3个因子,将具有相同本质的变量归为一类,进而得到3个新的相互独立的综合指标,即公因子,分别用F1、F2、F3表示。公因子载荷矩阵的载荷系数绝对值表明(表3),F1在株高、有效果枝数、有效铃数、单株产量上有较高载荷量;F2在第一果枝节位上有较高载荷量;F3在衣分、单铃重上有较高载荷量。在获得各公因子特征向量、贡献率的基础上,据公式(3)计算各公因子权重系数(ω)(表3),用以计算加权隶属函数值。

2.4 隶属函数分析及其品种的综合抗旱性评价

在获得各公因子特征向量的基础上,利用模糊隶属函数法,据公式(4)计算各因子隶属函数值(μ),并据各因子权重系数(ω),对各因子隶属函数值(μ)赋予相应权重系数(ω),按公式(5)计算加权隶属函数值,作为综合抗旱性度量值(D值),据此可较准确地评价供试品种的抗旱性,D值越大抗旱性越强(表4)。采用综合抗旱系数公式(2)获得供试品种CDC值(表4),CDC值介于0.086~1.093之间,变异系数为0.100。根据CDC值大小对供试品种进行抗旱性排序。供试品种D值介于0.203~0.632之间,平均值0.419,变异系数为0.215。根据D值大小对供试棉花品种进行抗旱性排序(表4),前10名分别为新陆早11、新陆中36、新陆早38、中R773-3、中R2067、新陆早12、5917转N10-1、中棉所19、新陆早1、Y1169。这与基于CDC值的品种的抗旱性强弱评价结果基本吻合。而抗旱性最强的新陆早11等前14

名 D 值较所有品种平均值高出 20.2% 以上,远高于其他品种,这与各品种在生产应用中的多年抗旱性表现相吻合。其中新陆早系列的抗旱性要高于其他品

种,一方面说明新疆在棉花抗旱品种的培育上有所建树,另一方面也表明新疆的环境很恶劣(少雨、高温),必须培育出更抗旱的品种的紧迫性。

表 4 不同棉花品种抗旱性评价的 D 值、CDC 值、WDC 值及其预测值

Table 4 Subordinate function value, D value, CDC value, WDC value, and their predict value on cotton cultivars based of drought resistance evaluation

品种名称 Variety	隶属函数值 Subordinative function value			D 值 D value	预测 D 值 Predict D value	排序 Rank	CDC 值 CDC value	预测 CDC 值 Predict CDC value	排序 Rank	WDC 值 WDC value	预测 WDC 值 Predict WDC value	排序 Rank
	μ_1	μ_2	μ_3									
	新陆早 22	0.300	0.668									
中 R2067	0.740	0.451	0.219	0.561	0.568	5	1.025	1.032	4	1.029	0.967	4
新陆早 47	0.342	0.850	0.089	0.410	0.395	48	0.980	0.992	10	0.962	0.932	12
新陆中 2 号	0.322	0.515	0.203	0.343	0.348	71	0.855	0.861	53	0.849	0.808	55
新陆中 11	0.341	0.658	0.194	0.386	0.372	53	0.927	0.938	27	0.913	0.879	32
新石 K7	0.282	0.438	0.390	0.342	0.345	72	0.820	0.824	64	0.813	0.773	63
新陆早 24	0.499	0.461	0.317	0.452	0.452	35	0.917	0.923	33	0.910	0.875	33
中棉所 8	0.529	0.373	0.319	0.448	0.449	36	0.899	0.904	37	0.897	0.905	37
新陆早 42	0.255	0.564	0.306	0.340	0.346	73	0.849	0.854	56	0.838	0.837	58
新陆早 45	0.567	0.405	0.593	0.533	0.555	12	0.953	0.952	18	0.959	0.956	14
中 R2007	0.476	0.562	0.476	0.497	0.488	22	0.968	0.967	13	0.964	0.961	11
中棉所 17	0.440	0.633	0.551	0.509	0.523	17	0.964	0.958	14	0.958	0.954	15
YCJ-5	0.240	0.444	0.475	0.338	0.357	74	0.793	0.792	74	0.785	0.786	76
新陆早 7	0.105	0.337	0.305	0.203	0.217	90	0.677	0.678	89	0.667	0.670	89
吉扎 81	0.250	0.433	0.391	0.324	0.330	78	0.791	0.791	75	0.781	0.787	77
新陆早 38	0.569	0.713	0.415	0.571	0.540	3	1.075	1.078	2	1.066	1.063	2
新陆早 12	0.275	0.646	0.291	0.367	0.381	61	0.880	0.885	47	0.867	0.870	48
新陆早 11	0.672	0.653	0.503	0.632	0.640	1	1.093	1.082	1	1.092	1.091	1
10615-1	0.316	0.574	0.451	0.407	0.421	51	0.885	0.886	44	0.877	0.875	44
新陆早 36	0.181	0.510	0.475	0.322	0.322	79	0.806	0.806	69	0.794	0.793	70
新陆早 50	0.476	0.674	0.486	0.526	0.502	13	1.004	1.003	7	0.991	0.992	9
新炮 1 号	0.032	0.381	0.508	0.215	0.213	89	0.671	0.666	90	0.657	0.656	90
晋棉 10 号	0.578	0.463	0.429	0.519	0.531	15	0.956	0.956	17	0.955	0.960	17
石农科所	0.348	0.584	0.416	0.419	0.425	46	0.893	0.893	40	0.880	0.884	43
8401	0.210	0.530	0.426	0.332	0.329	76	0.819	0.819	65	0.807	0.806	66
中棉所 12	0.310	0.595	0.457	0.409	0.414	49	0.878	0.875	48	0.865	0.868	49
新陆中 37	0.535	0.426	0.516	0.505	0.511	19	0.944	0.944	19	0.946	0.943	19
CQJ-2	0.156	0.474	0.505	0.305	0.297	83	0.784	0.782	78	0.771	0.770	79
中 R2080	0.300	0.367	0.452	0.348	0.349	69	0.795	0.794	73	0.787	0.791	74
新陆早 49	0.508	0.423	0.395	0.464	0.480	28	0.914	0.916	34	0.914	0.915	31
新陆中 8	0.455	0.404	0.416	0.435	0.442	41	0.893	0.898	39	0.892	0.891	40
KK1543	0.334	0.473	0.397	0.381	0.386	56	0.848	0.848	57	0.840	0.843	57
新陆早 1	0.526	0.610	0.481	0.537	0.536	9	0.999	0.998	9	0.994	0.991	8
新陆早 35	0.445	0.558	0.416	0.466	0.457	26	0.941	0.944	20	0.932	0.934	22
短节岱	0.315	0.333	0.472	0.353	0.352	67	0.810	0.811	67	0.807	0.805	65

表 4(续)

品种名称 Variety	隶属函数值			D 值 D value	预测 D 值 Predict D value	排序 Rank	CDC 值 CDC value	预测 CDC 值 Predict CDC value	排序 Rank	WDC 值 WDC value	预测 WDC 值 Predict WDC value	排序 Rank
	μ_1	μ_2	μ_3									
	中 R773-1	0.224	0.377	0.462	0.311	0.324	82	0.758	0.755	84	0.749	0.754
新陆中 16	0.260	0.480	0.531	0.370	0.383	58	0.822	0.818	63	0.812	0.813	64
辽 18	0.494	0.338	0.493	0.457	0.468	33	0.891	0.892	41	0.895	0.893	38
108 夫	0.167	0.571	0.667	0.369	0.333	60	0.845	0.836	59	0.826	0.823	59
5917 转 N10-1	0.626	0.321	0.629	0.553	0.568	7	0.939	0.935	21	0.943	0.946	20
新陆早 32	0.484	0.496	0.358	0.460	0.467	30	0.931	0.933	26	0.929	0.929	25
806-1	0.509	0.592	0.479	0.523	0.488	14	1.011	1.013	6	1.005	0.999	5
ND359-5	0.426	0.320	0.524	0.421	0.420	45	0.852	0.851	55	0.850	0.851	53
库克 C310-5100	0.271	0.408	0.521	0.357	0.368	65	0.798	0.793	72	0.789	0.793	72
新陆中 3 号	0.440	0.489	0.534	0.471	0.482	25	0.919	0.919	31	0.916	0.916	30
吐 76-96	0.395	0.371	0.569	0.426	0.435	44	0.852	0.850	54	0.847	0.852	56
中棉 49	0.302	0.526	0.549	0.408	0.392	50	0.880	0.877	45	0.870	0.868	47
海 92-4	0.391	0.406	0.604	0.439	0.446	40	0.867	0.862	50	0.863	0.863	50
ND359-2	0.375	0.209	0.543	0.370	0.370	57	0.799	0.800	70	0.801	0.798	69
08283	0.566	0.349	0.453	0.491	0.495	23	0.932	0.938	25	0.935	0.934	21
中棉所 36-7	0.490	0.304	0.497	0.447	0.447	37	0.880	0.883	46	0.881	0.881	42
中 R2016	0.363	0.562	0.622	0.465	0.460	27	0.918	0.912	32	0.909	0.907	35
新陆早 3	0.543	0.337	0.745	0.536	0.534	11	0.913	0.904	35	0.909	0.916	34
军棉 1 号	0.235	0.358	0.506	0.321	0.315	80	0.780	0.780	79	0.772	0.771	78
早 35	0.357	0.436	0.449	0.395	0.389	52	0.864	0.865	51	0.858	0.857	51
新陆早 33	0.518	0.382	0.490	0.480	0.474	24	0.924	0.927	28	0.924	0.925	27
C6015	0.304	0.399	0.409	0.349	0.367	68	0.808	0.811	68	0.803	0.804	68
中棉所 19	0.359	0.549	1.028	0.545	0.525	8	0.936	0.915	22	0.923	0.920	28
新陆早 12	0.546	0.467	0.703	0.560	0.559	6	0.980	0.976	11	0.978	0.978	10
YCJ-2	0.318	0.765	0.352	0.432	0.390	42	0.977	0.982	12	0.959	0.954	13
新陆中 24	0.474	0.548	0.500	0.497	0.502	21	0.957	0.958	16	0.953	0.950	18
中 R2015	0.343	0.249	0.517	0.357	0.358	64	0.790	0.793	77	0.786	0.788	75
石远 321	0.427	0.316	0.482	0.412	0.429	47	0.847	0.850	58	0.849	0.848	54
TM-1	0.295	0.245	0.474	0.321	0.320	81	0.764	0.767	83	0.760	0.760	82
鸡爪棉	0.442	0.528	0.647	0.506	0.515	18	0.934	0.928	24	0.928	0.930	26
CQJ-5	0.263	0.463	0.462	0.353	0.336	66	0.833	0.834	60	0.821	0.824	61
中 R2069	0.224	0.212	0.503	0.280	0.284	86	0.718	0.719	86	0.714	0.715	86
10599	0.453	0.511	0.408	0.458	0.447	32	0.936	0.937	23	0.932	0.930	23
中 R773-3	0.289	0.859	0.964	0.568	0.552	4	1.016	0.997	5	0.998	0.990	6
新陆中 39	0.364	0.474	0.608	0.441	0.455	39	0.878	0.874	49	0.874	0.870	45
新陆早 20	0.199	0.437	0.405	0.299	0.318	84	0.769	0.772	82	0.758	0.762	83
塔什干 1 号	0.268	0.432	0.561	0.369	0.373	59	0.815	0.812	66	0.806	0.807	67
辽 58	0.304	0.150	0.625	0.334	0.334	75	0.741	0.739	85	0.739	0.741	85
08207-2	0.180	0.452	0.435	0.299	0.319	85	0.774	0.774	80	0.766	0.763	81
C1470	0.329	0.292	0.553	0.367	0.389	62	0.791	0.789	76	0.790	0.790	71
中棉 35	0.428	0.387	0.561	0.446	0.447	38	0.890	0.891	42	0.890	0.887	41

表 4(续)

品种名称 Variety	隶属函数值 Subordinative function value			D 值 D value	预测 D 值 Predict D value	排序 Rank	CDC 值 CDC value	预测 CDC 值 Predict CDC value	排序 Rank	WDC 值 WDC value	预测 WDC 值 Predict WDC value	排序 Rank
	μ_1	μ_2	μ_3									
	新陆早 26	0.029	0.422	0.572	0.237	0.230	88	0.704	0.701	87	0.690	0.686
新陆中 36	0.660	0.506	0.555	0.601	0.614	2	1.033	1.009	3	1.032	1.038	3
奇 4136	0.574	0.379	0.506	0.513	0.498	16	0.958	0.947	15	0.957	0.959	16
吐 76-94	0.260	0.501	0.565	0.382	0.389	55	0.830	0.823	62	0.819	0.821	62
石农 98-7	0.622	0.294	0.418	0.500	0.515	20	0.923	0.927	29	0.930	0.931	24
新陆早 58	0.299	0.422	0.561	0.384	0.400	54	0.831	0.830	61	0.826	0.825	60
Y1169	0.574	0.495	0.483	0.536	0.506	10	0.999	1.001	8	0.996	0.994	7
新陆早 13	0.251	0.421	0.504	0.345	0.355	70	0.799	0.798	71	0.789	0.792	73
关农 1 号	0.383	0.527	0.581	0.459	0.472	31	0.905	0.903	36	0.898	0.898	36
新陆早 48	0.440	0.485	0.489	0.461	0.466	29	0.921	0.922	30	0.918	0.917	29
新陆早 26	0.377	0.406	0.598	0.430	0.450	43	0.857	0.852	52	0.854	0.855	52
新陆早 19	0.325	0.215	0.647	0.366	0.371	63	0.770	0.765	81	0.768	0.768	80
中棉所 07	0.477	0.393	0.464	0.454	0.453	34	0.896	0.890	38	0.893	0.897	39
新海 20	0.140	0.319	0.501	0.258	0.256	87	0.696	0.694	88	0.684	0.688	88
均值 Average				0.419	0.420		0.876	0.875		0.870		
变异系数 CV				0.215	0.212		0.100	0.100		0.103		

$\mu_1 \sim \mu_3$ 表示 3 个公因子的隶属性函数值

$\mu_1 \sim \mu_3$: subordinate function value of three factors

2.5 各性状 DC 值与 D 值、WDC 值的灰色关联分析

按照公式(6)和(7),对所有性状单项抗旱系数(比较数列)与其 D 值(参考数列)进行灰色关联度分析,获得各性状 DC 值与 D 值间的关联度(γ_D),结果显示(表 5)各性状与 D 值的密切程度依次为单株产量、有效铃数、有效果枝数、株高、单铃重、衣分、第一果枝节位。与棉花品种抗旱性关系最为密切的是与产量相关的性状(如单株产量、有效铃数和有效果枝数),其次是株高,它们对于干旱胁迫反映最为直接,且所受影响最大,因而单株产量与抗旱性关联度最大,而第一果枝节位与抗旱性关联最弱。对各性状关联度(γ_D)归一化处理后获得性状指标权重系数 $[\omega_{i(\gamma)}]$,进而获得供试品种加权抗旱系数 WDC 值,WDC 值介于 0.657 ~ 1.091 之间,变异系数为 0.103。根据 WDC 值大小对供试品种进行抗旱性排序,与 CDC 值顺序基本相同,与 D 值前 10 名相似,表明基于各性状的 WDC 值可以反映综合性状 CDC 值,且与 D 值关系紧密(表 4),并基于 WDC 值获得各性状关联度(γ_{WDC})(表 5),用以辅助评价各性状与品种抗旱性的关联度及各品种抗旱性。除单株产量和单铃重外,各性状同 WDC 值的密切程度与各性状同 D 值的密切程度相近。

表 5 棉花品种各性状抗旱系数与 D 值、WDC 值的关联度及各性状指标权重

Table 5 Correlation degree between drought resistance coefficients of tested traits and D value, WDC value and traits weight of cotton cultivars

性状 Trait	关联度 Correlation degree γ^1	位次 Rank	性状指标 权重 Weight $\omega_{i(\gamma)}$	关联度 Correlation degree γ^2	位次 Rank
株高 PH	0.706	4	0.125	0.830	3
第一果枝节位	0.639	7	0.113	0.764	7
IIIFB					
有效果枝数	0.711	3	0.126	0.833	2
EFBN					
有效铃数 EN	0.744	2	0.132	0.789	5
衣分 LP	0.668	6	0.118	0.776	6
单铃重 SBW	0.684	5	0.121	0.843	1
单株产量 YPP	0.814	1	0.144	0.744	4

γ^1) D 值为参考序列; γ^2) WDC 值为参考序列

γ^2) D value is as reference sequences, γ^2) WDC value is as reference sequences

2.6 聚类分析及抗旱级别的划分

由图 1 可知,90 份棉花品种根据其抗旱性按系统聚类中的最近距离法在欧氏距离 10 处分为 5 类,类群 I 包括新陆早 38、中 R773-3、中 R2067 等 21 份材料,属中抗旱型;类群 II 包括新陆早 11、新陆中 36

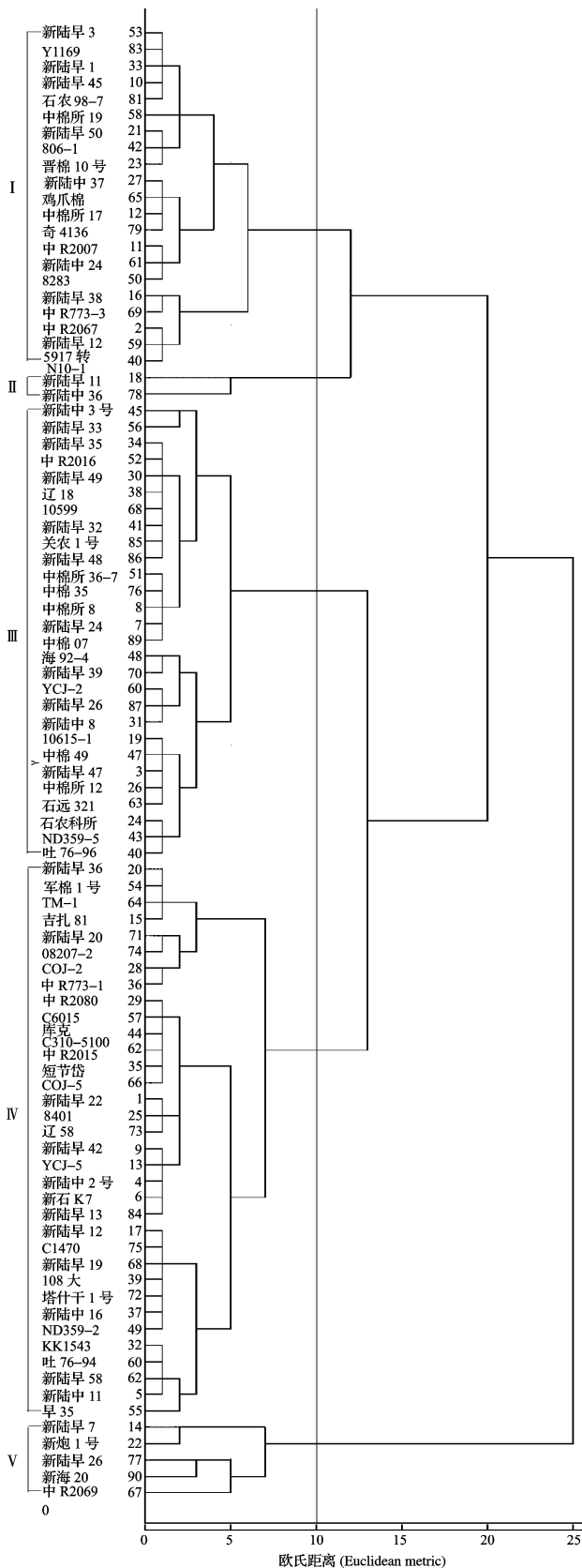


图1 基于D值的棉花品种抗旱性系统聚类图

Fig. 1 Fuzzy clustering dendrogram of drought resistance of cotton cultivars based on D values

2份材料,属高抗旱型;类群Ⅲ包括新陆中3号、新陆早33、新陆早35等28份材料,属于弱抗旱型;类群Ⅳ包括新陆早36、军棉1号、TM-1等34份材料,属于敏感型;类群Ⅴ包括新陆早7、新炮1号、新陆早26等5份材料,属于极敏感型。根据聚类结果表明所选棉花品种大部分集中在Ⅲ、Ⅳ级,属不抗旱性,而高抗旱的只占2.2%,说明提高棉花品种抗旱性的紧迫性和筛选棉花种质资源中抗旱性好的品种的重要性。

2.7 棉花品种不同抗旱性综合评价指标的分级

按照棉花品种的抗旱性聚类结果及其抗旱级别,对各性状及其隶属函数(μ)、抗旱性综合评价指标CDC值、D值及WDC值分级显示(表6),除衣分和单铃重变化无规律外,其他性状指标的隶属函数值(μ)及上述3个综合评价指标大体趋势均随抗旱级别的升高而降低,但个别性状亦存在异常变化。上述3个综合评价指标在不同抗旱级别上的差异较为明显,可为其他棉花品种抗旱级别划分及不同研究者的相关研究结果之间提供可比较的依据。通过抗旱分级,可知90份棉花品种不抗旱比例高达74.5%以上,表明培育抗旱新品种的紧迫性。

表6 棉花品种不同抗旱性综合评价指标的分级及其评价数据平均值

Table 6 Classification of drought resistance comprehensive evaluation indices of cotton cultivars and their average of evaluation data

性状 Trait	$\mu(x)$				
	I	II	III	IV	V
株高 PH	0.412	0.543	0.408	0.306	0.166
第一果枝节位 IIFB	0.368	0.461	0.349	0.284	0.147
有效果枝数 EFBN	0.808	0.500	0.473	0.335	0.147
有效铃数 EN	0.921	0.516	0.392	0.216	0.059
衣分 LP	0.533	0.495	0.500	0.504	0.552
单铃重 SBW	0.529	0.557	0.466	0.453	0.478
单株产量 YPP	0.523	0.538	0.402	0.233	0.052
品种比例(%)RTC	2.2	23.3	31.1	37.8	5.6
D值 D value	0.617	0.528	0.442	0.348	0.239
CDC值 CDC value	1.063	0.971	0.901	0.813	0.693
WDC值 WDC value	1.062	0.968	0.896	0.805	0.683

I:高抗旱,II:高抗旱,III:弱抗旱IV:敏旱,V:极敏旱。 $\mu(x)$ 表示不同抗旱级别的隶属函数平均值

I: moderate drought resistance, II: high drought resistance, III: inferior drought resistance, IV: sensitive drought resistance, and V: extremely sensitive drought resistance. $\mu(x)$: the average of subordinate function value in different drought resistance level, RTC: Ratio of tested cultivars

2.7 逐步回归分析及抗旱性预测评价

分别利用棉花品种的 D 值、CDC 值、WDC 值与所有性状指标抗旱系数进行逐步回归分析,得到回归方程(表 7),进而根据回归方程(1)、(2)、(3)分别计算预测 D 值、预测 CDC 值、预测 WDC 值(表 4)。统计分析显示模型方程(1)、(2)、(3)的决定系数 $R^2 \approx 1$, F 检验差异极显著 ($P < 0.01$),说明预测值与实际值之间拟合度好 (Durbin-Watson 统计量 $d \approx 2$, $P < 0.01$),回归方程最优,其解释能力强,预测精度高,用这 3 个方程进行棉花品种抗旱性评价预测效果好。据回归方程(1)可知,在棉花品种抗旱性鉴定中,有选择地测定与 D 值密切相关的指标,如单株产量、有效铃数、有效果枝数、株高、单铃重、衣分等 6 个指标,根据回归方程(2)和(3)可知,在棉花品种抗旱性鉴定中,有选择地测定与 CDC 和 WDC 值密切相关的指标,如单株产量、有效铃数、有

效果枝数、株高、衣分、第一果枝节位等 6 个指标,都可有效鉴定棉花品种的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。具体哪个模型更好,有待进一步验证。

2.8 不同抗旱性综合评价方法及度量指标的比较

根据不同综合评价指标的抗旱性评价结果表明,基于 WDC 值和基于 D 值,棉花品种抗旱性排序相近,与位居前 10 位的抗旱品种基本相同。相关性分析显示(表 7),各品种 D 值、WDC 值、Y 值两两之间均呈极显著正相关,说明以 D 值为主要抗旱性综合评价指标,以 WDC 值作为辅助综合评价指标,进而以单株产量为主要考量目标的棉花抗旱性评价是准确的。另外,相关性分析还显示,CDC 值与 D 值、Y 值亦达极显著正相关,但考虑到其在计算过程中未考量各性状指标的抗旱强弱程度及权重,仅据此将其作为抗旱性综合评价指标还有待科学的考究。

表 7 不同棉花品种抗旱性预测模型及不同综合评价指标间的相关性

Table 7 Predict model of drought resistance and correlation of different comprehensive valuation indices of cotton cultivars

因变量 Dependent	多元逐步回归方程 Stepwise regression	相关 系数 r	决定 系数 R^2	F	P	D	相关系数 r			
							D 值	CDC 值	WDC 值	Y 值
							D value	CDC value	WDC value	Y value
综合抗旱 性度量值 D	$y = 0.198x_1 + 0.121x_3 + 0.142x_4 + 0.118x_5 + 0.541x_6 + 0.155x_7 - 0.799(1)$	0.989	0.978 **	521.718 **	0.001	1.622	1	0.935 **	0.947 **	0.836 **
综合抗旱 系数 CDC	$y = 0.121x_1 + 0.126x_2 + 0.125x_3 + 0.091x_4 + 0.113x_5 + 0.169x_7 + 0.122(2)$	0.998	0.996 **	2749.927 **	0.001	1.788	—	1	0.998 **	0.749 **
加权抗旱 系数 WDC	$y = 0.122x_1 + 0.114x_2 + 0.126x_3 + 0.099x_4 + 0.107x_5 + 0.188x_7 + 0.118(3)$	0.998	0.996 **	3010.970 **	0.001	2.023	—	—	1	0.783 **

X_1 :株高; X_2 :第一果枝节位; X_3 :有效果枝数; X_4 :有效铃数; X_5 :衣份; X_6 :单铃重; X_7 :单株产量。 D :W 统计量(d)

X_1 : Plant height, X_2 : Initial internodes of fruiting branch, X_3 : Effective fruit branch, X_4 : Effective number, X_5 : Lint percentage, X_6 : Single boll weight, X_7 : Yield per plant. D : W statistics(d)

2.9 抗旱综合指标的遗传力分析

数量性状受到环境因素的影响很大,表型的变异可能有遗传的因素,也有环境的因素,甚至还有环境和遗传相互作用的因素。广义遗传率的大小反映了该性状表型由遗传因素和环境因素决定的程度。根据遗传率大小制定的育种方案,可以增强选择效果,提高育种效率。本试验把 D 值、CDC 值、WDC 值分别看成一个综合性状,应用方差分析法估算了 90 份棉花材料 3 个综合指标的广义遗传率,3 个综合指标广义遗传率的大小存在较大差异。比较三者遗传率大小,遗传率次序依次为 D 值 > WDC 值 >

CDC 值,D 值的遗传率为 55.40%,CDC 值和 WDC 值的遗传率均低于 50%,分别为 46.50% 和 48.50%,所以基于遗传力大小得出,D 值为最适合的综合抗旱评价指标。

3 讨论与结论

3.1 花铃期是棉花水分需求的关键期

棉花的整个生长期划分为苗期、蕾期、花铃期和吐絮成熟期等阶段。李志博等^[17]对棉花整个生长期抗旱能力影响由大到小排序依次为盛蕾期、苗期、花铃期和吐絮期。肖俊夫等^[18]对棉花不同生育期

抗旱研究,得出花铃期和蕾期是棉花的需水关键期,而若在棉花苗期控制灌水,施加适当的水分胁迫,不仅不影响产量,而且能提高水分利用效率。程林梅等^[19]认为不同生育时期各项指标对水分胁迫的敏感程度为花期 > 铃期 > 蕾期。雷成霞等^[20]研究表明,花铃期是棉花水分需求的关键期。虽然对棉花不同生育期需水研究结果各异,但花铃期总体需水更多。本试验从各品种棉花大田反映发现,若在苗期适当延长干旱时间,确实有利于棉花幼苗根系的发育,促进水分吸收。因此,从棉花花铃期筛选干旱敏感性高的农艺性状指标,是挖掘现有主栽品种的抗旱潜力的最佳方式。

3.2 本研究收集的棉花品种较丰富

李志博等^[17]用北疆棉区近些年主栽或推广的14个棉花品种进行抗旱性评价,得出苗期抗旱性强的为新陆早33,盛蕾期为新陆早35、晋棉13,花铃期为新陆早33,吐絮期为新陆早24和297-5。王俊娟^[21]用41份陆地棉资源,对品种抗旱性进行评价,总结出不同生育期抗旱性之间没有相互关系,逆境胁迫有利于抗旱性的提高。陈玉梁等^[22]选用8个不同的彩色棉品种(系)和2个白色棉品种做抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定,得出用于棉花抗旱性鉴定的农艺性状指标为单株铃数、单铃重和花铃期叶片数。本试验所选取的棉花品种来源广泛,共90份棉花资源材料,有全国近几年主栽的陆地棉和海岛棉品种,陆地棉又包括早熟的新陆早系列和中熟的新陆中系列,以及中棉所和全国各棉花产区自育的品种。但从各棉花品种自身所适应的环境因素上讲,北疆的无霜期短,气温较高,湿度较小,可能会导致各品种抗旱性评价与其他研究者的结论不同。

3.3 本研究采用多种抗旱评价方法综合评价棉花品种抗旱性

本研究中加权抗旱系数(WDC, weight drought resistance coefficient)是源于罗俊杰等^[10]对胡麻栽培品种的抗旱性的评价分析,本试验基于WDC值和基于D值分别分析供试棉花品种抗旱性排序相近,从而得出WDC值辅助进行品种抗旱性评价是适宜且准确的,这与罗俊杰等^[10]得出的结论一致。关联度反映的是构成该系统的各性状组成的比较数列和参考数列间的密切程度,但本试验中各性状关联度 γ_{WDC} 与 γ_D ,除单株产量和单铃重外,位次才基本相同;与罗俊杰等^[10]得出各性状关联度 γ_{WDC} 与 γ_D 显著相关,有些不同。原因可能是本试验中棉花的农艺性状测量方法和胡麻有所不同,造成单项指

标间的相关性不强,这有待在今后的生产实践中找到一种准确的统一的测量方法。

作物的抗旱性是复杂的数量性状,指标的合理选择是抗旱性鉴定的关键^[23]。基于此,本研究以棉花花铃期抗旱相关的6个农艺性状和单株产量指标,利用隶属函数法、主成分分析法得到抗旱性度量值(D值)。由于D值既考虑了各指标间的相互关系,又考虑到各指标的重要性,同时通过比较D值、CDC值和WDC值三者遗传率大小,遗传率次序依次为D值 > WDC值 > CDC值, D值的遗传率为55.4%,为最高。所以根据D值的大小可以较准确地评价棉花的抗旱性。基于D值大小排序位于前10名依次为新陆早11、新陆中36、新陆早38、中R773-3、中R2067、新陆早12、5917转N10-1、中棉所19、新陆早1、Y1169。用聚类分析法将参试的种质材料由高到低聚为5类,每类代表不同的抗旱级,其中I级抗旱型2份,品种为新陆早11、新陆中36。该方法已在小麦^[24]、大豆^[25]等作物上应用,取得了预期的结果。另外,本研究又将干旱胁迫下的6个农艺性状和单株产量指标利用D值及WDC值并结合灰色关联分析、逐步回归分析筛选性状指标,建立了拟合度较好的回归方程。结果显示,以D值为主要综合评价指标、以WDC作为辅助综合评价指标,评价以单株产量为主要考量目标的棉花抗旱性是适宜且必须的。

以综合评价指标抗旱性度量值(D值)和加权抗旱系数(WDC值)作为抗旱性综合评价方法,进行聚类分析和抗旱型划分,并结合灰色关联分析、逐步回归分析筛选出关键性状指标,建立了回归方程,能有效反映各参试品种抗旱性、抗旱特点,再根据遗传率大小,建立棉花花铃期抗旱性鉴定的综合评价指标,挖掘现有主栽品种的抗旱潜力,为抗旱育种及品种生产应用提供参考。

参考文献

- [1] Cattivelli L, Rizza f, Badeck f W, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics[J]. Field Crops Res, 2008, 105: 1-14
- [2] 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
- [3] 庄振刚, 叶春秀, 李有忠. 新疆陆地棉早熟品种花铃期抗旱性初步评价[J]. 中国棉花, 2014(7): 5-7
- [4] 王士强, 胡银岗, 余奎军, 等. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2452-2459
- [5] 罗巧玲, 郑琪, 许云峰, 等. 390份小麦-黑麦种质材料主要农艺性状分析及优异材料的GISH与FISH鉴定[J]. 作物学报, 2014, 40(8): 1331-1339

(下转 69 页)