

高燕麦草苗期耐盐性鉴定及综合评价

阳曦^{1,2}, 张新全¹, 王云琦¹, 王赞¹, 张耿¹, 高共文^{2*}, 于遵波³

(1. 四川农业大学动物科技学院草业科学系, 四川雅安625014; 2. 中国农业科学院畜牧研究所, 北京100094; 3. 山西省农业科学院畜牧兽医研究所, 山西太原030032; 4. 中国兽医药品监察所, 北京100081)

摘要 在浓度分别为0.35%、0.45%、0.55%、0.65%、0.85%的NaCl胁迫下,对23份自俄罗斯引进的野生高燕麦草(*Arrhenatherum elatius* L.)种质材料进行了苗期耐盐性鉴定,测定在盐胁迫下存活率、株高、分蘖数、植株干重、质膜相对透性的变化,并对材料耐盐性强弱进行综合评价。结果表明:高燕麦草在浓度0.35%~0.65%的NaCl胁迫下表现出较好的耐盐性,属于中等耐盐牧草;各供试材料间耐盐性差异较大,材料ZXY-367综合评价值为0.9211,耐盐性最强;材料ZXY-45、ZXY-443综合评价值分别为0.5934、0.5629,耐盐性最差。

关键词 高燕麦草;耐盐性;NaCl胁迫;综合评价

中图分类号 Q946 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2006)23-6105-04

Salt Tolerance Appraisal and Comprehensive Evaluation of Wild *Arrhenatherum elatius* L. Seedling

YANG Xi et al (Department of Grassland Science, Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014)

Abstract The survival rate, plant height, tiller number, dry weight and electric conductivity were tested to determine the effects of NaCl stress at 0.35%, 0.45%, 0.55%, 0.65% and 0.85% on wild *Arrhenatherum elatius* L. seedling which were from Russia, respectively. The results showed that *Arrhenatherum elatius* L. was middle salt-tolerance forage that can resist the NaCl stress at 0.35%~0.65% and different test pieces beared different degrees of salt concentration. By contrast with the change, ZXY-367 had the strongest salt-tolerance in test pieces, ZXY-45 and ZXY-443 were the poor.

Key words *Arrhenatherum elatius* L.; Salt-tolerance; NaCl stress; Comprehensive evaluation

高燕麦草(*Arrhenatherum elatius* L.),又称大蟹钓、长青草,为燕麦草属多年生草本,原产欧洲和地中海一带,现被各国引种栽培,我国引入高燕麦草栽培种1种。高燕麦草具有再生速度快、再生草分蘖多、产量高的特点,刈割后调制干草,各种家畜均喜食,是一种高产优质,适合我国北方推广繁殖的优良牧草^[1,2]。高燕麦草喜温暖湿润气候,能耐夏季炎热,也较耐寒,在西北高寒山区越冬困难,在内蒙古锡林郭勒盟越冬率为24%,在北京和吉林公主岭能正常越冬;对土壤要求不严,适生于富含腐殖质的砂质粘土或粘土及干涸的沼泽地。

在我国北方地区,大部分土地的土壤含盐量偏高,且以硫酸盐和氯化物硫酸盐型土壤为主。大量研究表明,筛选利用耐盐植物种和品种的生物措施是改良盐碱地最经济有效的方法之一^[3,4]。目前国外对高燕麦草的研究已经深入到分子水平,有资料显示其耐盐碱能力中等,而国内对高燕麦草的研究比较少,且没有抗逆性相关的具体研究报告,因此对高燕麦草耐盐性的研究具有较大的实际意义^[5,6]。笔者对自俄罗斯引进的23份野生高燕麦草进行苗期耐盐试验,综合评价其耐盐水平的高低,筛选耐盐能力较强的种质材料,以丰富我国耐盐草种资源,为高燕麦草耐盐优良品种的选育奠定实践与理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料 由中国农业科学院畜牧研究所牧草资源研究室提供23份自俄罗斯引进的野生高燕麦草种质材料(表1)。

1.2 方法 依据全国畜牧兽医总站《牧草耐盐性鉴定方法》,选择20~30粒供试材料种子均匀撒播在已装好大田土壤的花盆中(土壤盐分组成及含量: HCO_3^- 0.46 cmol/kg; Cl^- 0.44 cmol/kg; SO_4^{2-} 12.04 cmol/kg; K^+ 2.59 cmol/kg; Na^+ 6.52

表1 供试材料编号及来源

材料编号	采集地点	材料编号	采集地点
ZXY-13	捷克	ZXY-238	德国
ZXY-31	捷克	ZXY-269	德国
ZXY-45	捷克	ZXY-319	波兰
ZXY-60	南斯拉夫	ZXY-337	波兰
ZXY-79	南斯拉夫	ZXY-367	保加利亚
ZXY-95	南斯拉夫	ZXY-387	罗马尼亚
ZXY-113	匈牙利	ZXY-416	乌克兰
ZXY-133	匈牙利	ZXY-443	乌克兰
ZXY-148	匈牙利	ZXY-462	南斯拉夫
ZXY-165	匈牙利	ZXY-949	匈牙利
ZXY-184	匈牙利	ZXY-991	匈牙利
ZXY-200	匈牙利		

cmol/kg; Ca^{2+} 3.02 cmol/kg; Mg^{2+} 0.8 cmol/kg;全盐量1.57 g/kg),于温室中进行自然光照培育,待出苗后间苗,在幼苗长到3叶之前定苗,每盆保留生长、分布均匀的10棵苗,待苗生长到3~4叶期时加盐处理。经检测,试验所用土壤为硫酸盐型土壤,全盐含量大于0.1%,因此按每盆土壤干重的0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.7%计算好所需加入的化学纯NaCl量,溶解到一定量的自来水中配制盐溶液,使盐处理后的土壤实际盐浓度分别为0.35%、0.45%、0.55%、0.65%、0.85%,每个处理设6次重复,并加入等量自来水作为对照。25 d后测定耐盐指标,30 d结束试验。

1.3 指标测定及综合评价方法 根据全国畜牧兽医总站《牧草种质资源抗性鉴定评价技术规范(试行)》,测定幼苗的存活率、株高、分蘖数,并转换为相对值,以盐处理下植株干重与对照植株干重的比值作为生长胁迫指数,采用电导法测定质膜相对透性。

采用逼近理想解排序法(TOPSIS法)对所得耐盐数据进行综合评价。首先对各耐盐指标下不同盐浓度的测定数据取均值,构成评价矩阵,利用式(1)、(2)对待评价数据进行同趋势化与无量纲化;然后进行主成分分析,取累计贡献率大于85%的前N个主成分,将其贡献率 A_i 与各耐盐指标的特

基金项目 国际科技合作计划重点项目(2003DFBA0001)资助。

作者简介 阳曦(1980-),男,重庆开县人,硕士研究生,研究方向:牧草及草坪草育种与种质资源。*通讯作者,E-mail:gaohongwen@263.net。

收稿日期 2006-07-31

征值 L_j 加权, 得到各耐盐指标的权重系数 W_j 。 $x_{ij \max}$ 、 \bar{x}_j 分别表示 j 个指标下观测值的最大值和均值。

$$x_{ij}^* = x_{ij \max} - x_{ij} \quad (1)$$

$$X_{ij} = x_{ij}^* / \bar{x}_j \quad (2)$$

用 W_j 对标准化后的评价指标进行加权, 由各指标最优值与最劣值分别构成正理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- 。由式(3)、(4)、(5)分别计算供试材料与 Z^+ 、 Z^- 的加权欧氏距离 D_i^+ 、 D_i^- , 由式(6)计算评价对象与 Z^+ 的相对接近度 C_i , C_i 值越大, 说明越接近 Z^+ , 因此根据 C_i 的大小可以对供试材料的耐盐性强弱进行排序, 其中 z_{ij} 为加权后的耐盐评价指标数据^[7,8]。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^+)^2} \quad (3)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^*)^2} \quad (4)$$

$$z_j^* = 2z_j^- - z_j^+ \quad (5)$$

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (6)$$

1.4 数据处理 利用 SAS 9.0 统计软件进行数据分析, Excel 制作相关的图表。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对高燕麦草存活率的影响 从表2可以看出, 盐胁迫对高燕麦草成活率的影响主要集中在 0.55% ~ 0.85% 盐浓度下, 方差分析结果表明, 不同材料间的存活率差异显著 ($P < 0.05$)。经 28 d 的盐胁迫后, 所有材料在 0.35%、0.45% 盐浓度下均无死亡现象, 在 0.55% ~ 0.85% 盐浓度下, 存活率开始降低, 并在 0.85% 处急剧下降。23 份供试材料在 0.55%、0.65% 盐浓度下的存活率均在 50% 以上, 材料 ZXY-31、ZXY-416、ZXY-443、ZXY-991 在 0.55% 盐浓度下存活率仍达到 100%, 表现出相对较强的耐盐性; 而在 0.85%

表2 不同盐浓度下高燕麦草的存活率 %

材料编号	NaCl 浓度					
	CK	0.35	0.45	0.55	0.65	0.85
ZXY-13	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	93.33 ab	0.00 h
ZXY-31	100.00	100.00	100.00	100.00 a	93.33 ab	20.00 cd
ZXY-45	100.00	100.00	100.00	93.33 abc	73.33 fgh	13.33 df
ZXY-60	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	76.67 efg	6.67 fgh
ZXY-79	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	73.33 fgh	3.33 gh
ZXY-95	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	70.00 gh	16.67 cde
ZXY-113	100.00	100.00	100.00	86.67 cde	46.67 j	13.33 df
ZXY-133	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	76.67 efg	10.00 efg
ZXY-148	100.00	100.00	100.00	90.00 bcd	76.67 efg	3.33 gh
ZXY-165	100.00	100.00	100.00	90.00 bcd	76.67 efg	16.67 cde
ZXY-184	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	90.00 abc	23.33 c
ZXY-200	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	83.33 cde	0.00 h
ZXY-238	100.00	100.00	100.00	93.33 abc	90.00 abc	16.67 cde
ZXY-269	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	96.67 a	20.00 cd
ZXY-319	100.00	100.00	100.00	83.33 de	63.33 h	0.00 h
ZXY-337	100.00	100.00	100.00	93.33 abc	83.33 cde	13.33 df
ZXY-367	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	93.33 ab	6.67 fgh
ZXY-387	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	86.67 bcd	16.67 cde
ZXY-416	100.00	100.00	100.00	100.00 a	76.67 efg	33.33 b
ZXY-443	100.00	100.00	100.00	100.00 a	66.67 h	16.67 cde
ZXY-462	100.00	100.00	100.00	96.67 ab	80.00 def	46.67 a
ZXY-949	100.00	100.00	100.00	80.00 e	66.67 h	10.00 efg
ZXY-991	100.00	100.00	100.00	100.00 a	73.33 fgh	0.00 h

注: 表中数据纵向比较, 标有相同字母的表示差异不显著, 标有不同字母的表示差异显著 ($P < 0.05$), LSD 检测。下同。

盐浓度下所有材料的存活率都在 50% 以下, 其中材料 ZXY-13、ZXY-200、ZXY-319、ZXY-991 存活率为 0, 耐盐性相对较弱。由此可见, 供试高燕麦草种质材料对浓度低于 0.55% 的盐胁迫不敏感, 该浓度范围内大部分材料都能正常存活, 在 0.85% 盐浓度下所有材料均难以存活。

2.2 盐胁迫对高燕麦草相对株高的影响 对盐胁迫后高燕麦草的相对株高进行方差分析, 结果表明不同材料间相对株高差异显著(表3), 说明各个供试材料的耐盐能力差异较大。盐胁迫下高燕麦草相对株高的变化趋势较其他耐盐指标复杂: 在 0.35% ~ 0.55% 盐浓度范围内, 大多数材料的相对株高都随着盐浓度的升高而逐渐降低, 另有部分材料(如 ZXY-184、ZXY-337、ZXY-387 等)的相对株高在 0.55% 盐浓度下出现升高趋势; 在 0.65% ~ 0.85% 盐浓度范围内, 所有材料的相对株高急剧下降。这与存活率测定结果相一致, 0.35% ~ 0.55% 盐浓度对高燕麦草的株高有抑制作用, 但是不明显, 由于在 0.65% ~ 0.85% 盐浓度下所有材料均难以存活, 从而导致株高快速下降。其中, 材料 ZXY-165、ZXY-184、ZXY-337、ZXY-387 在盐胁迫下最高相对株高分别达到 101.5、101.0、100.8、104.7、101.8, 这是否说明个别高燕麦草种质材料在适宜的盐浓度下株高反而得到促进, 还需要进一步研究。

表3 不同盐浓度下高燕麦草的相对株高

材料编号	NaCl 浓度 %					
	CK	0.35	0.45	0.55	0.65	0.85
ZXY-13	100	94.4 bcde	94.7 abcd	82.7 ef	79.4 de	0.0 k
ZXY-31	100	99.4 abc	92.9 bcde	90.9 c	80.7 de	17.0 d
ZXY-45	100	97.7 abcd	81.5 gh	74.1 j	56.8 kl	9.9 h
ZXY-60	100	92.4 bcde	89.3 cdefg	83.4 e	66.9 h	5.8 h
ZXY-79	100	90.5 de	84.5 fgh	80.6 gh	58.1 k	2.4 j
ZXY-95	100	94.8 bcde	95.1 abc	86.9 d	64.3 ij	15.5 de
ZXY-113	100	97.3 abcd	95.0 abc	79.2 h	42.5 m	12.0 g
ZXY-133	100	93.3 bcde	90.6 cdef	80.5 gh	65.4 ijk	6.4 h
ZXY-148	100	92.0 cde	92.7 bcdef	79.6 h	69.1 gh	3.0 j
ZXY-165	100	104.4 a	101.5 a	83.8 e	78.1 e	16.8 d
ZXY-184	100	92.7 bcde	96.4 abc	101.0 a	89.4 b	22.4 c
ZXY-200	100	98.7 abcd	94.8 abc	94.9 b	79.4 de	0.0 k
ZXY-238	100	95.0 bcde	93.7 abcd	83.2 ef	78.4 e	13.7 f
ZXY-269	100	98.6 abcd	92.8 bcde	88.2 d	82.3 d	17.0 d
ZXY-319	100	99.3 abc	94.3 abcd	78.1 i	54.3 l	0.0 k
ZXY-337	100	100.6 ab	99.3 ab	100.8 a	85.7 c	14.2 ef
ZXY-367	100	93.7 bcde	85.4 efg	96.3 b	97.7 a	6.5 h
ZXY-387	100	98.8 abc	94.9 abc	101.8 a	91.8 b	16.6 d
ZXY-416	100	97.5 abcd	86.5 defgh	95.9 b	74.0 f	28.3 b
ZXY-443	100	87.5 ef	79.9 h	81.7 fg	55.8 kl	13.6 f
ZXY-462	100	88.6 ef	76.1 ij	86.8 d	70.7 g	41.1 a
ZXY-949	100	87.0 ef	79.2 h	67.5 k	45.1 m	7.0 h
ZXY-991	100	82.2 f	68.1 j	78.8 li	61.4 j	0.0 k

2.3 盐胁迫对高燕麦草相对分蘖数的影响 从表4可以看出: 高燕麦草种质材料的相对分蘖数随着盐浓度的升高而迅速下降, 说明盐胁迫对高燕麦草的分蘖有明显抑制作用, 方差分析表明各个供试材料间的相对分蘖数差异显著。在盐胁迫下相对分蘖数斜率变化最大的材料 ZXY-443 的变化范围为 97 ~ 2, 下降 97.94%, ZXY-165 与 ZXY-387 的变化范围为 95 ~ 2, 下降 97.89%, 受害最为明显; 材料 ZXY-462、ZXY-949、ZXY-991 相对分蘖数的变化斜率最小, 其相对分蘖数的变化范围分别为 56 ~ 5、55 ~ 1、45 ~ 0, 分蘖数相对较少, 因此耐盐性较弱; 各供试材料的相对分蘖数变化斜率的水平各不相同。

同,耐盐能力存在较大的差异。

表4 不同盐浓度下高燕麦草的相对分蘖数

材料编号	NaCl 浓度 %					
	CK	0.35	0.45	0.55	0.65	0.85
ZXY-13	100	77 de	58f	39 h	17j	0 d
ZXY-31	100	66 h	52 g	22 n	12l	1 cd
ZXY-45	100	75 e	50 gh	29l	14 k	2 bc
ZXY-60	100	85 b	74 a	32 k	22 h	1 cd
ZXY-79	100	75 e	59 ef	28lm	21i	0 d
ZXY-95	100	71fg	46 h	27 m	11l	2 bc
ZXY-113	100	68 gh	59 ef	34j	16j	1 cd
ZXY-133	100	77 de	45j	31 k	23 gh	1 cd
ZXY-148	100	80 cd	57f	39 h	31 d	0 d
ZXY-165	100	95 a	63 cde	49 d	29 e	2 bc
ZXY-184	100	67 h	51 g	38 h	23 gh	3 b
ZXY-200	100	75 e	61 def	46f	31 d	0 d
ZXY-238	100	82 bc	68 b	46f	44 a	2 bc
ZXY-269	100	85 b	77 a	58 b	45 a	2 bc
ZXY-319	100	85 b	65 bcd	37g	22 h	0 d
ZXY-337	100	79 cd	68 b	48 de	29 e	2 bc
ZXY-367	100	74 ef	68 b	43g	34 c	0 d
ZXY-387	100	95 a	75 a	63a	36 b	2 bc
ZXY-416	100	74 ef	66 bc	52c	25f	3 b
ZXY-443	100	97 a	74 a	47ef	23 gh	2 bc
ZXY-462	100	56j	36j	29l	21i	5 a
ZXY-949	100	55j	33 k	28lm	24fg	1 cd
ZXY-991	100	45j	38j	32 k	22 h	0 d

2.4 盐胁迫对高燕麦草生长胁迫指数的影响 从表5 可以看出,随着盐浓度的升高,高燕麦草种质材料的干物质重量逐渐降低,不同材料间生长胁迫指数的差异达到显著水平。在0.35%盐浓度下所有材料的生长胁迫指数均大于0.5,材料ZXY-45 达到了0.95,ZXY-337、ZXY-443 都达到了0.92;在0.55%~0.85%盐浓度下,所有材料的生长胁迫指数均明显下降,在0.85%盐浓度下,除死亡的材料ZXY-13、ZXY-200、ZXY-319、ZXY-991 生长胁迫指数为0 外,材料ZXY-79、ZXY-148、ZXY-367、ZXY-949 的生长胁迫指数最低,只有0.01;指数最高的材料ZXY-462 也只有0.09,同相对株高的测定结果一样,在0.85%盐浓度下23 份供试高燕麦草种质材料基本不能存活。其中,材料ZXY-238 和ZXY-443 的生长胁迫指数变化曲线的斜率较小,表现出较强的耐盐性。

2.5 盐胁迫对高燕麦草质膜相对透性的影响 从表6 可以看出,高燕麦草种质材料的质膜相对透性随着盐浓度的增加呈上升趋势,不同材料在相同盐浓度下的质膜相对透性差异达到显著水平。在0.35%~0.45%盐浓度下,各供试材料质膜相对透性的升高趋势不明显,甚至有部分材料如ZXY-60、ZXY-319、ZXY-387 等出现质膜相对透性下降的现象,说明在该盐浓度范围内,高燕麦草的质膜系统受盐害影响较轻。在0.55%~0.85%盐浓度下,所有材料质膜相对透性开始迅速升高,从各个材料变化量上看,ZXY-443 从90.41 升高到96.49,ZXY-113 从49.64 升高到95.16,ZXY-45 从65.57 升高到92.74,受害程度最严重;材料ZXY-95 的质膜相对透性变化范围为26.5~73.44,ZXY-367 的变化范围为23.14~70.47,受害程度相对较轻。

2.6 高燕麦草苗期耐盐性综合评价 对各耐盐指标下不同盐浓度的数据取均值,按照式(1)、(2)进行数据的标准化。利用SAS 9.0 过程PRINCOMP 对表7 数据进行主成分

表5 不同盐浓度下高燕麦草的生长胁迫指数

材料编号	NaCl 浓度 %					
	CK	0.35	0.45	0.55	0.65	0.85
ZXY-13	1.00	0.81 ef	0.66 de	0.36 ij	0.30 hij	0.00 f
ZXY-31	1.00	0.77 fgh	0.52 h	0.38 gh	0.37 cde	0.05 b
ZXY-45	1.00	0.95 b	0.62 ef	0.35 ij	0.25 kl	0.03 cd
ZXY-60	1.00	0.81 ef	0.63 def	0.36 ij	0.33 fgh	0.02 de
ZXY-79	1.00	0.88 cd	0.62 ef	0.43 def	0.34 efg	0.01 ef
ZXY-95	1.00	0.84 de	0.50 ij	0.36 ij	0.27 jkl	0.05 b
ZXY-113	1.00	0.70 i	0.49 ij	0.29 k	0.13 m	0.03 cd
ZXY-133	1.00	0.74 h	0.52 h	0.34 j	0.32 gh	0.02 de
ZXY-148	1.00	0.75 gh	0.57 g	0.38 gh	0.28 jk	0.01 ef
ZXY-165	1.00	0.86 d	0.56 gh	0.37 hij	0.27 jkl	0.03 cd
ZXY-184	1.00	0.87 d	0.65 de	0.46 d	0.35 defg	0.05 b
ZXY-200	1.00	0.78 fgh	0.62 ef	0.50 c	0.38 cd	0.00 f
ZXY-238	1.00	0.88 cd	0.83 b	0.52 bc	0.42 ab	0.04 bc
ZXY-269	1.00	0.87 d	0.75 c	0.54 b	0.43 a	0.04 bc
ZXY-319	1.00	0.79 fg	0.67 d	0.37 hij	0.16 m	0.00 f
ZXY-337	1.00	0.92 bc	0.74 c	0.51 bc	0.39 bc	0.03 cd
ZXY-367	1.00	0.78 fgh	0.65 de	0.41 efg	0.36 cdef	0.01 ef
ZXY-387	1.00	0.84 de	0.60 fg	0.44 de	0.38 cd	0.04 bc
ZXY-416	1.00	0.79 fg	0.57 g	0.45 d	0.25 kl	0.05 b
ZXY-443	1.00	0.92 a	0.85 a	0.60 a	0.29 ij	0.03 cd
ZXY-462	1.00	0.54 k	0.39 k	0.40 fgh	0.30 hij	0.09 a
ZXY-949	1.00	0.62 j	0.46 j	0.23 l	0.14 m	0.01 ef
ZXY-991	1.00	0.51 k	0.34 l	0.41 efg	0.24 l	0.00 f

表6 不同盐浓度下高燕麦草的质膜相对透性 %

材料编号	NaCl 浓度					
	CK	0.35	0.45	0.55	0.65	0.85
ZXY-13	10.57 hi	13.30j	39.71 a	59.46 c	79.98 c	89.61 f
ZXY-31	10.49 hi	20.72 d	21.93 gh	55.98 cd	55.11 fgh	95.41 abcd
ZXY-45	21.54 e	28.46 c	22.96 fg	65.57 b	83.65 bc	92.74 def
ZXY-60	33.61 a	18.25 ef	39.88 a	21.34 m	62.31 def	83.96 g
ZXY-79	17.77 g	15.31 h	27.17 d	27.80 ijkl	51.27 gh	93.23 cdef
ZXY-95	12.59 h	15.20 h	17.41 k	26.50 jkl	30.84 lm	73.44 ij
ZXY-113	29.59 c	16.39 gh	25.74 de	49.64 e	91.04 ab	95.16 bcde
ZXY-133	19.66 f	21.69 d	23.86 f	34.19 gh	66.86 d	80.28 gh
ZXY-148	19.11 fg	16.97 efg	17.30 k	44.55 f	48.09 hij	83.44 g
ZXY-165	9.68 ij	17.00 efg	27.28 d	27.81 ijkl	27.10 m	91.44 ef
ZXY-184	9.48 ij	20.77 d	14.80 lm	30.02 hij	43.13 ijk	97.07 abcd
ZXY-200	5.28 k	7.03 m	21.28 h	28.97 ijk	40.83 jk	94.10 cdef
ZXY-238	8.20 j	18.37 e	25.92 de	51.33 de	32.21 lm	79.09 gh
ZXY-269	10.66 hi	8.96 l	13.21 m	42.89 f	44.49 ijk	95.75 abcde
ZXY-319	18.89 fg	7.58 lm	21.21 hi	13.11 n	64.65 de	100.17 a
ZXY-337	9.94 ij	11.24 k	19.45 j	46.47 ef	58.07 efg	99.30 ab
ZXY-367	28.98 c	14.51 ij	24.38 ef	23.14 lm	38.48 kl	70.47 j
ZXY-387	31.73 b	34.98 b	22.90 fgh	8.62 n	60.69 def	94.18 cdef
ZXY-416	13.97 h	15.46 gh	17.72 k	31.69 gh	58.00 efg	97.48 abcd
ZXY-443	12.91 h	16.61 fgh	16.31 kl	90.41 a	96.12 a	96.49 abcd
ZXY-462	25.19 d	14.64 ij	24.44 ef	35.71 g	37.75 kl	77.16 h
ZXY-949	18.45 fg	21.18 d	29.03 c	36.13 g	60.61 def	62.93 k
ZXY-991	28.44 c	38.45 a	35.87 b	24.10 klm	64.67 de	97.82 abc

分析,取累计贡献率大于85%的前3 个主成分,其贡献率 $A_1 = (0.52768, 0.2382, 0.15053)$,各耐盐指标在前3 个主成分中的特征值分别为 $L_1 = (0.729477, 0.887187, 0.749564, 0.809982, 0.318175)$, $L_2 = (0.301959, 0.263092, -0.442842, -0.460266, 0.789068)$, $L_3 = (-0.571439, -0.087732, 0.410496, 0.034963, 0.498701)$,将 A_1 与 $L_1 = (L_1, L_2, L_3)$ 相乘,可得到存活率、相对株高、相对分蘖数、生长胁迫指数、质膜相对透性的权重系数 $W_j = (0.1860, 0.2596, 0.1764, 0.1620, 0.2161)$,并对标准化后的耐盐指标数据进行加权(表7)。

表7 高燕麦草耐盐综合评价指标加权结果

材料编号	存活率	相对株高	相对分蘖数	生长胁迫指数	质膜相对透性
ZXY-13	0.187 7	0.258 6	0.168 0	0.160 2	0.080 5
ZXY-31	0.199 0	0.280 5	0.135 4	0.157 7	0.158 7
ZXY-45	0.182 9	0.235 7	0.149 5	0.166 4	0.053 6
ZXY-60	0.182 9	0.248 8	0.188 7	0.161 5	0.214 3
ZXY-79	0.179 7	0.232 8	0.161 4	0.171 6	0.240 4
ZXY-95	0.184 5	0.262 7	0.137 6	0.151 7	0.362 5
ZXY-113	0.166 9	0.240 1	0.156 6	0.122 6	0.090 2
ZXY-133	0.184 5	0.247 6	0.156 0	0.146 4	0.211 6
ZXY-148	0.178 1	0.247 7	0.182 3	0.149 8	0.250 9
ZXY-165	0.184 5	0.283 2	0.209 7	0.157 2	0.297 8
ZXY-184	0.197 4	0.295 9	0.160 6	0.180 0	0.261 7
ZXY-200	0.182 9	0.270 9	0.188 1	0.172 3	0.294 0
ZXY-238	0.192 5	0.268 1	0.213 3	0.202 7	0.259 1
ZXY-269	0.199 0	0.279 0	0.235 7	0.197 8	0.262 9
ZXY-319	0.166 9	0.240 1	0.183 6	0.150 7	0.259 5
ZXY-337	0.187 7	0.295 1	0.199 5	0.195 8	0.193 5
ZXY-367	0.190 9	0.279 5	0.192 8	0.166 6	0.344 5
ZXY-387	0.192 5	0.297 5	0.239 5	0.172 7	0.224 7
ZXY-416	0.197 4	0.281 5	0.193 9	0.158 9	0.227 1
ZXY-443	0.184 5	0.234 6	0.214 9	0.202 7	0.000 0
ZXY-462	0.203 8	0.267 5	0.129 6	0.129 9	0.300 0
ZXY-949	0.171 7	0.210 5	0.124 5	0.110 3	0.252 0
ZXY-991	0.179 7	0.213 9	0.120 8	0.113 2	0.130 8

由各项指标的最优值与最劣值分别构成正理想解 Z^+ = (0.203 8, 0.297 5, 0.239 5, 0.202 7, 0.362 5) 和负理想解 Z^- = (0.166 9, 0.210 5, 0.120 8, 0.110 3, 0), 根据式(3)、(4)、(5) 分别计算各供试材料与 Z^+ 、 Z^- 的加权欧氏距离 D_1^+ 、 D_1^- , 由式(6) 计算各供试材料与 Z^+ 的相对接近度 C_i , 根据 C_i 值的大小可得到 23 份高燕麦草种质材料耐盐性强弱的排序(表8)。

表8 23 份高燕麦草种质材料耐盐性排序

材料编号	D_1^+	D_1^-	C_i	排序
ZXY-367	0.065 5	0.765 7	0.921 1	1
ZXY-165	0.087 9	0.725 8	0.892 0	2
ZXY-200	0.097 0	0.716 8	0.880 8	3
ZXY-269	0.101 6	0.712 0	0.875 1	4
ZXY-95	0.120 7	0.764 3	0.863 7	5
ZXY-238	0.111 3	0.699 9	0.862 8	6
ZXY-184	0.130 1	0.689 4	0.841 2	7
ZXY-387	0.141 5	0.677 7	0.827 3	8
ZXY-462	0.149 0	0.702 7	0.825 1	9
ZXY-319	0.145 2	0.672 6	0.822 4	10
ZXY-148	0.147 2	0.666 2	0.819 1	11
ZXY-416	0.150 4	0.658 6	0.814 1	12
ZXY-79	0.163 6	0.653 3	0.799 8	13
ZXY-60	0.170 4	0.637 7	0.789 1	14
ZXY-337	0.174 6	0.642 2	0.786 2	15
ZXY-133	0.189 1	0.623 0	0.767 1	16
ZXY-949	0.206 4	0.640 6	0.756 3	17
ZXY-31	0.233 9	0.581 7	0.713 2	18
ZXY-991	0.288 7	0.526 4	0.645 8	19
ZXY-13	0.297 0	0.515 3	0.634 4	20
ZXY-113	0.303 4	0.504 7	0.624 5	21
ZXY-45	0.330 3	0.481 9	0.593 4	22
ZXY-443	0.369 2	0.475 5	0.562 9	23

3 小结与讨论

(1) 对盐胁迫下 23 份野生高燕麦草种质材料的幼苗存活率、相对株高、相对分蘖数、生长胁迫指数、质膜相对透性

进行了研究, 结果表明: 供试高燕麦草属于中等耐盐牧草, 这与陈宝书等的研究结果一致。在浓度 0.35%、0.45% 的 NaCl 胁迫下, 所有供试材料均能正常存活, 较少出现叶片枯黄的现象; 在浓度 0.55%、0.65% NaCl 胁迫下, 有 19 份材料存活率在 70% 以上, 株高、植株干重下降逐渐明显, 分蘖数与质膜相对透性受影响较大; 在浓度 0.85% NaCl 胁迫下, 所有材料基本上不能存活。

(2) 利用 TOPSIS 法对供试材料的耐盐能力进行综合评价, 可以将 23 份材料大致分为 5 类: 材料 ZXY-367 综合评价值最高, 达到 0.921 1, 耐盐性最强; 材料 ZXY-165、ZXY-200、ZXY-269、ZXY-95、ZXY-238、ZXY-184、ZXY-387、ZXY-462、ZXY-319、ZXY-148、ZXY-416 的综合评价值在 0.8~0.9, 属于耐盐性较好的材料; 材料 ZXY-79、ZXY-60、ZXY-337、ZXY-133、ZXY-949、ZXY-31 综合评价值在 0.7~0.8, 属于耐盐性中等的材料; 材料 ZXY-991、ZXY-13、ZXY-133 综合评价值在 0.6~0.7, 属于耐盐性较弱的材料; 材料 ZXY-45、ZXY-443 综合评价值分别为 0.593 4、0.562 9, 耐盐性最差。其中材料 ZXY-200 虽然在浓度 0.85% 的 NaCl 胁迫下全部死亡, 但是在浓度 0.35%~0.65% NaCl 下各项耐盐指标测定值均处于较高水平, 所以在综合评价中得分较高, 这可能是该材料在适宜盐浓度下具有较强的耐盐性所造成的; 耐盐性最差的材料 ZXY-45 与 ZXY-443 虽然存活率较高, 但是在其他耐盐指标测定中数值较低, 受盐害影响较大, 导致综合评价排名最后。

(3) 植物的抗逆性是植物在长期的生态适应过程中形成的结果, 并随着生长发育进程与环境条件而变化, 因此, 不同种甚至是同一种不同生态型植物之间抗逆性也存在很大的差异^[9,10]。该研究中来自 8 个采集地点同一个种的 23 份野生高燕麦草种质材料在 NaCl 胁迫下表型因子、生理因子方面都存在不同程度的差异, 表现出不同的耐盐性, 这种种内耐盐性上的差别为高燕麦草在盐渍化地区的开发利用及引种、选育等工作提供了理论依据。

参考文献

- [1] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物 M. 北京: 中国农业出版社, 2002: 32-33.
- [2] 陈宝书, 张景雨, 丁升. 高燕麦草生育特性和生物量的研究 J. 青海草业, 1995, 4(1): 1-12.
- [3] 刘虎俊, 郭有祯, 王继和, 等. 二十八个冷季型草坪草品种的耐盐性比较 J. 草业学报, 2001, 10(3): 52-59.
- [4] 时津霞, 乔永利, 杨庆文, 等. 以色列野生二粒小麦 (*Triticum dicoccoides*) 耐盐性鉴定 J. 植物遗传资源学报, 2004, 5(4): 369-373.
- [5] MITCHELL C C, PARKINSONS E, BAKER T J, et al. G banding and localization of 18S5.8S26SrDNA in tall oatgrass species [J]. Crop Science, 2003, 43(1): 32-36.
- [6] PEIT C, THOMPSON J D. Phenotypic selection and population differentiation in relation to habitat heterogeneity in *Arhenatherum elatius* (Poaceae) [J]. Journal of Ecology, 1998, 86(5): 829-840.
- [7] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进 J. 数学的实践与认识, 2002, 32(4): 572-575.
- [8] 门宝辉, 梁川. TOPSIS 法在农业综合生产力评价中的应用 J. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 159-161.
- [9] 易津, 王学敏, 谷安琳, 等. 驼绒藜属牧草种苗耐盐性评价及生理基础研究 J. 草地学报, 2003, 11(2): 110-116.
- [10] 侯建华, 云锦凤, 张东晖. 羊草与灰色赖草及其杂交种的耐盐生理特性比较 J. 草业学报, 2005, 14(1): 73-77.