

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.01680

甘肃彩色棉花抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定

陈玉梁^{1,2} 石有太² 罗俊杰^{2,*} 王 蒂^{1,*} 厚毅清² 李忠旺² 张秉贤³

¹甘肃农业大学 / 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃兰州 730070; ²甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃兰州 730070; ³甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070

摘 要: 以抗旱性不同的白棉、棕棉和绿棉品种(品系)为试验材料, 通过水分亏缺控制试验, 采用主成分分析和逐步回归分析方法, 调查其主要农艺性状指标与抗旱性的关系。结果表明, 干旱胁迫下, 各彩色棉花的籽棉产量、株高、叶片数、单株成铃数、有效果枝数、果节数、收获指数、茎粗、籽指和上半部分纤维长度均相应的降低; 抗旱指数与株高、果节数、单株成铃数、花铃期叶片数、有效果枝数、籽指、单铃重、收获指数、茎粗呈极显著正相关; 单株成铃数、单铃重和花铃期叶片数可作为不同色彩棉花简单、直观的抗旱性鉴定指标, 有效果枝数、株高、果节数、收获指数和籽指也可作为彩色棉花抗旱评价指标。

关键词: 彩色棉花; 抗旱性; 农艺性状指标; 产量; 主成分分析

Screening of Drought Tolerant Agronomic Trait Indices of Colored Cotton Varieties (Lines) in Gansu Province

CHEN Yu-Liang^{1,2}, SHI You-Tai², LUO Jun-Jie^{2,*}, WANG Di^{1,*}, HOU Yi-Qing², LI Zhong-Wang², and ZHANG Bing-Xian³

¹Gansu Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement / Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; ²Bio-technology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; ³Crop Institute, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou 730070, China

Abstract: Available drought-tolerant indicators that help to screen drought-tolerant parents are significant for breeders to develop new varieties in the water deficient regions. In the paper, the water deficient trials were performed with randomized block design with three treatments. The agronomic traits and drought-tolerant indicators of eight colored cotton varieties (lines) were investigated in 2010–2011. The results showed that the seed cotton yield reduced, and plant height, leaf number at flowering-bolling stage, boll number per plant, number of fruiting branch, number of fruit nodes, single boll weight, harvest index, stem diameter, seed index, and fiber length also decreased under drought stresses. There were significantly positive correlation among drought resistance index, plant height, number of fruit nodes, boll number per plant, leaf number at flowering-bolling stage, single boll weight, harvest index, stem diameter, and number of fruiting branch. The principal component and the multiple stepwise regression analyses showed that the boll number per plant, single boll weight, and the leaf number at flowering-bolling stage could be regarded as the simple and intuitive identification indexes of drought resistance in colored cotton, and number of fruiting branch, fiber length, plant height, number of fruit nodes, boll weight, and seed index could be used as indicators for determining or influencing colored cotton drought resistance.

Keywords: Colored cotton; Drought tolerance; Agronomic traits; Yield; Principal component analysis

随着全球气候变暖和水资源的日益匮乏, 干旱已成为影响棉花产量和品质的主要环境因素。作物的抗旱性是多基因、多因素控制的复杂生物性状, 国内外学者对棉花抗旱性鉴定主要采用生长发育、

形态特征、生理生化和产量等鉴定指标相结合的办法。研究结果表明, 干旱影响棉花的生长发育^[1-2], 苗期较长时期的连续缺水对茎秆直径有较大影响^[3-4], 蕾期受旱使棉花生育进程加快^[5]; 花铃期受旱时,

本研究由国家转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08005-013B)资助。

* 通讯作者(Corresponding authors): 罗俊杰, E-mail: hnslljie@163.com, Tel: 0931-7612658; 王蒂, E-mail: wangd@gsau.edu.cn, Tel: 0931-7631167

第一作者联系方式: E-mail: chenyl925@163.com, Tel: 0931-7616636

Received(收稿日期): 2012-03-09; Accepted(接受日期): 2012-06-06; Published online(网络出版日期): 2012-07-03.

URL: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20120703.0858.201209.0_021.html

棉株增长缓慢, 叶片数减少, 叶片变小、新生叶片生长速率慢, 果枝量少, 且伸展慢, 严重受旱时棉花植株停止生长, 产生自然封顶现象^[5-7]。生育各阶段缺水会使棉花株高降低、果枝数、果节数、单株成铃数减少, 铃期变短, 脱落增加, 产量下降^[8-9,11]。因此, 杜传莉等^[7]通过对国内外研究结果的收集、整理和分析, 认为形态指标和主要农艺性状指标可用作棉花抗旱性鉴定指标, 持续干旱对籽棉产量影响以单株成铃数>成铃率>单铃重, 短期干旱胁迫可增加成铃数和籽棉增产^[12]。天然彩色棉作为棉花品种的特色类型, 由于其纤维制品色彩自然、质地柔软、穿着舒适等特点, 加之纺织生产过程中污染小, 满足了人们崇尚自然、注重健康的消费理念, 极大地促进了彩色棉产业的发展。现育成的彩色品种的纤维品质和产量已接近推广的白棉品种^[13-14], 但是彩色棉品种总体还存在颜色单调、纤维品质差、色彩饱和度不足等技术瓶颈。目前彩色棉主要集中在新疆、甘肃等西北内陆棉区。随着水资源的日益匮乏, 旱地棉田所占的比重越来越大, 因此, 选育抗旱性棉花品种是棉花重要的育种目标之一, 选择可靠的抗旱性鉴定指标, 可提高抗旱亲本材料选择的科学性, 对于棉花生产、品种资源利用都具有指导意义。本研究通过对敦煌棉区高密度覆膜栽培模式下的棉花品种进行水分调亏灌溉处理, 测定 17 个主要农艺性状, 应用主成分和多元回归分析抗旱性相关的农艺性状指标, 以确定该地区栽培模式下棉花抗旱性鉴定指标, 为种质资源的鉴定和抗旱生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于 2010—2011 年在甘肃省敦煌市肃州镇魏家桥村进行。该地区纬度 40°08', 经度 94°41', 海拔 1 138 m, 年平均气温 10.5℃, 无霜期 142 d, 10℃以上活动积温 3 611.3℃, 年平均降雨量 42 mm, 蒸发量 2 486 mm, 具典型的大陆干旱性气候, 属北方特早熟棉区。试验播前 10 d 浇足水, 播种前耨地(平整土地)。土壤为灌淤土, 最大田间持水量 18.35%、饱和持水量 30.33%、凋萎含水量 2.66%, 播种时 1 m 土层平均土壤(相对)含水量 14.89%、平均土壤容重 1.52 g m⁻³、pH 8.93, 含有机质 13.4 g kg⁻¹、全氮 0.61 g kg⁻¹、碱解氮 49 mg kg⁻¹、有效磷 28.29 mg kg⁻¹、速效钾 189 mg kg⁻¹。

1.2 供试材料

选用 8 个不同的彩色棉品种(系)和 2 个白色棉品种, 其中绿色棉品种(系)为绿棉 G3-6、陇绿棉 3 号、G3-1 和 GC06-45; 棕色棉品种(系)为 BC05-07-18-2、BC06-45、BC06-10 和陇棕棉 1 号, 白色棉品种(系)为陇棉 2 号和陇 1-1-3; 均由甘肃省农业科学院作物研究所棉花课题组提供。

1.3 处理方法

采用随机区组设计, 设 3 个灌溉水平处理, 3 次重复。处理 A 按 2 m 土层达到田间最大持水量(18.35%)灌溉, 于棉花现蕾后(6 月 20 日)开始每 15 d 灌水 1 次, 全生育期灌水 4 次以保证不缺水; 处理 B 灌溉量为处理 A 的 50%, 灌溉时间和次数与处理 A 相同; 处理 C 全生育期不灌水。处理间和重复间用 80 cm 垂直埋设地膜隔离水分水平渗透。品种随机排列, 处理内小区边界均用培土分离。小区长 17 m, 宽 5 m, 每一品种(系)种植 4 行, 地膜覆盖以宽窄行方式种植 110 cm (地膜)×30 cm (露地), 株距为 15 cm (密度约 166 700 株 hm⁻²)。为消除水肥互作影响, 于播前 7 d 开沟深施复合肥(N P₂O₅ K₂O=21 10 14) 600 kg hm⁻², 尿素 150 kg hm⁻², 之后全生育期不施肥。田间管理同常规大田。

1.4 测定项目及方法

花铃期打顶后调查叶片数、株高和第一果枝节位, 吐絮盛期选取 30 株棉苗测定其余各项指标。棉花品质指标由农业部农产品质量监督检验测试中心测定(表 1)。

1.5 统计分析

抗旱系数 $DC=Y_d/Y_p$, 抗旱指数 $DI=(Y_d/Y_p) \times (Y_d/Y_{mp})$ 。其中, Y_d 为水分胁迫下棉花品种的平均产量, Y_p 为非水分胁迫下棉花品种的平均产量, Y_{mp} 为非水分胁迫下所有棉花品种的平均产量, 利用 Microsoft Excel 和 SPSS11.5 软件处理与分析数据。

2 结果与分析

2.1 不同灌水量对不同彩色棉花品种产量及主要农艺性状的影响

表 2 中列出了与产量抗旱指数相关系数较高的 11 个农艺性状指标, 其他指标与产量抗旱指数的相关性较小, 不同灌水处理之间差异不显著, 本文不再列举。不同灌水处理对彩色棉花的籽棉产量、株高、花铃期叶片数、有效果枝数、单株成铃数、果节数、单铃重、收获指数、茎粗、籽指和上半部分

表 1 测定抗旱鉴定指标及对应编号

Table 1 Determination of drought resistance indicators and the corresponding codes

编号 Code	性状 Trait	编号 Code	性状 Trait
Y	产量抗旱指数 Yield drought resistance index	X_9	株高 Height (cm)
X_1	衣分 Lint percentage (%)	X_{10}	花铃期叶片数 Leaf number of flowering-bolling stage
X_2	籽指 Seed index (g)	X_{11}	纤维长度 Fiber length (mm)
X_3	单铃重 Single boll weight (g)	X_{12}	整齐度指数 Uniformity (%)
X_4	果茎节间长度 Length between fruit branches and main stem (cm)	X_{13}	马克隆值 Micronaire
X_5	第一果枝节位 Initial internodes of fruiting branch	X_{14}	伸长率 Elongation (%)
X_6	果节数 Number of fruit nodes	X_{15}	断裂比强度 Specific breaking strength (cN tex ⁻¹)
X_7	单株成铃数 Boll number per plant	X_{16}	茎粗 Stem diameter (cm)
X_8	有效果枝数 Number of fruiting branch	X_{17}	收获指数 Harvest index (%)

纤维长度均具较大影响, 干旱胁迫使籽棉产量减少、株高降低, 叶片数、果枝数、单株成铃数、果节数、单铃重、籽指和上半部分纤维长度也相应减少, 同一品种, 灌水量减少一半, 上述农艺性状指标值均降低, 不灌水处理各指标值均与正常灌水处理存在显著差异, 说明水分胁迫对棉花品种(系)农艺性状的影响存在差异, 灌水量减少一半与正常灌水处理和不灌水处理部分品种的农艺性状值差异不显著(表 2)。

2.2 相关分析

为便于分析不同性状指标, 先计算抗旱指数, 再用各农艺性状与籽棉产量的抗旱指数作相关分析, 其结果表明, 产量抗旱指数与株高(X_9)、果节数(X_6)、单株成铃数(X_7)、花铃期叶片数(X_{10})、有效果枝数(X_8)、籽指(X_2)、单铃重(X_3)、收获指数(X_{17})和茎粗(X_{16})呈极显著正相关, 与纤维长度(X_{11})和整齐度指数(X_{12})呈显著正相关。单株成铃数与花铃期叶片数、有效果枝数、株高、果节数、收获指数、籽指和单铃重呈极显著正相关(表 3)。

2.3 主成分分析

由表 4 可知, 特征值中 6 个成分的累积贡献率已达到 83.91%, 其中前 5 项综合指标的贡献率分别为 38.92%、16.92%、10.61%、8.12%和 5.46%, 其累积贡献率为 80.02%。这样按照数量的确定原则(特征值大于 1, 累计贡献比例为 74.57%)取前 4 个主成分。第 I 主成分是籽指、单铃重、果节数、单株成铃数、株高和花铃期叶片数, 是最有效的指标, 与产量关系密切; 第 II 主成分包括衣分和马克隆值; 也是比较有效的指标; 第 III 主成分是果茎节间长度, 第 IV 主成分是伸长率, 可作参考指标。这些抗旱性指标中, 花铃期叶片数、单株成铃数、株高、单铃重、

籽指、果节数、有效果枝数、茎粗和收获指数与抗旱指数呈极显著正相关(表 3), 因此, 花铃期叶片数、单株成铃数、有效果枝数、株高、单铃重、籽指和果节数是棉花抗旱性鉴定最有效的指标, 有效果枝数、茎粗和收获指数可作为抗旱性鉴定的参考指标。

2.4 逐步回归分析

分别以参试品种(系)的籽棉产量、产量抗旱系数和抗旱指数为因变量(Y), 以主成分分析后具有较高荷载量的 11 个指标为自变量(X), 各自变量(X)也做相应的抗旱系数和抗旱指数转化, 进行多元线性逐步回归分析, 确定各项指标对棉花籽棉产量的相对重要性。经分析得到 $Y = -0.108 + 0.482X_7 + 0.531X_3 + 0.357X_{10} - 0.226X_1$, $R^2 = 0.872$, $F = 59.772$, 再经过主成分分析和共线性检验, X_1 的特征值 0.0009, 特征值接近 0, 条件指数 22.419, 大于 15, 可能存在共线性问题, 衣分与产量相关不显著, 所以回归方程应为 $Y = -0.338 + 0.612X_7 + 0.420X_3 + 0.353X_{10}$, $R^2 = 0.852$, $F = 68.915$, 所有回归模型经回归系数测验和决定系数验证, 都达显著水平, 说明花铃期叶片数、单株成铃数和单铃重可作为棉花抗旱鉴定关键指标, 可用于棉花资源抗旱性的快速鉴定和评价, 用于指导抗旱性育种研究(表 5)。

3 讨论

3.1 抗旱指标的筛选

棉花的抗旱性是一个受多因素影响和多基因控制的复杂的综合性状, 抗旱性与品种种类、基因型、形态指标及生理生化指标有关, 同时还与干旱胁迫时间、强度、发生时期等相关, 筛选具有抗旱性的棉花品种(系)对育种亲本的选择和抗旱生产具有指

表 2 不同灌水量对不同色彩棉花品种主要农艺性状的影响
Table 2 Effect of different irrigation treatment on the agronomic characters of colored cotton

品种 Variety (line)	灌水处理 Treatment	籽棉产量 Cotton seed yield (kg hm ⁻²)	单株成铃数 Boll number per plant	单铃重 Boll weight (g)	花铃期叶片数 Leaf number	有效果枝数 Number of fruit branch	株高 Height (cm)	收获指数 Harvest index (%)	果节数 Number of fruit nodes	籽指 Seed index (g)	纤维长度 Fiber length (mm)	茎粗 Stem diameter (cm)
陇棉 2 号	A	5904.85 a	8.10 aA	5.54 aA	27.13 aA	6.53 aA	82.00 aA	0.64 aA	16.80 aA	12.67 aA	29.84 aA	1.18 aA
Longmian 2	B	4451.12 b	6.43 bB	5.40 aA	26.40 aA	6.33 aA	64.43 bB	0.58 bB	16.50 aA	12.25 bA	28.55 bB	1.05 bB
	C	2414.58 c	4.17 cC	4.47 bB	18.47 bA	4.00 bB	50.03 cC	0.51 cC	10.97 bB	10.16 cB	27.77 cC	0.96 cC
陇 1-1-3	A	5291.86 a	5.83 aA	5.89 aA	25.73 aA	5.43 aA	70.77 aA	0.65 aA	16.12 aA	10.40 aA	26.80 aA	0.95 aA
Long 1-1-3	B	3926.58 b	4.70 bB	5.42 aAB	21.07 aA	4.53 bB	66.20 aA	0.49 bB	14.65 aA	10.91 aA	26.39 bB	0.89 bA
	C	2630.32 c	3.47 cC	4.65 bB	15.53 bB	3.40 cC	54.90 bB	0.46 cB	12.07 bB	9.34 bB	25.89 cC	0.78 cB
G3-6	A	4889.46 a	7.83 aA	4.67 aA	25.73 aA	6.93 aA	69.37 aA	0.70 aA	16.00 aA	11.85 aA	26.66 aA	0.97 aA
	B	3601.39 b	5.47 bB	4.36 aAB	22.70 aA	5.07 bB	62.53 bB	0.61 bB	13.50 aA	11.06 bB	25.09 bB	0.86 bB
	C	2064.87 c	4.10 cB	3.62 bB	15.67 bB	3.93 cC	47.83 cC	0.56 cC	11.07 bB	9.23 cB	23.55 cC	0.79 cC
陇绿棉 3 号	A	4463.21 a	6.63 aA	4.04 aA	27.53 aA	6.00 aA	71.57 aA	0.70 aA	16.20 aA	11.17 aA	24.32 aA	0.93 aA
Longlümian 3	B	3206.40 b	5.23 bB	3.89 aAB	20.13 bB	4.30 bB	60.90 bB	0.61 bB	11.70 bB	10.54 bB	23.35 bB	0.86 bB
	C	2008.21 c	4.33 cB	3.24 bB	16.67 cB	3.97 bB	49.73 cC	0.54 cC	11.03 bB	8.91 cC	22.49 cC	0.78 cC
G3-1	A	4528.90 a	7.63 aA	4.32 aA	24.80 aA	6.87 aA	75.20 aA	0.63 aA	20.40 aA	10.15 aA	27.28 a	0.93 aA
	B	3894.70 b	5.00 bB	3.96 aAB	20.93 bB	4.73 bB	63.57 bB	0.54 bB	14.90 bAB	9.53 bA	26.42 b	0.87 bB
	C	2054.93 c	3.67 cC	3.38 bB	14.37 cC	3.60 cC	53.80 cC	0.47 cC	12.57 cB	7.81 cB	24.99 c	0.81 cC
GC06-45	A	4534.87 a	6.06 aA	4.48 aA	24.83 aA	5.63 aA	69.17 aA	0.63 aA	16.60 aAB	11.10 aA	26.60 aA	0.93 aA
	B	3949.76 b	5.27 bA	4.44 aA	21.80 aA	4.63 bB	62.97 bB	0.54 bB	17.40 aA	10.95 aA	25.70 bB	0.89 aA
	C	2156.75 c	3.93 cB	3.66 bB	14.97 bB	3.77 cC	55.13 cC	0.49 cC	12.53 bB	8.74 bB	24.07 cC	0.77 bB
BC05-07-18-2	A	5279.97 a	4.83 aA	6.70 aA	26.87 aA	4.87 aA	60.17 aA	0.65 aA	13.80 aA	14.06 aA	26.46 aA	1.05 aA
	B	4308.48 b	4.23 bA	6.40 aA	23.77 aA	4.23 bA	57.67 aA	0.63 aA	11.80 bAB	13.02 bB	26.06 aA	1.03 aA
	C	2445.35 c	3.47 cB	4.82 bB	15.03 bB	3.30 cB	48.27 bB	0.45 bB	10.90 bB	9.81 cC	24.62 bB	0.89 bB
BC06-45	A	4742.16 a	6.80 aA	5.33 aA	28.50 aA	6.20 aA	68.00 aA	0.66 aA	22.10 aA	10.73 aA	26.18 aA	0.98 aA
	B	3992.41 b	5.03 bB	5.20 aA	24.77 aA	4.83 bB	64.50 aA	0.60 bB	17.30 abAB	10.15 aA	26.17 aA	0.90 bA
	C	2107.47 c	3.87 cC	4.46 bB	14.53 bB	3.77 cC	51.53 bB	0.51 cC	12.03 bB	8.23 bB	24.29 bB	0.74 cB
BC06-10	A	4776.28 a	5.20 aA	6.28 aA	22.70 aA	4.76 aA	59.23 aA	0.66 aA	14.90 aA	12.29 aA	25.95 aA	0.97 aA
	B	4254.51 b	4.73 aA	6.36 aA	20.83 aA	3.90 bB	54.57 bA	0.53 bB	11.00 abAB	13.16 bA	25.66 aA	0.91 bA
	C	2191.07 c	3.33 bB	4.77 bB	13.63 bB	3.23 cC	45.80 cB	0.44 cC	10.00 bB	9.97 cB	24.34 bB	0.82 cB
陇棕棉 1 号	A	5226.23 a	8.07 aA	4.95 aA	28.80 aA	6.57 aA	71.03 aA	0.67 aA	19.80 aA	10.46 aA	25.05 aA	0.99 aA
Longzongmian 1	B	4385.92 b	6.67 bA	4.42 aA	22.07 bB	5.67 bA	60.37 bB	0.62 bB	14.90 bB	10.04 bA	24.29 bAB	0.89 bAB
	C	2150.32 c	4.43 cB	3.77 bB	15.23 cC	4.27 cB	45.57 cC	0.57 cC	12.10 bB	8.15 cB	23.41 cB	0.80 cB

同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A: 全生育期正常灌溉; B: 全生育期正常灌溉量的一半; C: 全生育期不灌溉。
Values followed by different capitals (lowercases) are significantly different at 0.01 (0.05) probability level. A: irrigation in whole growing period; B: 50% irrigation amount in whole growing period; C: no irrigation in growing period.

表 3 主要农艺性状与抗旱指数的相关分析
Table 3 Correlation coefficients among agronomic traits and drought resistance index

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇
Y	1																	
X ₁	-0.251	1																
X ₂	0.738**	-0.318*	1															
X ₃	0.732**	0.168	0.742**	1														
X ₄	0.178	0.131	0.179	0.075	1													
X ₅	-0.049	0.451**	-0.131	0.013	-0.128	1												
X ₆	0.752**	-0.174	0.624**	0.597**	0.214	-0.172	1											
X ₇	0.865**	-0.279	0.717**	0.591**	0.158	-0.069	0.743**	1										
X ₈	0.652**	-0.246	0.482**	0.376*	0.007	0.122	0.486**	0.728**	1									
X ₉	0.792**	-0.259	0.711**	0.553**	0.554**	-0.202	0.741**	0.768**	0.548**	1								
X ₁₀	0.790**	-0.187	0.628**	0.498**	0.253	0.165	0.694**	0.772**	0.627**	0.715**	1							
X ₁₁	0.390*	0.314*	0.503**	0.655**	0.139	0.112	0.409**	0.300	0.069	0.385*	0.359*	1						
X ₁₂	0.368*	0.318*	0.386*	0.575**	0.060	0.147	0.306	0.252	0.212	0.325*	0.267	0.726**	1					
X ₁₃	0.157	0.779**	0.162	0.504**	0.253	0.477**	0.069	0.131	0.099	0.109	0.157	0.486**	0.464**	1				
X ₁₄	-0.006	0.123	-0.183	-0.105	0.030	0.176	-0.028	-0.097	0.076	-0.103	-0.058	-0.173	-0.081	0.082	1			
X ₁₅	0.282	0.209	0.280	0.414**	-0.088	0.329*	0.174	0.256	0.300	0.179	0.218	0.568**	0.488**	0.411**	-0.379*	1		
X ₁₆	0.507**	-0.353*	0.471**	0.414**	-0.230	0.099	0.350	0.362*	0.364*	0.261	0.306	0.170	0.248	-0.191	-0.039	0.230	1	
X ₁₇	0.415**	-0.185	0.326*	0.401*	-0.255	0.046	0.411**	0.443**	0.477**	0.224	0.372*	0.241	0.431**	0.056	-0.127	0.404**	0.469**	1

** 表示 $P=0.01$ 水平相关; *表示 $P=0.05$ 水平相关, 表中编号 $X_1\sim X_{17}$ 代表测定的性状指标, 与表 1 中的性状编号一致。

** Significance at $P<0.01$; * Significance at $P<0.05$. $X_1\sim X_{17}$ are the codes of agronomic traits, corresponding with the codes given in Table 1.

表 4 不同色彩棉品种(系)农艺性状指标的系数及贡献率
Table 4 Coefficient and contribution rate of different morphological indicators of colored cotton varieties (lines)

性状 Trait	编号 Code	特征向量 Eigenvector				
		Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5
产量抗旱指数 Drought resistance index of yield	Y	0.912	-0.182	0.069	0.126	0.054
单株成铃数 Boll number per plant	X_7	0.867	-0.248	0.080	0.140	-0.149
籽指 Seed index (g)	X_2	0.839	-0.139	0.050	-0.176	0.097
株高 Height (cm)	X_9	0.820	-0.223	0.416	-0.076	-0.080
单铃重 Single boll weight (g)	X_3	0.814	0.281	-0.011	-0.119	0.269
花铃期叶片数 Leaf number at flowering-bolling stage	X_{10}	0.808	-0.134	0.149	0.242	-0.223
果节数 Number of fruit nodes	X_6	0.804	-0.198	0.164	-0.002	0.122
有效果枝数 Number of fruiting branch	X_8	0.681	-0.210	-0.132	0.437	-0.252
纤维长度 Fiber length (mm)	X_{11}	0.599	0.547	0.013	-0.355	0.187
整齐度指数 Uniformity (%)	X_{12}	0.560	0.533	-0.145	-0.198	0.273
衣分 Lint percentage (%)	X_1	-0.141	0.891	0.205	0.127	0.046
马克隆值 Micronaire	X_{13}	0.293	0.838	0.232	0.175	-0.048
断裂比强度 Specific breaking strength (cN tex ⁻¹)	X_{15}	0.467	0.495	-0.397	-0.195	-0.380
果茎节间长度 Length between fruit branches and main stem (cm)	X_4	0.202	0.051	0.826	-0.091	-0.155
收获指数 Harvest index (%)	X_{17}	0.553	-0.026	-0.564	0.049	0.027
茎粗 Stem diameter (cm)	X_{16}	0.510	-0.235	-0.529	0.079	0.259
伸长率 Elongation (%)	X_{14}	-0.138	0.004	0.217	0.717	0.558
第 1 果枝节位 Initial internode of fruiting branch	X_5	0.019	0.564	-0.234	0.587	-0.282
特征根 Characteristic root (λ_i)		7.006	3.045	1.910	1.461	0.982
贡献率 Contribution rate (%)		38.922	16.917	10.612	8.115	5.458
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)		38.922	55.840	66.451	74.566	80.024

表 5 棉花抗旱性鉴定模型
Table 5 Identification model of drought resistance in cotton

因变量 Dependent variables (Y)	多元逐步回归方程 Stepwise regression	相关系数 Correlation coefficients (r)	决定系数 R^2
抗旱指数 Drought resistance index	$Y = -0.338 + 0.612X_7 + 0.420X_3 + 0.353X_{10}$	0.923	0.872
抗旱系数 Drought tolerance index	$Y = -1.053 + 0.953X_3 + 0.456X_{10} + 0.282X_7 + 0.384X_{16}$	0.941	0.886
籽棉产量 Seed cotton yield	$Y = -163.587 + 4.899X_{10} + 20.920X_7 + 3.087X_3$	0.920	0.847

X_7 : 单株成铃数; X_3 : 单铃数; X_{10} : 花铃期叶片数; X_{16} : 茎粗。
 X_7 : boll number per plant; X_3 : single boll weight; X_{10} : leaf number at flowering-bolling stage; X_{16} : stem diameter.

导意义^[12,16]。本研究抗旱性鉴定的 17 个性状指标,是棉花抗旱育种和品质分析中普遍采用的基本指标^[10,14],具有简单、实用、直观、易测等优点,对棉花品系抗旱性评价具有重要的应用价值。

不同品种间对水分胁迫的反应存在差异,正常灌水处理与全生育期不灌水处理各品种的农艺性状值均差异显著,说明覆膜高密度栽培模式干旱胁迫下,参试品种的株高、单铃重、单株成铃数、籽棉产量等与产量相关的关键指标和正常灌溉处理相比都有差异,因此以籽棉产量为基础,选择与之相关的农艺性状指标进行棉花抗旱性鉴定是可行的;同时将这些指标量化分析,科学评价参试品种(系)的

抗旱系数,使抗旱性的评价更科学、更符合实际情况,这一结论和肖俊夫等^[17]和程林梅等^[18]研究结论一致。

3.2 干旱胁迫对棉花农艺性状的影响

研究表明,不同灌水处理对参试品种农艺性状和品质性状的影响存在一定的差异性。全生育期不灌水处理的品种(系)均提前吐絮,较正常灌水处理的吐絮期提前 20 d 左右,表现为棉铃小、叶片小、新生叶片伸出速率慢、蕾铃大量脱落、株高降低、主茎生长受到抑制,开花后直到吐絮株高基本不再增长,产生自然封顶现象,这与前人的研究结果是一致的^[4-6,14]。研究还发现,全生育期不灌水处理的

棉花品种(系)吐絮后,随着气温的降低,蒸发量的减少,地下水位的上升,生长后期主茎生长点开始恢复生长。灌水量减少一半的处理,参试品种(系)和正常灌溉的处理相比,籽棉产量的差异均达到显著水平;而其他10个指标:株高、单株成铃数、单铃重、果枝数、叶片数、果节数、籽指、收获指数、茎粗和上半部分纤维长度均相应地降低和减少,部分品种的农艺性状值间差异达到显著水平,这与国内外对白色棉花农艺性状的研究结果一致^[5-10]。

3.3 简单、实用的抗旱评价指标

主成分分析已经用在多种作物抗旱性的评价中^[15,19-21],本研究结合主成分分析、相关分析和多因素逐步回归分析方法,对棉花主要农艺性状指标筛选表明,抗旱指数与花铃期叶片数、有效果枝数、单株铃数、株高、单铃重、果节数、籽指、茎粗和收获指数呈极显著正相关,单株成铃数与抗旱指数的关联度最大,与棉花的抗旱性较为密切,可作为棉花抗旱性鉴定的重要指标,这与李志博等^[10]和冯方剑等^[15]认为铃数是限制棉花产量的最主要产量因子的研究结果相一致。有效果枝数、株高、花铃期叶片数、果节数、籽指、单铃重和上半部分纤维长度与产量抗旱指数存在较大的关联,可作为彩色棉花综合性抗旱评价的指标,单株成铃数、单铃重和花铃期叶片数可作为棉花抗旱鉴定的关键指标,可用于棉花资源的抗旱性鉴定与评价。

4 结论

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,其他相关性状指标如株高、果节数、籽指、收获指数、茎粗、纤维长度等可作为参考指标。

References

- [1] Wang L-M(王留明), Wang J-B(王家宝), Shen F-F(沈法富), Zhang X-K(张学坤), Liu R-Z(刘任重). Influences of water logging and drought on different transgenic Bt cotton cultivars. *Acta Gossypii Sin* (棉花学报), 2001, 13(2): 87-90 (in Chinese with English abstract)
- [2] Nan J-F(南建福), Liu E-K(刘恩科), Wang J-P(王计平), Xu S-S(徐珊珊). Effect of drought duration and fertilizer at seedling period on cotton development. *Cotton Sci* (棉花学报), 2006, 17(6): 339-342 (in Chinese with English abstract)
- [3] Pei D(裴冬), Zhang X-Y(张喜英), Kang R(亢茹). Effects of water deficit on cotton growth physiology and yield. *Eco-Agric Res* (生态农业研究), 2000, 8(4): 52-55 (in Chinese with English abstract)
- [4] Cai H-J(蔡焕杰), Shao G-C(邵光成), Zhang Z-H(张振华). The effect of different irrigation patterns on cotton growth and yield under the condition of drip irrigation under plastic mulch. *J Northwest Sci-Tech Univ Agric For* (Nat Sci Edn) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2002, 30(4): 29-32 (in Chinese with English abstract)
- [5] Yu X-G(俞希根), Sun J-S(孙景生), Xiao J-F(肖俊夫), Liu Z-G(刘祖贵), Zhang J-Y(张寄阳). A study on drought indices and lower limit of suitable soil moisture of cotton. *Acta Gossypii Sin* (棉花学报), 1999, 11(1): 35-38 (in Chinese with English abstract)
- [6] Li S-K(李少昆), Chen T-R(陈天茹), Xiao L(肖璐), Huang W-H(黄文华), Zuo W-P(左文平), Zhang W-F(张旺峰), Wang C-Y(汪朝阳). Effect of drought stress on growth and lint yield of cotton at different growing stages: I. The causes analysis of cotton yield reducing under drought stress. *J Shihezi Univ* (Nat Sci) (石河子大学学报·自然科学版), 1999, 3(3): 178-182 (in Chinese with English abstract)
- [7] Du C-L(杜传莉), Huang G-Q(黄国勤). Research progress of major identification indicators in the cotton drought resistance. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2011, 27(9): 17-20 (in Chinese with English abstract)
- [8] Zhao D-L(赵都利), Xu Y-Z(许玉璋), Xu X(许萱). Effects of water deficiency on dry matter accumulation and water use efficiency in cotton during the flowering and fruiting stages. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 1992, 10(3): 7-10 (in Chinese with English abstract)
- [9] Li S-K(李少昆), Xiao L(肖璐), Huang W-H(黄文华), Zuo W-P(左文平), Chen T-R(陈天茹), Zhang W-F(张旺峰), Wang C-Y(汪朝阳). Effect of drought stress on cotton growth and lint yield at different growing stage: II The change of cotton growth and physiological characteristics to water stress. *J Shihezi Univ* (Nat Sci)(石河子大学学报·自然科学版), 1999, 3(4): 259-264 (in Chinese with English abstract)
- [10] Li Z-B(李志博), Zhang J(章杰), Wei Y-N(魏亦农), Yu J(喻娟), Xi Z-L(郝忠玲), Zhang X-J(张小均). Characteristics analysis of yield traits and fiber quality with cotton drought resistance under plastic film mulching and high-density condition. *J Nucl Agric Sci* (核农学报), 2011, 25(3): 576-581 (in Chinese with English abstract)
- [11] Cai H-T(蔡红涛), Tang Y-Z(汤一卒), Diao P-C(刁品春), Rong L(荣利). Regulating effect of soil progressive drought on yield of cotton during blooming and bolling periods. *Cotton Sci* (棉花学报), 2008, 20(4): 300-305 (in Chinese with English abstract)
- [12] Hua S-J(华水金), Yuan S-N(袁淑娜), Zhao X-Q(赵向前), Zhang X-Q(张小全), Liu Y-X(刘英新), Wen G-J(文国吉), Zhang H-P(张海平), Wang X-D(王学德). Comparison of photosynthesis in brown, green, and white fiber cotton lines. *Cotton Sci* (棉花学报), 2009, 21(2): 121-126 (in Chinese with English abstract)
- [13] Nan H-Y(南宏宇). Research progress on colored cotton in Gansu. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2007, 35(19): 5728-5730 (in Chinese)

- [14] Zhang B-X(张秉贤), Feng K-Y(冯克云), Chen Y-L(陈玉梁). Characteristics of resistance to drought naturally colored cotton. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2010, 28(4): 112–116 (in Chinese with English abstract)
- [15] Feng F-J(冯方剑), Song M(宋敏), Chen Q-J(陈全家), Yao Z-P(姚正培), Li Y-Y(李杨阳), Liu Y(刘艳), Wang X-A(王兴安), Qu Y-Y(曲延英). Analysis and comprehensive evaluation on principal component of relative indices of drought resistance at the seedling stage of cotton. *J Xinjiang Agric Univ* (新疆农业大学学报), 2011, 34(3): 211–217 (in Chinese with English abstract)
- [16] Xu R(徐蕊), Wang Q-B(王启柏), Zhang C-Q(张春庆), Wu C-L(吴承来). Drought-resistance evaluation system of maize inbred. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2009, 42(1): 72–84 (in Chinese with English abstract)
- [17] Xiao J-F(肖俊夫), Liu Z-G(刘祖贵), Sun J-S(孙景生), Duan A-W(段爱旺), Zhang J-Y(张寄阳). Influences of water stress at different growing stages on growth, development and yield in cotton. *Irrig Drain* (灌溉排水), 1999, 18(1): 23–27 (in Chinese with English abstract)
- [18] Cheng L-M(程林梅), Zhang Y-G(张原根), Yan J-Y(阎继耀), Zhang H(张和). The effect of dry land on the physiological characters and yields in cotton. *Acta Gossypii Sin* (棉花学报), 1995, 7(4): 233–237 (in Chinese with English abstract)
- [19] He W(何玮), Fan Y(范彦), Xu Y-D(徐远东), Wang L(王琳), Qin X-P(秦晓鹏), Peng Y(彭燕). Screening identification indexes of drought resistance and comprehensive evaluation at seedling stage of red clover. *J Plant Genet Resour* (植物遗传资源学报), 2009, 10(4): 572–577 (in Chinese with English abstract)
- [20] Wang H-Z(王贺正), Li Y(李艳), Ma J(马均), Zhang R-P(张荣萍), Li X-Y(李旭毅), Wang R-Q(王仁全). Screening indexes of drought resistance during seedling stage in Rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(9): 1523–1529 (in Chinese with English abstract)
- [21] van Heerden P D R, Tsimilli-Michael M, Kruger G H J, Strasser R J. Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development: parallel studies of CO₂ assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics O-J-I-P and nitrogen fixation. *Physiol Plant*, 2003, 117: 476–491

欢迎订阅 2013 年《中国蔬菜》(半月刊)

《中国蔬菜》由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主办, 属全国中文核心期刊, 获第二届国家期刊奖。半月刊, 上半月以综合信息为主, 下半月以学术论文为主。

《中国蔬菜》上半月刊(综合版): 服务于生产一线, 以刊登蔬菜产销信息、新优品种、种植技术、病虫害防控技术为主, 全年 12 期, 年价 96 元。

邮局订阅: 全国各地邮局(所)均可订阅, 邮发代号 82-131。

汇款订阅: 将订阅款项汇至编辑部, 并在汇款留言中注明订阅上半月刊。

《中国蔬菜》下半月刊(学术版): 服务于学术交流, 以刊登蔬菜研究论文、新品种选育报告为主, 全年 12 期, 年价 96 元。

只能汇款订阅: 将订阅款项汇至编辑部, 并在汇款留言中注明订阅下半月刊。

汇款地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 邮编: 100081

收款人: 《中国蔬菜》编辑部 电话: 010-62148559

网址: <http://www.cnveg.com.cn>; <http://www.cnveg.org>