

不同青贮玉米大喇叭口期和成熟期 耐盐碱性综合评价

张会丽¹, 朱 林^{2,3}, 许 兴^{1,2}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;
3. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以 25 个不同青贮玉米品种为试验材料,在宁夏银川北部盐碱地,通过测定不同品种大喇叭口期和成熟期的表型性状和光合气体交换参数进行耐盐碱性鉴定,并利用主成分分析和模糊隶属函数法对不同青贮玉米的耐盐碱强弱进行综合评价。结果表明:各青贮玉米品种处于不同生育期时对盐碱的敏感程度不同(发育阶段性),同一时期不同品种之间耐盐碱性也存在着差异(品种特异性)。根据综合评价值(D 值)大小,将耐盐碱性分为三级: D 值大于 0.6 为强耐盐碱性材料; D 值在 0.2~0.6 之间为中耐盐碱性材料; D 值低于 0.2 为对盐碱敏感的材料。其中,在大喇叭口期时具有强耐盐碱性的材料有:科多 8 号、桂青贮 1 号和 133-2/1528, D 值分别为 0.770、0.705 和 0.614;在成熟期时具有强耐盐碱性的材料有:H14/A18 和桂青贮 1 号, D 值分别为 0.761 和 0.728;而表现为敏盐性的材料为 H14/1528, D 值在大喇叭口期和成熟期时分别为 0.140 和 0.155;其余品种均属于中度耐盐碱材料, D 值处于 0.2~0.6 之间。

关键词:青贮玉米;大喇叭口期;成熟期;耐盐碱性;综合评价

中图分类号:S513 **文献标志码:**A

Comprehensive evaluation of saline-alkali tolerance of silage maize at stages of fourteenth leaf and maturity

ZHANG Hui-li¹, Zhu Lin^{2,3}, XU Xing^{1,2}

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Key Laboratory for Restoration and Restruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. State Key Laboratory, Center of Land Degradation and Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: The objective of this study was to evaluate saline-alkali tolerance of 25 silage maize cultivars in northern saline-alkali land in Yinchuan, Ningxia and identify and screen silage maize varieties with tolerance to saline-alkali and sensitive to saline-alkali, and then provide theoretical basis for selecting saline-alkali tolerant silage maize varieties. Based on the indexes of the stages of V14 (14th leaf) and maturity including phenotypic traits and physiological indexes, the saline-alkali tolerance of 25 silage maize germplasms were comprehensively evaluated by principal component analysis and the subordinate function method. The results showed that there was a significant difference in saline-alkali tolerance of different silage maize varieties in different growth stages. Based on comprehensive evaluation value (D) that represented saline-alkali-tolerance, tested maize genotypes were categorized into three groups: high tolerance (group A, $D > 0.6$), intermediate tolerance (group B, $0.2 < D < 0.6$), susceptibility (group C, $D < 0.2$). In the V14 stage, Ke duo 8, Gui silage No. 1, and 133-2/1528 had high saline-alkali tolerance with D values of 0.770, 0.705, and 0.614, respectively. The H14/A18 and Gui silage No. 1 had high tolerance during maturity with D values of 0.761 and 0.728, respectively. In these two stages, the saline-alkali sensitive cultivars were H14/1528 with D values of 0.140 and 0.155, respectively. Other maize genotypes belonged to the in-

收稿日期:2017-10-10

修回日期:2017-12-09

基金项目:宁夏回族自治区牧草育种专项(2014NYZY040101);宁夏自然科学基金(NZ1617);宁夏高等学校科学研究项目(NGY2015030)

作者简介:张会丽(1989-),女,河南鹿邑人,硕士,主要从事作物生态生理研究。E-mail:huilizhang0601@163.com

通信作者:许兴(1959-),男,宁夏银川人,教授,博士生导师,主要从事作物耕作栽培和作物生态生理研究。E-mail:xuxingscience@126.com

intermediate tolerance group with the *D* values ranging from 0.2 to 0.6. This results can provide a valuable foundation for selecting salt tolerance silage maize, esp. in the study region.

Keywords: silage maize; V14 stage; mature stage; saline-alkali-tolerance; comprehensive evaluation

青贮玉米在我国西北、华北及东北的盐碱化地区种植非常广泛^[1],盐碱胁迫是制约青贮玉米产量提高的重要非生物胁迫因子之一,筛选耐盐碱青贮玉米品种是解决土壤盐碱胁迫的重要手段^[2-3]。

目前,国内外对玉米的耐盐碱性研究主要集中在对苗期和萌发期等早期耐盐碱性^[4-6]筛选鉴定,对中、后期耐盐碱性研究较少;对盆栽、营养液条件等模拟环境研究较多^[7-8],对大田环境研究少;关于生理生化指标测定较多^[9-10],对光合气体交换参数和产量等表型性状综合测定偏少;对生育期内某单一时期的研究较多^[11-12],对不同生育期的耐盐碱性综合评价较少。

为了提高青贮玉米耐盐碱性鉴定的精确性和准确性,应选用多个指标^[13]不同时期进行综合分析,进而为生产实践提供理论支撑。本试验利用大田鉴定方法,以不同基因型的青贮玉米品种为材料,采用隶属函数法对 25 个玉米品种在大喇叭口期和成熟期的耐盐碱表型性状的鉴定和光合气体交换参数进行综合评价,并对不同时期供试材料的耐盐碱性进行分类,筛选出各时期具有较强耐盐碱性的青贮玉米品种,为我国盐渍化土地的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以 25 个供试玉米品种为试验材料,供试材料由佰青源公司、中科院遗传发育研究所提供,具体品种名称见表 1。

表 1 供试青贮玉米杂交种
Table 1 The tested silage maize hybrids

编号 No.	品种名称 Variety	编号 No.	品种名称 Variety
1	H242/1522	14	H14/1528
2	A49/1522	15	北 21/1522
3	A49/1528	16	Bei 21/1522
4	A3 高/1519	17	宁 3-2/1528
5	A3 gao/1519	18	Ning 3-2/1528
6	H237/A26	19	A3 高/A18
7	A18/1506	20	A3 gao/A18
8	133-2/1528	21	H237/A3
9	H242/1523	22	H237/A18
10	A3/H237	23	1517/旬 11
11	1421/1522	24	1517/xun 11
12	H237/1519	25	旬 11/1517
13	北 21/1520		Xun 11/1517
	Bei 21/1520		H14/A18
	宁 3-1/1528		桂青贮 1 号
	Ning 3-1/1528		Guqingchu 1
			科多 8 号
			Keduo 8
			TY1

1.2 试验设计

试验于 2016 年 4-9 月在宁夏银川北部盐碱地平罗县进行,试验地位于东经 106°31′28″,北纬 38°57′15″。供试土壤为两块不同盐分含量的盐碱地,将土壤全盐含量为 2.337 g·kg⁻¹的低盐含量地块设为对照田(CK);土壤全盐含量为 6.935 g·kg⁻¹高盐含量地块设为盐碱胁迫地。土壤有机质含量为 18.760 g·kg⁻¹,全磷含量 2.970 g·kg⁻¹,全氮含量 0.9 g·kg⁻¹,碱解氮含量 25.228 mg·kg⁻¹,速效磷含量 5.020 mg·kg⁻¹,速效钾含量 67.000 mg·kg⁻¹。播种前精选每个品种子粒饱满大小均匀的种子。试验按照随机区组设计,小区面积 3 m×5 m,每个品种 3 个重复小区,均行种植,小区行长 3.0 m,行距 0.6 m,株距 0.2 m,走道 0.8 m,穴播(单粒播种,播种深度为 3 cm 左右),播前整地耙平,施基肥。整个生长期内统一管理,按时进行中耕除草、灌水施肥。

1.3 测定项目及方法

农艺性状的测定:采用游标卡尺测量地上茎基部的直径为茎粗,单位为 mm;植株在自然生长状态下,用卷尺测得从根基部到最高叶尖的长度为株高,单位为 cm,每个处理测定 3 次;用手持式叶绿素 SPAD 仪于大喇叭口期和成熟期测每个处理的穗位叶相对叶绿素含量,测定时避开叶脉,测量叶片中部,每个品种测 3 株;采用手持式冠层测温仪,选择晴朗的天气测定各小区的 CT 值,即冠层温度,每个小区每个方向重复测定 3 次,取其平均值作为该次测定的 CT 值。

光合气体交换参数的测定:采用便携式光合作用测量系统(LI-6400,LI-COR 公司,美国),选择晴天 9:00—12:00 点及 14:00—18:00,对不同小区玉米植株的光合生理指标进行测定,测定时设定人工光源光强为 1 400 μmol·m⁻²·s⁻¹。测量指标主要包括净光合速率(*Pn*, μmol·m⁻²·s⁻¹)、蒸腾速率(*Tr*, mmol·m⁻²·s⁻¹)、气孔导度(*Gs*, mol·m⁻²·s⁻¹)及叶温(*TL*, ℃)等。被测作物均需要在每个小区中随机选取,选取叶片时需要选“棒三叶”的全展叶,并测定 5 个重复,自然光下待数据稳定后保存 3 个数据,取其平均值。

产量性状的测定:从各个小区中取植株鲜样并称其鲜重,带回室内置于烘箱中于 105℃ 杀青 30

min, 然后 80℃ 烘干至恒重, 称其干重。植株含水量 = (鲜重 - 干重) / 鲜重 × 100%

应用模糊数学隶属函数法对不同玉米品种大喇叭口期和成熟期的耐盐碱性进行综合评价^[14-15]。

首先, 利用公式计算:

$$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, X_j 为性状指标的测定值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 分别为 25 个供试材料某一性状指标的最小值和最大值。

其次, 根据性状相对重要性赋予一定的权重, 权重:

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, W_j 表示第 j 个公因子在所有公因子中的主要程度; P_j 为各材料第 j 个指标与耐盐碱系数间的相关系数, 表示各品种第 j 个公因子的贡献率。

最后, 把每份材料各项指标隶属函数值累加, 取其平均值为综合评价值。综合评价值:

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j] \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中, D 值为供试材料在盐碱胁迫条件下用综合指标评价所得的耐盐碱性综合评价值。根据各材料综合评价值大小确定其耐盐碱性强弱, D 值越大耐盐碱性越强, 反之, 耐盐碱性越弱。

1.4 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据整理, 利用 DPS 7.05 进行显著性分析及相关分析, 采用 SPSS 17.0 统计软件完成数据的主成分分析、聚类分析, 所有的数值均以“平均值 ± 标准误”来表示。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫条件下不同玉米品种农艺性状变化

不同玉米品种处于大喇叭口期时的各农艺性状表现不同, 如表 2 所示。盐碱地胁迫下的株高、茎粗等农艺性状指标明显受到不同程度的抑制, 表现为显著下降 ($P < 0.05$), 而盐碱地条件下的冠层温度较对照田高 ($P < 0.05$)。对于株高而言, 盐碱胁迫时 A3/H237、1421/1522 相对较高, 桂青贮 1 号和科多 8 号相对较低; 对照田中的 1421/1522 最高, 科多 8 号最低。对于茎粗, 两种环境下均表现为 A49/1522 最粗, 盐碱胁迫时 TY1 最细, 对照田中科多 8 号最细。对于 SPAD 值, 两种环境下均表现为 TY1 最小, 盐碱胁迫时宁 3-2/1528 的 SPAD 值最大, 对照田中 H237/1519 最小。对于冠层温度, 盐碱胁迫下 H14/1528 最高, A18/1506 最低; 对照田中 A3/H237

最高, 北 21/1520 最低。

成熟期时盐碱地中各品种的株高、茎粗明显小于对照田, 且差异达显著水平 ($P < 0.05$) (表 3), 而冠层温度和 SPAD 值的变化没有明显趋势。对于株高, 盐碱胁迫时宁 3-2/1528 最高, TY1 最低; 对照田中 133-2/1528 最高, H237/A18 最低。对于茎粗, 盐碱胁迫时 A18/1506 最粗, 桂青贮 1 号最细; 对照田中宁 3-1/1528 最粗, A3/H237 最细。对于 SPAD 值, 盐碱胁迫时 133-2/1528 最大, H237/A26 最小; 对照田中 H242/1522 最大, H14/A18 最小。对于冠层温度, 盐碱胁迫时 H14/1528 最高, 宁 3-2/1528 最低; 对照田中 A3 高/A18 最高, H237/A18 最低。

2.2 盐碱胁迫条件下不同玉米品种光合气体交换参数

不同品种在大喇叭口期的光合气体交换参数均有差异, 如表 4 所示。盐碱处理下各品种的净光合速率显著低于对照田中相对应品种的净光合速率 ($P < 0.05$), 其他参数的变化不明显。对于净光合速率 (P_n), 盐碱胁迫下桂青贮 1 号、科多 8 号和 TY1 相对较高, 它们与其他品种间达到显著差异 ($P < 0.05$), A3 高/A18 最低; 对照田中 1517/旬 11 最高, 桂青贮 1 号最低。对于蒸腾速率 (Tr), 胁迫时 TY1 最高, 北 21/1522 最低; 对照田中 A49/1522 最高, A3/H237 最低。对于气孔导度 (G_s), 胁迫时 TY1 最大, 北 21/1522 最小; 对照田中 H242/1522 最大, 1517/旬 11 最小。对于叶片温度 (TL), 胁迫时 H242/1522 最大, 北 21/1522 最小; 对照田中北 21/1522 最大, 北 21/1520 最小。

成熟期胁迫下 H237/A18 P_n 最大, 科多 8 号最小 (表 5); 对照田中 A18/1506 最大, 宁 3-2/1528 最小。对于 Tr 和 G_s , 胁迫下均表现为 H14/A18 最高, 且与其他品种达显著差异 ($P < 0.05$), 科多 8 号最低; 对照田中 A3 高/A18 最高, H237/1519 最低。对于 TL , 胁迫时 TY1 最高, H242/1522 最低, 均与其他品种达显著差异 ($P < 0.05$); 对照田中 H237/A26 最高, 1517/旬 11 最低, 后者与其它品种也达到显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.3 盐碱胁迫条件下不同时期各品种间农艺性状、光合指标及产量的相关性

盐碱胁迫条件下不同时期各品种间农艺性状、光合指标及产量的相关性见表 6 (大喇叭口期) 和表 7 (成熟期)。大喇叭口期: 株高与 SPAD 值呈显著正相关, 与 G_s 呈显著负相关, 与 P_n 呈极显著负相关; 茎粗与 SPAD 值呈显著正相关, 与 P_n 呈显著负相关, 与 Tr 、 G_s 呈极显著负相关; SPAD 值与公顷鲜重呈显著正相关; P_n 与 Tr 呈显著正相关, 与 G_s 呈极显

表 2 大喇叭口期不同玉米品种的各农艺性状比较

Table 2 Comparison of indexes of agronomic traits of maize cultivars during V14 stage

品种名称 Variety	株高 Plant height/cm		茎粗 Stem diameter/mm		冠层温度 Canopy temperature/℃		叶绿素相对值 SPAD values	
	盐碱地 Saline alkaline land		盐碱地 Saline alkaline land		盐碱地 Saline alkaline land		盐碱地 Saline alkaline land	
	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK	对照田 CK
H242/1522	149.33±4.67efg	170.00±2.65hij	28.62±2.84cdef	37.61±0.82bcdef	24.30±0.42bcde	23.00±0.40b	53.50±2.58bcde	59.47±1.34abc
A49/1522	163.67±3.76abcd	175.67±1.20fghi	35.03±1.20a	44.74±4.53a	22.93±0.15defgh	21.80±0.30bcdef	58.30±2.16ab	58.40±1.01bcd
A49/1528	129.33±3.18ijk	173.33±6.39ghi	30.06±1.07abode	34.23±0.87defg	22.80±0.42defgh	22.03±0.43bcde	54.30±1.35bcd	55.20±0.78bcdef
A3 高/1519	143.67±5.78fgh	201.67±1.76ab	34.43±2.93ab	42.01±2.13ab	24.03±0.27bcdef	22.03±0.74bcde	50.93±1.44cdef	58.67±2.58bcd
A3 gao/1519	157.33±2.40cde	191.33±5.78bcd	30.28±1.53abcde	34.55±0.63defg	22.80±0.25defgh	21.03±0.54bcdefg	52.40±1.63bcde	56.10±1.10bcdef
H237/A26	119.67±3.28k	193.33±4.67bcd	27.47±1.20cdef	37.47±1.77bcdef	21.13±0.61h	19.63±0.12fg	48.40±1.27def	52.13±0.98def
A18/1506	161.00±2.65abcde	188.67±6.01cde	26.64±0.50ef	39.67±0.57abcd	23.93±0.33bcdefg	22.00±0.86bcde	55.90±1.21bc	60.73±1.34ab
133-2/1528	148.00±4.36efg	175.00±1.73fghi	32.36±1.66abc	36.53±0.07bcdef	24.03±0.63bcdef	19.23±1.40gh	53.57±2.06bcde	53.27±2.14cdef
H242/1523	173.67±0.88a	176.33±3.48efghi	29.07±1.89cdef	35.50±0.65cdefg	22.40±0.12efgh	25.63±0.92a	56.73±3.69bc	52.00±3.21def
A3/H237	172.00±3.06a	211.00±3.06a	28.68±0.87cdef	32.79±0.47fgh	22.63±0.58efgh	16.73±0.54i	56.50±1.76bc	50.03±2.64efg
1421/1522	164.00±3.46abcd	210.00±4.62a	27.84±1.38cdef	41.09±1.69abc	21.70±0.21h	17.40±0.81hi	54.00±1.31bcd	65.40±1.86a
H237/1519	160.67±3.71abcde	176.00±7.00fghi	29.57±0.27bcde	35.42±1.54defg	25.10±0.80abc	16.50±0.35i	54.53±0.71bcd	57.93±1.94bcd
北 21/1520	133.00±2.89hij	180.67±0.67defgh	30.61±1.21abcde	37.16±1.64bcdef	23.17±0.28cdefgh	21.47±0.03bcdefg	54.30±2.68bcd	56.53±1.13bcde
Bei 21/1520	124.67±6.01jk	186.67±2.73cdef	30.69±0.59abcde	36.91±1.60bcdef	26.70±1.31a	22.87±1.54bc	47.03±1.99ef	57.50±1.85bcd
宁 3-1/1528	168.00±1.15abc	175.67±5.61fghi	27.13±0.37def	32.22±0.62fgh	21.97±0.55fgh	22.73±0.93bcd	54.33±1.32bcd	57.13±1.58bcd
H14/1528	171.33±0.67ab	197.00±4.36bc	31.91±0.53abcd	39.76±1.73abcd	25.57±0.45ab	20.23±0.13efg	64.27±1.66a	61.30±1.71ab
北 21/1522	164.67±5.21abcd	186.33±8.51cdef	30.80±1.38abcde	37.91±1.83bcdef	24.37±0.82bcde	20.77±0.29bcdefg	57.53±2.31bc	55.63±2.23bcdef
Bei 21/1522	158.67±5.36bcde	190.33±3.18bcd	27.03±1.35def	30.31±0.89ghi	23.87±0.47bcdefg	22.07±0.47bcde	45.67±1.03f	55.53±2.22bcdef
宁 3-2/1528	153.33±0.67def	174.33±5.55fghi	30.36±1.96abcde	33.02±0.57fgh	21.87±0.03gh	20.83±0.58bcdefg	56.83±3.91bc	51.83±2.99def
A3 高/A18	149.00±3.79efg	161.33±6.33kl	27.49±2.27cdef	33.16±1.31fgh	22.27±0.22efgh	20.53±0.09defg	52.83±1.49bcde	52.33±3.01def
A3 gao/A18	137.33±8.19ghi	166.67±2.91ijk	27.66±0.82cdef	32.86±0.85fgh	21.33±0.77h	22.60±0.35bcd	58.57±2.85ab	55.77±0.88bcdef
H237/A3	163.33±3.53abcd	184.67±5.04cdefg	31.29±0.86abcde	33.37±0.71efgh	23.13±0.92cdefgh	20.63±0.20cdefg	57.47±2.96bc	55.23±2.99bcdef
H237/A18	105.67±2.96l	154.33±4.63l	27.63±0.03cdef	38.94±2.25bcde	22.70±1.15defgh	22.93±0.44bc	53.67±1.04bcde	53.13±2.41cdef
1517/旬 11	104.00±2.31l	114.00±3.79m	24.41±2.02f	25.62±1.07i	25.43±0.78ab	20.10±0.47efg	54.90±0.15bcd	49.20±0.06fg
1517/xun 11	128.67±5.21ijk	158.00±4.51kl	19.18±1.28g	28.70±3.40hi	24.80±0.85abcd	22.77±0.78bcd	45.00±0.38f	43.93±2.72g
旬 11/1517								
Xun 11/1517								
H14/A18								
桂青贮 1 号								
Guiqingchu 1								
科多 8 号								
Keduo 8								
TY1								

注:不同小写字母表示同一处理不同品种之间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate the significant differences between the different varieties under the same treatment at the 0.05 level. The same below.

表 3 成熟期不同玉米品种的各农艺性状指标比较

Table 3 Comparison of indexes of agronomic traits of maize cultivars during mature stage

品种名称 Variety	株高 Plant height/cm		茎粗 Stem diameter/mm		冠层温度 Canopy temperature/℃		叶绿素相对值 SPAD values	
	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK
H242/1522	327.67±4.33ef	380.67±4.10de	24.44±0.54ghij	31.60±1.07bcd	18.73±0.52ghi	21.63±0.24abcde	48.03±1.98cd	57.77±1.13a
A49/1522	369.00±5.51bc	382.67±6.06de	27.22±0.76bcdefg	30.64±0.94cdef	17.80±0.50hi	21.80±0.21abcd	51.20±2.80bc	45.10±1.76bcd
A49/1528	317.67±3.84fg	406.33±3.84bc	28.02±0.58bcde	26.90±0.48hijk	21.67±0.78cd	21.07±0.32cdefg	34.50±1.68ghi	39.47±1.32cdefgh
A3 高/1519	330.00±6.11ef	367.33±5.17efg	25.60±0.38cdefghi	32.91±1.08abc	18.57±0.19ghi	20.60±0.06fghij	39.07±1.31efg	55.27±1.62a
A3 gao/1519								
H237/A26	341.33±4.33de	353.33±4.10fghij	25.37±0.41defghi	25.73±0.46jk	19.93±1.40defg	21.03±0.56cdefgh	25.30±0.72l	37.30±1.27efghi
A18/1506	306.33±7.54g	372.33±6.39def	33.09±1.39a	28.22±0.44fghi	24.23±0.66ab	22.00±0.74ab	37.77±0.93fgh	27.63±0.46jk
133-2/1528	379.33±4.84b	427.67±8.41a	26.52±0.35bcdefgh	27.61±1.18ghij	19.33±0.41fghi	20.17±0.19ghijk	56.37±1.01a	54.17±2.86a
H242/1523	353.33±4.48cd	405.67±4.33bc	28.45±0.64bcd	28.86±0.48fgh	19.93±0.80defg	21.13±0.34bcdef	51.23±0.79bc	36.53±1.52fghi
A3/H237	282.67±3.76h	323.00±3.61k	25.11±1.14efghi	24.80±0.72k	18.40±0.12ghi	20.17±0.19ghijk	38.30±1.08fg	35.70±2.84ghi
1421/1522	334.33±4.37ef	346.67±5.21hij	29.11±0.64b	29.05±0.56efgh	18.73±0.19ghi	20.83±0.15efghi	43.83±2.25de	56.83±1.88a
H237/1519	315.00±3.61fg	346.00±6.43hij	29.19±0.84b	26.76±0.13hijk	22.63±0.33bc	21.10±0.26bcdefg	37.33±1.70fgh	42.37±2.66bcdefg
北 21/1520								
Bei 21/1520	277.00±5.57h	335.00±4.04jk	23.76±1.52hij	25.26±0.45jk	19.20±0.53fghi	21.83±0.34abc	33.07±0.38hij	38.53±4.05defgh
宁 3-1/1528								
Ning 3-1/1528	370.33±6.69bc	411.67±7.22ab	27.49±1.68bcdefg	35.05±0.49a	19.23±0.39fghi	20.07±0.15ijk	32.80±1.39hij	39.97±2.87cdefgh
H14/1528	283.33±6.49h	356.33±7.97fghi	28.51±0.45bc	29.91±0.27defg	24.70±0.71a	20.83±0.07efghi	26.43±1.76kl	35.70±1.10ghi
北 21/1522								
Bei 21/1522	368.67±6.57bc	389.67±8.65cd	27.51±0.88bcdefg	30.58±1.15cdef	19.23±0.45fghi	20.50±0.25fghij	41.37±0.64ef	42.90±2.60bcdef
宁 3-2/1528								
Ning 3-2/1528	399.00±9.61a	420.67±6.57ab	26.74±0.66bcdefgh	33.63±0.67ab	17.67±0.22i	20.90±0.17defghi	37.80±2.03fgh	38.73±2.52cdefgh
A3 高/A18								
A3 gao/A18	331.67±8.37ef	348.33±3.84ghij	27.64±1.32bcdef	31.36±1.26bcde	19.70±0.62efg	22.13±0.24a	36.87±1.90fgh	33.53±1.62hij
H237/A3	317.67±3.76fg	322.67±10.68k	23.42±0.72ij	25.77±0.82ijk	19.57±0.41efgh	21.30±0.12abcdef	39.53±1.33efg	54.00±1.55a
H237/A18	306.67±5.55g	261.00±11.59m	25.74±0.28cdefghi	28.57±0.78fgh	21.30±0.15cde	19.33±0.12k	28.33±1.95jkl	39.40±1.56cdefgh
1517/旬 11								
1517/xun 11	362.67±6.06bc	373.33±6.33def	29.14±0.51b	26.94±0.27hijk	22.60±0.44bc	19.87±0.15jk	46.60±1.33cd	30.83±1.35ijk
旬 11/1517								
Xun 11/1517	333.67±7.84ef	365.33±6.74efgh	26.21±0.64bcdefghi	30.06±0.25defg	22.07±0.43c	20.10±0.17hijk	43.87±2.53de	42.57±1.74bcdefg
H14/A18	325.33±5.90efg	344.33±7.22ij	26.29±1.56bcdefghi	28.71±0.09fgh	22.23±0.55c	20.07±0.13ijk	36.57±2.05fgh	26.83±2.44k
桂青肥 1 号								
Guqingchu 1	324.67±6.94efg	292.67±6.64l	21.70±0.89j	25.45±1.14jk	18.53±0.42ghi	19.87±0.19jk	54.00±0.44ab	45.50±1.13bc
科多 8 号								
Keduo 8	316.33±5.53fg	324.33±6.64k	23.40±0.67ij	27.66±0.63ghij	18.60±0.66ghi	20.37±0.09fghij	46.27±1.36cd	44.13±2.15bcde
TY1	270.33±2.40h	386.00±3.46de	24.85±0.57fghi	27.32±1.15hij	20.93±0.68cdef	20.40±0.46fghij	30.97±1.15ijk	47.90±1.45b

Table 4 Photosynthetic physiological exchange parameters of maize cultivars during V14 stage

品种名称 Variety	净光合速率/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate				蒸腾速率/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate				气孔导度/($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Stomatal conductance				叶片温度/ $^{\circ}\text{C}$ Leaf temperature			
	盐碱地		对照田		盐碱地		对照田		盐碱地		对照田		盐碱地		对照田	
	Saline	alkaline	land	CK	Saline	alkaline	land	CK	Saline	alkaline	land	CK	Saline	alkaline	land	CK
H242/1522	46.95±0.87hi	58.72±5.69lgh	4.59±0.39b	6.36±0.53b	0.10±0.08bcd	0.20±0.12a	33.41±0.36a	32.52±1.44abc								
A49/1522	53.73±3.62bcdefg	60.62±1.73efgh	1.91±0.38efghij	7.56±0.40a	0.08±0.02cd	0.15±0.08abc	29.54±0.39efghi	32.02±0.07abcde								
A49/1528	52.66±3.84cdefgh	68.97±0.45cd	3.06±0.82cdefg	2.06±0.19ghij	0.13±0.04bcd	0.07±0.01abc	31.28±0.18bcd	31.11±0.15bcdef								
A3 高/1519	56.36±1.28bcde	62.46±0.24defg	2.67±0.39cdefgh	1.17±0.33jkl	0.10±0.01bcd	0.04±0.01c	31.14±0.51bcde	31.32±0.30bcdef								
A3 gaov/1519																
H237/A26	57.79±0.46bc	56.78±1.46gh	2.82±0.55cdefgh	0.96±0.04jkl	0.10±0.02bcd	0.03±0.00c	31.33±0.22bcd	31.50±0.41abcdef								
A18/1506	57.64±2.68bcd	69.20±1.35cd	3.87±0.57bc	5.85±0.59b	0.15±0.03bc	0.16±0.07abc	30.65±0.77cdefg	32.26±0.71abcde								
133-2/1528	56.63±0.77bcde	68.41±1.74cd	3.40±0.45bcde	0.72±0.02kl	0.20±0.07ab	0.04±0.01c	30.16±0.60defghi	30.61±0.66cdef								
H242/1523	55.44±0.85bcdef	72.71±2.67bc	1.37±0.19hij	1.83±0.32ghijk	0.10±0.06bcd	0.08±0.02abc	30.82±0.75cdef	31.05±0.13bcdef								
A3/H237	51.12±1.55efghi	60.90±3.88efgh	1.79±0.73fghij	0.43±0.20l	0.06±0.03cd	0.07±0.01abc	32.19±0.36abc	32.52±1.92abc								
1421/1522	51.28±0.47cdefghi	60.24±2.94efgh	0.91±0.17ij	1.68±0.69ghijk	0.05±0.00cd	0.08±0.06abc	29.08±0.58ghi	29.65±0.98def								
H237/1519	53.96±0.70bcdefg	66.64±1.95cde	2.76±0.95cdefgh	1.16±0.29jkl	0.13±0.05bcd	0.06±0.02bc	29.85±0.82defghi	33.69±1.64ab								
北 21/1520	54.88±1.52bcdef	60.11±0.24efgh	1.68±0.35ghij	4.12±0.43cd	0.07±0.02cd	0.18±0.08ab	30.19±0.38defghi	28.97±0.20f								
宁 3-1/1528																
宁 3-1/1528	50.58±0.80efghi	56.54±0.60gh	3.63±0.46bcd	4.39±0.47c	0.07±0.07cd	0.13±0.01abc	30.70±0.22cdefg	31.58±0.32abcdef								
H14/1528	50.96±2.41efghi	56.55±0.29gh	0.87±0.40ij	4.40±0.14c	0.06±0.02cd	0.09±0.03abc	28.91±0.38hi	32.00±1.39abcde								
北 21/1522	48.99±0.80fghi	53.80±1.05h	0.46±0.04j	3.65±0.27cde	0.02±0.00d	0.08±0.04abc	28.73±0.71i	34.11±1.69a								
Bei 21/1522																
宁 3-2/1528																
宁 3-2/1528	52.27±0.17cdefgh	54.41±0.16h	2.94±0.48cdefg	6.72±0.30ab	0.14±0.02bcd	0.17±0.01abc	29.17±0.80fghi	32.03±0.60abcde								
A3 高/A18																
A3 gaov/A18	45.58±1.15i	56.99±0.64gh	2.58±0.15cdefgh	3.28±0.32def	0.05±0.02cd	0.12±0.03abc	30.40±0.58defghi	31.58±0.30abcdef								
H237/A3	47.67±2.82ghi	56.36±0.42gh	2.78±0.07cdefgh	1.52±0.19hijkl	0.06±0.03cd	0.05±0.01bc	30.61±0.33cdefg	31.31±0.24bcdef								
H237/A18	59.23±0.88b	65.63±0.66cdef	2.55±0.83cdefgh	2.70±0.24efg	0.11±0.04bcd	0.08±0.01abc	30.72±0.49cdefg	32.82±0.12abc								
1517/旬 11																
1517/xun 11	59.72±4.82b	142.98±6.26a	2.49±0.29cdefgh	1.42±0.25ijkl	0.10±0.01bcd	0.03±0.00c	30.43±0.30defgh	30.92±0.42bcdef								
旬 11/1517																
Xun 11/1517	57.81±0.45bc	67.08±2.85cde	2.29±0.15defghi	2.44±0.27fghi	0.07±0.02cd	0.07±0.01abc	29.89±0.44defghi	33.08±0.07abc								
H14/A18	55.60±1.47bcde	69.61±0.58cd	3.78±0.41bcd	2.37±0.18fghi	0.03±0.01cd	0.05±0.01bc	28.87±0.30hi	31.81±0.57abcde								
桂青肥 1 号																
Guqingchu 1	68.32±0.91a	53.07±0.33h	2.84±0.37cdefgh	1.34±0.12jkl	0.15±0.02bc	0.05±0.00c	29.81±0.24defghi	32.29±0.03abcd								
科多 8 号																
Keduo 8	72.30±1.08a	77.47±1.68b	3.30±0.21bcdef	2.53±0.53fgh	0.15±0.01bc	0.08±0.02abc	31.23±0.38bcde	29.56±0.07ef								
TY1	68.21±1.03a	55.50±1.06gh	6.94±0.12a	1.62±0.24efhijk	0.28±0.00a	0.06±0.01bc	32.47±0.16ab	31.49±0.15abcdef								

表 5 成熟期不同玉米品种的光合气体交换参数比较
Table 5 Photosynthetic physiological exchange parameters of maize cultivars during mature stage

品种名称 Variety	净光合速率/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate			蒸腾速率/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate			气孔导度/($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Stomatal conductance			叶片温度/ $^{\circ}\text{C}$ Leaf temperature		
	Net photosynthetic rate			Transpiration rate			Stomatal conductance			Leaf temperature		
	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK	盐碱地 Saline alkaline land	对照田 CK
H242/1522	12.14±0.14efgh	13.57±1.26bcd	1.78±0.03lmn	3.21±0.13f	0.07±0.00jk	0.14±0.01e	25.65±0.01p	0.05±0.00h	25.66±0.05ab	26.66±0.05ab		
A49/1522	14.20±1.13bcdefg	10.23±0.81efghi	2.04±0.02ij	1.30±0.04ijk	0.08±0.00gh	0.05±0.00h	25.74±0.00a	0.16±0.00de	26.74±0.01a	26.74±0.01a		
A49/1528	17.02±1.92abcd	14.13±1.34bc	2.96±0.06cd	3.45±0.09ef	0.13±0.00b		25.74±0.02o		26.74±0.00a			
A3 高/1519	11.89±0.19fgh	10.54±0.39defghi	1.95±0.10ijkl	1.33±0.06hijk	0.08±0.00 hi	0.05±0.00h	25.72±0.02o	0.05±0.00h	26.73±0.00a	26.73±0.00a		
A3 gao/1519												
H237/A26	15.04±0.20abcdefg	9.78±0.67fghi	2.88±0.08d	1.44±0.11hij	0.12±0.00bc	0.06±0.00gh	25.90±0.01n	0.06±0.00gh	26.75±0.00a	26.75±0.00a		
A18/1506	14.26±0.90bcdefg	18.76±0.55a	2.24±0.10gh	1.68±0.01hi	0.09±0.00efg	0.08±0.00fgh	26.01±0.01m	0.08±0.00fgh	26.71±0.01ab	26.71±0.01ab		
133-2/1528	15.61±1.27abcdef	10.29±0.29efghi	2.39±0.01fg	1.49±0.01hijk	0.10±0.00e	0.06±0.00h	26.31±0.00l	0.06±0.00h	26.47±0.00def	26.47±0.00def		
H242/1523	13.54±0.60cdefgh	12.68±1.29cdefg	2.09±0.02hi	1.67±0.09hi	0.08±0.00hi	0.07±0.00fgh	26.43±0.01k	0.07±0.00fgh	26.48±0.00def	26.48±0.00def		
A3/H237	18.81±0.84ab	9.52±0.16ghi	2.70±0.01e	1.21±0.03jk	0.11±0.00d	0.05±0.00h	26.39±0.00k	0.05±0.00h	26.43±0.00defg	26.43±0.00defg		
1421/1522	13.32±2.28defgh	9.92±0.17fghi	1.68±0.09mn	1.20±0.01jk	0.06±0.00kl	0.05±0.000h	26.49±0.02j	0.05±0.000h	26.41±0.00defgh	26.41±0.00defgh		
H237/1519	17.80±0.40abcd	10.03±0.06fghi	2.66±0.06e	1.11±0.04k	0.11±0.00d	0.04±0.00h	26.69±0.02i	0.04±0.00h	26.37±0.00fgh	26.37±0.00fgh		
北 21/1520	14.08±1.41cdefgh	12.89±0.31cdef	2.49±0.10f	1.54±0.03hij	0.10±0.00ef	0.06±0.00h	26.85±0.01h	0.06±0.00h	26.36±0.00ghi	26.36±0.00ghi		
Bei 21/1520												
宁 3-1/1528	13.31±0.60defgh	10.40±0.14defghi	2.38±0.04fg	1.72±0.05h	0.09±0.00fg	0.07±0.00fgh	27.27±0.07c	0.07±0.00fgh	26.49±0.00de	26.49±0.00de		
Ning 3-1/1528												
H14/1528	10.69±1.10gh	10.73±0.47defghi	1.84±0.07klm	3.77±0.21e	0.07±0.00k	0.17±0.01d	27.12±0.01e	0.17±0.01d	26.48±0.00def	26.48±0.00def		
北 21/1522	11.74±0.88fgh	9.59±1.18fghi	2.04±0.05ij	5.54±0.06b	0.08±0.00 ij	0.29±0.00b	27.11±0.01e	0.29±0.00b	26.52±0.01cd	26.52±0.01cd		
Bei 21/1522												
宁 3-2/1528	10.61±0.32gh	8.19±1.94i	1.84±0.08klm	4.63±0.02d	0.07±0.00kl	0.22±0.00c	27.07±0.01e	0.22±0.00c	26.48±0.00def	26.48±0.00def		
Ning 3-2/1528												
A3 高/A18	10.78±0.21gh	10.71±1.13defghi	1.89±0.04jkl	6.80±0.13a	0.07±0.00jk	0.41±0.01a	26.97±0.01f	0.41±0.01a	26.39±0.00efgh	26.39±0.00efgh		
A3 gao/A18												
H237/A3	16.28±5.55abcdef	9.06±0.30hi	1.96±0.04ijk	5.15±0.26c	0.08±0.00ij	0.26±0.02b	26.87±0.01gh	0.26±0.02b	26.61±0.04bc	26.61±0.04bc		
H237/A18	19.31±0.24a	14.61±1.96bc	2.87±0.06d	1.63±0.15hi	0.12±0.00c	0.07±0.01fgh	26.91±0.01g	0.07±0.01fgh	26.14±0.00k	26.14±0.00k		
1517/旬 11	10.83±0.04gh	13.37±0.30bcde	2.26±0.02g	4.66±0.44d	0.09±0.00fg	0.28±0.04b	26.96±0.00f	0.28±0.04b	25.90±0.17l	25.90±0.17l		
1517/xun 11												
旬 11/1517	13.68±0.25cdefgh	16.38±2.22ab	2.44±0.09f	2.14±0.12g	0.09±0.00efg	0.09±0.01fg	27.73±0.02cd	0.09±0.01fg	26.26±0.02ij	26.26±0.02ij		
Xun 11/1517												
H14/A18	15.31±1.60abcdefg	10.73±0.66defghi	4.66±0.12a	1.57±0.11hij	0.22±0.01a	0.07±0.01fgh	27.34±0.01b	0.07±0.01fgh	26.18±0.04jk	26.18±0.04jk		
桂青肥 1 号	18.09±0.91abc	11.61±0.88cdefgh	3.11±0.03c	1.63±0.02hi	0.12±0.00bc	0.07±0.00fgh	27.37±0.00b	0.07±0.00fgh	26.26±0.00ij	26.26±0.00ij		
Guqingchu 1												
科多 8 号	9.51±0.10h	10.18±0.73efghi	1.63±0.04n	2.18±0.29g	0.06±0.00l	0.10±0.01f	27.20±0.01d	0.10±0.01f	26.32±0.01hi	26.32±0.01hi		
Keduo 8												
TY1	16.69±0.21abcde	10.10±0.22fghi	3.62±0.06b	1.72±0.03h	0.11±0.00d	0.06±0.00fgh	30.93±0.00a	0.06±0.00fgh	26.71±0.00ab	26.71±0.00ab		

著正相关; Tr 与 G_s 、 TL 均呈极显著正相关; G_s 与 TL 呈显著正相关;植株含水量与公顷干重呈极显著负相关;公顷鲜重与公顷干重呈极显著正相关。

成熟期:株高与 SPAD 值呈显著正相关,与公顷鲜重、干重均呈极显著正相关;茎粗与冠层温度呈极显著正相关;冠层温度与 SPAD 值呈显著负相关,与公顷鲜重、干重呈极显著负相关;SPAD 值与公顷干重呈显著正相关,与公顷鲜重呈极显著正相关; P_n 与 Tr 、 G_s 呈极显著正相关; Tr 与 TL 呈显著正相关,与 G_s 呈极显著正相关;公顷干重与植株含水量呈极显著负相关,与公顷鲜重呈极显著正相关。

2.4 盐碱胁迫下不同时期各品种的耐盐碱性比较

通过对大喇叭口期和成熟期 25 个品种的农艺性状(株高、茎粗、SPAD 值和冠层温度)、光合气体交换参数(P_n 、 Tr 、 G_s 和 TL)及产量性状(植株含水量、公顷鲜重和公顷干重)等 11 个指标进行测定分

析,利用主成分分析和隶属函数法对不同时期各品种的耐盐碱性综合评价,结果如表 8 所示。对大喇叭口期和成熟期 11 个指标分别进行主成分分析,重新整合成 11 个主成分,从特征值来看,2 个时期的前 4 个主成分特征值均大于 1,所以保留前 4 个主成分。从方差的累计贡献率可知,大喇叭口期和成熟期第一主成分的贡献率分别为 32.202%、37.552%,第二主成分的贡献率分别为 52.798%、57.068%,第三主成分的贡献率为 64.695%、68.919%,第四主成分的贡献率分别为 74.210%、79.643%,前 4 个成分的累积贡献率大于 80%,可考虑保留。通过利用隶属函数法进一步对主成分分析的结果进行综合分析,25 个杂交种材料在不同时期的耐盐碱性排序不同,其中大喇叭口期耐盐碱性最强的品种是科多 8 号,成熟期耐盐碱性最强的品种是 H14/A18。

表 6 盐碱胁迫条件下玉米大喇叭口期各指标的相关系数
Table 6 Correlation coefficients between indices under saline-alkali stress during V14 stage

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.00									
X2	0.35	1.00								
X3	-0.13	0.01	1.00							
X4	0.44 *	0.44 *	-0.13	1.00						
X5	-0.64 **	-0.49 *	0.01	-0.15	1.00					
X6	-0.35	-0.51 **	0.10	-0.29	0.39 *	1.00				
X7	-0.42 *	-0.58 **	0.14	-0.26	0.65 **	0.71 **	1.00			
X8	-0.22	-0.30	0.07	-0.32	0.14	0.58 **	0.39 *	1.00		
X9	0.03	-0.21	-0.06	0.10	0.07	-0.15	0.01	-0.03	1.00	
X10	-0.04	0.01	-0.01	0.41 *	0.14	-0.04	0.04	0.02	-0.15	1.00
X11	-0.03	0.18	0.03	0.28	0.04	0.03	0.00	0.04	-0.64 **	0.84 **

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关性显著。X1:株高;X2:茎粗;X3:冠层温度;X4:叶绿素相对值;X5:净光合速率;X6:蒸腾速率;X7:气孔导度;X8:叶片温度;X9:植株含水量;X10:公顷鲜重;X11:公顷干重。下同。

Note: * and ** indicate significance of correlations at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. X1: plant height; X2: stem diameter; X3: canopy temperature; X4: SPAD values; X5: net photosynthetic rate; X6: transpiration rate; X7: stomatal conductance; X8: leaf temperature; X9: plant moisture content; X10: Ha fresh weight; X11: Ha dry weight. The same below.

表 7 盐碱胁迫条件下玉米成熟期各指标的相关系数
Table 7 Correlation coefficients between indices under saline-alkali stress during maturity

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.00									
X2	0.20	1.00								
X3	-0.37	0.56 **	1.00							
X4	0.46 *	-0.10	-0.39 *	1.00						
X5	-0.37	-0.20	0.08	-0.11	1.00					
X6	-0.29	-0.18	0.29	-0.26	0.61 **	1.00				
X7	-0.18	-0.11	0.29	-0.20	0.58 **	0.95 **	1.00			
X8	-0.31	-0.23	0.14	-0.23	0.09	0.40 *	0.12	1.00		
X9	-0.31	-0.04	0.15	-0.03	0.20	0.20	0.20	0.02	1.00	
X10	0.56 **	-0.35	-0.60 **	0.61 **	-0.22	-0.26	-0.19	-0.22	-0.15	1.00
X11	0.56 **	-0.26	-0.58 **	0.47 *	-0.28	-0.32	-0.26	-0.23	-0.64 **	0.84 **

表 8 盐碱胁迫条件下各品种于不同时期的综合评价价值及耐盐碱性排序
Table 8 D-value of comprehensive evaluation and the ranks of saline-alkali-tolerance of maize cultivars in different stages

品种名称 Variety	大喇叭口期 V14 stage		成熟期 Mature stage	
	D 值	排序	D 值	排序
	D values	Order	D values	Order
H242/1522	0.412	13	0.436	15
A49/1522	0.325	20	0.458	13
A49/1528	0.439	9	0.529	5
A3 高/1519	0.456	6	0.489	9
A3 gao/1519				
H237/A26	0.422	11	0.534	4
A18/1506	0.378	16	0.260	24
133-2/1528	0.614	3	0.589	3
H242/1523	0.372	17	0.414	18
A3/H237	0.323	21	0.499	7
1421/1522	0.392	14	0.416	16
H237/1519	0.431	10	0.474	11
北 21/1520	0.261	24	0.342	22
Bei 21/1520				
宁 3-1/1528	0.420	12	0.492	8
Ning 3-1/1528				
H14/1528	0.140	25	0.155	25
北 21/1522	0.343	18	0.380	20
Bei 21/1522				
宁 3-2/1528	0.454	7	0.416	17
Ning 3-2/1528				
A3 高/A18	0.319	22	0.324	23
A3 gao/A18				
H237/A3	0.264	23	0.439	14
H237/A18	0.379	15	0.502	6
1517/旬 11	0.444	8	0.411	19
1517/xun 11				
旬 11/1517	0.542	5	0.472	12
Xun 11/1517				
H14/A18	0.340	19	0.761	1
桂青贮 1 号	0.705	2	0.728	2
Guiqingchu 1				
科多 8 号	0.770	1	0.374	21
Keduo 8				
TY1	0.594	4	0.479	10

3 讨 论

盐碱胁迫最明显的效应表现为植株生长受抑制^[16],而受抑程度取决于作物耐盐碱的能力和盐碱胁迫的强度^[17],因此,生长状况是评价植株是否耐盐碱的重要参考指标之一。本试验表明,在盐碱胁迫条件下同一品种不同鉴定指标及同一指标不同玉米品种都存在明显差异,不同青贮玉米品种对盐碱胁迫的耐受能力不同^[11]。Huang 等^[18]研究表明,作物的株高和茎粗是衡量植株生长强弱最直接的反映,它们能够间接地表明植株的生长状况与水

肥供给情况,而产量是耐盐碱评价中最直观、可靠的证据。本研究表明,盐碱胁迫处理时各品种的株高、茎粗等表型性状均严重受到阻碍($P<0.05$)。这与姚正培等^[19]、郑飞等^[20]和许兴^[21]的研究结果吻合,说明盐碱胁迫条件下,不同玉米品种大喇叭口期和成熟期各性状指标均受到不同程度的抑制。可能是玉米在遭受盐碱胁迫时,细胞不能正常地分裂和扩张,为了保证能够发挥正常的功能,细胞必须要维持离子平衡,并降低其原生质中 Na^+ 或其他离子的浓度,使其低于周围介质环境。因此,必定会消耗对作物生长发挥有效作用的能量,导致植株生长受到抑制^[22]。也可能是因为盐碱胁迫抑制了根系对无机离子和水分的吸收,导致了作物生长发育减缓^[23]。本研究结果显示,盐碱胁迫下植物叶片叶绿素相对值(SPAD)会随着外界环境的变化而改变,SPAD 值与株高、地上部植株产量达到显著正相关($P<0.05$),与崔世友等^[24]和曹保华^[25]对大豆的研究结果类似。而且 SPAD 值能够在大田中无损、快速、定量的检测,因此,可将其作为逆境生理研究中的重要指标之一^[26]。

植物维持生命活动的基础是通过光合作用来实现的,本研究不同青贮玉米品种在盐碱胁迫下,净光合速率明显降低,气孔导度也有所下降,产量显著低于对照田($P<0.05$)。这与王丽燕等^[27]、刘志伟等^[28]的报道一致,可能是因为盐碱胁迫使光合系统受到损害,叶绿素遭到破坏,而叶绿素作为光合作用正常进行的主要色素,它被破坏会引起一系列生理反应,并使自身光合作用受阻,植株体内生理代谢紊乱,最终导致减产甚至绝收^[29]。也可能是由于自身存在的因素(如气孔部分关闭等),引起叶片光合效率下降^[30]。

不同青贮玉米品种的形态学指标和光合气体交换参数对盐碱胁迫的反应有很大差别,盐碱胁迫对玉米植株生长的影响是综合且复杂多样的过程,用某一单项指标来评价其耐盐碱性强弱过于片面、存在局限性,为了弥补单项指标评价耐盐性的不足,可利用主成分分析客观准确地对供试玉米种质资源大喇叭口期和成熟期耐盐性进行深入综合的评价,利用综合评价价值来对耐盐性材料进行归类。本试验采用主成分分析和隶属函数法对参试青贮玉米品种大喇叭口期和成熟期的各个指标进行综合评价,按照隶属函数值(D 值)大小将其耐盐碱性分级: D 值大于 0.6 为强耐盐碱性材料; D 值在 0.2~0.6 之间为中耐盐碱性材料; D 值低于 0.2 为敏盐碱性材料。25 个青贮玉米品种在生长中期(大喇叭口

期)和后期(成熟期)耐盐碱性鉴定结果不一致,在大喇叭口期时具有强耐盐碱性的材料有:科多 8 号、桂青贮 1 号和 133-2/1528;在成熟期时具有较强耐盐碱性的材料有:H14/A18 和桂青贮 1 号;同时表现为敏盐性的材料为 H14/1528,这与邱念伟等^[31]关于大白菜的研究结果类似,可能是由于耐盐碱性基因的遗传调控受时空诱导表达的影响。本研究充分说明玉米耐盐碱性具有明显的发育阶段特异性,大喇叭口期与成熟期两者间的耐盐碱性不存在明显的相关性,此种遗传特性已在水稻中得到证实^[32]。由此可知,在试验研究中不能通过作物某一生育阶段的耐盐碱性来断定其耐性强弱,要根据最终所需来选取种植的材料,如若为了获得最终青贮产量,应以成熟期筛选结果为主。通过表型鉴定和光合指标综合分析不同品种的耐盐碱性,筛选出的耐盐碱和盐碱敏感的玉米种质资源,为青贮玉米在盐碱地条件下的栽培和生产提供技术依据。

参 考 文 献:

- [1] 杨真,王宝山.中国盐渍土资源状况及改良利用对策[J].山东农业科学,2015,47(4):125-130.
- [2] Takehisa H, Shimodate T, Fukuta Y, et al. Identification of quantitative trait loci for plant growth of rice in paddy field flooded with salt water[J]. Field Crops Research, 2004, 89(1):85-95.
- [3] 高建明,夏卜贤,袁庆华,等.高粱种质材料幼苗期耐盐碱性评价[J].应用生态学报,2012,23(5):1303-1310.
- [4] 孙欢欢,韩兆雪,谭登峰,等.新培育玉米自交系苗期生理生化指标与其抗旱性综合评价[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):9-14.
- [5] 杨晓杰,李旭业,王海艳,等.玉米自交系耐盐种质的筛选及耐盐性评价[J].玉米科学,2014,22(4):19-25.
- [6] 孙浩,张保望,李宗新,等.夏玉米品种盐碱胁迫耐受能力评价[J].玉米科学,2016,24(1):81-87.
- [7] 郝德荣,程玉静,徐辰武,等.玉米耐盐种质筛选及群体遗传结构分析[J].植物遗传资源学报,2013,14(6):1153-1160.
- [8] Eker S, Comertpay G, Ülger A C, et al. Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties[J]. Turkish Journal of Agriculture & Forestry, 2006, (5):365-373.
- [9] 汤华,柳晓磊.盐胁迫下玉米苗期农艺性状和脯氨酸含量变化的研究[J].中国农学通报,2007,23(3):244-249.
- [10] 付艳,高树仁,杨克军,等.盐胁迫对玉米耐盐系与盐敏感系苗期几个生理生化指标的影响[J].植物生理学报,2011,47(5):459-462.
- [11] 谷思玉,周连仁,王佳佳.不同品种玉米萌发期耐盐性的比较[J].中国农学通报,2011,27(33):34-39.
- [12] 张静,王玉凤,杨克军,等.玉米芽期耐盐与敏感基因型的筛选[J].玉米科学,2015,23(6):55-64.
- [13] Messmer S T P, Stamp N, Ruta A. QTLs for early vigor of tropical maize[J]. Mol Breeding, 2010, 25(1):91-103.
- [14] 张士超,袁芳,郭建荣,等.利用隶属函数值法对甜高粱苗期耐盐性的综合评价[J].植物生理学报,2015,51(6):893-902.
- [15] 李丰先,周宇飞,王艺陶,等.高粱品种萌发期耐碱性筛选与综合鉴定[J].中国农业科学,2013,46(9):1762-1771.
- [16] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3):324-349.
- [17] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell and Environmental, 2002, 25(2):239-250.
- [18] Huang Z, Long X, Wang L, et al. Growth, photosynthesis and H^+ -ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl induced stress[J]. Process Biochem, 2012, 47(4):591-596.
- [19] 姚正培,孟君,李冠.玉米自交系芽苗期耐盐性的鉴定与筛选[J].华北农学报,2007,22(5):27-30.
- [20] 郑飞,陈艳萍,孟庆长,等.7份玉米自交系耐盐性鉴定[J].江苏农业科学,2012,40(12):112-115.
- [21] 许兴,李树华,惠红霞,等. NaCl 胁迫对小麦幼苗生长、叶绿素含量及 Na^+ 、 K^+ 吸收的影响[J].西北植物学报, 2002, 22(2):278-284.
- [22] 罗敏,张荣,吴翠萍,等.玉米幼苗期耐盐性评价适宜盐浓度的研究[J].天津农学院学报,2015,22(1):6-9.
- [23] Storey R, Walker R R. Citrus and salinity[J]. Scientia Horticulturae, 1998, 78(1):39-81.
- [24] 崔世友,喻德跃.大豆不同生育时期叶绿素含量 QTL 的定位及其与产量的关联分析[J].作物学报,2007,33(5):744-750.
- [25] 曹保华.盐胁迫影响大豆光合作用的部分机制[D].杭州:浙江大学,2007.
- [26] 薛延丰,刘兆普.不同浓度 NaCl 和 Na_2CO_3 处理对菊芋幼苗光合及叶绿素荧光的影响[J].植物生态学报, 2008, 32(1):161-167.
- [27] 王丽燕,赵可夫.玉米幼苗对盐胁迫的生理响应[J].作物学报,2005,31(2):264-266.
- [28] 刘志伟,黄冠华.氯化钠不同浓度对夏玉米生长和吸氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(2):132-136.
- [29] 包明陈,谭燕,周航飞,等.盐胁迫对不同耐性玉米光合作用的影响[J].中国农业信息,2013,(5):87-88.
- [30] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.
- [31] 邱念伟,刘倩,王凤德,等.大白菜不同发育阶段耐盐性的长期观察[J].植物生理学报,2015,51(10):1597-1603.
- [32] 吴家富,杨博文,向珣朝,等.不同水稻种质在不同生育期耐盐鉴定的差异[J].植物学报,2017,52(1):77-88.