

甘肃河西走廊棉区棉花萌发期和苗期耐盐性鉴定与评价

王 宁¹,冯克云¹,南宏宇¹,张鹏忠²,谢 捷³

(1.甘肃省农业科学院作物研究所,甘肃 兰州 730070; 2.国家棉花工程技术研究中心,新疆 乌鲁木齐 830092;
3.襄阳市农业科学院,湖北 襄阳 441057)

摘 要:以 19 个甘肃河西走廊棉区主栽品种(系)为材料,以多项指标的耐盐系数为依据,运用主成分分析及聚类分析对其进行萌发期和苗期耐盐性综合评价及分类。结果表明:参试的 19 个品种(系)中,有 3 个品种(系)在萌发期和苗期耐盐性结果不一致,占总参试品种(系)的 15.8%,其它品种(系)在萌发期和苗期耐盐鉴定结果一致,其中表现稳定的强耐盐品种为辽 195、惠远 710 和金垦 108,表现稳定的中等耐盐品种(系)为陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、新陆早 26 号、新陆早 33 号,表现稳定的弱耐盐品种(系)为陇棉 2 号、新陆早 10、新陆早 67、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 39、新陆早 45,表现稳定的盐敏感品种为华棉 9 号。甘肃河西走廊棉区主栽棉花品种主要以中等和弱耐盐品种为主,强耐盐品种较少。

关键词:棉花;萌发期;苗期;耐盐性;综合评价
中图分类号: S562 **文献标志码:** A

Salt tolerance identification and evaluation of cotton at its germination and seedling stages in Hexi area of Gansu

WANG Ning¹, FENG Ke-yun¹, NAN Hong-yu¹, ZHANG Peng-zhong², XIE Jie³

(1. Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. The National Engineering Research Center of Cotton, Urumqi, Xinjiang 830092, China;
3. Xiangyang Academy of Agriculture Sciences, Xiangyang, Hubei 441057, China)

Abstract: Nineteen cotton cultivars (*Gossypium hirsutum*) suitable for Hexi area of Gansu were selected as test materials, and the comprehensive evaluation and classification at germination and seedling stages were performed by principal components analysis and hierarchical cluster analysis based on the salt tolerance coefficient of multi-indexes. The results showed that the salt tolerance of three cultivars (lines) at germination stage were not consistent with that at seedling stage among the nineteen cultivars (lines), accounting for 15.8% of the tested cultivars (lines), other cultivars (lines) showed salt tolerance at germination and seedling stages. Liao 195, Huiyuan 710, Jinkeng 108 were strong tolerant at both germination and seedling stages, Longzongmian 3, B10, Jinkeng 1261, Xinluzao 26, Xinluzao 33 were moderate tolerant, while Longmian 2, Xinluzao 10, Xinluzao 67, Longlumian 4, Jiumian 10, Xinluzao 39, Xinluzao 45 weak tolerant and Huamian 9 sensitive.

Keywords: cotton; germination stage; seedling stage; salt-tolerance; comprehensive evaluation

土壤盐渍化是影响农业生产最严重的逆境胁迫因子之一^[1],甘肃河西走廊棉区是我国西北内陆棉区的重要组成部分,该地区光热充足,昼夜温差大,是我国优质棉花生产区^[2],然而该地区是甘肃省盐碱地的主要分布区域,其面积已接近 1.8 万 km²,且轮作不合理、过量施用化肥等进一步加剧了次生盐渍化^[3],合理开发利用盐碱地已成为当地农业发展中迫在眉睫的任务。

棉花(*Gossypium hirsutum* L.)是较耐盐作物,是盐碱地的先锋作物^[4],但其耐盐能力有限,且不同品

收稿日期:2016-12-21 修回日期:2017-03-10
基金项目:甘肃省农业科学院中青年基金项目(2015GAAS35);旱区作物逆境生物学国家重点实验室开放课题基金(CSBAA2017001);甘肃省农业科学院科技创新专项(2016GAAS01)
作者简介:王 宁(1987—),男,硕士,主要从事棉花逆境生物学研究。E-mail: quietwang@163.com。
通信作者:冯克云(1974—),男,副研究员,主要从事棉花遗传育种研究。E-mail: fengkeyun@126.com。

种耐盐性差异较大,通过筛选和培育适宜于甘肃河西走廊棉区耐盐性强的棉花品种,是合理开发利用该地区盐碱地的有效途径之一,但由于棉花耐盐性十分复杂,耐盐机理尚不明确^[5],故缺乏在盐碱地大面积推广应用的耐盐品种。研究表明,棉花在萌发出苗期和幼苗阶段是耐盐能力最弱的阶段,各品种耐盐水平差异最明显,是耐盐筛选的关键时期^[6-7],目前筛选出多种耐盐形态指标与生理鉴定指标,如芽长和芽质量^[8]、相对出苗率、相对株高、相对叶面积^[9]、植株相对含水量与生物量、光合速率、脯氨酸含量、K⁺/Na⁺ 值、质膜透性等^[5,10],均能反映棉花耐盐能力,但由于不同品种耐盐机理与试验处理方式不同,单一指标难以准确反应棉花耐盐性的强弱,需用耐盐多项指标来进行综合评价。本研究利用主成分分析和聚类分析对甘肃河西走廊棉区 19 个主栽棉花品种(系)进行耐盐性鉴定与评价,了解该区域棉花品种耐盐性差异,有针对性聚合不同耐盐基因,提高种质资源耐盐性,以期为明确棉花耐盐特性及耐盐品种培育与应用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为甘肃河西走廊棉区主栽的 19 个棉花品种(系):陇棉 2 号、陇棉 3 号、陇绿棉 4 号、陇棕棉 3 号、9510、B10、辽 195、酒棉 10 号、酒棉 18 号、新陆早 10、新陆早 26、新陆早 33、新陆早 39、新陆早 45、新陆早 67、惠远 710、金垦 108、金垦 1261、华棉 9 号,所有参试材料种子均由甘肃省农业科学院作物研究所棉花课题组保存、提供。

1.2 试验方法

试验于 2016 年 4—6 月在甘肃省农业科学院敦煌棉花试验站进行。

1.2.1 种子萌发阶段耐盐试验 参照张国伟^[11]萌发期鉴定方法,从每个棉花品种(系)中挑选 100 粒饱满的种子放置于直径为 15 cm,铺有双层滤纸的玻璃培养皿内,然后滴加浓度为 150 mmol·L⁻¹ 的 NaCl 溶液作为胁迫处理,保证上层滤纸湿润且倾斜时培养皿无溶液,各处理均 3 次重复,将培养皿放入温度为 28℃±1℃、相对湿度为 80%±2% 的 GZH-250A 型号的无光照恒温培养箱内培养,分别于培养第 3 天和第 7 天统计种子发芽势和发芽率,并在第 7 天每个处理选取 5 株测定相关指标,不含 NaCl 的去离子水培养为对照(CK)。

1.2.2 棉花苗期耐盐试验 参照张国伟^[11]苗期鉴定方法,取甘肃省农科院敦煌试验站试验地细沙土,

测其盐分含量为 0.006% (质量分数),可忽略不计,含有机质 0.82 g·kg⁻¹、速效氮 27.46 mg·kg⁻¹、速效磷 2.45 mg·kg⁻¹、速效钾 52.36 mg·kg⁻¹,将其进行高温灭菌并装于塑料杯中,与萌发期试验播种期同期将相对应试验材料播种于塑料杯中,底部放置用于吸收水分的托盘并置于人工气候室中,培养条件为:昼/夜时间 13h/11h,昼/夜温度 28℃/20℃,相对湿度 75%±2%,待幼苗第 2 片叶时,定苗,每个处理保留 50 株长势一致的棉苗,进行盐胁迫处理,以含 150 mmol·L⁻¹ 的 NaCl 溶液为盐胁迫处理,不含 NaCl 的去离子水为对照(CK),以处理第 9 天时选取 5 株测定相关指标。

1.2.3 指标测定 在萌发期测定各处理棉花芽苗的发芽率、发芽势、下胚轴长、发芽指数、活力指数、根长、鲜质量,具体计算方法为:发芽率=7 天内发芽种子数/总处理种子数×100%;发芽势=3 天内发芽种子数/总处理种子数×100%;发芽指数=∑G_t/D_t(G_t 为时间 t 内的发芽数,D_t 为相应的发芽天数,共测定 7 d);活力指数=S×发芽指数(S 为芽苗的鲜质量)。

在幼苗期测定株高、地上部干物质质量、根干物质质量、净光合速率、脯氨酸含量、相对电导率,质膜透性、丙二醛含量。待盐胁迫处理后第 9 天,使用 Licor-6400 型便携式光合仪(USA)测定植株第一片真叶净光合速率^[6],使用 DDS-307 型电导率仪测定第一片真叶相对电导率^[6],采用茚三酮溶液显色法测定脯氨酸含量^[12],采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛含量^[12],采用电导法测定质膜透性^[12],各植株均随机选取,所有指标均为 3 次重复。

1.3 数据处理

各测试指标耐盐系数(STC)=盐害胁迫测定值/对照正常测定值×100%

隶属函数值:

$$\mu(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i = 1, 2, \dots, n$$
式中: X_i 为第 i 个综合指标, X_{min} 为第 i 个综合指标的最小值, X_{max} 为第 i 个综合指标的最大值。

综合指标权重: $w_i = p_i / \sum_{i=1}^n p_i, i = 1, 2, \dots, n$ 式中: w_i 为第 i 个综合指标在所有综合指标中的权重, p_i 为各品种第 i 个综合指标的贡献率。

各品种综合耐盐能力大小:

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times w_i], i = 1, 2, \dots, n$$
式中: D 值为各基因型在盐害胁迫条件下用综合指标评价所得的耐盐性综合评价值。

数据整理与分析采用 Excel 软件,采用 SPSS 20 软件进行主成分分析、相关性分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同棉花品种萌发期耐盐性比较

在萌发期盐胁迫处理条件下,计算各指标耐盐系数(STC)结果如表 1,由表 1 可知,不同棉花品种经盐胁迫处理后,其发芽率、发芽势、发芽指数、下胚轴长、根长、鲜质量、活力指数与对照相比均有所下降($STC < 1$),但不同品种(系)各单项指标下降幅度均不同,用单项指标耐盐系数反映各品种(系)耐盐

性,其结果也不同。为明确各单项指标间是否存在依存关系,对萌发期耐盐各单项指标进行相关性分析,结果(表 2)显示,发芽势与发芽率、发芽率与鲜质量、发芽指数与鲜质量、活力指数与发芽势、活力指数与下胚轴长其相关性均达到极显著水平;发芽指数与发芽率、发芽指数与发芽势、下胚轴长与发芽势、鲜质量与发芽势、活力指数与发芽率、活力指数与根长相关性达到显著水平。由于各指标间存在不同程度的相关性,其反应的耐盐性信息具有重叠,为了使鉴定指标简便化,采用主成分分析将各单项指标转化为少量的综合指标并进行分析。

表 1 盐胁迫下棉花萌发期各单项指标的耐盐系数							
Table 1 Salt tolerant coefficient of each single index of cotton germination under salt stress							
品种(系) Variety (Line)	GR	GP	GI	HL	RL	FM	VI
陇棉 2 号 Longmian 2	0.783	0.786	0.813	0.543	0.559	0.884	0.345
陇棉 3 号 Longmian 3	0.762	0.812	0.847	0.732	0.832	0.847	0.443
陇绿棉 4 号 Longlunian 4	0.821	0.765	0.789	0.731	0.522	0.913	0.416
陇棕棉 3 号 Longzongmian 3	0.815	0.815	0.815	0.867	0.583	0.815	0.484
9510 9510	0.486	0.512	0.662	0.813	0.419	0.533	0.321
B10 B10	0.835	0.808	0.783	0.832	0.533	0.866	0.526
辽 195 Liao 195	0.845	0.786	0.792	0.912	0.846	0.923	0.522
酒棉 10 号 Jiumian 10	0.646	0.722	0.839	0.608	0.807	0.839	0.351
酒棉 18 号 Jiumian 18	0.723	0.713	0.742	0.723	0.796	0.812	0.395
新陆早 10 Xinluzao 10	0.847	0.664	0.838	0.644	0.455	0.932	0.385
新陆早 26 Xinluzao 26	0.722	0.681	0.829	0.638	0.859	0.746	0.416
新陆早 33 Xinluzao 33	0.824	0.739	0.712	0.712	0.812	0.852	0.405
新陆早 39 Xinluzao 39	0.712	0.684	0.746	0.718	0.771	0.813	0.387
新陆早 45 Xinluzao 45	0.703	0.669	0.724	0.770	0.750	0.724	0.424
新陆早 67 Xinluzao 67	0.644	0.547	0.689	0.689	0.793	0.786	0.416
惠远 710 Huiyuan 710	0.836	0.812	0.911	0.881	0.913	0.934	0.567
金垦 108 Jinken 108	0.724	0.804	0.821	0.913	0.826	0.816	0.512
金垦 1261 Jinken 1261	0.813	0.712	0.836	0.842	0.728	0.935	0.414
华棉 9 号 Huamian 9	0.486	0.543	0.564	0.532	0.664	0.765	0.335

注:GR:发芽率;GP:发芽势;GI:发芽指数;HL:下胚轴长;RL:根长;FM:鲜质量;VI:活力指数。下同。

Note:GR: germination rate;GP: germination potential;GI: germination index;HL: hypocotyl length;RL: root length;FM: fresh mass;VI: vigor index. The same below.

表 2 盐胁迫条件下棉花萌发期各单项指标的相关性							
Table 2 Correlation matrix of each single index of cotton germination under salt stress							
指标 Index	GR	GP	GI	HL	RL	FM	VI
GR	1.000						
GP	0.600 * *	1.000					
GI	0.473 *	0.550 *	1.000				
HL	0.389	0.516 *	0.209	1.000			
RL	0.054	0.322	0.368	0.181	1.000		
FM	0.835 * *	0.517 *	0.595 * *	0.265	0.039	1.000	
VI	0.516 *	0.680 * *	0.355	0.729 * *	0.466 *	0.302	1.000

注: * 和 * * 分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 的显著水平。下同。

Note: * and * * mean significant correlation at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. The same below.

主成分分析中的特征根和贡献率是选择主成分的依据,一般选取累计方差贡献率大于 85% 的几个主成分,使信息利用率达 85% 以上^[13],对 7 个萌发期指标的耐盐系数进行主成分分析,选取前 3 个主成分(表 3),其贡献率分别为 57.312%、17.148%、13.082%,其累计贡献率为 87.542% > 85%,其余可忽略不计。这样就将原来 7 个单项指标转换为 3 个相互独立的新的综合指标,代表了原各单项指标所反映的绝大部分耐盐信息。

2.2 不同棉花品种(系)萌发期耐盐性聚类分析

根据公式计算出不同棉花品种(系)各综合指标的隶属函数值 $\mu(X)$ 及权重,隶属函数值 $\mu(X)$ 大小为 0~1 之间, $\mu(X)$ 为 1,表明该品种在这个综合指标下表现为耐盐性最强, $\mu(X)$ 若为 0,表明该品种在这个综合指标下表现为耐盐性最差。根据 3 个综合指标各贡献率大小,利用公式计算其权重 w_i ,3 个综合指标的权重分别为 0.655、0.196、0.149,得到耐盐综合评价 D 值(表 4),并根据 D 值对其耐盐能力进行强弱排序,其中惠远 710 的 D 值最大,表明其耐盐性最强;9510 的 D 值最小,表明其耐盐性最差,并采用最大距离法对 D 值进行聚类分析(图 1),可将 19 个棉花品种划分为 4 类:9510、华棉 9 号为第

I 类,属于盐敏感型;陇棉 2 号、酒棉 10 号、新陆早 10、新陆早 67、陇绿棉 4 号、新陆早 39、新陆早 45 为第 II 类,属于弱耐盐型;陇棉 3 号、陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、酒棉 18 号、新陆早 26 号、新陆早 33 号为第 III 类,属于中等耐盐型;辽 195、惠远 710、金垦 108 为第 IV 类,属于强耐盐型。

表 3 萌发期各综合指标的系数及贡献率
Table 3 Coefficients of comprehensive indexes and proportion at germination

项目 Items		CI_1	CI_2	CI_3
特征根 Eigen values		4.012	1.200	0.916
贡献率/% Contributive ratio		57.312	17.148	13.082
累积贡献率/% Cumulative contributive ratio		57.312	74.460	87.542
特征向量 Eigenvector	GR	0.446	-0.264	-0.148
	GP	0.450	-0.108	-0.030
	GI	0.412	-0.184	0.032
	HL	0.286	0.632	-0.391
	RL	0.174	0.343	0.892
	FM	0.381	-0.445	0.144
	VI	0.414	0.413	-0.077

表 4 各品种萌发期的综合指标值、权重、 $\mu(X)$ 、 D 值及综合评价

Table 4 The value of each varieties comprehensive index, index weight, $\mu(X)$, value D and comprehensive valuation

品种 Variety	CI_1	CI_2	CI_3	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$	$\mu(X_3)$	D 值 D value	综合评价 Comprehensive valuation
陇棉 2 号 Longmian 2	-0.210	-2.425	-0.116	0.544	0.000	0.565	0.441	弱耐盐 Weak
陇棉 3 号 Longmian 3	1.219	-0.079	0.737	0.725	0.582	0.831	0.713	中耐盐 Medium
陇绿棉 4 号 Longlumian 4	0.680	-1.213	-1.056	0.657	0.301	0.272	0.530	弱耐盐 Weak
陇棕棉 3 号 Longzongmian 3	1.446	0.421	-1.371	0.754	0.706	0.173	0.658	中耐盐 Medium
9510	-4.508	1.569	-1.926	0.000	0.991	0.000	0.194	盐敏感 Sensitive
B10	1.640	0.164	-1.558	0.778	0.643	0.115	0.653	中耐盐 Medium
辽 195 Liao 195	2.383	1.004	0.116	0.872	0.851	0.638	0.833	强耐盐 High
酒棉 10 号 Jiumian 10	-0.630	-0.921	1.277	0.491	0.373	1.000	0.544	弱耐盐 Weak
酒棉 18 号 Jiumian 18	-0.430	0.111	0.597	0.516	0.629	0.788	0.579	中耐盐 Medium
新陆早 10 Xinluzao 10	0.160	-2.171	-1.082	0.591	0.063	0.264	0.439	弱耐盐 Weak
新陆早 26 Xinluzao26	-0.413	0.064	1.180	0.518	0.618	0.970	0.605	中耐盐 Medium
新陆早 33 Xinluzao 33	0.158	-0.241	0.621	0.591	0.542	0.795	0.612	中耐盐 Medium
新陆早 39 Xinluzao 39	-0.676	0.025	0.501	0.485	0.608	0.758	0.550	弱耐盐 Weak
新陆早 45 Xinluzao 45	-0.923	0.980	0.036	0.454	0.845	0.613	0.554	弱耐盐 Weak
新陆早 67 Xinluzao 67	-1.867	0.663	0.768	0.334	0.766	0.841	0.495	弱耐盐 Weak
惠远 710 Huiyuan 710	3.390	0.927	0.635	1.000	0.832	0.800	0.937	强耐盐 High
金垦 108 Jinken 108	1.621	1.604	0.014	0.776	1.000	0.606	0.795	强耐盐 High
金垦 1261 Jinken 1261	1.225	-0.283	-0.127	0.726	0.532	0.562	0.663	中耐盐 Medium
华棉 9 号 Huamian 9	-4.266	-0.199	0.754	0.031	0.552	0.837	0.253	盐敏感 Sensitive
权重 Index weight(w_i)				0.655	0.196	0.149		

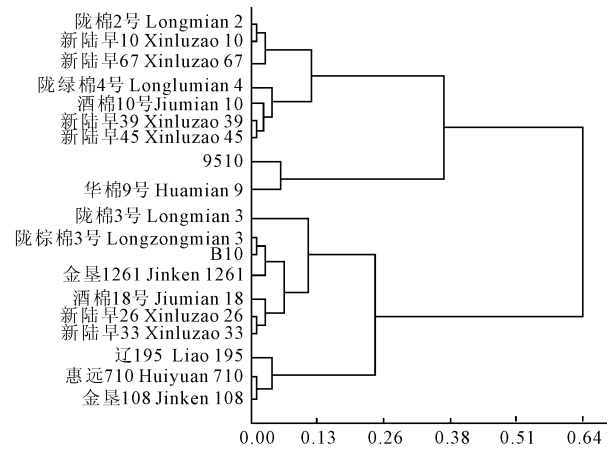


图 1 棉花萌发期 19 个品种耐盐性聚类图

Fig.1 The dendrogram of clusters for 19 cotton varieties at germination stage

2.3 不同棉花品种苗期耐盐性比较

苗期在盐胁迫处理下 ($150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$),棉花各品种(系)其株高、地上部干质量、净光合速率均低于对照($\text{STC} < 1$),而脯氨酸含量、相对电导率、质膜透性、丙二醛含量高于对照($\text{STC} > 1$),不同品种(系)棉花各单项指标变化幅度不同(表 5)。对苗期各单项耐盐指标进行相关性分析,结果显示(表 6),各指标间存在不同程度的相关性,单一指标并不能准确反映棉花苗期耐盐性,通过对 8 个苗期耐盐性单项指标的耐盐系数进行主成分分析,得到 3 个综合评价指标,其贡献率分别为: 65. 618%、13. 282%、6.624%,累积贡献率为 85. 524%,这 3 个综合指标代表了原单项指标的耐盐性信息(表 7)。

表 5 盐胁迫下棉花苗期各单项指标的耐盐系数

Table 5 Salt tolerant coefficient of each single index of cotton seedlings under salt stress

品种(系) Variety (Line)	PH	SDM	RDM	P_n	Pro	REC	MIP	MDA
陇棉 2 号 Longmian 2	0.811	0.867	0.883	0.886	1.014	1.103	1.024	1.036
陇棉 3 号 Longmian 3	0.684	0.659	0.549	0.723	1.183	1.125	1.108	1.252
陇绿棉 4 号 Longlumian 4	0.837	0.944	0.947	0.964	1.082	1.012	1.006	1.023
陇棕棉 3 号 Longzongmian 3	0.659	0.582	0.679	0.649	1.156	1.126	1.168	1.162
9510	0.866	0.864	0.921	0.936	1.015	1.006	1.013	1.004
B10	0.765	0.838	0.598	0.769	1.236	1.096	1.064	1.158
辽 195 Liao 195	0.654	0.667	0.667	0.693	1.335	1.136	1.128	1.126
酒棉 10 号 Jiumian 10	0.814	0.928	0.944	0.821	1.056	1.085	1.058	1.110
酒棉 18 号 Jiumian 18	0.726	0.852	0.675	0.712	1.114	1.069	1.113	1.114
新陆早 10 Xinluzao 10	0.821	0.619	0.847	0.856	1.058	1.012	1.039	1.013
新陆早 26 Xinluzao26	0.748	0.882	0.862	0.864	1.082	1.113	1.076	1.069
新陆早 33 Xinluzao 33	0.711	0.792	0.887	0.857	1.037	1.105	1.081	1.132
新陆早 39 Xinluzao 39	0.698	0.659	0.769	0.769	1.106	1.013	1.106	1.108
新陆早 45 Xinluzao 45	0.746	0.857	0.857	0.697	1.143	1.134	1.138	1.162
新陆早 67 Xinluzao 67	0.843	0.947	0.950	0.947	1.023	1.008	1.061	1.082
惠远 710 Huiyuan 710	0.624	0.889	0.782	0.634	1.328	1.198	1.239	1.134
金垦 108 Jinken 108	0.626	0.726	0.684	0.694	1.112	1.123	1.202	1.202
金垦 1261 Jinken 1261	0.668	0.852	0.654	0.684	1.264	1.118	1.114	1.118
华棉 9 号 Huamian 9	0.782	0.913	0.917	0.612	1.106	1.075	1.032	1.086

注 Note: PH:株高 shoot height;SDM:地上部干质量 shoot dry mass;RDM:根干质量 root dry mass; P_n :净光合速率 net photosynthetic rate;Pro:脯氨酸含量 pro line content;REC:相对电导率 relative electric conductivity;MIP:质膜透性 plasma membrane permeability;MDA:丙二醛含量 malondialdehyde content. 下同。The same below.

2.4 不同棉花品种(系)苗期耐盐性聚类分析

根据公式计算出不同棉花品种(系)各综合指标的隶属函数值 $\mu(X)$ 及权重,隶属函数值 $\mu(X)$ 越大,表明该品种(系)在该综合指标下其耐盐性越强,根据 3 个综合指标各贡献率大小,利用公式计算其权重 w_i ,3 个综合指标的权重分别为 0.767、0.155、0.078,计算得到耐盐综合评价 D 值(表 8),并采用最大距离法对 D 值进行聚类分析(图 2),将 19 个棉

花品种(系)划分为 4 类:华棉 9 号为第Ⅰ类,属于盐敏感型;陇棉 2 号、酒棉 18 号、新陆早 39、新陆早 45、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 10、新陆早 67、9510 为第Ⅱ类,属于弱耐盐型;陇棕棉 3 号、金垦 1261、B10、新陆早 26 号、新陆早 33 号为第Ⅲ类,属于中等耐盐型;陇棉 3 号、辽 195、惠远 710、金垦 108 为第Ⅳ类,属于强耐盐型。

表 6 盐胁迫条件下棉花苗期各单项指标的相关性

Table 6 Correlation matrix of each single index of cotton seedlings under salt stress

指标 Index	PH	SDM	RDM	P_n	Pro	REC	MIP	MDA
PH	1.000							
SDM	0.515 [*]	1.000						
RDM	0.707 ^{**}	0.717 ^{**}	1.000					
P_n	0.752 ^{**}	0.329	0.579 ^{**}	1.000				
Pro	-0.760 ^{**}	-0.372	-0.796	-0.774 ^{**}	1.000			
REC	-0.828 ^{**}	-0.303	-0.549 [*]	-0.662 ^{**}	0.700 ^{**}	1.000		
MIP	-0.905 ^{**}	-0.442	-0.632 ^{**}	-0.712 ^{**}	0.735 ^{**}	0.799 ^{**}	1.000	
MDA	-0.767 ^{**}	-0.436	-0.645 ^{**}	-0.629 ^{**}	0.687 ^{**}	0.766 ^{**}	0.808 ^{**}	1.000

表 7 苗期各综合指标的系数及贡献率

Table 7 Coefficients of comprehensive indexes and proportion at seedlings

项目 Items		CI_1	CI_2	CI_3
特征根 Eigen values		5.249	1.063	0.530
贡献率/% Contributive ratio		65.618	13.282	6.624
累积贡献率/% Cumulative contributive ratio		65.618	78.900	85.524
特征向量 Eigenvector	PH	-0.413	0.013	-0.171
	SDM	-0.213	0.790	-0.127
	RDM	-0.353	0.348	0.407
	P_n	-0.372	-0.127	0.079
	Pro	0.350	0.185	-0.703
	REC	0.350	0.427	0.146
	MIP	0.381	0.140	0.391
	MDA	0.153	0.179	-0.966

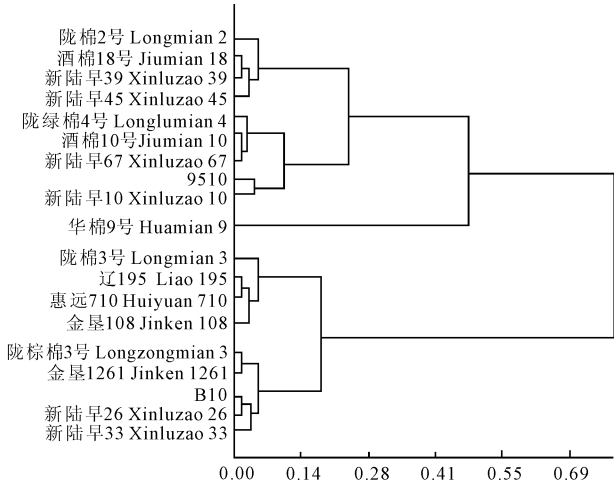


图 2 棉花苗期 19 个品种耐盐性聚类图

Fig.2 The dendrogram of clusters for 19 cotton varieties at seedling stage

2.5 棉花萌发期和苗期耐盐性评价结果比较

棉花萌发期与苗期耐盐性聚类结果对比显示

(表 9),大部分棉花品种(系)在萌发期和苗期耐盐性结果基本一致,但部分结果存在不一致现象,在萌发期和苗期均表现稳定的强耐盐品种(系)为:辽 195、惠远 710、金垦 108;表现稳定的中等耐盐品种(系):陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、新陆早 26 号、新陆早 33 号;表现稳定的弱耐盐品种(系):陇棉 2 号、新陆早 10、新陆早 67、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 39、新陆早 45;表现稳定的不耐盐品种为华棉 9 号,在萌发期和苗期不一致的品种(系)为陇棉 3 号、酒棉 18 号、9510,可能与不同时期棉花耐盐机理不同有关。

3 讨论与结论

3.1 盐胁迫对棉花萌发期和苗期的影响

本研究结果显示,棉花在萌发期盐胁迫下,其发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均较对照下降,下胚轴长、根长及鲜质量的增加均受到抑制;在苗期盐胁迫下,各品种(系)棉花株高、地上部干质量、根干质量、净光合速率较对照下降,而脯氨酸含量、相对电导率、质膜透性和丙二醛含量则较对照上升,与戴海芳^[6]、张国伟^[11]、杨淑萍^[14]等研究结果一致。前人对棉花耐盐机理研究表明,盐胁迫主要影响种子的吸水膨胀,抑制了种子的吸水速率,造成萌发率及发芽率低,叶面积减少,地上部和地下部的重量下降,在苗期盐分胁迫下,棉花脯氨酸含量的增加可以起到保护膜结构完整性的作用^[15],由于植株细胞受到盐害作用,引起细胞膜结构的破坏,质膜透性增大,从而使电解质等外渗物增多,导致电导率上升,并且在盐胁迫下会产生破坏膜系统的活性氧自由基,使质膜中不饱和脂肪酸过氧化作用产物丙二醛(MDA)大量积累,需要靠细胞复杂的酶类和非酶类抗氧化保护系统来清除活性氧来维持细胞膜的稳定性和完整性^[16]。

表 8 各品种苗期耐盐综合指标值、权重、 $\mu(X)$ 、D 值及综合评价

Table 8 The value of each varieties comprehensive index(CI_x), index weight, $\mu(X)$, D value and comprehensive valuation								
品种 Variety	CI_1	CI_2	CI_3	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$	$\mu(X_3)$	D 值 D value	综合评价 Comprehensive valuation
陇棉 2 号 Longmian 2	- 1.018	0.082	1.679	0.490	0.520	0.957	0.531	弱耐盐 Weak
陇棉 3 号 Longmian 3	1.241	- 0.777	- 2.837	1.000	0.333	- 0.119	0.809	强耐盐 High
陇绿棉 4 号 Longlumian 4	- 1.255	0.026	1.153	0.436	0.508	0.831	0.478	弱耐盐 Weak
陇棕棉 3 号 Longzongmian 3	0.556	- 1.028	- 0.428	0.845	0.279	0.455	0.727	中耐盐 Medium
9510	- 1.723	- 0.755	1.861	0.330	0.338	1.000	0.384	弱耐盐 Weak
B10	0.273	0.035	- 2.337	0.781	0.510	0.000	0.678	中耐盐 Medium
辽 195 Liao 195	1.224	- 0.315	- 1.461	0.996	0.434	0.209	0.848	强耐盐 High
酒棉 10 号 Jiumian 10	- 1.481	0.950	0.505	0.385	0.708	0.677	0.458	弱耐盐 Weak
酒棉 18 号 Jiumian 18	- 0.677	- 0.059	- 0.311	0.567	0.489	0.483	0.548	弱耐盐 Weak
新陆早 10 Xinluzao 10	- 1.186	- 2.312	1.675	0.452	0.000	0.956	0.421	弱耐盐 Weak
新陆早 26 Xinluzao26	- 0.153	0.553	1.092	0.685	0.622	0.817	0.686	中耐盐 Medium
新陆早 33 Xinluzao 33	0.048	0.055	0.727	0.731	0.514	0.730	0.697	中耐盐 Medium
新陆早 39 Xinluzao 39	- 0.364	- 1.664	0.248	0.638	0.141	0.616	0.559	弱耐盐 Weak
新陆早 45 Xinluzao 45	- 0.638	1.235	- 0.399	0.576	0.770	0.462	0.597	弱耐盐 Weak
新陆早 67 Xinluzao 67	- 1.215	0.219	0.994	0.445	0.550	0.793	0.488	弱耐盐 Weak
惠远 710 Huiyuan 710	1.199	2.292	- 0.536	0.991	1.000	0.429	0.949	强耐盐 High
金垦 108 Jinken 108	0.987	- 0.019	- 0.551	0.943	0.498	0.425	0.834	强耐盐 High
金垦 1261 Jinken 1261	0.298	0.584	- 1.252	0.787	0.629	0.258	0.721	中耐盐 Medium
华棉 9 号 Huamian 9	- 3.186	0.899	0.179	0.000	0.698	0.599	0.155	盐敏感 Sensitive
权重 Index weight(w_i)				0.767	0.155	0.078		

表 9 棉花萌发期和苗期耐盐性聚类分析与比较

Table 9 Comparison of salt tolerance of cotton at germination and seedling stages				
生育期 Growth stage	强耐盐品种(系) Salt-tolerant cultivar	中等耐盐品种(系) Moderately salt-tolerant cultivar	弱耐盐品种(系) Salt-tolerant cultivar	不耐盐品种(系) Salt-tolerant cultivar
萌发期 Germinating stage	辽 195、惠远 710、金垦 108 Liao 195, Huiyuan 710, Jinken 108	陇棉 3 号、陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、酒棉 18 号、新陆早 26 号、新陆早 33 号 Longmian 3, Longzongmian 3, B10, Jinken 1261, Jiumian 18, Xinluzao 26, Xinluzao 33	陇棉 2 号、新陆早 10、新陆早 67、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 39、新陆早 45 Longmian 2, Xinluzao 10, Xinluzao 67, Longlumian 4, Jiumian 10, Xinluzao 39, Xinluzao 45	9510、 华棉 9 号 9510, Huamian 9
苗期 Seedling stage	陇棉 3 号、辽 195、惠远 710、金垦 108 Longmian 3, Liao 195, Huiyuan 710, Jinken 108	陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、新陆早 26 号、新陆早 33 号 Longzongmian 3, B10, Jinken 1261, Xinluzao 26, Xinluzao 33	陇棉 2 号、酒棉 18 号、新陆早 39、新陆早 45、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 10、新陆早 67、9510 Longmian 2, Jiumian 18, Xinluzao 39, Xinluzao 45, Longlumian 4, Jiumian 10, Xinluzao 10, Xinluzao 67, 9510	华棉 9 号 Huamian 9

3.2 棉花品种(系)萌发期、苗期耐盐性鉴定结果分析

棉花萌发期与苗期阶段是对盐胁迫最敏感的时期,也是鉴定棉花品种耐盐性的重要阶段^[14],有的研究者认为不同棉花品种的耐盐性在不同生育期的表现差异较大,萌发期和苗期耐盐性结果不一致^[17],推测与品种萌发期和苗期耐盐机理不同有关;杨淑萍^[14]等研究认为,棉花芽期和苗期的耐盐指数具有显著的相关性,说明棉花芽期耐盐性和苗期耐盐性之间存在某种必然的联系,可能是棉花芽期和苗期存在相似的耐盐机理。本研究结果显示,

大部分棉花品种(系)在萌发期和苗期耐盐性结果一致,但少数品种(系)在两个生育期耐盐性筛选结果存在不一致的现象,说明在两个生育期其耐盐机理并不完全相同,且与不同生育阶段的棉花幼苗健壮程度、苗龄、各生育阶段转换时期酶对环境的敏感性有关^[10]。本研究中,在萌发期和苗期均表现稳定的强耐盐品种为辽 195、惠远 710 和金垦 108,占总品种(系)总数的 15.8%,表现稳定的中等耐盐品种(系)有 5 个,占总品种(系)总数的 26.3%,表现稳定的弱耐盐品种(系)有 7 个,占总品种(系)的

36.8%,对盐胁迫敏感的品种有 1 个,占总品种(系)的 5.3%,有 3 个品种(系)在两个生育期耐盐性结果不一致,占总品种(系)的 15.8%,从结果来看,甘肃河西走廊棉区主栽棉花品种主要以中等耐盐及弱耐盐品种为主,强耐盐品种较少。

3.3 棉花耐盐性鉴定浓度与指标的选取与评价

棉花耐盐性鉴定浓度与指标的选取对鉴定结果存在很重要的影响,不同的耐盐筛选浓度,选择不同的鉴定指标可能会出现不同的结果。广泛研究表明,NaCl 浓度为 150 mmol·L⁻¹是棉花萌发期和苗期耐盐筛选鉴定的适宜浓度^[11,18],盐浓度过大会严重抑制棉花生长发育,盐浓度过低,耐盐鉴定指标间的差异不明显,达不到鉴定目的。

已有研究从多方面对耐盐性进行了比较研究,并筛选出多种与耐盐性相关的形态、生理生化及代谢指标,如发芽率、发芽指数^[18]、出苗率、株高、叶面积、叶绿素相对含量^[9]、质膜特性、光合速率^[6]、脯氨酸含量^[17]等,在本研究中,对萌发期指标的耐盐系数进行主成分分析得到的 3 个主成分中,第一主成分贡献率为 57.312%,对应较大的特征因子是发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及鲜质量,这个 5 个指标应为棉花萌发期耐盐性鉴定的最有效指标;在苗期株高、脯氨酸含量、相对电导率、质膜透性、根干质量及净光合速率为苗期耐盐性鉴定的最有效指标。

植物的耐盐性是多因素影响下的复杂性状,本研究可以看出,同一棉花品种(系)在不同的指标性状态下的耐盐系数存在差异,用任何单一指标的耐盐系数来评价所得的结果均不尽相同,单一指标难以全面准确地反映棉花耐盐性强弱,而以耐盐性综合评价 D 值作为综合评价的标准,是一个无量纲的数,使各品种(系)的耐盐性的差异具有可比性,消除了个别指标带来的片面性,本研究通过将各单项指标转换成彼此独立的综合指标,比较客观地评价了各品种(系)的耐盐性。

4 结 论

在盐胁迫下,各品种(系)在萌发期的发芽率、发芽势、发芽指数、下胚轴长、根长、鲜质量、活力指数均较对照降低,各品种(系)在苗期的株高、地上部干质量、根干质量、净光合速率较对照降低,而脯氨酸含量、相对电导率、质膜特性及丙二醛含量较对照有所增加,不同品种(系)对盐胁迫的反应不同。参试的 19 个品种(系)中,有 3 个品种(系)在萌发期和苗

期耐盐性结果不一致,占总参试品种的 15.8%,其它品种(系)在萌发期和苗期耐盐鉴定结果相同,其中:表现稳定的强耐盐品种为辽 195、惠远 710 和金垦 108;表现稳定的中等耐盐品种(系)为陇棕棉 3 号、B10、金垦 1261、新陆早 26 号、新陆早 33 号;表现稳定的弱耐盐品种(系)为陇棉 2 号、新陆早 10、新陆早 67、陇绿棉 4 号、酒棉 10 号、新陆早 39、新陆早 45;表现稳定的不耐盐品种为华棉 9 号。甘肃河西走廊棉区主栽棉花品种主要以中等和弱耐盐品种为主,强耐盐品种较少。

参 考 文 献:

[1] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell Environ,2002,(25):239-250.

[2] 宋 福,庄生仁,赵贵宾,等.加强高产集成技术应用,推动甘肃棉花产业提质增效[J].中国棉花,2012,39(7):7-9.

[3] 郭世乾,崔增团,傅亲民.甘肃省盐碱地现状及治理思路与建议[J].中国农业资源与区划,2013,34(4):75-79.

[4] 叶武威,庞念厂,王俊娟,等.盐胁迫下棉花体内 Na⁺ 的积累、分配及耐盐机制研究[J].棉花学报,2006,18(5):279-283.

[5] 刘雅辉,王秀萍,张国新,等.棉花苗期耐盐生理指标的筛选及综合评价[J].中国农学通报,2012,28(6):73-78.

[6] 戴海芳,武 辉,阿曼古丽买买提阿力,等.不同基因型棉花苗期耐盐性分析及其鉴定指标筛选[J].中国农业科学,2014,47(7):1290-1300.

[7] Hoffman G, Shannon M J. Relating plant performance and soil salinity[J]. Reclamation and Revegetation Research, 1986,(5):211-225.

[8] 王俊娟,叶武威,周大云,等.盐胁迫下不同耐盐类型棉花的萌发特性[J].棉花学报,2007,19(4):315-317.

[9] 王秀萍,张国新,鲁雪林,等.棉花苗期耐盐性鉴定方法和鉴定指标研究[J].河北农业科学,2011,15(3):8-11.

[10] 王俊娟,王德龙,樊伟莉,等.陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性[J].生态学报,2011,31(13):3720-3727.

[11] 张国伟,路海玲,张 雷,等.棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J].应用生态学报,2011,22(8):2045-2053.

[12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.

[13] 王 莺,王 静,姚玉壁,等.基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价[J].生态环境学报,2014,23(12):1897-1904.

[14] 杨淑萍,危常州,梁永超.新疆主要棉花品种耐盐性筛选与鉴定[J].干旱区研究,2013,30(6):1129-1135.

[15] Ashraf M, Foolad M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance[J]. Environmental and Experimental Botany,2007,59:206-216.

[16] 蒋玉蓉,吕有军,祝水金.棉花耐盐机理与盐害控制研究进展[J].棉花学报,2006,18(4):248-254.

[17] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances[J]. Critical Review in Plant Science, 2002,21:1-30.

[18] 白灯莎·买买提艾力,张少民,孙良斌,等.新疆不同年代 27 个棉花品种(系)种子萌发阶段耐盐能力比较[J].西北农业学报,2012,21(1):72-79.