

# 不同基因型玉米杂交种大喇叭口期的耐盐性

张会丽<sup>1</sup>,袁 闯<sup>1</sup>,许 兴<sup>1,2</sup>,朱 林<sup>2,3</sup>,朱志明<sup>1</sup>,高 雪<sup>3</sup>

(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个不同基因型玉米品种为试验材料,在宁夏银北盐碱地(土壤含盐量为2.337~6.935 g·kg<sup>-1</sup>),通过测定不同品种大喇叭口期的表型性状和生理生化指标进行耐盐性鉴定,并利用主成分分析和模糊隶属函数法对不同基因型玉米品种的耐盐性强弱进行综合评价。结果表明:随着盐胁迫程度的增加,不同玉米品种的株高、茎粗、相对叶绿素含量(SPAD值)均明显降低;轻度胁迫(土壤含盐量为2.337 g·kg<sup>-1</sup>)时,株高、茎粗、SPAD三者之间均呈极显著正相关;严重胁迫(土壤含盐量为6.935 g·kg<sup>-1</sup>)时,茎粗、SPAD值、冠层温度三者之间均呈显著正相关,冠层温度与超氧化物歧化酶(SOD)呈显著负相关,膜透性与SOD呈极显著正相关,其它各农艺性状与生理指标间均没有达到显著相关。不同基因型玉米品种的耐盐碱能力根据综合评价值(D值)大小来评价,将耐盐碱性分为四级:宁3-2/1528、A3高/1519为A类的玉米材料,其D值>0.8,代表强耐盐性的品种;B类的玉米材料有6份,其0.6<D值<0.8,代表较耐盐性的品种;C类的玉米材料有12份,其由0.4<D值<0.6,代表弱耐盐性的品种;D类的玉米材料有5份,分别为H242/1522、北21/1522、A18/1506、A49/1528、TY1,其D值<0.4,代表盐敏感性品种。

**关键词:**玉米;大喇叭口期;种质资源;耐盐性;综合评价

**中图分类号:** S513 **文献标志码:** A

## Salt tolerance of different genotypes maize at the big flare stage

ZHANG Hui-li<sup>1</sup>, YUAN Chuang<sup>1</sup>, XU Xing<sup>1,2</sup>, ZHU Lin<sup>2,3</sup>, ZHU Zhi-ming<sup>1</sup>, GAO Xue<sup>3</sup>

(1. Agricultural College of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and

Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** In order to evaluate salt tolerance of different maize genotypes, 25 varieties/lines were planted in saline-alkali land subjected to salt stress in northern Ningxia, Yinchuan, with the soil salt contents being 2.337, 3.044 g·kg<sup>-1</sup> and 6.935 g·kg<sup>-1</sup>. Based on phenotypes and physiological indexes measured at big flare stage, salt tolerance of the 25 maize genotypes were evaluated through principal component analysis and the subordinate function method. The results showed that plant height, stem diameter, relative chlorophyll content (SPAD values) were significantly decreased with the increase of salt stress. At mild stress (the soil salt content was 2.337 g·kg<sup>-1</sup>), there was a significant positive correlation between plant height, stem diameter and SPAD. Under severe stress (the soil salt content was 6.935 g·kg<sup>-1</sup>), there was a significant positive correlation between stem diameter, SPAD values and canopy temperature, and canopy temperature had a significantly negative correlation with superoxide dismutase (SOD). Membrane permeability and SOD were extremely significant positive correlated, and other agronomic traits and physiological indexes were not significantly correlated. According to comprehensive evaluation, the salt tolerance of maize varieties was divided into highly salt tolerant, salt tolerant, salt susceptible and highly salt susceptible.

**Keywords:** maize; bell stage; germplasm resources; salt tolerance; comprehensive evaluation

近年来随着自然环境的恶化和人类活动的不断加剧,盐碱地成为对我国农业生产和发展起重要制

约作用的一种低产土地类型,其分布日趋广泛<sup>[1]</sup>。目前全球盐碱地面积已占陆地面积的30%左右<sup>[2]</sup>,

收稿日期:2016-10-23

修回日期:2016-12-22

基金项目:宁夏回族自治区牧草育种专项(2014NYYZ040101);宁夏自然科学基金项目(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,硕士研究生,主要从事玉米生态生理研究。E-mail: huilizhang0601@163.com。

通信作者:许 兴(1959—),男,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。

我国盐碱化土地占国土面积的 1.03%, 主要集中分布于西北、华北和东北的干旱和半干旱地区<sup>[3]</sup>。玉米作为我国的三大重要粮食作物之一, 它是一种对盐分中度敏感的重要的粮饲兼用作物<sup>[4]</sup>及工业原料。目前玉米的播种面积不断扩大, 已位居我国主要农作物之首, 在国民经济中占有重要地位。在我国西北地区盐碱胁迫是影响作物生长的非生物胁迫因子之一, 土壤盐渍化状况的加剧已严重影响作物的正常生长和发育。在盐渍化土壤改良方法中, 许多学者认为种植适宜于盐碱土壤的植物是最为有效的生物改良方法<sup>[5]</sup>。因此, 研究玉米品种的耐盐性, 培育和筛选耐盐的玉米品种, 是提高盐碱地玉米产量的重要途径<sup>[6]</sup>。

由于同一作物不同品种间耐盐性存在基因型差异, 不同品种指标间差异较大, 使用某一单项指标太过于片面, 很难准确评价品种耐盐碱性, 因此要选用多指标综合评价, 才能科学、合理地反应作物的耐盐性。目前, 对玉米苗期或芽期的研究较多<sup>[7-9]</sup>, 对玉米大喇叭口期的研究鲜有报道, 且苗期的鉴定时间较短, 不能完全作为筛选耐盐碱性强的种质材料方法。大喇叭口期是玉米一生中生长发育最旺盛, 对外界环境条件最为敏感的时期, 也是玉米耐盐性鉴定的关键时期。因此, 对盐胁迫条件下该时期玉米生长及生理生化指标的研究, 可为玉米耐盐性鉴定、品种筛选提供一定的参考依据。

玉米种质资源耐盐性鉴定的方法有很多, 但由于盆栽或营养液条件下生长的植株大多是以 NaCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 作为胁迫因子, 与实际的土壤条件有较大差异、与大田环境相差甚远, 因此选用大田鉴定的方法更能生产实际提供技术支持和理论指导。本试验利用大田鉴定的方法, 以不同基因型的玉米杂交种为材料, 采用隶属函数法对 25 个玉米品种在大喇叭口期的耐盐碱农艺性状和生理生化指标进行调查和综合评价, 并对供试材料的耐盐碱性进行分类, 有利于筛选出具有较强耐盐性的玉米杂交种, 对我国盐渍化土地的开发利用和畜牧业的发展具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以 25 个供试玉米杂交种为试验材料, 供试材料由佰青源公司、中国科学院遗传发育研究所提供, 具体情况如表 1 所示。

### 1.2 试验设计

试验于 2016 年 4—9 月在宁夏平罗县进行, 供试土壤为三块不同盐分含量的盐碱地, 如表 2 所示, 根据土壤全盐含量将其划为三类。土壤有机质含量

18.76 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷 2.97 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.09 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮含量 25.23 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷含量 5.02 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾含量 67.00 mg·kg<sup>-1</sup>。播种前精选每个品种籽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。2016 年 4 月 25 日播种, 9 月 28 日收获, 整个生长期内统一管理, 按时进行中耕除草、灌水施肥。

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

表 2 土壤本底值(0~50 cm)

Table 2 The soil background values

地块编码(深度) Plot (depth)	盐胁迫程度 The degree of salt stress	pH	电导率 Conductivity /( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	全盐 All salt /(g·kg <sup>-1</sup> )
I(0~50cm)	中度 Moderate	8.49	1250	3.044
II(0~50cm)	重度 Severe	8.70	2900	6.935
III(0~50cm)	轻度 Mild	8.80	950	2.337

### 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; 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, 每个处理测

定 3 次;用手持式叶绿素 SPAD 仪于大喇叭口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,于玉米大喇叭口期测定各小区的 CT 值,为冠层温度,对每个小区按每个方向重复测定 3 次,取其平均值作为该次测定的 CT 值。

生理指标的测定:用 DDS-307 型电导率仪测定细胞膜透性,用相对电导率表示<sup>[10]</sup>;用双波长硫代巴比妥氨酸法(TBA)<sup>[11]</sup>测定丙二醛(MDA)含量;用磺基水杨酸法<sup>[12]</sup>测定脯氨酸(Pro)含量;愈创木酚法<sup>[12]</sup>测定过氧化物酶(POD)活性;NBT(氮蓝四唑)光还原法<sup>[12]</sup>测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。

耐盐性综合评价:应用模糊数学隶属函数法对不同玉米品种大喇叭口期的耐盐性进行综合评价<sup>[13-14]</sup>。首先,利用公式  $U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, N$ ), 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:  $W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), 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  $j$  个指标与耐旱系数间的相关系数,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  $D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j]$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), 式中,  $D$  值为供试材料在盐胁迫条件下用综合指标评价所得的耐旱性综合评价值。根据各材料综合评价值大小确定其耐盐性强弱,  $D$  值越大耐盐性越强,反之,耐盐性越弱。

#### 1.4 数据统计与分析

采用 Excel 软件对数据进行整理,利用 DPS7.0 软件进行显著性差异统计分析、相关性分析,所有数值均以“平均值  $\pm$  标准误”表示。利用 Spss17.0 进行主成分分析、聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐胁迫程度对 25 个杂交种玉米大喇叭口期农艺性状的影响

在不同胁迫程度下,不同基因型玉米品种受到盐胁迫时发生的反应各不相同,结果如表 3 所示:在三种不同盐胁迫条件下,只有 A49/1522、A3/H237、北 21/1520 三个品种的株高没有达到显著性差异 ( $P > 0.05$ ),其余品种均不同程度地达到显著性差

异 ( $P < 0.05$ ),且随着盐胁迫程度的加大,株高有一定程度的降低。在中度盐胁迫条件下,H237/A3 的株高最高,与其它品种间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),TY1 的株高最低。在重度盐胁迫条件下,1517/甸 11 及 A3 高/1519 两者的株高最高,桂青贮 1 号、科多 8 号的株高最低,与其它品种间达到显著性差异 ( $P < 0.05$ )。在轻度胁迫条件下,1421/1522、H237/1519 与其它品种达到显著性差异 ( $P < 0.05$ ),且株高最高;科多 8 号的株高最低,与其它品种间的差异也达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

在中度胁迫程度下,不同品种间茎粗的增加程度有所不同,重度胁迫时茎粗降低。在三种盐胁迫程度下,A49/1522、A49/1528、H237/A26、A3/H237、1421/1522、H237/1519、宁 3-1/1528、宁 3-2/1528、H237/A18、甸 11/1517、科多 8 号 11 个品种的茎粗间没有显著性差异,其它品种间均达到显著性差异 ( $P < 0.05$ )。在重度胁迫时,A49/1522 的茎粗达到最大,TY1 的茎粗最小,这与其它品种间呈显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

不同盐胁迫程度下,不同品种 SPAD 值大小不同。其中,A49/1522、A49/1528、A18/1506、H242/1523、宁 3-1/1528、A3 高/A18、桂青贮 1 号、科多 8 号、TY1 9 个品种在三种盐胁迫程度下均没有显著性差异,其它品种间均有所差异。在轻度胁迫时,不同品种的 SPAD 值相对较高,在中度、重度胁迫时,SPAD 值有一定程度的降低。在轻度、中度、重度胁迫条件下,H237/1519、宁 3-2/1528、A3 高/1519 分别达不同盐胁迫程度的最大值,而在轻度和中度胁迫时,TY1 的 SPAD 值最小,在重度胁迫时,H14/A18 的 SPAD 值最小。

不同盐胁迫程度下不同品种的冠层温度也有所不同。A49/1522、A49/1528、A3 高/1519、H237/A26、北 21/1522、1517/甸 11 这 6 个品种的冠层温度在不同盐胁迫程度下没有达到显著差异,其它品种有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。在不同胁迫程度时,对应的冠层温度最大、最小值的品种也有所不同。

### 2.2 不同盐胁迫程度下各农艺性状之间的相关性

在三种不同胁迫条件下,不同胁迫程度与农艺性状指标间的相关性有所不同,如表 4 所示,不同胁迫程度下株高与茎粗、SPAD 均呈正相关,轻度胁迫时呈极显著正相关。在轻度和重度胁迫时茎粗与 SPAD 呈极显著正相关,在重度胁迫时茎粗与冠温呈显著正相关。

表 3 不同盐胁迫程度对 25 个杂交种玉米大喇叭口期农艺性状的影响

Table 3 Agronomic traits of 25 hybrid maize under salt stress at huge bell period

品种编号 Species number	株高 Plant height/cm			茎粗 Thick stems/mm		
	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild
1	172.33 ± 2.40bcA	149.33 ± 4.67ghiB	170.00 ± 2.65ghiA	37.61 ± 0.82bcdefgA	33.72 ± 1.00abcdAB	32.32 ± 1.03ghijkB
2	171.67 ± 1.67bcdA	172.00 ± 1.73cdA	172.00 ± 4.16fghA	40.98 ± 2.12abcdA	35.46 ± 1.53aA	34.94 ± 0.75bcdefghiA
3	129.33 ± 3.18jkC	150.00 ± 2.89ghiB	171.67 ± 4.91fghA	32.88 ± 0.76fghijA	31.51 ± 0.48abcdefghA	31.41 ± 2.27ijklA
4	145.67 ± 4.70hiC	182.67 ± 3.71aB	201.67 ± 1.76bA	41.24 ± 2.56abcA	34.26 ± 1.03abB	38.53 ± 0.92abAB
5	168.33 ± 2.03bcdeB	157.33 ± 2.40fgC	194.33 ± 3.38bcA	32.63 ± 0.61ghijA	32.31 ± 2.30abcdefA	32.51 ± 1.41fghijkA
6	166.67 ± 0.88bcdeB	116.33 ± 0.88kC	193.33 ± 4.67bcA	31.00 ± 1.05hijB	28.83 ± 1.29cdefghiB	37.47 ± 1.77abcA
7	161.00 ± 2.65efgB	81.67 ± 1.67mC	193.67 ± 1.67bcA	43.81 ± 0.66aA	26.64 ± 0.50hiC	39.67 ± 0.57aB
8	174.33 ± 3.93bA	148.00 ± 4.36hiB	175.00 ± 1.73fghA	42.13 ± 1.03abA	32.36 ± 1.66abcdefB	36.53 ± 0.07abcdefgB
9	173.67 ± 0.88bA	173.33 ± 0.88bcdA	176.33 ± 3.48fgA	32.33 ± 1.40ghijA	29.9 ± 2.45bcdefghiA	35.5 ± 0.65bcdefghiA
10	172.00 ± 3.06bcB	160.67 ± 2.96efB	211.00 ± 3.06aA	31.13 ± 0.93hijA	29.27 ± 1.23bcdefghiA	32.79 ± 0.47efghijA
11	164.00 ± 3.46cdeB	159.67 ± 0.67efB	210.00 ± 4.62aA	37.67 ± 2.73bcdefgA	28.35 ± 1.70efghiA	35.04 ± 1.75bcdefghiA
12	160.67 ± 3.71efgA	160.00 ± 2.08efA	173.00 ± 4.36fghA	30.88 ± 1.01hijB	30.33 ± 0.50abcdefghiB	36.60 ± 0.55abcdefA
13	135.33 ± 1.45jB	130.33 ± 1.45jC	180.67 ± 0.67defA	36.33 ± 2.19cdefghA	32.30 ± 1.80abcdefA	37.16 ± 1.64abcdA
14	129.67 ± 1.67jkB	117.33 ± 4.33kB	186.67 ± 2.73cdeA	35.36 ± 1.49efghiA	30.96 ± 0.58abcdefghiB	36.91 ± 1.60abcdeA
15	168.00 ± 1.15bcdeB	129.00 ± 1.53jC	179.00 ± 2.65efgA	28.54 ± 1.00jB	27.13 ± 0.37fghiB	32.22 ± 0.62hijkA
16	171.33 ± 0.67bcdB	148.67 ± 3.18ghiC	197.00 ± 4.36bA	38.47 ± 2.12bcdeA	31.91 ± 0.53abcdefgA	36.24 ± 23.00abcdefghA
17	162.00 ± 3.06efB	154.67 ± 3.71fghC	180.33 ± 2.91defA	38.23 ± 1.55bcdefA	33.96 ± 0.47abcB	30.71 ± 1.32jklB
18	192.33 ± 1.20aA	178.00 ± 3.00abcB	162.67 ± 1.45jC	33.74 ± 1.81efghijA	27.03 ± 1.35ghiB	30.31 ± 0.89jklAB
19	153.33 ± 0.67ghC	168.00 ± 2.08deB	175.33 ± 2.91fghA	35.69 ± 2.51defghiA	30.92 ± 2.21abcdefghiA	33.02 ± 0.57defghijA
20	149.00 ± 3.79hiB	182.67 ± 4.33aA	156.67 ± 1.67jB	36.09 ± 0.99cdefghiA	27.49 ± 2.27fghiB	33.16 ± 1.31defghijAB
21	143.33 ± 3.33iC	181.00 ± 3.06abA	166.67 ± 2.91hiB	32.65 ± 1.39ghijA	28.68 ± 1.05defghiA	32.86 ± 0.85efghijA
22	163.33 ± 3.53defB	144.33 ± 3.18iC	188.00 ± 2.08cdA	38.26 ± 0.56bcdefA	33.15 ± 1.49abcdeB	33.37 ± 0.71cdefghijB
23	173.67 ± 2.96bA	105.67 ± 2.96iC	157.67 ± 2.19jB	38.94 ± 2.25abcdeA	27.63 ± 0.03fghiB	28.46 ± 1.11klmB
24	159.67 ± 1.45fgA	104.00 ± 2.31iB	114.00 ± 3.79kB	30.72 ± 1.87ijA	25.81 ± 3.43iA	25.62 ± 1.07mA
25	123.67 ± 2.33kB	125.33 ± 1.45jB	161.67 ± 0.88ijA	28.82 ± 1.42jA	19.18 ± 1.28jB	28.03 ± 1.21lmA
品种 编号 Species number	SPAD 值 SPAD values			冠层温度 Canopy temperature/°C		
	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild
1	51.50 ± 0.67fghijB	51.97 ± 2.17fghiB	59.47 ± 1.34bcdA	24.30 ± 0.42abcdA	24.00 ± 0.17aAB	23.00 ± 0.40bcdB
2	58.30 ± 2.16bcA	57.77 ± 1.62abcA	58.40 ± 1.01bedeA	22.27 ± 0.54fghiA	22.37 ± 0.22bcA	22.47 ± 0.37cdeA
3	54.30 ± 1.35bcdefgA	53.53 ± 1.6defgA	55.20 ± 0.78defghiA	22.80 ± 0.42defghiA	22.07 ± 0.37bcdA	22.03 ± 0.43cdeA
4	50.93 ± 1.44ghijB	60.57 ± 1.19aA	61.47 ± 0.58abA	24.03 ± 0.27abcdeA	22.70 ± 0.35abA	22.03 ± 0.74cdeA
5	49.03 ± 0.09hijkB	52.40 ± 1.63efghAB	56.10 ± 1.10defghA	23.63 ± 0.30bcdefgA	21.47 ± 0.90bcdeA	22.37 ± 0.35cdeA
6	48.00 ± 1.15ijkA	48.40 ± 1.27hijklA	52.13 ± 0.98ghiA	23.10 ± 0.06cdefghA	20.17 ± 0.58efghB	20.60 ± 0.76eB
7	55.90 ± 1.21bcdeB	50.90 ± 1.64ghijC	60.73 ± 1.34bcA	23.93 ± 0.33abcdefA	20.57 ± 0.48defgB	23.67 ± 0.35bcA
8	54.07 ± 2.24bcdefgA	53.33 ± 0.98efgA	53.27 ± 2.14fghiA	24.03 ± 0.63abcdeA	18.47 ± 0.26hijkB	22.80 ± 0.51bcdA
9	52.73 ± 1.59defghB	57.50 ± 0.85abcdA	52.00 ± 0.40ghiB	22.40 ± 0.12efghiB	21.47 ± 0.28bcdeB	25.63 ± 0.92aA
10	56.50 ± 1.76bcdeA	47.87 ± 0.87jklB	53.23 ± 0.90fghiA	22.63 ± 0.58defghiA	19.77 ± 0.27efghiB	16.73 ± 0.54fC
11	54.00 ± 1.31bcdefgB	48.50 ± 1.08hijklC	65.40 ± 1.86aA	21.70 ± 0.21hiA	18.70 ± 0.82hijB	17.40 ± 0.81fB
12	54.53 ± 0.71bcdefgB	58.90 ± 1.46abA	57.93 ± 1.94bcdeA	25.10 ± 0.80abA	20.77 ± 0.96cdefgB	16.50 ± 0.35fC
13	52.30 ± 0.75efghiA	56.40 ± 1.25bcdeA	56.53 ± 1.13cdefgA	23.17 ± 0.28cdefghA	18.67 ± 0.03hijC	21.47 ± 0.03deB
14	47.03 ± 1.99jkB	53.97 ± 1.25cdefgAB	57.50 ± 1.85bedefA	24.77 ± 0.32abcA	18.80 ± 0.51hijB	25.47 ± 0.19aA
15	54.33 ± 1.32bcdefgA	47.40 ± 0.70jklB	57.13 ± 1.58bedefA	21.97 ± 0.55ghiA	20.20 ± 0.29efghA	22.73 ± 0.93bcdA
16	64.27 ± 1.66aA	55.50 ± 1.05bcdeB	61.30 ± 1.71abA	25.97 ± 0.23aA	19.83 ± 0.15efghiC	21.40 ± 0.15deB
17	57.53 ± 1.16bcdA	53.90 ± 1.65cdefgA	55.63 ± 2.23defghiA	22.83 ± 0.82defghiAB	21.10 ± 0.61bcdeB	24.40 ± 0.26abA
18	45.67 ± 1.03kB	55.77 ± 1.27bedefA	55.53 ± 2.22defghiA	23.87 ± 0.47bcdeA	19.83 ± 0.15efghiC	22.07 ± 0.47cdeB
19	57.50 ± 1.72bcdA	53.13 ± 1.13efgB	51.83 ± 0.68hiB	21.87 ± 0.03hiA	19.30 ± 0.55ghijB	22.23 ± 1.00cdeA
20	52.83 ± 1.49defghA	47.57 ± 1.33jklB	52.00 ± 0.83ghiA	21.53 ± 0.52hiA	20.70 ± 0.30cdefgA	21.30 ± 0.70deA
21	58.57 ± 1.85bA	48.33 ± 1.50ijklB	55.77 ± 0.88defghA	21.33 ± 0.77iAB	19.27 ± 0.90ghijB	22.60 ± 0.35bcdA

续表 3

品种编号 Species number	SPAD 值 SPAD values			冠层温度 Canopy temperature/°C		
	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild
22	55.47 ± 1.04bcdefgB	45.40 ± 0.69IC	57.90 ± 0.46bcdeA	23.13 ± 0.92cdefghA	18.00 ± 0.67jkB	20.63 ± 0.20eAB
23	53.67 ± 1.04cdefghA	52.77 ± 0.35efgA	53.80 ± 0.25efghiA	21.73 ± 0.19hiA	17.00 ± 0.15kB	22.93 ± 0.44bedA
24	52.47 ± 1.55efghiA	49.87 ± 0.54ghijkA	51.10 ± 1.85iA	24.27 ± 0.55abcdA	19.50 ± 0.21fghijC	21.70 ± 0.51deB
25	45.00 ± 0.38kA	46.07 ± 1.11klA	45.60 ± 0.06jA	24.80 ± 0.85abcA	18.10 ± 0.72ijkB	22.77 ± 0.78bcdA

注:同一胁迫条件不同品种间的差异性( $P < 0.05$ )用小写字母表示,同一品种不同胁迫条件下的差异性( $P < 0.05$ )用大写字母表示。

Note: different lowercase letters indicate that there are significant difference among different varieties under the same stress conditions( $P < 0.05$ ); different uppercase letters indicate that the same variety has significant differences under different stress conditions( $P < 0.05$ ).

### 2.3 重度盐胁迫对不同玉米杂交种大喇叭口期生理生化指标的影响

在重度盐胁迫条件下,不同品种之间的膜透性、MDA、Pro、SOD、POD 均有所差异,如表 5 所示。A3 高/1519 质膜透性最大,与其它品种间达到显著差异( $P < 0.05$ ),其次是 1421/1522 的膜透性,A49/1522 膜透性最小,受到盐胁迫破坏的程度最小。在重度盐胁迫时,MDA 含量最高的是科多 8 号和 A3/H237,相对较低的是 1517/旬 11 及 H237/A、北 21/1522、北 21/1520,它们与其它品种之间达到显著性差异( $P < 0.05$ )。在重度胁迫时,A49/1522Pro 含量最高,而 H242/1523Pro 含量最低。H14/A18 SOD 活性最大,A49/1528 SOD 活性最小,且与其它品种间达到显著性差异( $P < 0.05$ )。H242/1522 和 A49/1522 POD 活性最大,旬 11/1517 最低。

### 2.4 在重度胁迫条件下各农艺性状与生理指标间的关系

在重度胁迫条件下,如表 6 所示:株高和茎粗、SPAD、冠层温度、膜透性、Pro 呈弱正相关,株高与 SOD、POD、MDA 呈弱负相关。茎粗与 SPAD 呈极显著正相关( $R = 0.54^{**}$ ),与冠层温度( $R = 0.47^*$ )呈显著正相关,与膜透性、SOD、MDA 呈弱负相关。SPAD 与冠层温度( $R = 0.42^*$ )呈显著正相关,而冠层温度与 SOD( $R = -0.42^*$ )呈显著负相关。膜透

性与 SOD( $R = 0.50^{**}$ )有极显著正相关性,其它各农艺性状与生理指标间有弱相关性,但均没有达到显著水平。

### 2.5 不同玉米杂交种材料耐盐性综合评价

对大喇叭口期的农艺性状及生理指标进行综合评价,利用各指标间所占的主成分不同,进而对其耐盐性进行综合评价,分析结果如表 7 所示。对玉米大喇叭口期的 9 个指标进行主成分分析,重新整合成 9 个主成分,从特征值来看,前三个主成分的特征值大于 1,所以保留前三个主成分。从方差的累积贡献率可以得知,第一个主成分的贡献率为 27.403%,第二主成分的贡献率为 47.074%,第三主成分的贡献率为 62.691%,前三个成分的累积贡献率大于 80%,可考虑保留。利用模糊隶属函数法进一步对主成分分析的结果进行综合分析,25 个杂交种材料的耐盐性强弱不同,按照综合评价值的大小,耐盐性由强到弱依次排列为宁 3-2/1528 > A3 高/1519 > 旬 11/1517 > A3 高/A18 > H237/A26 > H242/1523 > 宁 3-1/1528 > 1421/1522 > H237/A3 > 科多 8 号 > A3/H237 > H237/1519 > H14/A18 > 北 21/1520 > 133-2/1528 > A49/1522 > 1517/旬 11 > 桂青贮 1 号 > H237/A18 > H14/1528 > H242/1522 > 北 21/1522 > A18/1506 > A49/1528 > TY1。

表 4 不同盐胁迫程度条件下各农艺性状指标间的相关性

Table 4 The correlation between the index of agronomic traits under stress

指标 Indicators	株高 Plant height			茎粗 Thick stems			SPAD 值 SPAD values			冠层温度 Canopy temperature		
	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe	轻度 Mild
株高 Plant height	1.00			0.17	0.38	0.67**	0.19	0.29	0.54**	-0.07	0.38	-0.27
茎粗 Stem diameter				1.00			0.35	0.54**	0.53**	0.03	0.47*	-0.07
SPAD 值 SPAD values							1.00			-0.23	0.42	-0.21
冠层温度 Canopy temperature										1.00		

注: \* 表示相关性达到显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关性达到极显著( $P < 0.01$ )。下同。

Note: \*, \*\* indicate significance at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively; the same below.

表 5 盐胁迫对 25 个杂交种玉米大喇叭口期相关指标的影响

Table 5 Salt stress to 25 copies of the influence of related parameters of hybrid maize in huge bellbottom period

品种编号 Species number	膜透性/% Membrane permeability	MDA 含量 MDA content /(mmol·g <sup>-1</sup> )	Pro 含量 Pro content /(μg·g <sup>-1</sup> )	POD 酶活性 POD enzyme activity /(μg·g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	SOD 酶活性 SOD enzyme activity /(U·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )
1	15.77 ± 0.77k	3.73 ± 0.20ij	52.76 ± 4.50i	1.81 ± 0.01a	313.62 ± 10.43ghijk
2	12.22 ± 0.84l	6.56 ± 0.08cd	295.20 ± 1.16a	1.78 ± 0.03a	268.37 ± 61.25hijkl
3	17.83 ± 0.40j	3.87 ± 0.05hij	30.10 ± 3.12j	1.51 ± 0.02e	141.76 ± 31.6l
4	31.37 ± 0.21a	8.67 ± 0.10b	61.12 ± 0.99hi	1.53 ± 0.07de	480.68 ± 32.53bcdef
5	23.41 ± 0.90de	4.61 ± 0.06fg	279.20 ± 4.45b	0.82 ± 0.02i	411.63 ± 79.15cdefgh
6	20.29 ± 0.86gh	4.28 ± 0.02gh	104.00 ± 5.49c	1.69 ± 0.01b	327.21 ± 66.34ghij
7	19.06 ± 0.92hi	5.98 ± 0.03e	47.62 ± 1.06i	1.26 ± 0.03g	226.32 ± 25.02ijkl
8	18.36 ± 0.22hij	4.82 ± 0.33f	24.76 ± 7.06j	0.88 ± 0.02i	369.00 ± 14.01defghi
9	19.00 ± 0.50hi	9.85 ± 0.04a	76.10 ± 3.17fgh	1.32 ± 0.01f	191.87 ± 38.23jkl
10	30.11 ± 0.07ab	4.17 ± 0.45ghi	87.55 ± 2.32def	1.69 ± 0.01b	547.53 ± 13.29abc
11	25.19 ± 0.29d	3.16 ± 0.03k	94.48 ± 7.42cde	1.61 ± 0.00c	347.12 ± 77.73fghi
12	22.69 ± 0.32ef	2.71 ± 0.03l	106.10 ± 1.37c	1.58 ± 0.01cd	454.76 ± 94.71bcdefg
13	25.01 ± 0.66d	4.02 ± 0.06hij	52.76 ± 0.19i	1.24 ± 0.01g	482.95 ± 24.91bcdef
14	21.41 ± 0.15fg	3.17 ± 0.14k	101.90 ± 9.36cd	1.53 ± 0.02de	320.89 ± 28.25ghijk
15	24.36 ± 0.58de	2.50 ± 0.04l	71.81 ± 3.63gh	1.35 ± 0.01f	170.06 ± 20.74kl
16	24.40 ± 0.88de	3.76 ± 0.02ij	105.10 ± 2.31c	0.73 ± 0.01j	571.42 ± 74.25ab
17	23.94 ± 0.81de	6.58 ± 0.02cd	52.00 ± 3.67i	1.30 ± 0.04fg	520.33 ± 11.57abcd
18	27.51 ± 0.80c	2.45 ± 0.02l	53.71 ± 4.58i	1.24 ± 0.02g	499.84 ± 55.53abcde
19	16.65 ± 0.93jk	3.78 ± 0.02ij	98.63 ± 3.63cd	1.24 ± 0.01g	309.71 ± 53.40ghijk
20	23.30 ± 0.72def	2.36 ± 0.03l	82.08 ± 8.18efg	0.99 ± 0.02h	328.54 ± 24.25ghij
21	28.52 ± 0.11bc	6.27 ± 0.07de	76.95 ± 4.36fg	0.64 ± 0.02k	305.21 ± 64.84ghijk
22	19.62 ± 0.62ghi	3.58 ± 0.28jk	94.63 ± 10.70cde	1.52 ± 0.00de	648.76 ± 52.98a
23	25.09 ± 0.53d	3.56 ± 0.25jk	69.89 ± 3.87gh	1.64 ± 0.00bc	521.29 ± 67.88abcd
24	25.15 ± 0.71d	9.86 ± 0.09a	30.07 ± 2.12j	0.82 ± 0.01i	543.71 ± 53.58abc
25	24.99 ± 0.14d	6.98 ± 0.03c	33.14 ± 3.30j	1.62 ± 0.01c	631.86 ± 24.88abc

注:同列数据不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。Note: different letters in same column indicate significant difference at  $P < 0.05$  level.

表 6 重度胁迫条件下各农艺性状与生理指标间的相关性

Table 6 The correlation between agronomic traits and physiological indicators under severe stress

指标 Indicators	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	SPAD 值 SPAD values	冠温 Canopy temperature	膜透性 Membrane permeability	SOD	POD	MDA	Pro
株高 Plant height	1.00	0.38	0.29	0.38	0.11	-0.05	-0.11	-0.03	0.26
茎粗 Stem diameter		1.00	0.54**	0.47*	-0.33	-0.04	0.06	-0.04	0.39
SPAD 值 SPAD values			1.00	0.42*	-0.10	-0.06	0.04	0.21	0.18
冠层温度 Canopy temperature				1.00	-0.28	-0.42*	0.16	0.22	0.26
膜透性 Membrane permeability					1.00	0.50**	-0.23	0.06	-0.29
SOD						1.00	-0.07	0.02	-0.09
POD							1.00	-0.15	0.04
MDA								1.00	-0.06
Pro									1.00

### 3 讨论

#### 3.1 不同盐胁迫程度对玉米大喇叭口期农艺性状的影响

本试验研究发现,在同一胁迫条件下不同玉米

品种的农艺性状表现各不相同,同一品种在不同胁迫条件下的农艺性状表现也有差异,表明了不同杂交种玉米对盐胁迫的耐受能力不同,其耐盐性存在差异。余叔文等研究表明,盐胁迫下对植物最明显的影响就是抑制生长<sup>[15]</sup>。李德锋研究发现,盐胁迫

表 7 不同杂交种的耐盐性分析

Table 7 The analysis of salt-tolerance among different hybrid maizes

品种编号 Species number	品种名称 Breed name	U1	U2	U3	D 值 D value	耐盐性位次 The sequence of salt-tolerance
1	H242/1522	0.631	0.000	0.448	0.388	21
2	A49/1522	1.000	-0.100	0.388	0.503	16
3	A49/1528	0.473	0.053	0.422	0.328	24
4	A3 高/1519 A3 Gao/1519	0.900	0.837	0.877	0.874	2
5	H237/A26	0.778	0.562	0.516	0.645	5
6	A18/1506	0.450	0.279	0.191	0.332	23
7	133-2/1528	0.635	0.174	0.747	0.518	15
8	H242/1523	0.699	0.475	0.619	0.609	6
9	A3/H237	0.635	0.203	0.872	0.558	11
10	1421/1522	0.627	1.000	0.050	0.600	8
11	H237/1519	0.767	0.709	0.000	0.558	12
12	北 21/1520 Bei 21/1520	0.722	0.598	0.168	0.545	14
13	宁 3-1/1528 Ning 3-1/1528	0.623	0.701	0.463	0.607	7
14	H14/1528	0.531	0.199	0.450	0.406	20
15	北 21/1522 Bei 21/1522	0.453	0.364	0.259	0.377	22
16	宁 3-2/1528 Ning 3-2/1528	0.972	0.892	0.699	0.879	1
17	A3 高/A18 A3 Gao/A18	0.700	0.655	0.738	0.695	4
18	H237/A3	0.584	0.824	0.309	0.591	9
19	H237/A18	0.651	0.313	0.305	0.459	19
20	1517/甸 11 1517/Xun 11	0.523	0.559	0.290	0.477	17
21	甸 11/1517 Xun 11/1517	0.599	0.846	0.694	0.700	3
22	H14/A18	0.671	0.669	0.184	0.549	13
23	桂青贮 1 号 Guiqinchu No.1	0.466	0.669	0.210	0.466	18
24	科多 8 号 Keduo No.8	0.172	0.776	1.000	0.568	10
25	TY1	0.000	0.563	0.470	0.294	25

严重影响青贮玉米株高,进而影响产量<sup>[16]</sup>。许兴等研究表明,随着盐胁迫浓度的增加小麦株高有所降低<sup>[17]</sup>。这与本试验的研究结果一致,可能是盐胁迫会影响有丝分裂,细胞分化减少,从而导致植物生长受抑,也可能是盐胁迫抑制了根系对无机离子和水分的吸收,导致了生长发育减缓<sup>[18]</sup>。茎粗是衡量植株生长强弱的指标,能够表明植株的生长状况与水肥供给情况。本试验结果表明,同一品种在受到重度胁迫时,茎粗会受到严重影响,急剧减小。孙小芳<sup>[19]</sup>等研究表明,棉花在受到盐胁迫时,其叶色发暗,SPAD 值较高。而本试验结果发现在轻度胁迫时,SPAD 值高,中度、重度胁迫时 SPAD 值均有一定程度的降低,可能是因为盐胁迫不仅影响叶绿素的生物合成,而且加快叶绿素的分解,进而使 SPAD 值下降<sup>[20]</sup>。冠层温度的差异是作物遗传特性和环境条件共同作用的结果,它可以作为指导作物高产品种选育和栽培管理的手段。本试验结果显示,在中度胁迫时,冠层温度最大,轻度和重度时次之,说明盐分胁迫浓度在一定条件时利于作物的生长发育,

但本试验的盐分含量差异较大,具体盐分含量多少有利于作物生长还需进一步的试验。此外,本研究表明不同胁迫条件下农艺性状指标间的相关性不一致,如株高与冠温在轻度和中度胁迫时呈负相关,在重度胁迫时呈正相关,因此在分析两者之间的相关性时需要根据试验中盐胁迫程度的强弱来具体分析。

### 3.2 重度胁迫条件对玉米大喇叭口期各生理指标的影响

植物在受到逆境胁迫时,其体内会发生一系列的生理生化反应来消除或降低外界环境对其造成的伤害。李倩<sup>[21]</sup>等研究发现,随着盐胁迫浓度的加大,细胞中外渗的物质增多,质膜透性增强,受到的伤害越大。有研究表明<sup>[22-23]</sup>,植物体内积累一定的脯氨酸可以调节植物自身适应逆境条件。刘会超<sup>[24]</sup>等通过对逆境条件下白三叶茎的保护酶活性的研究发现,盐胁迫时许多植物的保护酶活性均不同程度增加。本试验通过测定作物在逆境条件下的细胞膜透性、膜脂过氧化程度(MDA)、渗透调节物质

(Pro)、保护酶活性(SOD、POD)的变化来衡量作物受伤害的程度<sup>[25]</sup>,试验结果与前人研究结果吻合。本试验中还发现了在重度盐胁迫条件下农艺性状指标与生理指标之间存在一定的相关性。这可能是因为盐胁迫条件下,作物生长环境中的渗透势增加,引起细胞脱水,从而使得植物细胞的膜系统遭到破坏,导致质膜透性发生改变,继而引起细胞外部形态发生变化。其中,茎粗与 SPAD 呈极显著正相关,这与田间鉴定结果一致,大田考查记录表明茎秆粗壮长势好的品种,其叶色深绿;膜透性与 SOD 呈极显著正相关,可能是因为在受到盐胁迫时首先使质膜透性增加,其次引起作物萎蔫,进而影响内部生理机制的变化。

### 3.3 隶属函数法综合分析不同玉米材料耐盐性

株高、茎粗、SPAD、冠层温度等形态学指标可以反应玉米大喇叭口期的生长状况,25 个杂交玉米种质资源各指标的变化有所不同,对不同程度的盐胁迫也有不同的生理反应。由此可知,玉米的耐盐性是一个复杂的综合性状,仅仅利用单项指标不能准确、直观地进行玉米耐盐性评价,为了弥补单项指标评价耐盐性的不足,可利用主成分分析对供试玉米种质资源大喇叭口期耐盐性进行深入综合的评价,利用综合评价值来对耐盐性材料进行归类。该试验采用模糊隶属函数法对 25 个杂交种材料大喇叭口期的各个指标进行综合评价,按照隶属度(D 值)大小将其耐盐性分为四级:D 值大于 0.8 为强耐盐性材料,宁 3-2/1528、A3 高/1519 为强耐盐性材料;D 值在 0.6~0.8 之间为较耐盐性材料,H237/A26、H242/1523、1421/1522、宁 3-1/1528、A3 高/A18、甸 11/1517 为较耐盐性材料;D 值在 0.4~0.6 之间为弱耐盐性材料,A3/H237、H237/1519、H237/A3、科多 8 号、桂青贮 1 号、H14/A18、1517/甸 11、H237/A18、H14/1528、北 21/1520、133-2/1528、A49/1522 为弱耐盐性材料;D 值小于 0.4 为不耐盐性材料,H242/1522、A49/1528、A18/1506、北 21/1522、TY1 为盐敏感性材料。通过农艺性状和生理指标综合分析不同品种的耐盐性,筛选出耐盐和盐敏感的玉米种质资源,为耐盐性生理机制研究和后期的玉米分子标记、遗传育种和抗逆高产栽培提供可靠的种质资源和技术支撑。

### 参 考 文 献:

[1] 魏益民. 21 世纪可持续农业几项技术问题的展望[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(3): 1-5.

- [2] 蔺娟. 土壤盐渍化的研究进展[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2007, 24(3): 318-323.
- [3] 杨真, 王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学, 2015, 47(4): 125-130.
- [4] 付艳, 高树仁, 王振华. 玉米种质苗期耐盐性的评价[J]. 玉米科学, 2009, 17(1): 36-39.
- [5] 路浩, 王海泽. 盐碱土治理利用研究进展[J]. 现代化农业, 2004, (8): 10-12.
- [6] 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.
- [7] 赵小强, 彭云玲, 李健英, 等. 16 份玉米自交系的耐盐性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 40-45.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84-90.
- [11] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 161-163.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [13] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 368-374.
- [14] 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.
- [15] 余叔文, 汤章成. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [16] 李德锋, 姜义宝, 付楠, 等. 青贮玉米品种比较试验[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 612-617.
- [17] 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<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 吸收的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 278-284.
- [18] Storey R, Walker R R. Citrus and salinity[J]. Scientia Horticulturae, 1998, 78(1): 39-81.
- [19] 孙小芳, 刘友良, 陈沁. 棉花耐盐性研究进展[J]. 棉花学报, 1998, 10(3): 118-124.
- [20] 杨万勤, 王开运, 宋光煜, 等. 水分胁迫对燥红土和变形土生长的玉米叶片[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 588-593.
- [21] 李倩, 刘景辉, 武俊英, 等. 盐胁迫对燕麦质膜透性及 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 吸收的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 88-92.
- [22] Santa-Cruz A, Acosta M, Rus A, et al. Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1999, 37(1): 65-71.
- [23] Halliwell B, Gutteridge J M C. Oxygen free radicals and iron in relation to biology and medicine: some problems and concepts[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1986, 246(2): 501-514.
- [24] 刘会超, 贾文庆, 朱婷婷. 盐胁迫对三色堇 CAT、POD 活性及细胞质膜透性的影响[J]. 河南农业科学, 2010, (4): 98-100.
- [25] 麻冬梅. 高羊茅耐盐多基因遗传转化及其生物学整合效应分析[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.