

网络出版时间:2017-12-08 16:25

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.02.007

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20171208.1623.014.html

利用隶属函数值法对玉米成熟期耐盐性的综合评价

张会丽^a,袁 闯^a,朱 林^{b,c},许 兴^{a,b}

(宁夏大学^a农学院,^b西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,

^c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】【目的】筛选耐盐、敏盐的玉米种质资源,为耐盐玉米育种研究提供理论依据。【方法】于 2016 年 4—9 月,在宁夏银川,以 10 个不同基因型春玉米品种为试验材料,设置盐分含量不同的 2 块地:对照田(土壤全盐含量低,为 0.612 g/kg)和盐碱胁迫地(土壤全盐含量中度,为 2.269 g/kg),两地块间土壤养分含量无明显差异,测定两地块中成熟期各玉米品种的 K^+/Na^+ ,光合气体交换参数(有效光照强度(PAR)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、叶温(T_L))以及农艺性状和产量等指标,利用主成分分析和隶属函数值法对不同基因型玉米品种耐盐性强弱进行综合评价。【结果】与对照相比,盐碱胁迫条件下各玉米品种的根系和茎基部 K^+/Na^+ 值均明显降低($P < 0.05$),且同一品种不同器官的 K^+/Na^+ 总体表现为茎>叶片>茎基部>根系,表明离子的吸收和运输具有选择性,其中茎具有贮存 K^+ 的作用,根系具有贮存 Na^+ 的功能。盐碱胁迫下各玉米品种的净光合速率(P_n)总体均显著低于对照($P < 0.05$),叶片温度(T_L)显著高于对照($P < 0.01$),其他光合指标无明显变化规律。此外,盐碱胁迫条件下,各玉米品种的农艺性状和产量较对照均降低。【结论】不同基因型玉米品种之间的耐盐碱能力存在差异,根据综合评价值(D 值)大小,耐盐性由强到弱顺序为 $WY_2 > \text{宁} 3/1522 > A3/A18 > HoViY1 > A111-3/H242 > H237/A18 > \text{桂青} 1 \text{ 号} > A3/A18 \text{ 高} > \text{北} 21/A58 > H237/1506$ 。

【关键词】春玉米;成熟期;耐盐性;主成分分析;隶属函数值法

【中图分类号】S513.034

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2018)02-0047-09

Comprehensive evaluation of salt-tolerance of maize at mature period using subordinate function value analysis

ZHANG Huili^a,YUAN Chuang^a,ZHU Lin^{b,c},XU Xing^{a,b}

(^a Agricultural College, ^b Key Laboratory for Restoration and Restruction of Degraded Ecosystem in Northwest

China of Ministry of Education, ^c State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of Northwest China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: 【Objective】This study screened the germplasm resources of maize with salt tolerance and salt sensitivity to provide theoretical basis for salt tolerance breeding. 【Method】During April to September 2016, 10 maize cultivars were planted in saline land (soil total salt content of 2.269 g/kg) and control land (soil total salt content of 0.621 g/kg) in Yinchuan, Ningxia. There was no difference in the soil chemical characters between the two experimental lands. K^+/Na^+ , photosynthetic physiological exchange parameters including effective light intensity (PAR), net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (G_s) and leaf temperature (T_L), agronomic characters and yield were determined in mature stage. Then, the salt tolerances of the tested genotypes were comprehensively evaluated by principal compo-

【收稿日期】2017-01-05

【基金项目】宁夏回族自治区牧草育种专项(2014NYYZ040101);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

ment analysis and the subordinate function method. 【Result】 Compared with control, the K^+/Na^+ of root and basal stem of maize varieties were significantly decreased under saline-alkali stress ($P < 0.05$). The K^+/Na^+ ratios in different parts were in the order of stem $>$ leaf $>$ basal stem $>$ root, suggesting the selectiveness for maize in ion uptake and transportation as well as the ability to store Na^+ in root and K^+ in stem. Net photosynthetic rate (P_n) was significantly lower under salt-alkali stress treatment than those in control ($P < 0.05$), while leaf temperature (T_L) was significantly higher than those in control ($P < 0.01$), other photosynthetic indexes had no obvious law. The average agronomic traits and yield were all decreased compared with control. 【Conclusion】 According to synthetic evaluation value (D), the comprehensive evaluation indicated that the salt-tolerances of the ten maize varieties were in the order of $WY_2 > Ning3/1522 > A3/A18 > HoViY1 > A111-3/H242 > H237/A18 > Gui\ silage\ 1 > A3/A18\ Gao > North\ 21/A58 > H237/1506$.

Key words: spring maize; mature period; salt tolerance; principal component analysis; subordinate function value method

盐碱地作为重要的一种低产土壤,在我国西北、华北、东北的干旱和半干旱地区分布很广^[1-3]。玉米是一种对盐分中度敏感的粮饲兼用作物及工业原料^[4],在上述干旱和半干旱地区广泛种植,但土壤盐渍化状况的加剧已严重影响了玉米的正常生长和发育。改良土壤固然是解决这一问题的方法之一,但培育和筛选耐盐植物的生物改良方法才是解决这一问题最为有效的手段^[5-6]。目前,关于玉米耐盐碱性的研究主要集中在以下几方面:1)对苗期或芽期的研究较多^[7-9],对成熟作物的研究却鲜有报道,但苗期的鉴定时间较短,不能完全作为筛选耐盐碱性强种质材料的方法。2)以 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 作为胁迫因子的盆栽、营养液条件等的鉴定方法较多^[10],对大田环境研究较少,但前者与真正的大田环境和土壤条件相差甚远,后者更能为生产实际提供理论指导。3)关于生理生化指标测定较多^[11],对光合气体交换参数和产量等表型性状及 K^+/Na^+ 综合测定偏少。因此,要选用多指标综合评价才能科学、合理、准确地反映作物的耐盐性^[12]。

本试验利用大田鉴定的方法,以不同基因型春玉米品种为材料,采用隶属函数法对 10 个玉米品种在成熟期的耐盐碱农艺性状的调查和光合气体参数、 K^+/Na^+ 等进行综合评价,并对供试材料的耐盐碱性进行分类,以便筛选出在盐渍化土地上具有较强耐盐性的玉米品种,为我国盐渍化土地的开发利用和畜牧业的发展奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

10 个供试春玉米品种为北 21/A58、H237/

1506、A3/A18 高、桂青贮 1 号、 WY_2 、A111-3/H242、宁 3/1522、A3/A18、HoViY1 和 H237/A18,均由佰青源公司、中国科学院遗传发育研究所提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 4—9 月在宁夏银川北部盐碱地西大滩实施,4 月 24 日播种,9 月 28 日蜡熟末期或完熟初期收获。供试土壤为两块不同盐分含量的盐碱地,其中将土壤全盐含量低(0.612 g/kg)的地块设为对照田(CK),土壤全盐含量中度(2.269 g/kg)的地块设为盐碱胁迫地。两地块间土壤养分含量无明显差异,土壤有机质含量 18.760 g/kg,全磷含量 2.970 g/kg,全氮含量 90.000 mg/kg,碱解氮含量 25.228 mg/kg,速效磷含量 5.020 mg/kg,速效钾含量 67.000 mg/kg。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 $\times$ 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,以复合肥($m(N) : m(P_2O_5) : m(K_2O) = 15 : 15 : 15$)为基肥,施用量 750 kg/hm²。整个生长期统一的管理,按时进行中耕除草,在拔节期和大喇叭口期增施氮、磷、钾肥,总施用量为:二铵 300 kg/hm²,尿素 375 kg/hm²,硫酸钾 225 kg/hm²,氮磷钾的质量比为 1 : 0.7 : 0.5。整个生育期灌水 3 次,灌水总量 1 200 m³/hm²。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 K^+ 、 Na^+ 含量 将成熟期采收的玉米植株按根系、叶片、茎基部和茎烘干后,用德国进口粉碎机粉碎,并过孔径 0.150 mm 的筛,用火焰光度计法测定 K^+ 、 Na^+ 含量^[13]。

1.3.2 光合气体参数 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 系列便携式光合作用测量系统,于成熟期(9 月 28 日)选择晴天上午(09:30—11:30)测定不同小区玉米植株的光合生理指标,主要包括有效光照强度(PAR)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)及叶温(T_L)等^[14-15]。在每个小区中随机选取被测作物,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。

1.3.3 农艺性状及产量 于成熟期(9 月 28 日)用卷尺测量株高(植株在自然生长状态下从根基部到最高叶尖的长度),每处理测定 3 次。记录每个小区每株玉米绿叶个数和叶片总数,计算持绿指数(持绿指数=绿叶个数/叶片总数),每处理测定 3 次,取其平均值。从每个小区中取 2 m×2 m 的地上部植株鲜样并称质量,带回实验室置于烘箱中于 105 ℃杀青 30 min,然后 80 ℃烘干至质量恒定,称量其质量,即为生物量。选取具有代表性且长势一致的 5 穗进行考种,主要测定轴粗、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒质量、单穗粒质量,并折合计算籽粒产量。

1.4 耐盐性综合评价

应用模糊数学隶属函数值法对不同玉米品种成熟期的耐盐性进行综合评价^[16-17]。首先,利用公式 $U(X_j)=(X_j-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ ($j=1,2,3,\cdots,10$) 计算隶属函数值,其中 X_j 为性状指标的测定值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 分别为 10 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 $W_j=P_j/\sum_{j=1}^n$ ($j=1,2,3,\cdots,n$),其中 W_j 表示第 j 个公因子在所有公因子中的权重; P_j 为各材料第 j 个指标与耐盐系数间的相关系

数,表示各品种第 j 个公因子的贡献率。最后,将每份材料各项指标隶属函数值累加,取其平均值即为综合评价值(D)。 $D=\sum_{j=1}^n[U(X_j)\times W_j]$ ($j=1,2,3,\cdots,n$)。根据各材料 D 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。

1.5 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据整理,利用 DPS 7.05 软件进行显著性及相关性分析,采用 SPSS 17.0 统计软件进行主成分分析,所有数值均以“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫下成熟期不同玉米品种各部位 K^+/Na^+ 的差异

由表 1 可以看出,与对照相比,盐碱胁迫下各玉米品种根系和茎基部 K^+/Na^+ 值均显著降低($P<0.05$);除 H237/1506、桂青贮 1 号、WY₂、A3/A18 外,其余品种的叶片 K^+/Na^+ 值显著降低($P<0.05$);对于茎而言,只有 H237/1506、H237/A18、WY₂、A3/A18 品种的 K^+/Na^+ 值高于对照,其他品种均显著低于对照($P<0.05$)。盐碱胁迫条件下,同一品种不同器官的 K^+/Na^+ 表现为茎>叶片>茎基部>根系(A3/A18 高、A111-3/H242、宁 3/1522、HoViY1 除外);对于根系和茎基部的 K^+/Na^+ 值分别是 A3/A18、WY₂ 最大,宁 3/1522 均最小,且不同品种间达到显著性差异($P<0.05$);对于叶片 K^+/Na^+ 值,H237/1506 的最大,HoViY1 最低,其他品种间均达到显著性差异($P<0.05$);对于茎 K^+/Na^+ 值,WY₂ 最大,HoViY1 最低,其他品种间也达到显著性差异($P<0.05$)。

表 1 盐碱胁迫条件下成熟期不同玉米品种各部位 K^+/Na^+ 的差异

Table 1 Differences of K^+/Na^+ in different parts of maize varieties during mature period under saline-alkali stress					
处理 Treatment	品种名称 Name	根系 Root	叶片 Leaf	茎基部 Basal stem	茎 Stem
盐碱地 Saline alkaline land	北 21/A58 North 21/A58	4.29±0.01 c	14.31±0.05 g	10.31±0.04 c	59.63±0.04 b
	H237/1506	1.62±0.03 f	27.74±0.05 a	5.06±0.08 d	50.66±0.05 e
	A3/A18 高 A3/A18 Gao	2.24±0.03 d	16.74±0.09 f	1.62±0.03 h	39.64±0.04 h
	桂青贮 1 号 Gui silage 1	2.21±0.05 d	23.72±0.05 b	3.36±0.07 f	47.55±0.06 f
	WY ₂	7.14±0.05 b	17.10±0.44 f	14.63±0.03 b	74.06±0.13 a
	A111-3/H242	4.33±0.03 c	22.26±0.05 c	2.46±0.05 g	46.24±0.04 g
	宁 3/1522 Ning 3/1522	1.45±0.03 g	19.60±0.08 e	0.92±0.04 j	22.62±0.06 i
	A3/A18	8.44±0.04 a	21.27±0.35 d	9.10±0.05 a	57.32±0.03 c
	HoViY1	2.05±0.04 e	9.11±0.04 h	1.12±0.04 i	14.18±0.06 j
	H237/A18	1.47±0.02 g	9.13±0.03 h	4.84±0.04 e	57.02±0.09 d

表 1(续) Contiued table 1

处理 Treatment	品种名称 Name	根系 Root	叶片 Leaf	茎基部 Basal stem	茎 Stem
对照田 CK	北 21/A58 North 21/A5	11.02±0.08 d	20.65±0.06 d	60.33±0.03 e	83.02±0.08 a
	H237/1506	10.44±0.03 f	26.01±0.08 b	119.97±0.40 a	36.65±0.06 i
	A3/A18 高 A3/A18 Gao	9.62±0.02 h	17.24±0.04 g	80.33±0.03 c	58.64±0.05 c
	桂青贮 1 号 Gui silage 1	10.53±0.04 e	18.23±0.06 f	54.32±0.03 f	83.08±0.11 a
	WY ₂	12.31±0.04 c	16.18±0.04 h	91.03±0.07 b	58.52±0.05 d
	A111-3/H242	18.27±0.05 a	23.23±0.04 c	72.49±0.02 d	80.49±0.03b
	宁 3/1522 Ning 3/1522	9.80±0.01 g	40.01±0.08 a	21.83±0.05 i	42.03±0.07 h
	A3/A18	14.72±0.04 b	15.81±0.04 i	23.33±0.06 h	54.02±0.07 e
	HoviY1	5.34±0.06 j	13.08±0.11 j	12.84±0.04 j	53.51±0.03 f
	H237/18	8.84±0.03 i	19.04±0.07 e	51.43±0.04 g	45.50±0.01 g

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 2 同。
Note:Different lowercase letters in same column indicate significant differences ($P<0.05$). The same for Table 2.

2.2 盐碱胁迫下成熟期不同玉米品种光合气体
 交换参数的差异
盐碱胁迫条件下成熟期不同玉米品种光合气体

交换参数的比较如表 2 所示。由表 2 可以看出,不同玉米品种在同一胁迫条件下的光合气体交换参数存在一定差异。

表 2 盐碱胁迫条件下成熟期不同玉米品种光合气体交换参数的比较
Table 2 Comparison of photosynthetic gas exchange parameters of maize varieties
 during mature period under saline-alkali stress

处理 Treatment	品种名称 Name	PAR/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Tr/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Gs/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T _L /℃	P _n /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
对照田 CK	北 21/A58 North 21/A58	1 757.00±8.02 bc	1.24±0.08 bc	32.00±2.31 cde	31.90±0.06 b	27.27±0.43 d
	H237/1506	1 840.67±37.40 abc	1.27±0.07 bc	28.33±1.76 cde	32.63±0.09 a	65.03±0.24 a
	A3/A18 高 A3/A18 Gao	1 724.00±37.54 c	1.32±0.05 bc	38.33±1.45 cd	30.00±0.06 d	27.63±0.26 d
	桂青贮 1 号 Gi silage 1	1 859.33±37.88 abc	1.15±0.11 bc	31.00±3.21 cde	31.30±0.06 c	23.63±0.23 e
	WY ₂	1 855.67±25.51 abc	2.93±0.09 a	126.67±4.91 a	27.77±0.03 e	11.37±0.41 f
	A111-3/H242	1 918.33±39.34 ab	1.45±0.23 b	39.33±7.06 c	31.47±0.12 c	30.37±0.81 c
	宁 3/1522 Ning 3/1522	1 909.67±62.22 ab	0.97±0.26 c	24.00±6.66 e	32.80±0.06 a	30.10±1.62 c
	A3/A18	1 537.33±182.33 d	1.00±0.35 c	27.33±10.48 de	31.40±0.35 c	26.60±0.32 d
	HoviY1	1 946.33±7.33 a	2.78±0.07 a	130.00±3.21 a	26.40±0.06 f	27.20±0.23 d
	H237/A18	1 905.67±26.44 ab	2.92±0.28 a	87.33±10.14 b	31.13±0.03 c	45.53±0.07 b
盐碱地 Saline alkaline land	北 21/A58 North 21/A58	1 620.50±13.45 d	1.62±0.06 e	34.67±1.88 e	33.62±0.16 f	22.65±0.03 d
	H237/1506	2 128.00±22.19 a	1.79±0.05 d	37.00±1.15 d	35.10±0.06 b	20.07±0.07 e
	A3/A18 高 A3/A18 Gao	1 648.33±25.21 d	0.59±0.08 h	10.33±1.76 h	35.90±0.06 a	27.37±0.07 b
	桂青贮 1 号 Gui silage 1	1 651.33±26.46 d	0.66±0.15 h	11.67±2.96 h	35.87±0.09 a	23.53±0.03 c
	WY ₂	2 185.00±5.29 a	3.29±0.06 a	70.67±1.45 a	34.57±0.03 d	22.90±0.06 cd
	A111-3/H242	1 863.33±28.18 c	0.85±0.08 g	16.67±1.86 g	34.83±0.03 c	22.67±0.24 d
	宁 3/1522 Ning 3/1522	1 881.33±27.14 c	2.34±0.07 b	51.33±1.76 b	34.27±0.03 e	33.17±0.57 a
	A3/A18	1 918.00±8.74 bc	1.82±0.06 d	36.33±1.20 de	34.80±0.00 c	10.77±0.09 h
	HoviY1	1 682.00±44.84 d	1.51±0.05 f	32.00±1.15 f	34.17±0.03 e	16.27±0.42 g
	H237/A18	1 963.33±11.39 b	2.22±0.07 c	46.33±1.45 c	34.30±0.00 e	18.70±0.00 f

由表 2 可知,与对照相比,盐碱胁迫条件下各玉米品种的叶片温度(T_L)均显著升高($P<0.05$),而净光合速率(P_n)总体显著降低($P<0.05$),其他指

标无明显变化规律。盐碱胁迫条件下,WY₂ 的有效光照强度(PAR)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)均最大;A3/A18 高的 Tr 和 Gs 均最低,但 T_L 最高;北

21/A58 的 PAR 和 T_L 均最低;宁 3/1522 的 P_n 最大,A3/A18 的 P_n 最低。

2.3 盐碱胁迫下成熟期玉米各农艺性状及产量的差异

由表 3 可知,与对照相比,盐碱胁迫对玉米成熟期各指标均有显著的抑制作用。其中,受抑制最严重的指标为籽粒产量,盐碱胁迫条件下均值为

4 872. 22 kg/hm²,较对照下降 74. 25%;盐碱胁迫条件下株高、生物量、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、轴粗、百粒质量、单穗粒质量、持绿指数均值分别较对照下降 27. 67%,16. 96%,20. 38%,21. 06%,20. 37%,27. 49%,26. 71%,44. 16%,66. 22%,31. 15%。说明盐碱胁迫影响了玉米的正常生长发育,最终影响成熟期各指标的变化。

表 3 盐碱胁迫条件下成熟期玉米各农艺性状及产量的变化

Table 3 Changes of agronomic traits and yield of maize during mature period under saline-alkaline stress							
处理 Treatment	参数 Parameter	株高/m Plant height	生物量/ (kg·hm ⁻²) Biomass	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear diameter	穗行数 Ear row number	行粒数 Row grains
对照田 CK	最大值 Max	3. 87	82 231. 71	22. 45	6. 28	24. 00	55. 33
	最小值 Min	2. 54	27 606. 67	15. 82	4. 20	14. 00	31. 33
	均值 Average	3. 00	49 069. 48	19. 92	4. 89	16. 20	39. 07
	标准差 SD	0. 38	18 515. 52	2. 17	0. 55	3. 19	7. 00
	变异系数/% CV	12. 67	37. 73	10. 89	11. 25	19. 69	17. 92
盐碱地 Saline alkaline land	最大值 Max	2. 56	67 865. 50	18. 69	4. 52	16. 00	38. 33
	最小值 Min	1. 85	26 789. 27	12. 60	3. 01	8. 00	19. 00
	均值 Average	2. 17	40 747. 65	15. 86	3. 86	12. 90	28. 33
	标准差 SD	0. 22	13 172. 40	2. 38	0. 46	2. 23	6. 59
	变异系数/% CV	10. 14	32. 33	15. 00	11. 92	17. 29	23. 26
较对照田的变化 Comparison with the control	均值 Average	-0. 83	-8 321. 83	-4. 06	-1. 03	-3. 30	-10. 73
	变异系数/% CV	-2. 53	-5. 40	4. 11	0. 67	-2. 40	5. 34

处理 Treatment	参数 Parameter	轴粗/cm Axis diameter	百粒质量/g Hundred-grain weight	单穗粒质量/g Grain weight per panicle	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²) Grain yield	持绿指数 Stay-green ability
对照田 CK	最大值 Max	4. 62	55. 82	448. 80	28 901. 43	0. 75
	最小值 Min	2. 72	19. 16	100. 59	11 054. 23	0. 38
	均值 Average	3. 22	38. 86	247. 01	18 921. 76	0. 61
	标准差 SD	0. 54	12. 74	108. 21	6 013. 52	0. 11
	变异系数/% CV	16. 77	32. 78	43. 81	31. 78	18. 03
盐碱地 Saline alkaline land	最大值 Max	2. 59	30. 72	150. 61	9 283. 71	0. 62
	最小值 Min	2. 01	11. 41	23. 43	1 507. 24	0. 25
	均值 Average	2. 36	21. 70	83. 44	4 872. 22	0. 42
	标准差 SD	0. 18	5. 70	41. 21	2 550. 96	0. 13
	变异系数/% CV	7. 63	26. 27	49. 39	52. 36	30. 95
较对照田的变化 Comparison with the control	均值 Average	-0. 86	-17. 16	-163. 57	-14 049. 54	-0. 19
	变异系数/% CV	-9. 14	-6. 51	5. 58	20. 58	12. 92

2.4 盐碱胁迫下成熟期玉米各指标的相关性

由表 4 可以看出,根系 K^+/Na^+ 与茎基部 K^+/Na^+ 、穗粗呈显著正相关;茎基部 K^+/Na^+ 与穗粗呈显著正相关,与单穗粒质量、籽粒产量呈极显著正相关;茎 K^+/Na^+ 与有效光照强度(PAR)和轴粗呈显著正相关;有效光照强度与籽粒产量呈显著正相关;蒸腾速率(Tr)与气孔导度(G_s)呈极显著正相关;株高与穗行数呈显著正相关,与生物量呈极显著正相关;持绿指数与生物量呈显著负相关;穗长与行粒数呈显著正相关;穗粗与行粒数、百粒质量呈显著正相关,与单穗粒质量、籽粒产量呈极显著正相关;行粒

数与单穗粒质量、籽粒产量呈显著正相关;单穗粒质量与百粒质量、籽粒产量呈极显著正相关。这说明了 20 项指标之间存在一定的相关性,仅凭借某一单项指标不能准确评价不同玉米材料的耐盐碱性,需要用多项指标综合评价。

2.5 成熟期不同玉米品种耐盐性的综合评价

本试验采用模糊隶属函数法,通过对 10 个玉米品种成熟期的 20 项指标进行主成分分析,首先从特征值来看,前 6 个主成分的特征值大于 1,所以保留前 6 个主成分;其次从方差累计贡献率可以得知,第 1 个主成分的贡献率为 35. 314%,第 2 个主成分的

贡献率为 17.500%，第 3 个主成分的贡献率为 14.250%，第 4 个主成分的贡献率为 12.897%，第 5 个主成分的贡献率为 9.446%，第 6 个主成分的贡献率为 5.269%，前 6 个主成分的累计贡献率大于 80.000%，故保留。因此将原来的 20 个指标转化为 6 个独立且不相关的综合指标，然后根据不同综合指标的权重和贡献率及隶属函数值来计算综合评价值(D 值)，以此评价其耐盐性，结果如表 5 所示。由

表 5 可见，依据 D 值大小并结合 10 份材料自身的相对耐盐性强弱，将其耐盐性分为 3 级： D 值大于 0.6 为强耐盐性材料，有 WY₂、宁 3/1522 和 A3/A18； D 值在 $\geq 0.4 \sim \leq 0.6$ 为中耐盐性材料，有 HoViY1、A3/A18 高、A111-3/H242、H237/A18 和桂青贮 1 号； D 值低于 0.4 为敏盐性材料，有北 21/A58、H237/1506。

表 4 盐碱胁迫条件下成熟期玉米各指标间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between various indices of maize during mature period under saline-alkali stress										
测定指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.00									
X2	0.38	1.00								
X3	0.69 *	0.45	1.00							
X4	0.15	0.20	0.26	1.00						
X5	0.30	0.43	0.50	0.71 *	1.00					
X6	0.05	-0.07	0.39	0.25	0.52	1.00				
X7	-0.14	-0.14	0.26	0.20	0.4	0.97 * *	1.00			
X8	0.40	0.18	-0.09	-0.21	0.06	-0.44	-0.59	1.00		
X9	0.37	0.04	-0.21	-0.04	-0.04	0.00	-0.12	0.32	1.00	
X10	0.40	0.04	0.40	0.59	0.14	0.00	-0.02	-0.44	0.15	1.00
X11	-0.46	0.38	-0.45	-0.11	-0.17	-0.41	-0.35	0.14	0.17	-0.30
X12	0.27	-0.28	0.40	0.47	0.01	0.21	0.23	-0.55	-0.18	0.79 * *
X13	-0.20	0.31	0.09	0.05	0.22	0.41	0.39	-0.28	0.06	-0.13
X14	0.66 *	-0.08	0.69 *	0.24	0.35	0.31	0.14	0.17	0.10	0.36
X15	0.60	-0.07	0.55	0.09	-0.12	0.05	-0.03	-0.07	0.25	0.61 *
X16	0.46	0.53	0.58	0.21	0.57	0.31	0.16	0.10	0.04	0.09
X17	-0.05	-0.14	-0.06	0.67 *	0.44	0.23	0.16	0.11	0.18	0.14
X18	-0.11	-0.39	0.27	0.03	0.24	0.48	0.43	-0.15	-0.31	-0.11
X19	0.44	0.11	0.77 * *	0.22	0.48	0.48	0.34	-0.06	-0.14	0.23
X20	0.57	0.17	0.84 * *	0.37	0.63 *	0.60	0.45	-0.18	-0.01	0.45
测定指标 Index	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X11	1.00									
X12	-0.62 *	1.00								
X13	0.32	-0.11	1.00							
X14	-0.53	0.47	0.08	1.00						
X15	-0.28	0.56	-0.23	0.66 *	1.00					
X16	-0.17	0.04	0.65 *	0.50	-0.06	1.00				
X17	0.16	0.14	0.08	0.32	0.17	-0.06	1.00			
X18	-0.34	0.22	0.43	0.62 *	0.06	0.41	0.24	1.00		
X19	-0.39	0.35	0.44	0.88 * *	0.42	0.72 *	0.19	0.78 * *	1.00	
X20	-0.54	0.44	0.27	0.81 * *	0.46	0.68 *	0.13	0.56	0.90 * *	1.00

注：* 和 * * 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上相关性显著。X1. 根系 K^+/Na^+ ；X2. 叶片 K^+/Na^+ ；X3. 茎基部 K^+/Na^+ ；X4. 茎 K^+/Na^+ ；X5. 有效光照强度；X6. 蒸腾速率；X7. 气孔导度；X8. 叶片温度；X9. 净光合速率；X10. 株高；X11. 持绿指数；X12. 生物量；X13. 穗长；X14. 穗粗；X15. 穗行数；X16. 行粒数；X17. 轴粗；X18. 百粒质量；X19. 单穗粒质量；X20. 籽粒产量。

Note: * and * * indicate significance correlations at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ probability levels, respectively. X1. K^+/Na^+ of root; X2. K^+/Na^+ of leaf; X3. K^+/Na^+ of caudex; X4. K^+/Na^+ of stem; X5. Effective light intensity; X6. Transpiration rate; X7. Stomatal conductance; X8. Leaf temperature; X9. Net photosynthetic rate; X10. Plant height; X11. Stay-green ability; X12. Biomass; X13. Ear length; X14. Ear diameter; X15. Ear row number; X16. Row grains; X17. Axis diameter; X18. Hundred-grain weight; X19. Grain weight per panicle; X20. Grain yield.

表 5 成熟期不同玉米品种耐盐性的综合评价值(D)及排序

Table 5 D-values of comprehensive evaluation and the ranks of salt tolerances of maize druing mature period

玉米名称 Name	隶属函数值 Subordinate function value						D	耐盐性位次 Order of salt tolerance
	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆		
北 21/A58 North 21/A58	0.618	0.000	0.000	0.419	0.000	0.446	0.319	9
H237/1506	0.000	0.089	0.795	0.000	0.534	0.979	0.240	10
A3/A18 高 A3/A18 Gao	0.448	0.144	0.053	0.561	1.000	0.432	0.402	8
桂青贮 1 号 Gui silage 1	0.553	0.291	0.099	0.319	0.943	1.000	0.470	7
WY ₂	0.960	0.052	1.000	0.332	0.712	0.694	0.676	1
A111-3/H242	0.753	0.387	0.278	0.321	0.909	0.930	0.583	5
宁 3/1522 Ning 3/1522	0.481	0.440	0.857	1.000	0.462	0.998	0.626	2
A3/A18	1.000	0.058	0.625	0.156	0.564	0.845	0.608	3
HoviY1	0.635	1.000	0.529	0.126	0.472	0.431	0.590	4
H237/A18	0.456	0.138	0.892	0.409	0.885	0.000	0.471	6

3 讨 论

3.1 盐碱胁迫对 K⁺/Na⁺ 及光合生理指标的影响

植物在受到盐碱胁迫时主要通过积累渗透调节物质(可溶性糖、脯氨酸、甜菜碱等有机调节物质和 K⁺、Na⁺ 等无机调节物质)来调节植株体内的渗透势,以维持水分平衡,还可以通过活性氧清除系统(超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等)来清除组织中 O₂⁻,以维持正常的生理代谢调节^[18]。有研究表明,盐胁迫时植物细胞内离子平衡受到破坏,主要表现在 K⁺/Na⁺ 降低^[19-21]。本研究结果发现,盐碱地条件下,不同玉米品种的根系及茎基部的 K⁺/Na⁺ 值均显著低于对照田($P<0.05$),这与张士超等^[22]对甜高粱、王殿等^[23]对杂交狼尾草的研究结果一致。这可能是因为盐碱胁迫时根系吸收 Na⁺ 积累到植株体内,降低了根和茎基部的 K⁺/Na⁺ 值,胞质中积累 Na⁺ 过多,会打破细胞内的离子稳态,进而影响植株正常的生理代谢。本研究还发现,在盐碱胁迫条件下,玉米茎中 K⁺/Na⁺ 值相对较高,根中 K⁺/Na⁺ 值相对较低,说明植株对 K⁺、Na⁺ 的吸收和运输具有选择性,其中茎具有贮存 K⁺ 的作用,茎通过离子分配运输平衡机制首先保证茎部器官维持较高的 K⁺/Na⁺ 值,根具有贮存 Na⁺ 的功能,以适应盐碱胁迫,从而降低盐害程度。这与王新英等^[24]对新疆杨、武俊英等^[25]对燕麦的研究结果均一致。本研究表明,盐碱胁迫条件下根、茎和茎基部维持较高 K⁺/Na⁺ 的品种(如 WY₂)耐盐性较强,这与 Rana 等^[26]、Tracey 等^[27]的结论相同,表明植物往往通过维持细胞内较高的 K⁺/Na⁺ 来提高其耐盐性,从而维持正常的生理代谢^[28]。

本研究中,不同玉米品种在盐碱地条件下的净光合速率(P_n)总体显著低于对照田($P<0.05$),可能是因为盐碱胁迫抑制了玉米的光合作用,这与冯国郡等^[14]的研究结果一致。本研究还发现,盐碱胁迫条件下部分玉米品种不同部位的 K⁺/Na⁺ 差异较大,且蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)等光合气体交换参数并不是均低于对照田,这表明盐胁迫后会引起离子平衡、气孔运动、光合作用等一系列生理反应的变化^[29],也说明仅用 K⁺/Na⁺ 和光合生理指标也许不能完全反映其在成熟期的真实耐盐性强弱,应结合成熟期其他指标对其耐盐性进行综合评价。

3.2 盐碱胁迫对玉米成熟期农艺性状及产量指标的影响

Huang 等^[30]研究表明,株高和生物量是植物体生长状况最直接的反映,可以作为直观、可靠评价耐盐性的证据。本研究结果显示,在盐碱胁迫条件下,所有供试玉米品种的株高、持绿指数等均呈明显下降趋势($P<0.05$),这与杨万勤等^[31]的研究结果一致。表明盐碱胁迫使光合系统受到损害,影响叶绿素的生物合成且加快了叶绿素的分解,使叶片变黄,损伤玉米植株体内的生理代谢,进而导致玉米正常生长发育受阻,使得其在盐碱条件下的生物量较低。这可能是因为不同基因型间玉米品种本身的耐盐特性存在显著差别,耐盐性较强的品种其光合系统受到的损害较弱,导致生长受抑制的程度低;反之,耐盐性弱的品种受抑程度增大。本研究中,盐碱胁迫时耐盐性不同的玉米品种产量会不同程度下降,这与彭云玲等^[32]的研究结果类似,可能与盐碱胁迫下质膜系统的破坏、渗透调节物质和保护性酶的积累及灌浆期营养胁迫等因素有关。

3.3 基于隶属函数法的不同玉米耐盐性综合评价

农艺性状(株高、持绿指数等)、生理指标(K^+ / Na^+ 和光合气体交换参数)及产量性状(生物量、籽粒产量、百粒质量、穗行数、行粒数等)等指标可以反映玉米成熟期的生长状况,不同玉米种质资源各指标的变化不同,对盐碱胁迫有不同的生理反应。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成熟期耐盐性进行综合评价,而且综合评价值(D 值)作为无量纲的系数,可以直接、准确、客观地反映耐盐性强弱。依据 D 值大小,10 份玉米品种的耐盐性强弱依次为 $WY_2 > 宁 3/1522 > A3/A18 > HoViY1 > A111-3/H242 > H237/A18 > 桂青贮 1 号 > A/A18 高 > 北 21/A58 > H237/1506$ 。

通过 20 项指标综合分析不同玉米品种成熟期的耐盐性,筛选出耐盐和敏盐的种质资源,可为玉米耐盐性生理机制研究和后期的耐盐育种、分子标记辅助选择(MAS)育种和抗逆高产研究提供可靠的科学依据和技术支撑。有研究表明,同一作物品种在不同的生长发育阶段表现出不同的耐盐能力,且耐盐机制不同^[33-34]。因此,对玉米耐盐性进行评价时不能仅局限在某一生育时期,需要结合不同生育时期及外部形态表现、生理生化指标和产量等多项指标进行综合评价,才能准确反映不同玉米品种的耐盐性强弱,进而为生产实践提供理论支撑。

[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.
Wei Y M. Several technical problems of 21st century sustainable agriculture [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 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.
Lin J. The research progress of soil salinization [J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 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.
Yang Z, Wang B S. Present status of saline soil resources and countermeasures for improvement and utilization in China [J]. Shandong Agricultural Sci, 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.
Fu Y, Gao S R, Wang Z H. Evaluation of salt tolerance of maize

- germplasm in seedling stage [J]. Journal of Maize Sciences, 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.
Lu H, Wang H Z. Governance is probably the use of research progress [J]. Modern Agriculture, 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.
Zhao X Q, Peng Y L, Li J Y, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance in 16 maize inbred lines [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 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.
Sun H H, Han Z X, Tan D F, et al. Comprehensive evaluation of physiological and biochemical indexes and drought resistance of new maize inbred lines during seedling stage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 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.
Zhang J, Wang Y F, Yang K J, et al. Corn bud salt tolerance and the screening of sensitive genotypes [J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(6): 55-64.
- [10] 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.
Hao D R, Cheng Y J, Xu C W, et al. Screening of maize germplasms for salt-tolerance and evaluation of population genetic structure [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(6): 1153-1160.
- [11] 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.
Fu Y, Gao S R, Yang K J, et al. Effects of salt stress on several physiological and biochemical indicators in seedling of salt-tolerant line and salt-sensitive line of maize (*Zea mays* L.) [J]. Plant Physiology Journal, 2011, 47(5): 459-462.
- [12] Messmer S T P, Stamp N, Ruta A. QTLs for early vigor of tropical maize [J]. Mol Breeding, 2010, 25: 91-103.
- [13] 邹 琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 161-162.
Zou Q. Plant physiology experiment guidance [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 161-162.
- [14] 冯国郡, 再吐尼古丽·库尔班, 朱 敏. 盐碱地甜高粱光合特性及农艺性状变化研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 166-172.
Feng G J, Zaituniguli · Kuerban, Zhu M. Photosynthetic and agronomic traits of sweet sorghum in saline-alkaline soil [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(3): 166-172.

- [15] 周玉乾,寇思荣,连晓荣. 甘肃敦煌绿洲区干旱胁迫下玉米抗旱性与灌浆期光合特性 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4):112-117.
Zhou Y Q, Kou S R, Lian X R. Drought resistance and photosynthetic characteristics of maize at grain-filling stage at Dunhuang Oasis, Gansu Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(4):112-117.
- [16] 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
Chen D M, Yu R P, Yang J S. Pickled wheat under the condition of salt resistance of subordinate function value method of evaluation [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3):368-374.
- [17] 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.
Li F X, Zhou Y F, Wang Y T, et al. Sorghum varieties germination alkali resistance screening and comprehensive appraisal [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(9):1762-1771.
- [18] Flowers T J. Improving crop salt tolerance [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55:307-319.
- [19] 杨晓英,章文华,王庆亚,等. 江苏野生大豆的耐盐性和离子在体内的分布及选择性运输 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(12):2237-2240.
Yang X Y, Zhang W H, Wang Q Y, et al. Jiangsu salt resistance of wild soybean and the distribution of ions in the body and selective transport [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(12):2237-2240.
- [20] 郑青松,刘兆普,刘友良,等. 盐和水胁迫对海蓬子、芦荟、向日葵幼苗生长及其离子吸收分配的效应 [J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2):16-20.
Zheng Q S, Liu Z P, Liu Y L, et al. Salt and water stress on the salicornia, aloe vera, sunflower seedling growth and the distribution of ion absorption effect [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 27(2):16-20.
- [21] Maathuis F J M, Amtmann A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ ratios [J]. Annals of Botany, 1999, 84:123-133.
- [22] 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.
Zhang S C, Yuan F, Guo J R, et al. Comprehensive evaluation on salt-tolerance of sorghum bicolor seedlings by subordinate function values analysis [J]. Plant Physiology Journal, 2015, 51(6):893-902.
- [23] 王殿,袁芳,王宝山,等. 能源植物杂交狼尾草对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(6):572-577.
Wang D, Yuan F, Wang B S, et al. Hybrid pennisetum energy plants in NaCl stress response and its salt tolerance threshold [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(6):572-577.
- [24] 王新英,史军辉,刘茂秀. NaCl 胁迫对胡杨和新疆杨幼苗体内 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 分布的影响 [J]. 中国沙漠, 2013, 33(1):126-132.
Wang X Y, Shi J H, Liu M X. Effect of NaCl stress on K^+ , Na^+ and Cl^- allocation in different organs of *Populus euphratica* and *Populus bolleana* lauche seedlings [J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(1):126-132.
- [25] 武俊英,刘景辉,李倩. 盐胁迫对燕麦幼苗生长、 K^+ 、 Na^+ 吸收和光合性能的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(2):100-105.
Wu J Y, Liu J H, Li Q. Effects of salt stress on oat seedling growth and selective absorption of K^+ and Na^+ and photosynthetic characters [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(2):100-105.
- [26] Rana M, Richard A. Screening methods for salinity: a case study with tetraploid wheat [J]. Plant and Soil, 2003, 253:201-218.
- [27] Tracey A C, Stewart B, Rmei C, et al. A root's ability to retain K^+ correlates with salt tolerance wheat [J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59:2697-2706.
- [28] Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu J K. Understanding and improving salt tolerance in plants [J]. Crop Science, 2005, 45:437-444.
- [29] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halo-phytes [J]. Annu Rev Plant Physiology, 1980, 31:149-190.
- [30] 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.
- [31] 杨万勤,王开运,宋光煜,等. 水分胁迫对燥红土和变形土上生长的玉米叶片几种酶活性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6):588-593.
Yang W Q, Wang K Y, Song G Y, et al. Effect water stress on activities of protective enzymes in leaves of maize grown in day-red soil and vertisol [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2003, 9(6):588-593.
- [32] 彭云玲,赵小强,任续伟,等. 开花期干旱胁迫对不同基因型玉米生理特性和产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3):9-14
Peng Y L, Zhao X Q, Ren X W, et al. Genotypic differences in response of physiological characteristics and grain yield of maize inbred lines to drought stress at flowing stages [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(3):9-14.
- [33] 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.
Qiu N W, Liu Q, Wang F D, et al. Long-term observation on salt tolerance of Chinese cabbage at different stages [J]. Plant Physiology Journal, 2015, 51(10):1597-1603.
- [34] 龚明,刘友良,丁念诚,等. 大麦不同生育期的耐盐性差异 [J]. 西北植物学报, 1994(1):1-7.
Gong M, Liu Y L, Ding N C, et al. The salt resistance of different development stages of the barley [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1994(1):1-7.