

花铃期干旱胁迫对不同棉花品种 光合特性影响及抗旱性评价

孙丰磊,张 玻,曲延英,陈全家,高文伟

(新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以28份抗旱性不同的棉花品种为材料,通过大田花铃期水分胁迫,以抗旱系数和主成分分析综合评价各个棉花品种的抗旱水平,并对其评价和等级进行划分。结果表明,各个棉花品种在花铃期干旱胁迫下,各指标反应程度不同,其中叶绿素、净光合速率、水蒸汽压亏缺、气孔导度变化较明显,通过RI值聚类分析,将材料分成4个大类,第I类为高抗型品种有C1470、ND359-5、新炮1号、新陆中39等18份品种;第II类为中抗型的包括天合995、吉扎81、大铃棉、TM-1、10615-1、塔什干7号;第III类为敏感型的包括新陆早1号、新石K7、鲁棉28;第IV为极敏感型的新陆早26。进一步利用逐步回归建立回归方程 $D = -1.496 + 0.775Ci + 0.160Gs - 0.020VPD + 0.719Pn + 0.799Tr - 0.241WUE + 0.663Chl$ ($R^2 = 0.996$),筛选出7个指标,分别为 Ci 、 Gs 、 VPD 、 A 、 Tr 、 WUE 、 Chl ,各材料估计精度大于97.55%。

关键词:干旱;棉花品种;光合特性;主成分分析;抗旱性评价

中图分类号:S562 文献标志码:A

Effects of drought stress during the blooming period on photosynthetic characteristics and assessment drought resistance of different cotton varieties

SUN Feng-lei, ZAHNG Bo, QU Yan-yin, CHEN Quan-jia, GAO Wen-wei

(College of Agriculture Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Field water stress during the blooming period was conducted to assess drought resistant capacity and partition clahierarchy of 28 varieties of cotton by drought resistance coefficient. The results showed that cotton varieties under drought stress during the blooming period, indexes responded variously. Chlorophyll, net photosynthetic rate, stomatal conductance, water vapor pressure deficit changed more apparently. The material could be divided into four major categories, by RI value clustering analysis. The first (I) type for high class type varieties were C1470, ND359-5, Xinpao 1, Xinluzhong 39 in 18 varieties. The second (II) class for the type of resistance included Tianhe 995, Jizha 81, Dalingmian, TM-1, Tashigan 7. The third (III) for sensitive was Xinluzao 1, Xinshi K7, Lumian 28. The fourth (IV) for highly sensitive was Xinluzao 26 earlier, The mathematical evaluation model was established as $D = -1.496 + 0.775Ci + 0.160Gs - 0.020VPD + 0.719Pn + 0.799Tr - 0.241WUE + 0.663Chl$ ($R^2 = 0.996$), and the evaluation accuracy of the equation was higher than 97.55%. Seven indexes closely related to the chilling tolerance, Ci 、 Gs 、 VPD 、 A 、 Tr 、 WUE and Chl .

Keywords: drought; cotton variety; photosynthetic characteristic; vprincipal components analysis; drought resistance evaluation

棉花是我国重要的经济作物^[1]。花铃期是棉花一生中水肥需求的关键时期^[2,3],此时期水分亏缺对棉花生长发育的影响尤为明显^[4-6]。我国西北、内蒙古、新疆等地为干旱及半干旱地区,其中新

疆干旱面积最大。为降低干旱对农业造成的损失,除了增加灌溉,就是培育抗旱品种^[7]。实践证明,培育抗旱品种是提高作物在干旱条件下产量的有效手段^[8]。利用不同棉花品种的种质资源的抗逆

性,研究棉花花铃期干旱胁迫下光合特性,是挖掘现有主栽品种抗旱性的有效途径之一。Hatmacher等^[9]研究发现,抗旱性强的棉花种质材料抵御干旱的途径是加大气孔阻力,降低蒸腾强度。马富裕等^[10]研究表明,花铃中期水分亏缺导致群体光合速率比适水下降 42.2%,皮棉产量减少 741 kg·hm⁻²。随着抗旱性研究的不断深入,其抗旱机理及抗旱性评价相关报道中多数抗旱研究是基于室内试验^[11],大田研究相对较少。本研究以 28 份棉花品种材料,在大田进行水分胁迫试验,采用主成分分析、隶属函数^[12]相结合的方式,分析比较花铃期光合指标及其与品种抗旱性关系,并进行抗旱性综合评价^[13],为筛选抗旱种质资源与选育抗旱品种提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

28 份棉花品种,均由新疆农业大学遗传育种实验室提供(表 1)。

表 1 供试棉花品种

Table 1 The cotton varieties tested

编号 No.	品种名称 Variety name	品种(系)类型 Variety type
1	新陆早 1 号 Xinluzao 1	早熟 Early maturity
2	大铃棉 Dalingmian	不详 Unknown
3	C1470	不详 Unknown
4	KK1543	早熟 Early maturity
5	108 夫 108Fu	不详 Unknown
6	天合 995 Tianhe 995	早熟 Early maturity
7	ND359-5	早熟 Early maturity
8	中 R773 Zhong R773	不详 Unknown
9	冀 589 Ji 589	中熟 Middle maturity
10	CQJ-5	早熟 Early maturity
11	鲁棉 28 Lumian 28	中熟 Middle maturity
12	早 24 Zao 24	不详 Unknown
13	TM-1	不详 Unknown
14	中棉 49 Zhongmian 49	早中熟 Early-mid maturity
15	新陆早 11 Xinluzao 11	早熟 Early maturity
16	新炮 1 号 Xinpao 1	早熟 Early maturity
17	军棉 1 号 Junmian 1	不详 Unknown
18	新路中 11 Xinluzhong 11	中早熟 Mid-early maturity
19	吉扎 81 Jizha 81	不详 Unknown
20	新陆早 26 Xinluzao 26	早熟 Early maturity
21	贝尔斯诺 Beiersinuo	不详 Unknown
22	辽 18 Liao 18	特早熟 Early maturity
23	新陆早 23 Xinluzao 23	不详 Unknown
24	塔什干 7 号 Tashigan 7	早熟 Early maturity
25	新石 K7 Xinshi K7	早熟 Early maturity
26	新陆早 50 Xinluzao 50	早熟 Early maturity
27	新路中 39 Xinluzhong 39	不详 Unknown
28	10615-1	早熟 Early maturity

1.2 方 法

1.2.1 试验设计

试验于 2016 年在石河子 144 团

农大试验田进行,播种前在试验区划分两片区域,用于正常浇水(CK)和干旱胁迫(Drought),每个材料采用 0.5 m×3.0 m 2 行宽膜种植,每膜种植 3 个品种,两种处理均重复两次,以保护行隔离。在花铃期对照组正常浇水,胁迫组不浇水处理。之后一切正常浇水。

1.2.2 测定项目与方法 采用便携式光合测定系统(CIRAS-3,汉莎,英国),在棉花花铃期水分胁迫第十天(7 月 14 日早晨 10:30~12:30 之间,此时间段为当地测量最佳时间,避免“光合午休”现象)进行光合测量并摘取幼叶置于液氮保存,以备后续测定理化指标。均以测定倒 3 叶为准,测定时设定光子通量密度为 1 100 μmol·m⁻²·s⁻¹,环境温度为 31(±2)℃,相对湿度为 50(±3)%,CO₂浓度为 370(±5) μmol·mol⁻¹。主要测定的光合指标有净光合速率(*P_n*)、气孔导度(*G_s*)、蒸腾速率(*T_r*)、水分利用效率(*WUE*) (净光合速率/蒸腾速率)、细胞间二氧化碳浓度(*C_i*)、水蒸气压亏缺(*VPD*),重复三次。

1.3 数据处 理

采用 EXCEL 进行数据汇总与计算,用 SPSS 21.0 软件分析数据。抗旱系数(*PI*)^[14]公式为

$$(PI) = Yd/Yw \quad (1)$$

式中,*Y_d* 为干旱胁迫条件下某性状或指标值;*Y_w* 为正常灌水条件下某性状或指标值,对棉花来说,抗旱系数越高其抗旱性就认为越强。

综合抗旱指数为各指标 *PI* 值和的均值,公式为

$$RI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI \quad (2)$$

2 结果与分 析

试验地干旱胁迫处理后,棉花花铃期在胁迫前、胁迫中、胁迫后 0~60 cm 土壤平均含水量分别为 29.154%、13.359%、19.062%(表 2)。

表 2 干旱胁迫处理下土壤含水量/%

Table 2 Soil water contents at the drought stress

土层 Soil layer	胁迫前 Before stress	胁迫中 In the stress	胁迫后 After the stress
0~20 cm	28.801	12.489	17.134
20~40 cm	29.098	12.862	18.578
40~60 cm	29.562	14.725	21.473
平均值 Average	29.154	13.359	19.062

2.1 叶绿素含量分析

叶绿素是光合作用的重要物质^[15]。干旱导致叶片叶绿体结构破坏,叶绿素含量降低^[16]。图 1 显示,各个棉花品种在花铃期干旱胁迫处理下叶绿素

含量均下降,不同品种棉花抗旱能力不同,叶绿素 (Chl) 含量下降幅度明显,新陆早 26 下降明显大于

新炮 1 号,分别为各自对照的 68.16%、14.84%,其余品种均在 68.16%~14.84%内不同程度下降。

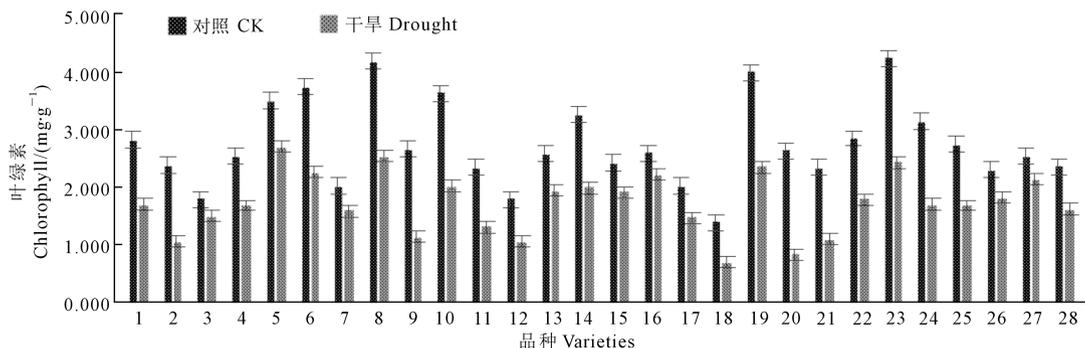


图 1 干旱胁迫下不同棉花品种叶绿素含量变化

Fig.1 Different cotton varieties under drought stress chlorophyll content changes

2.2 光合特性分析

28 份材料的净光合速率、蒸腾速率、水分利用率、细胞间二氧化碳浓度、气孔导度(图 2-I、II、III、IV、V)在胁迫下数值相比对照均有不同程度下降,其中新陆早 26 在净光合速率中下降幅度大于新炮 1 号及其它品种,达到对照的 50.74%,同时蒸腾速率下降高于新炮 1 号及其它品种,分别是对照的 43.82%与 3.44%。胞间二氧化碳浓度均有下降,新陆早 26、新炮 1 号分别为对照的 16.67%、7.86%。气孔导度均低于对照,新陆早 26 和新炮 1 号分别为对照的 74.17%、39.42%。

水分利用率(WUE)越高表明植物在干旱胁迫下干物质积累能力越强。图 2-III 所示,品种间 WUE 值存在较大差异,水分胁迫下,抗旱能力强的降幅小,其中 CQJ-5、中棉 49、天合 995、C1470 等在干旱胁迫下 WUE 下降小。

2.3 干旱胁迫下抗旱系数(PI)的相关性分析

通过相关性分析,一些指标之间存在显著或极显著相关关系,如表 3 所示。

表 3 干旱胁迫下 PI 值相关性分析

Table 3 drought stress for PI correlation analysis

项目 Item	<i>Ci</i>	<i>Gs</i>	<i>VPD</i>	<i>Pn</i>	<i>Tr</i>	<i>WUE</i>	<i>Chl</i>
<i>Ci</i>	1						
<i>Gs</i>	0.408 *	1					
<i>VPD</i>	-0.199	-0.605 **	1				
<i>Pn</i>	0.157	0.368	-0.468 *	1			
<i>Tr</i>	-0.069	-0.013	-0.091	-0.560 **	1		
<i>WUE</i>	-0.216	-0.046	-0.606 **	0.337	0.044	1	
<i>Chl</i>	0.190	0.009	-0.063	0.427 *	-0.703 **	-0.018	1

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*Ci*:胞间二氧化碳浓度;*Gs*:气孔导度;*VPD*:水蒸汽压亏缺;*A*:净光合速率;*Tr*:蒸腾速率;*WUE*:水分利用率;*Chl*:叶绿素含量。

Note: * means correlation is significant; ** means correlation is highly significant. *Ci*: Internal CO₂; *Gs*: Stomatal Conductance; *VPD*: Vapour Pressure Deficit; *A*: Assimilation Rate; *Tr*: Transportation Rate; *WUE*: Water Use Efficiency; *Chl*: Chlorophyll.

由表 3 可知,叶绿素含量与净光合速率呈显著正相关,相关系数为 0.427,表明该指标在干旱胁迫下的值越大,植株适应干旱能力越强,光合产物积累越多。蒸腾速率与净光合速率,呈显著负相关,相关系数为-0.560,表明该指标在干旱胁迫下,植株蒸腾速率越大,水分散失越快,不利于光合产物积累,在干旱胁迫下植株适应能力差,不利于自身生长。水蒸汽压亏缺与水分利用率也呈显著负相关,相关系数为-0.606,表明该指标值越大,水分利用率越低。

2.4 各指标主成分分析(PCA)

在干旱胁迫条件下提取主成分数为 3 个,由表 4 所示,累积贡献率为 81.335%。各个主成分因子荷载虽有不同,但反映了七个指标在干旱胁迫条件下各个品种变化状况。在干旱胁迫状态各个主成分反映出叶绿素、净光合速率、水蒸汽压亏缺、气孔导度变化较为明显。通过各个主成分分析和因子荷载求得干旱胁迫下得分公式。

表 4 干旱胁迫条件下主成分分析

Table 4 Principal component analysis under drought stress conditions

指标 Index	因子载荷 Factor pattern		
	F1	F2	F3
胞间二氧化碳浓度/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)	0.311	-0.252	0.748
气孔导度 <i>Gs</i> /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.557	-0.548	0.426
水蒸汽压亏缺 <i>VPD</i> /mb	-0.738	0.554	0.214
净光合速率 <i>Pn</i> /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.853	0.120	-0.075
蒸腾速率 <i>Tr</i> /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.604	0.706	-0.045
水分利用效率 <i>WUE</i> /%	0.424	-0.280	-0.780
叶绿素/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.575	0.663	0.190
特征根 Characteristic root(λ 1)	2.554	1.702	1.438
贡献率 Contribution rate/%	36.488	24.307	20.540
累计贡献率/%	36.488	60.795	81.335
Cumulative contribution rate	36.488	60.795	81.335
总得分公式 Total scoring formula	$F = 0.449F1 + 0.229F2 + 0.253F3$		

2.5 PCA 得分、RI 值排序的综合评价

计算各个材料总得分,用公式(2)计算每个材料 RI 均值,对于干旱胁迫下各个材料的 RI 值及综合得分值排序,表(5)所示。排名越高则材料的综合得分 RI 值越高,表明在干旱胁迫下环境对植株影响越弱,即表现出对干旱胁迫的抗性越强,反之表明

环境对植株影响越强,对环境越敏感,抗旱性越弱。

由表 5 可知,各个材料在干旱胁迫下的 RI 值及 PCA 总得分排序结果大致相同,ND359-5、新炮 1 号、C1470、新陆中 39 的 PCA 总得分高于平均值,在干旱胁迫条件下抗旱性高于品均水平,新陆早 26 总得分值小于 0,表明该材料的抗旱性在平均水平之下。

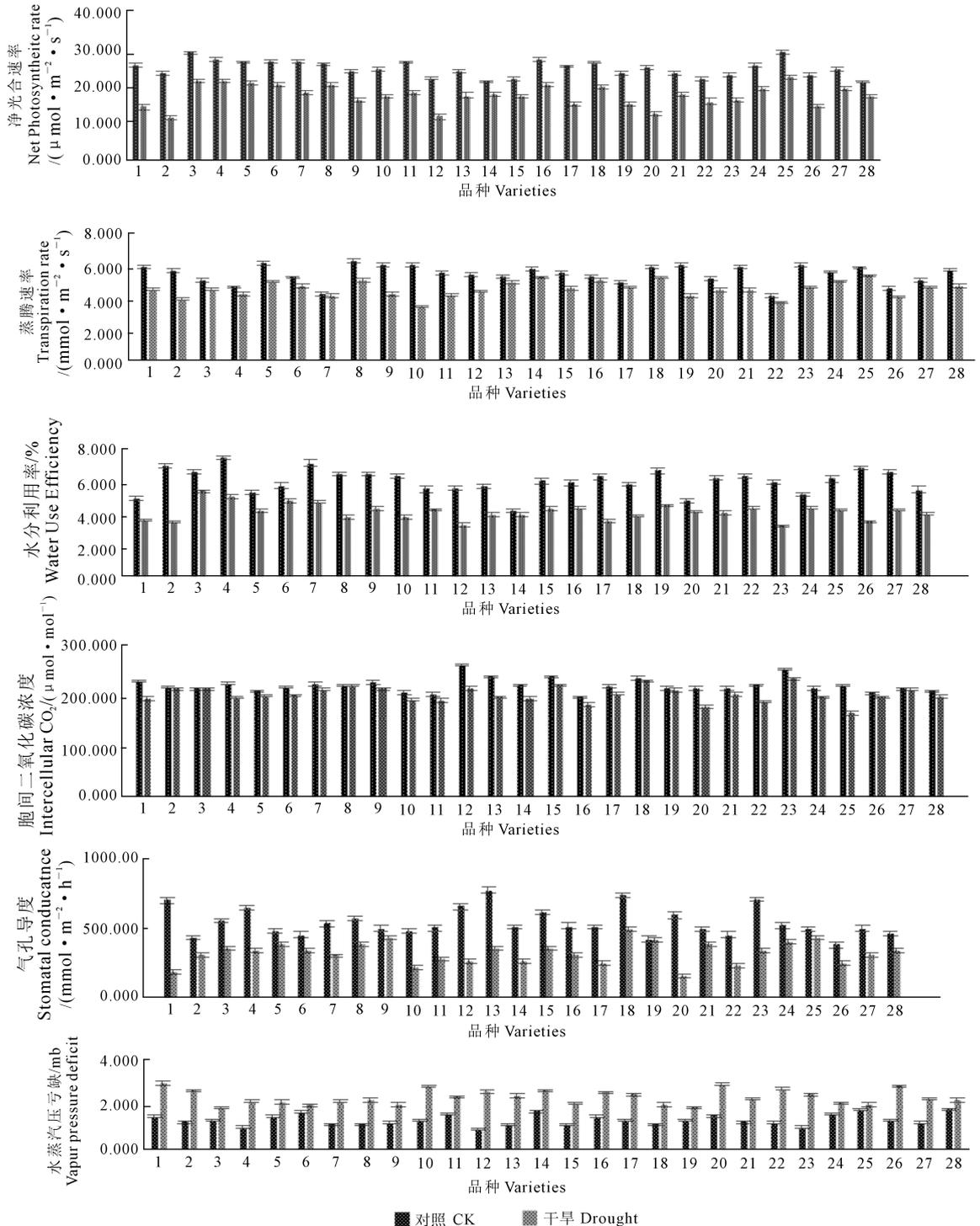


图 2 干旱胁迫对叶片净光合速率 (I)、蒸腾速率 (II)、水分利用率 (III)、胞间二氧化碳浓度 (IV)、气孔导度 (V)、水蒸汽压亏缺 (VI) 的影响

Fig.2 Drought stress on Assimilation rate (I), Transpiration rate (II), Water use efficiency (III), Internal CO_2 (IV), Stomatal conductance (V), The influence of vapor pressure deficit (VI)

表 5 各材料 RI 值、PCA 总得分排序
Table 5 Each material RI, total score of PCA

名称 Varieties	PCA	排序 Sequence	RI	排序 Sequence	名称 Varieties	PCA	排序 Sequence	RI	排序 Sequence
新陆早 1 号 Xinluzao 1	0.398	27	0.830	25	新炮 1 号 Xinpao 1	0.974	2	0.944	5
大铃棉 Dalingmian	0.412	26	0.857	21	军棉 1 号 Junmian 1	0.781	11	0.883	17
C1470 C1470	0.939	3	0.909	12	新路中 11 Xinluzhong11	0.758	14	0.893	16
早 24 Zao 24	0.780	12	0.941	6	10615-1	0.622	20	0.863	19
108 夫 108 Fu	0.879	6	0.903	13	新陆早 26 Xinluzao 26	-0.040	28	0.753	28
天合 995 Tianhe 995	0.783	10	0.852	23	贝尔斯诺 Beiersinuo	0.614	22	0.877	18
ND359-5 ND359-5	0.929	4	0.926	10	辽 18 Liao 18	0.691	18	0.937	7
中 R773 Zhong R773	0.814	9	0.917	11	新陆早 23 Xinluzao 23	0.619	21	0.934	8
TM-1 TM-1	0.505	24	0.856	22	塔什干 7 号 Tashigan 7	0.721	17	0.861	20
CQJ-5 CQJ-5	0.664	19	0.896	14	新石 K7 Xinshi K7	0.727	16	0.824	26
鲁棉 28 Lumian 28	0.560	23	0.823	27	新陆早 50 Xinluzao 50	0.880	5	0.950	4
KK1543	0.419	25	0.956	1	新路中 39 Xinluzhong 39	1.032	1	0.953	2
冀 589 Ji 589	0.772	13	0.950	3	吉扎 81 Jizha 81	0.850	8	0.850	24
中棉 49 Zhongmian49	0.738	15	0.893	15	平均 Average	0.696		0.896	
新陆早 11 Xinluzao 11	0.854	7	0.933	9					

2.6 干旱胁迫下聚类分析及抗旱性评价

根据各个材料的综合抗旱性在系统聚类中采用最近邻元素法分为 4 类,第 I 类为高抗型品种有 C1470、ND359-5、新炮 1 号、新陆中 39 等 18 份品种,第 II 类为中抗型的包括天合 995、吉扎 81、大铃棉、TM-1、10615-1、塔什干 7 号,第 III 类为敏感型的包括新陆早 1 号、新石 K7、鲁棉 28,第 IV 类为极敏感型的新陆早 26 (图 3)。

2.7 回归分析模型与抗旱指标筛选

为分析各个指标与抗旱性关系,筛选可靠的抗旱新指标,建立可用于棉花花铃期抗旱性评价的数学模型,以综合抗旱性得分 (PCA) 为因变量,各单项指标为自变量,采用逐步回归分析建立回归方程: $D = -1.496 + 0.775Ci + 0.160Gs - 0.020VPD + 0.719Pn + 0.799Tr - 0.241WUE + 0.663Chl$, 方程决定系数 $R^2 = 0.996, P = 0.0001$ 。由方程可知,筛选出 7 个指标,分别为 $Ci、Gs、VPD、Pn、Tr、WUE、Chl$,并对回归方程的估计精度进行评价 (表 6),结果显示估计精度均在 97.55% 以上,表明这 7 个指标对抗旱性

影响较明显。同时在相同条件下测其它品种的 7 个指标并求得抗旱系数,进而可利用该方程对棉花抗旱性进行预测。

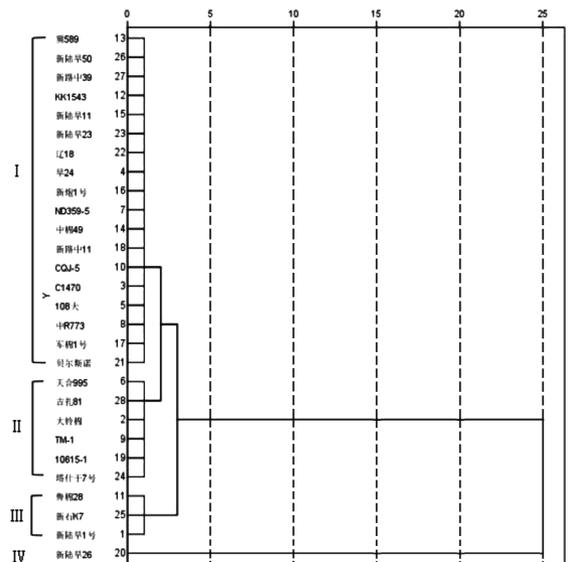


图 3 基于 PI 值的棉花品种抗旱性系统聚类图
Fig.3 Based on the value of PI and drought resistance of cotton varieties of system clustering figure

表 6 回归方程的估计精度分析

Table 6 Analysis of evaluation accuracy of equation

名称 Varieties	原始值 Primary value	回归值 Regression	差值 Difference	精度估计 Evaluation accuracy	名称 Varieties	原始值 Primary value	回归值 Regression	差值 Difference	精度估计 Evaluation accuracy
新陆早 1 Xinluzao1	0.398	0.400	-0.002	99.58	新陆早 Xinluzao11	0.854	0.856	-0.002	99.81
大铃棉 Dalingmian	0.412	0.413	-0.001	99.79	新炮 1 号 Xinpao 1	0.974	0.975	-0.002	99.83
C1470	0.939	0.941	-0.001	99.85	军棉 1 号 Junmian 1	0.781	0.782	-0.002	99.79
早 24 Zao 24	0.780	0.781	-0.002	99.77	新路中 11 Xinluzhong11	0.758	0.759	-0.002	99.79
108 夫 108 Fu	0.879	0.880	-0.001	99.85	10615-1	0.622	0.623	-0.001	99.89
天合 995 Tianhe 995	0.783	0.784	-0.001	99.81	新陆早 26 Xinluzao26	-0.040	-0.039	-0.001	97.55
ND359-5	0.929	0.930	-0.001	99.85	贝尔斯诺 Beiersinuo	0.614	0.616	-0.001	99.79
中 R773 ZhongR773	0.814	0.815	-0.002	99.80	辽 18 Liao 18	0.691	0.693	-0.002	99.75
TM-1 TM-1	0.505	0.506	-0.001	99.81	新陆早 23 Xinluzao23	0.619	0.620	-0.002	99.74
CQJ-5 CQJ-5	0.664	0.666	-0.002	99.73	塔什干 7 Tashigan7	0.721	0.722	-0.001	99.81
鲁棉 28 Lumian 28	0.560	0.561	-0.001	99.73	新石 K7 Xinshi K7	0.727	0.728	-0.002	99.76
KK1543 KK1543	0.419	0.420	-0.001	99.69	新陆早 50 Xinluzao50	0.880	0.882	-0.001	99.84
冀 589 Ji 589	0.772	0.774	-0.002	99.77	新路中 39 Xinluzhong39	1.032	1.034	-0.002	99.84
中棉 49 Zhongmian49	0.738	0.739	-0.001	99.82	吉扎 81 Jizha 81	0.850	0.851	-0.002	99.81

2.8 抗旱品种特征分析

通过聚类分析及回归分析结果,比较 7 个指标在棉花不同抗旱类别间的表现特征(表 7):

第 I 类(高抗性):干旱胁迫后 C_i 、 Chl 等指标保持较高水平, VPD 、 WUE 、 Tr 等指标则较低,处理后 G_s 、 P_n 也较低。

第 II 类(中抗性):干旱胁迫后 C_i 、 VPD 、 WUE 、 Tr 、 Chl 等指标与第 I 类相比较低,而处理后 G_s 、 P_n 等指标相对较高。

第 III 类(敏感型):干旱胁迫处理后 C_i 、 Chl 略低于第 II 类, VPD 、 WUE 、 Tr 略高于第 II 类, G_s 、 P_n 等指标相对略低于第 II 类。

第 IV 类(极敏感型):经过干旱胁迫后, C_i 、 G_s 、 P_n 、 Tr 、 WUE 、 Chl 等指标明显低于其它类别, VPD 则相对较高。

3 讨论

棉花的抗旱性是一个复杂的数量性状,在受到干旱胁迫时作物表现出的抗旱性不仅仅是与作物品种、基因型及光合生理指标有关,还受到干旱程

度以及干旱胁迫时间的影响。李志博^[17]等研究指出棉花盛蕾期、苗期、花铃期、吐絮期的抗旱能力依次降低。雷成霞等^[18]研究指出棉花需水的关键时期是花铃期。本试验将花铃期作为棉花抗旱的重要生育时期,于大田中选取花铃期设置控水干旱胁迫,符合新疆干旱生产区的实际情况。通过在花铃期筛选有关棉花抗旱性强弱的光合指标,为挖掘现在主栽品种抗旱能力提供参考。

3.1 作物抗旱的分析方法

本试验光合指标可以看出,干旱胁迫下 P_n 、 G_s 、 WUE 、 Chl 相对对照均有不同幅度的下降,其中新陆早 26 下降幅度最大,受到干旱胁迫影响最大。 Tr 值在各个材料之间与对照相比都有所下降,但下降程度不同,其中大铃棉、塔什干 7 号、新石 K7 等材料下降幅度大于其它材料,表明这些材料通过降低蒸腾速率减少水分蒸发量降低干旱胁迫影响的能力较强。C1470、ND359-5、新炮 1 号、新路中 39 几个材料指标综合来说下降幅度低于其余品种,表现出较好的抗旱能力。叶绿素含量越高则干物质积累能力越强,结合本试验干旱胁迫条件下各个材料

叶绿素含量相比较对照均有下降,其中新陆早 26 下降幅度最大,对植株叶绿素造成一定损伤,影响植株光合作用。

近年来,许多学者筛选出与棉花抗旱有关的生理、形态指标、农艺性状指标等,刘光辉等^[19]在干旱

胁迫下对 90 份棉花材料的 6 个农艺性状指标用因子分析方法分析,并对棉花材料的抗旱性进行综合评价并聚类分析,冯剑方等^[20]对 32 个棉花品种的 7 个相互关联的生理指标采用主成分分析及综合指标的隶属函数的方法进行苗期抗旱性的综合评价。

表 7 聚类分析结果中各类别表现特征

Table 7 Description of each cluster in hierarchical cluster result

类别 Cluster	各鉴定指标测定值的平均值 Average of primary value						
	$Ci/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$G_s/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	VPD/mb	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$Tr/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$WUE/\%$	$Chl/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$
第 I 类 First cluster	206.046	315.870	2.344	18.557	4.659	3.627	1.791
第 II 类 Second cluster	205.889	365.722	2.128	17.140	4.558	3.772	1.668
第 III 类 Third cluster	183.889	287.611	2.439	18.922	4.800	3.578	1.546
第 IV 类 Fourth cluster	179.167	151.333	2.900	12.800	4.550	3.650	0.829

3.2 作物抗旱相关指标

不同指标对抗旱胁迫均有不同程度的反映,只利用其中一项单个指标对抗旱性评价不具有代表性,同时各个指标之间还有一定相关性,因此本试验用 6 项光合指标 (P_n 、 Tr 、 G_s 、 Ci 、 WUE 、 VPD)、1 项生理指标 (Chl) 在干旱胁迫条件下的 PI 值做主成分分析和相关性分析,并求出综合指标、贡献率,进行加权得到相应的隶属函数值,避免单一方法鉴定棉花抗旱性的局限性。本试验中各个材料的 RI 值与 PCA 总得分值的排序结果基本相同,主成分分析采用 RI 在干旱胁迫下的数值,并利用系统聚类分析对各个材料综合抗旱性进行划分,进一步利用逐步回归建立棉花抗旱性回归模型 $D = -1.496 + 0.775Ci + 0.160G_s - 0.020VPD + 0.719P_n + 0.799Tr - 0.241WUE + 0.663Chl$,并筛选出 7 个单项指标对棉花抗旱性有显著影响,并结合聚类分析的到各品种表现特征,干旱胁迫后耐旱性强的品种 Ci 、 VPD 、 WUE 、 Tr 、 Chl 等指标较低, G_s 、 P_n 等指标相对较高,说明此类品种在相同干旱条件下能保持较高的光合能力,耐旱性差的品种 Ci 、 VPD 、 WUE 、 Tr 、 Chl 等指标较高, G_s 、 P_n 等指标相对较低,说明此类品种在相同干旱条件下光合能力受到抑制。因此可提高抗旱性评价的可靠性和准确性。

4 结 论

通过干旱胁迫下的多项光合生理指标变化来探究棉花品种抗旱性,避免了单个指标对抗旱性评价的不代表性。同时用每项光合生理指标 PI 值做主成分分析,并结合隶属函数的方式,在此基础上求得 PCA 总得分对 28 份棉花材料进行综合的抗旱性评价。同时,在棉花干旱胁迫下的生理、光合指标变化通过柱形图反映出来,分析不同棉花材料的变化差异。并以抗旱系数的均值和主成分分析相

结合的评价方法使得到的结果更可靠,采用多指标相结合的方法可提高抗旱性评价的可靠性和准确性。对 28 份棉花材料进行聚类分析和抗旱型划分 4 类,其中抗旱性强($C1470$ 、 $ND359-5$ 、新炮 1 号、新陆中 39 等 18 份品种)、抗旱性中等(天合 995、吉扎 81、大铃棉、 $TM-1$ 、 $10615-1$ 、塔什干 7 号)、敏感(新陆早 1 号、新石 K7、鲁棉 28)、极敏感(新陆早 26),有效地反映了各个材料的综合抗旱性,因此在相同的逆境环境下,可通过测定 P_n 、 Tr 、 G_s 、 Ci 、 WUE 、 VPD 、 Chl 7 个鉴定指标快速鉴定和预测品种抗旱性,为抗旱品种选育提供参考。

参 考 文 献:

- [1] 喻树迅.我国棉花生产现状与发展趋势[J].中国工程科学,2013,15(4):9-13.
- [2] 韩会玲,康凤君.水分胁迫对棉花生产影响的试验研究[J].农业工程学报,2001,17(3):37-40.
- [3] 刘昭伟,张盼,王瑞,等.花铃期土壤持续干旱对棉铃对位叶气体交换参数和叶绿素荧光特性的影响[J].应用生态学报,2014,25(12):3533-3539.
- [4] 张文英,朱建强,欧光华,等.花铃期涝渍胁迫对棉花农艺性状、经济性状的影响[J].中国棉花,2001,28(9):14-16.
- [5] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,等.棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J].棉花学报,2008,20(4):300-305.
- [6] 管利军,孙建亭,王晓伟,等.不同打顶剂对新疆棉花花铃期生长发育的影响[J].安徽农业科学,2014,42(6):1655-1656.
- [7] 刘淑会,陈新宏,蔡振虎,等.普通小麦-大麦杂种后代衍生系抗旱性鉴定[J].甘肃农业大学学报,2010,45(6):60-65.
- [8] 张彦芹,贾玮珑,杨丽莉,等.不同玉米品种苗期抗旱性研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):83-86.
- [9] HATMACHER B.气孔和非气孔对棉花光合速率的控制作用[J].国外农业—棉花,1986,(1):24-28.
- [10] 马富裕,李蒙春,杨建荣,等.花铃期不同时段水分亏缺对棉花群体光合速率及水分利用效率影响的研究[J].中国农业科学,2002,35(12):1467-1472.