

8个饲用燕麦品种萌发期耐盐性综合评价

斯日古楞,张玉霞,马群,邓丽媛,董航源

(内蒙古民族大学 农学院,内蒙古 通辽 028001)

摘要:为探究不同饲用燕麦品种间的耐盐性强弱,以8个饲用燕麦品种为试验材料,以蒸馏水为对照(CK)、设25、50及75 mmol/L 碳酸氢钠(NaHCO_3)盐胁迫处理,测定各处理燕麦的发芽率、发芽势、发芽指数等指标,分析不同浓度的盐胁迫对燕麦种子萌发的影响。以鉴定指标相对值作为耐盐性评价指标,在主成分分析的基础上,构建供试燕麦品种耐盐性评价指标体系,并结合加权隶属函数法综合评价各燕麦品种的耐盐性能。结果表明,随着盐浓度的增加供试品种的发芽率、种子活力都存在下降趋势,其中不同燕麦品种在50 mmol/L盐胁迫下相对发芽率存在显著差异;25 mmol/L浓度下相对活力指数均显著低于CK($P < 0.05$)。利用主成分分析将6项评价指标转换为2个综合指标(Z1、Z2),构建出不同燕麦品种萌发期耐盐性评价体系。在Z1、Z2权重的基础上,结合加权隶属函数法评价出供试材料种子萌发期耐盐性强弱为甜燕1号>牧德乐>贝勒>燕王>莫妮卡>枪手>骏马>梦龙。

关键词:饲用燕麦;碱性盐胁迫;主成分分析;隶属函数

中图分类号:S512.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)06-0118-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2020.06.018

土地盐碱化是指土壤中可溶性盐类浓度过高,从而使土壤的物理性质发生改变的现象,如:土壤通气性变差、容重增高、土壤中好气性微生物活性变差等。土地盐碱化是世界性的难题,给农业生产带来巨大的损失^[1]。而盐渍对植物的伤害主要表现在破坏细胞膜系统,使细胞内离子失去平衡,从而影响植物的生长和发育^[2-4]。在牧草种植过程中也会遇到同样的问题,尤其在科尔沁地区,盐碱地以苏打碱土为主,面积有130 912.5 hm²,占草甸碱土面积的94.4%^[5]。随着本地区畜牧业的发展,对饲草的产量及种类也有了更高的要求,因此筛选出适宜本地区种植的耐盐性较强的饲草品种就显得尤为重要。

燕麦(*Avena sativa*),又称皮燕麦,禾本科燕麦属植物,因有耐寒、耐瘠薄、耐盐碱、产草量高等优良特

性,是改良盐碱地的先锋植物,也是科尔沁地区主要种植的饲草^[6-10]。研究表明,燕麦具有一定的耐盐特性,对不同种类的盐胁迫响应存在差异^[11-14]。植物对碱性盐(NaCO_3 、 NaHCO_3)胁迫的敏感度要远高于中性盐(NaCl 、 Na_2SO_4)胁迫^[15],而科尔沁地区盐碱地的主要构成为苏打碱土,所以本试验用 NaHCO_3 模拟盐胁迫对饲用燕麦种子萌发的影响,研究不同盐浓度对种子萌发6项指标的影响,在主成分分析的基础上结合隶属函数综合方法对8个不同饲用燕麦品种的耐盐性强弱进行排序,为推广种植适宜本地区的燕麦品种提供科学依据,也为选育耐盐性的新品种提供基础材料。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料为贝勒、梦龙、枪手、莫妮卡、牧德乐、骏马、甜燕1号和燕王等(表1)。

1.2 试验设计

选取大小均匀一致、籽粒饱满、无病虫害的燕麦种子备用。以蒸馏水为对照(CK),每个品种设 NaHCO_3 25、50和75 mmol/L胁迫浓度,每个浓度3次重复,将

收稿日期:2020-06-24; 修回日期:2020-07-17

基金项目:内蒙古自然科学基金(2019MS03075);内蒙古民族大学科学自然科学研究一般项目(NMDYB19047)

作者简介:斯日古楞(1984-),女,蒙古族,内蒙古通辽市人,讲师,博士,主要从事牧草育种研究。

E-mail:sirinmg@163.com

表 1 饲用燕麦材料的来源及产地

Table 1 The origin and producing area of forage oatmaterials

品种	来源	原产地
莫妮卡(Monica)	北京百斯特草业有限公司	加拿大
燕王(Prince)	北京正道生态科技有限公司	加拿大
贝勒(Beile)	北京正道生态科技有限公司	加拿大
梦龙(Magnum)	北京百斯特草业有限公司	加拿大
牧德乐(Mudeie)	百绿(天津)国际草业公司	澳大利亚
骏马(Courser)	北京百斯特草业有限公司	加拿大
甜燕 1 号(Sweet Yan No. 1)	北京佰青源畜牧科技有限公司	加拿大
枪手(Gunner)	百绿(天津)国际草业公司	加拿大

备用的种子均匀摆放在铺设滤纸的培养皿中,50 粒/皿。不同浓度的 NaHCO_3 溶液 10 mL 加入培养皿中,CK 加蒸馏水 10 mL。

1.3 测定指标

从培养的第 2 d 开始记录发芽数。培养到第 7 d 时,挑选出正常生长的 15 株幼苗,清水清洗后用吸水纸吸干,分别测定胚根长、胚芽长,计算发芽势、发芽率、发芽指数、种子萌发指数和种子活力指数。利用以下公式计算:

$$\text{发芽势} = (\text{前 3 d 种子发芽数} / \text{种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽率} = (7 \text{ d 种子发芽数} / \text{种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum (\text{第 } t \text{ 天的发芽数}) / \text{第 } t \text{ 天}$$

$$\text{种子萌发指数} = 1.00 \times \text{nd}_2 + 0.75 \times \text{nd}_4 + 0.50 \times \text{nd}_6 \quad (\text{nd}_2, \text{nd}_4, \text{nd}_6 \text{ 分别为第 2、4、6 d 的种子萌发率})$$

$$\text{种子活力指数} = \text{种子萌发指数} \times \text{发芽 7 d 的幼苗平均长度}$$

计算各指标相对值。指标相对值 = 胁迫下指标值/对照指标值, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 和 X_6 分别表示相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长、相对胚根长、相对种子萌发指数(即种子萌发耐盐指数)和相对活力指数(即种子活力耐盐指数)。

1.4 数据分析

使用 DPS 15.0 数据分析软件进行方差分析和主成分分析,利用 Excel 2007 作图。

隶属函数值计算:

$$u(x_j) = (x_j - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min})$$

式中: $u(x_j)$ 为各品种第 j 个综合指标的隶属函数值; x_j 表示第 j 个综合指标; $x_{j\min}$ 表示第 j 个综合指标的最小值; $x_{j\max}$ 表示第 j 个综合指标的最大值。

综合指标权重 = 综合指标的贡献率/指标数总和
综合评价价值 = $\sum (\text{隶属函数值} \times \text{综合指标权重})^{[16]}$ 。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对燕麦种子萌发的影响

8 个燕麦品种的相对发芽率随着盐浓度的提高都有下降趋势,其中骏马和梦龙初始发芽率都较低,甜燕 1 号初始发芽率最高。随浓度的提高,在 25 mmol/L 的处理浓度下,甜燕 1 号表现最好,骏马和梦龙表现最差,存在显著差异($P < 0.05$);在 50 mmol/L 浓度下,甜燕 1 号和其他 7 个品种在相对发芽率方面都存在显著差异,在 75 mmol/L 浓度下也相同;在最高浓度下,甜燕 1 号的相对发芽率也与其他浓度之间无显著差异。表明 NaHCO_3 的浓度达到 50 mmol/L 时,对以上 7 个饲用燕麦品种的种子萌发就起到了抑制作用,而对甜燕 1 号几乎无抑制作用(图 1)。

种子相对活力指数与盐浓度呈负相关,随着浓度的增加有下降的趋势。在 25 mmol/L 浓度盐胁迫下,甜燕 1 号相对活力指数最高,达 15.01,梦龙最低,1.02;甜燕 1 号与其他 7 个品种都存在显著差异(图 2)。

2.2 燕麦种子萌发期耐盐性指标的筛选

利用 6 个相对值作为评价指标,存在不一致的结果(表 2),所以仅利用单一指标进行燕麦萌发期的耐盐性评价存在一定的局限性。而对相关指标进行综合评价,具有较好的实践指导意义。种子萌发 6 个评价指标间相关性显著(表 3), X_5 与 X_3 之间相关性极显著($r = 0.9883$, $P < 0.01$), X_5 与 X_3 两个因子携带了 98.8% 的信息,因此,从 6 个指标中筛选 X_5 与 X_3 评

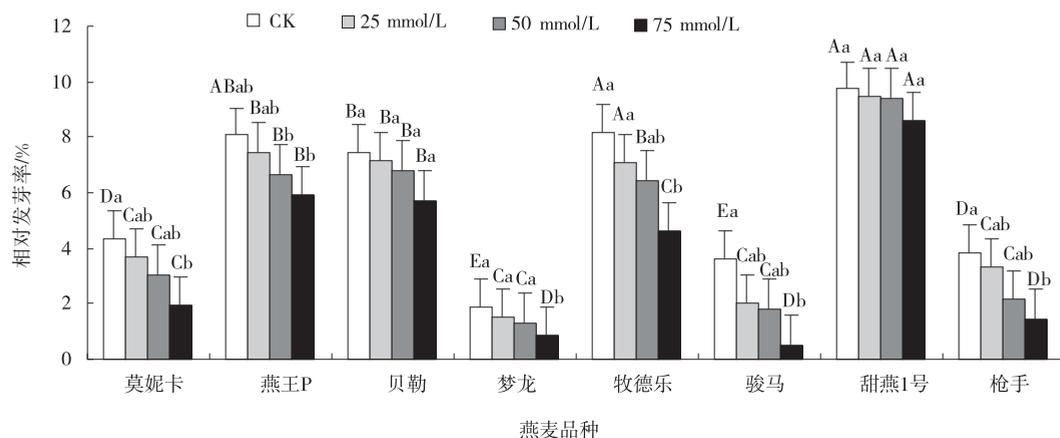


图 1 不同 NaHCO_3 浓度处理下燕麦相对发芽率

Fig. 1 The relative germination rate of oats under different NaHCO_3 concentrations

注:不同大写字母表示品种间差异显著;不同小写字母表示胁迫浓度间差异显著,下同

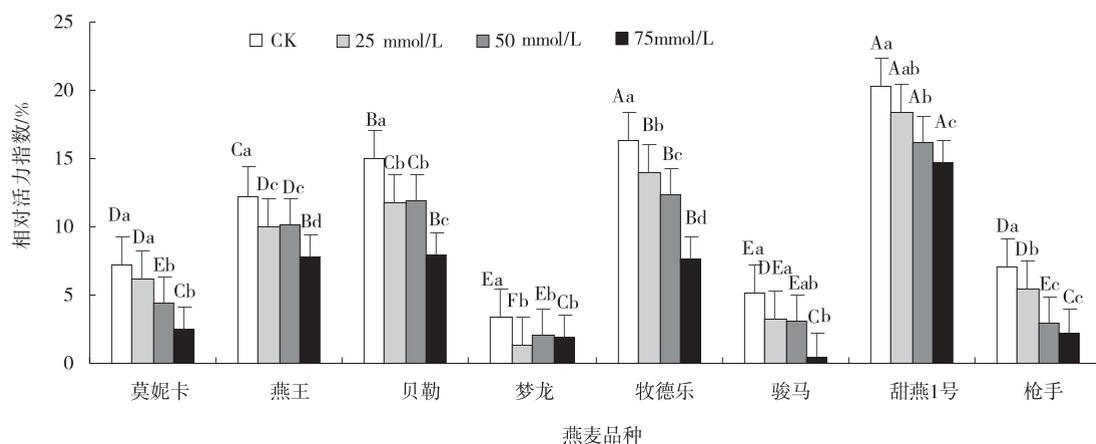


图 2 不同 NaHCO_3 浓度处理下燕麦相对活力指数

Fig. 2 The relative vigor index of oats under different NaHCO_3 concentrations

表 2 8 个燕麦品种萌发期 6 个萌发指数的相对值

Table 2 Relative values of six germination indexes of eight oat varieties at germination stage

项目	X1	X2	X3	X4	X5	X6
莫妮卡	3.25+0.12 ^c	2.31+0.12 ^d	6.34+0.56 ^{cd}	5.24+0.72 ^{cd}	0.51+0.21 ^d	2.69+1.12 ^d
燕王	7.03+0.13 ^b	4.78+0.15 ^c	6.77+0.47 ^c	5.97+0.81 ^{bc}	1.00+0.18 ^c	5.99+0.51 ^c
贝勒	6.78+0.12 ^b	5.53+0.16 ^b	7.27+0.87 ^{bc}	6.35+0.75 ^b	1.16+0.29 ^{bc}	7.37+0.67 ^{bc}
梦龙	1.50+0.07 ^e	1.02+0.06 ^f	3.84+0.07 ^e	4.97+0.16 ^{cd}	0.21+0.08 ^c	1.06+0.36 ^e
牧德乐	6.58+0.15 ^b	5.50+0.14 ^b	11.00+0.11 ^a	8.34+0.55 ^a	1.26+0.37 ^b	10.50+0.01 ^b
骏马	1.98+0.13 ^{de}	1.50+0.11 ^{ef}	4.87+0.02 ^{de}	4.12+0.81 ^d	0.30+0.20 ^{de}	1.22+0.71 ^{de}
甜燕 1 号	9.30+0.05 ^a	8.50+0.10 ^a	9.00+0.48 ^b	8.15+0.25 ^a	1.84+0.26 ^a	15.01+0.46 ^a
枪手	2.70+0.14 ^{cd}	2.08+0.13 ^{de}	5.83+0.38 ^{cd}	5.02+0.11 ^{cd}	0.44+0.22 ^d	2.21+0.24 ^d
最大值	9.30	8.50	11.00	8.34	1.84	15.01
最小值	1.50	1.02	3.84	4.12	0.21	1.06
平均值	2.87	3.90	6.87	6.02	0.84	5.76
标准差	2.90	2.59	2.28	1.53	0.57	5.01

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

价供试材料的耐盐性是合理的。

对 6 个评价指标主成分分析(表 4),前 2 个主成分累积贡献率达 85%以上,可有效反映原 6 个评价指标几乎全部的信息。主成分 1 中,指标 X5 的构成载

荷较大;主成分 2 中,X3 指标的构成载荷较大,且与燕麦的耐盐性存在正相关关系。根据表 5 所示,甜燕 1 号燕麦、牧德乐燕麦、贝勒燕麦的综合评价价值位列前三。

表 3 种子萌发指标间的简单相关性

Table 3 Simple correlation among identification indices at germination seed

相关系数	X1	X2	X3	X4	X5	X6
X1	1					
X2	0.882 8	1				
X3	0.788 5	0.804 1	1			
X4	0.857 6	0.888 7	0.931 3	1		
X5	0.877 9	0.833 9	0.988 3*	0.912 1	1	
X6	0.935 6	0.876 8	0.858 9	0.947 2	0.886 0	1

注:*表示相关性极显著($P < 0.01$)

表 4 2 个主成分的特征向量、特征值、方差贡献率和累积贡献率

Table 4 Feature vector, eigenvalue, variance contribution rate, and accumulated contribution rate of two principal components

项目	PC1	PC2
X1	0.41	-0.39
X2	0.42	-0.34
X3	0.30	0.71
X4	0.41	0.40
X5	0.46	-0.25
X6	0.42	-0.07
特征值	5.57	1.33
贡献率	84.75%	11.51%
累计贡献率	84.75%	95.26%

表 5 燕麦品种综合指标值、权重、隶属函数值、D 值及耐盐性排序

Table 5 Comprehensive index value, weight, membership function value, D values, and salt ranking of oat varieties

材料名称	综合指标值		隶属函数值		D 值	耐盐排序
	Z1	Z2	$\mu(Z1)$	$\mu(Z2)$		
莫妮卡	10.51	4.23	0.33	0.27	0.33	5
燕王	12.85	7.64	0.47	0.66	0.48	4
贝勒	14.05	2.37	0.55	0.08	0.52	3
梦龙	5.30	4.79	0.00	0.35	0.02	8
牧德乐	17.13	10.79	0.74	1.00	0.76	2
骏马	5.62	3.66	0.02	0.22	0.03	7
甜燕 1 号	21.22	1.62	1.00	0.00	0.94	1
枪手	7.37	6.23	0.13	0.50	0.15	6
指标权重			0.94	0.06	—	—

3 讨论

3.1 盐胁迫对燕麦种子萌发的影响

随着盐浓度增加燕麦相对发芽率和种子活力都有下降趋势,50 mmol/L 的 NaHCO_3 对 8 个饲用燕麦品种的发芽率存在显著的抑制作用,而当盐浓度达 25 mmol/L 时对种子活力就产生了显著的抑制作用,这与刘建新等^[17]对“定菽 6 号”燕麦应对 NaHCO_3 胁迫的研究结果一致,随着盐浓度的增加燕麦发芽率、发芽势和活力指数显著降低,活性氧出现失调和渗透调节物质累积的情况,但耐受浓度临界点要比饲用燕麦更高些,达 200 mmol/L。除此之外,海霞等^[18]、萨如拉等^[19]对碱性盐胁迫下的燕麦阳离子累积与分配规律也进行了研究。谢委等^[15]利用不同种类的盐对中牧一号紫花苜蓿种子和幼苗进行胁迫后发现,单纯碱性盐胁迫的临界浓度要比中性盐低很多,例如, NaCl 的胁迫临界浓度为 160 mmol/L,而 NaHCO_3 的只有 50 mmol/L,这与本试验结果一致。此外,对一些药用植物和牧草的碱性盐胁迫研究也发现随着盐浓度的增加发芽率、发芽势、发芽指数和种子活力等均有不同程度的下降趋势,但各种植物耐受盐胁迫的临界浓度都有较大差别。

3.2 燕麦萌发期耐盐性指标的筛选

研究表明,不同植物品种的单一耐盐性指标得出的结果存在片面性,但是这些指标间具有一定的相关性,所以应筛选合理的指标进行综合评价^[20]。本试验利用碱性盐 NaHCO_3 模拟盐胁迫,研究在其胁迫条件下不同燕麦品种萌发期的 6 个指标,评价其耐盐性强弱。目前关于植物耐盐性的研究采用平均隶属函数的方法存在一定的局限性^[21]。本试验在对 6 个评价指标做主成分分析的基础上,应用隶属函数对燕麦品种进行耐盐性综合评价,将 6 项评价指标转换为相对胚芽长和相对种子萌发指数 2 个综合指标,构建出 8 个燕麦品种萌发期耐盐性评价体系,说明以上 2 项是鉴定燕麦种子萌发期耐盐性最简便和有效的理想指标。胚芽长和种子萌发指数是植物抗逆性研究经常测定的项目,这些指标可在很大程度上反应植物的抗逆性强弱^[22-24]。但是,筛选出的两个指标对于其他区域的种源适用与否还有待进一步研究。

4 结论

在碱性盐分胁迫条件下,8 个饲用燕麦品种的种

子萌发均受到不同程度的影响。通过隶属函数评价及主成分分析,从 6 个评价指标中确定相对胚芽长(X_3)与相对种子萌发指数(X_5)可用来表示燕麦种子萌发期耐盐性强弱。通过综合评价后得出 8 个饲用燕麦品种的耐盐性强弱顺序为甜燕 1 号>牧德乐>贝勒>燕王>莫妮卡>枪手>骏马>梦龙,盐胁迫的临界浓度为 50 mmol/L。

参考文献:

- [1] 介明. 盐碱地的危害与改良研究[J]. 绿色科技, 2016(7): 122.
- [2] 杨伟,王坚强,刘勇. 植物盐胁迫研究进展[J]. 园艺与种苗, 2018(5):56.
- [3] 胡涛,张鸽香,郑福超. 植物盐胁迫响应的研究进展[J]. 分子植物育种, 2018,16(9):3007.
- [4] 张昆,李明娜,曹世豪. 植物盐胁迫下应激调控分子机制研究进展[J]. 草地学报, 2017,25(2):24.
- [5] 范富,张庆国,邵继承. 通辽市盐碱地形成及类型划分[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2009,24(4): 41.
- [6] 赵桂琴,慕平,魏黎明. 饲用燕麦研究进展[J]. 草业学报, 2007,16(4):118.
- [7] 曹丽霞,赵世锋,石碧红. 6 个饲用燕麦品种不同刈割期的产草量比较[J]. 河北农业科学, 2017,21(6):15.
- [8] 田永雷,张玉霞,朱爱民. 施氮对科尔沁沙地饲用燕麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 草原与草坪, 2018,38(5):57.
- [9] 侯鑫狄,贾玉山,包健. 燕麦种子抗盐碱特性研究[J]. 草原与草业, 2018,30(3):54.
- [10] 王开伟,何峰,于勇. 燕麦对吉林省西部盐碱地的修复作用及推广建议[J]. 现代农业科技, 2015(1):12.
- [11] 李焕春,栗艳芳,王博. 不同燕麦品种对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值[J]. 北方农业学报, 2018,46(3):15.
- [12] 刘国富,张宇龙,李玉龙. 盐胁迫对 5 种燕麦种子萌发的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(10):156.
- [13] 高彩婷,刘景辉,张玉芹. 短期盐胁迫下燕麦幼苗的生理响应[J]. 草地学报, 2017,25(2):340.
- [14] 熊建林. 盐胁迫对不同种源地燕麦种子萌发的影响研究[J]. 安徽农学通报, 2015,21(20):23.
- [15] 谢委,刘月,王艳. 不同盐胁迫对中牧一号紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018, (11):160.
- [16] 张宇君,赵丽丽,王普昶. 燕麦萌发期抗旱指标体系构建及综合评价[J]. 核农学报, 2017,31(11):2239.
- [17] 刘建新,王金成,刘秀丽. 燕麦种子萌发和幼苗抗逆生理特性对不同浓度碱性盐处理的响应[J]. 干旱区地理,

- 2016,39(5):1021.
- [18] 海霞,刘景辉,杨彦明. 盐胁迫对燕麦幼苗 Na^+ 、 K^+ 吸收和离子积累的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(4):60.
- [19] 萨如拉,刘景辉,刘伟. 碱性盐胁迫对燕麦矿质离子吸收与分配的影响[J]. 麦类作物学报,2014,34(2):263.
- [20] 周桂莲,杨慧霞. 小麦抗旱性鉴定的生理生化指标及其分析评价[J]. 干旱地区农业研究,1996,14(2):68.
- [21] 李志博,魏亦农. 北疆主栽棉花种子对渗透胁迫的响应及其萌发力差异评价[J]. 种子,2010,29(7):3.
- [22] 王春语,李政君,陈冰孺,等. 高粱种子萌发期耐盐和盐敏感材料的筛选、鉴定[J]. 分子植物育种,2020,14(4):1035.
- [23] 王志恒,黄思麒,李成虎,等. 13种藜麦萌发期抗逆性综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(1):2-12.
- [24] 王博,田杰,龙林,等. 重金属胁迫对白三叶种子萌发的影响[J]. 种子,2019,38(2):20-24.

Comprehensive evaluation of salt tolerance of 8 forage oat varieties

Siriguleng,ZHANG Yu-xia,MA Qun,DENG Li-yuan,DONG Hang-yuan

(College of Agronomy, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028001, China)

Abstract: In order to explore the salt-tolerance degree and screen the salt tolerance indexes of different forage oat varieties, the osmotic stress of 25 mmol/L, 50 mmol/L, and 75 mmol/L sodium bicarbonate (NaHCO_3) was used as treatment, and the distilled water was taken as control, we used eight different oat varieties as test materials to measure the germination rate, germination potential and germination index and to analyze the effects of different concentrations of alkaline salt stress on the germination of oat seeds; Taking the relative value of appraisal index as the evaluation of salinity tolerance, the evaluation index system of salinity tolerance of tested oat varieties was constructed on the basis of principal component analysis, and the salinity tolerance of oat varieties was comprehensively evaluated with the method of weighted membership function. The results showed that seed vigor and germination rate decreased with the increase of salt concentration, and the relative germination rates of oat varieties were significantly different under the salt stress of 50 mmol/L; at the concentration of 25 mmol/L, the seed vigor index was significantly lower than CK ($P < 0.05$). Six evaluation indexes were converted into two comprehensive indexes (Z1 and Z2) by principal component analysis, and the evaluation system of salt tolerance of different oat varieties during germination was constructed. Based on the weight of Z1 and Z2 and the weighted membership function method, we evaluated the salt tolerance of the tested materials at the germination stage. The results of this study provided a theoretical basis for the evaluation of salt tolerance of oat, the breeding of salt-tolerant varieties and the study of its mechanism.

Key words: forage oats; alkaline salt stress; principal component analysis; subordinate function