

# NaCl胁迫下25份饲用型小黑麦种子的萌发特性及耐盐性评价

李雪颖,高志昊,兰剑,胡海英\*

(宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021)

**摘要:**【目的】探究不同饲用型小黑麦(*×Triticosecale*)种质耐盐性强弱。【方法】对比分析了25份饲草型小黑麦种质材料在150 mmol/L NaCl胁迫下的发芽势、发芽率、发芽指数、芽长、根长和活力指数,并对其耐盐性进行了综合评价。【结果】150 mmol/L NaCl胁迫下,25份小黑麦种质材料的发芽率、发芽势、发芽指数、芽长、根长和活力指数较对照(CK)均显著降低( $P < 0.01$ ),且材料间差异极显著( $P < 0.01$ )。经隶属函数法和系统聚类法综合评价,可将25份材料划分为3类:第1类有3份种质材料(冀饲草一号、石大一号和鉴-18),属于高耐盐型;第2类有17份种质材料(X-515、X-509、X522、TWXB-6、X-143、TWXB-3、鉴-46、TWXB-11、X-520、XJ-小黑麦、TWXB-4、X-516、TWXB-2、HN-小黑麦、TWXB-8、鉴-47和晋饲草一号),属于中度耐盐型;第3类有5份种质材料(TWXB-1、TWXB-7、TWXB-5、TWXB-9、TWXB-10),属于盐敏感型。【结论】冀饲草一号的综合隶属排名最高,较耐盐胁迫。本研究可为耐盐饲用型小黑麦新品种选育及利用提供试验依据。

**关键词:**饲用型小黑麦;发芽特性;耐盐性;综合评价

**中图分类号:**S512.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0065-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2023.04.009



土壤盐碱化问题是限制宁夏引黄灌区农业发展的制约性问题,随着灌溉农业的发展和化肥的不断使用,次生盐碱地面积不断扩大。单纯的灌水洗盐、旱改等方式不能有效地改良盐碱地。实践证明,利用高耐盐型植物对盐渍土进行生物改良是目前最为经济有效的途径<sup>[1]</sup>,也是“粮草兼顾”结构转型的适宜发展模式。在盐碱地种植耐盐碱的作物,实现作物增产和土壤改良双赢,已成为众多科研工作者的研究目标。因此,选育耐盐性好的优良牧草品种就显得尤为迫切。

小黑麦(*×Triticosecale*)是小麦属(*Triticum*)和

黑麦(*Secale*)经属间杂交的饲草作物,兼具小麦的丰产性和黑麦的强抗逆性。部分小黑麦种质还具有较强的耐盐能力,对降低土壤含盐量及改良土壤特性具有十分明显的作用<sup>[2]</sup>。而且大片撂荒的盐渍土通过压盐后其他作物不能正常种植的情况下,小黑麦便首当其冲地成为了改良盐渍土的先锋作物。种子萌发期耐盐性的表现是筛选植物抗盐能力的基础<sup>[1]</sup>。高盐浓度下,小黑麦种子发芽率、发芽势以及相对生长量显著降低<sup>[3]</sup>;但低浓度的盐胁迫处理对种子萌发影响较小甚至有促进作用<sup>[4]</sup>。时丽冉等<sup>[5]</sup>测算了不同浓度下15份小黑麦的发芽率、根长、芽长、发芽指数、盐害指数等指标,认为随着盐浓度的增加,对种子萌发的抑制作用会明显增加,可通过盐害指数划分种子耐盐等级进行分类;任丽彤等<sup>[6]</sup>选择200 mmol/L为最适宜筛选小黑麦耐盐性的盐浓度,在该浓度下采用聚类分析法对小黑麦进行了分类评价;黄婷等<sup>[7]</sup>研究了不同浓度下小黑麦萌发期的性状表现,发现500 mg/L NaCl较对照无明显差异,但随着盐浓度的增加,各项发芽

收稿日期:2022-03-31;修回日期:2022-05-05

基金项目:宁夏重点研发计划重点项目(2019NYYZ0402);宁夏自然科学基金项目(2020AAC03080)

作者简介:李雪颖(1997-),女,宁夏吴忠人,硕士研究生。

E-mail:1430407979@qq.com

\*通信作者。E-mail:haiying@nxu.edu.cn

指标均显著下降;邵红雨等<sup>[8]</sup>研究发现大于 50 mmol/L NaCl 盐溶液,小黑麦发芽率、苗高和根长等指标在品种间均呈极显著差异。可见,不同浓度的盐溶液对不同小黑麦影响不同,种质间差异较大,且没有统一的耐盐性评价指标与方法。因此,开展小黑麦萌发期耐盐种质的筛选仍要通过多种指标及评价方法来综合评价。然而,在宁夏地区针对小黑麦优良耐盐种质筛选的研究还很匮乏,可参考借鉴的文献报道比较有限。

本研究通过对不同浓度 NaCl 胁迫下参试的 25 份小黑麦材料进行种子萌发期耐盐性的鉴定,以期筛选出适合于宁夏盐碱地区种植的饲用型小黑麦种质,为耐盐型小黑麦新品种的选育和开发利用提供基础材料。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究材料

收集的小黑麦材料 25 份,均由宁夏西贝农林牧生态科技公司提供。材料信息详见表 1。

表 1 供试材料  
Table 1 Tested materials

编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称
1	TWXB-1	10	TWXB-10	19	X-143
2	TWXB-2	11	TWXB-11	20	鉴-46(J-46)
3	TWXB-3	12	XJ-小黑麦	21	鉴-18(J-18)
4	TWXB-4	13	HN-小黑麦	22	鉴-47
5	TWXB-5	14	X-515	23	冀饲草一号
6	TWXB-6	15	X-509	24	石大一号
7	TWXB-7	16	X-516	25	晋饲草一号
8	TWXB-8	17	X-520		
9	TWXB-9	18	X-522		

### 1.2 试验测定指标方法

根据供试 25 份小黑麦种质材料的背景,从中选取耐盐性强、中和弱的材料 4 份(TWXB-4, X-515, X-509 和 J-18),每份材料取数粒颗粒饱满、大小均一的种子,置于 0.1% 的升汞溶液 15 min,用蒸馏水冲洗 5~6 次,再用滤纸吸干种子表面水分。设置 0、50、100、150、200 和 250 mmol/L 6 个 NaCl 溶液梯度,每个梯度 3 个重复。将消毒完的种子均匀的放入铺有两层滤纸的培养皿(直径 12 cm),每皿 30 粒。最后,将所有培养皿置于人工气候培养箱,培养条件:25 °C 恒温,相对湿度 60%、每天光照 12 h (8:00—20:00)、光照强度 1 200 lx,培养 7 d。发芽期间,每天记录正常发芽种子数,以蒸馏水补充所失水分,保证 NaCl 浓度不变。

通过 4 种小黑麦种质材料在不同盐溶液下的发芽情况,比较选择出盐胁迫对小黑麦种质材料影响显著的盐浓度范围。以蒸馏水为对照(CK),观察和测试 25 份材料在 NaCl 溶液胁迫下的萌发性状。试验操作过程同上所述。

1.2.1 耐盐性指标的测定 发芽标准<sup>[9]</sup>:胚根长大于等于种子长、胚芽长大于等于 1/2 种子长。各指标的测算公式如下所示。

发芽势<sup>[9]</sup> =  $n_3/N \times 100\%$  ( $n_3$ :第 3 d 发芽种子数; N:每皿所含种子总数)

发芽率(GR):指在一定天数内种子发芽数占种子总数的百分比。

发芽指数(GI):指种子在失去发芽力前已发生劣变的数量,是反映种子活力的指标之一。

胚根长<sup>[10]</sup>(RL):处理后第 8 天,从每皿随机选取 10 株正常生长的幼苗,用直尺测量每株苗从种子胚到最长根根尖的长度。若不足 10 株,则全部测量。

胚芽长<sup>[10]</sup>(SL):处理后第 8 天,从每皿中随机选取 10 株正常生长的幼苗,用直尺测量每株苗从种子胚到最长芽芽尖的长度。若不足 10 株,则全部测量。

活力指数<sup>[11-12]</sup> =  $S \times \sum Gt/Dt$  (S 为幼苗的胚芽长, Gt 为不同时间发芽数, Dt 为相应发芽天数)

变异系数(CV)=(SD/M)×100%

式中:SD表示同一盐浓度下不同材料间各指标的标准差;M表示同一盐浓度下不同材料的变幅均值。

各项指标的相对值 $\alpha(\%)$ =盐浓度处理下各项指标平均测定值/对照测定值×100%<sup>[13]</sup>

1.2.2 耐盐性评价方法 隶属函数法<sup>[14]</sup>:采用Fuzzy数学中隶属函数法将25份小黑麦材料各个耐盐指标的隶属值平均,得到每份材料的平均隶属值以评价牧草的耐盐性。耐盐性隶属函数值的计算方法如下:

$$\mu(X_j) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: $\mu(X_j)$ 表示第 $j$ 个指标的隶属函数值; $X_j$ 表示第 $j$ 个指标; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 表示第 $j$ 个指标的最大值和最小值。

利用盐浓度下每份供试材料各测定指标的隶属函数值再进行聚类分析。

### 1.3 数据统计与分析

利用Excel 2013处理数据并做图,SPSS软件进行方差分析和相关性分析,采用DPS 7.05统计软件对数据进行聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同NaCl浓度对4份小黑麦材料种子发芽势和发芽率的影响

随着NaCl浓度的升高,不同小黑麦材料的种子发芽势和发芽率均呈现不同程度的下降趋势(图1)。50~100 mmol/L NaCl浓度下,4份小黑麦与对照均无显著差异,其中在50 mmol/L NaCl浓度下,X-515的发芽势和发芽率较对照均轻微增加。150 mmol/L NaCl浓度下,除J-18与对照相比无显著差异外(较对照仅下降了4.35%),TWXB-4、X-515、X-509与对照相比均差异显著( $P < 0.05$ ),分别降低了60.00%,78.95%,60.38%。在200 mmol/L NaCl浓度下,J-18发芽势和发芽率较对照均显著下降( $P < 0.05$ ),TWXB-4和X-515的发芽势不到5%。250 mmol/L NaCl浓度下,4份小黑麦的发芽势和发芽率降至最低,T-4的发芽势为0。说明200 mmol/L以上浓度的NaCl严重抑制了种子萌发,不利于大量小黑麦种质材料的筛选。因此,选择150 mmol/L的盐浓度作为本研究所有小黑麦萌发期耐盐性筛选的胁迫盐浓度。

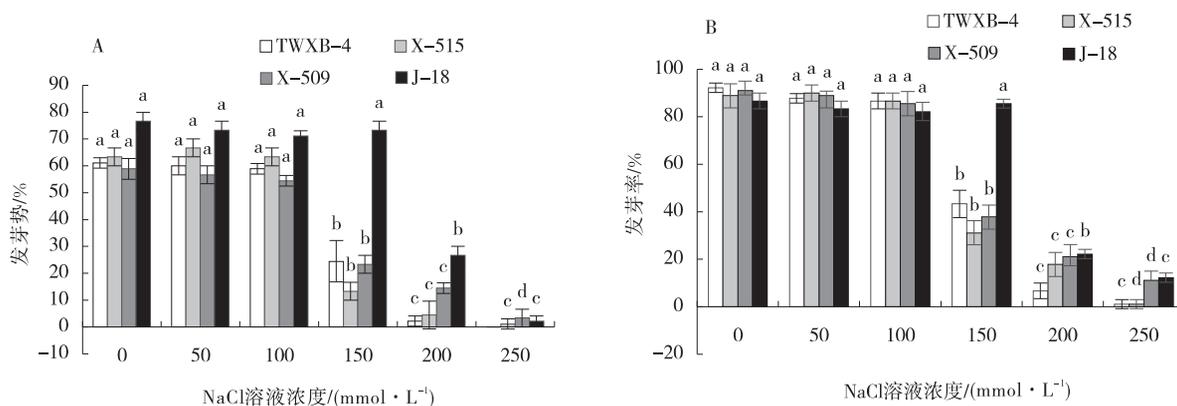


图 1 不同NaCl浓度下4份小黑麦种质材料种子的萌发性状

Fig. 1 Germination traits of four triticale germplasm materials under different NaCl concentrations

注:不同小写字母表示同一材料不同浓度NaCl差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 NaCl胁迫条件下25份小黑麦材料种子萌发性状的变异分析

在150 mmol/L NaCl胁迫条件下,小黑麦萌发各指标的均值较对照显著降低(表2),材料间变异系数与变幅的差异均明显大于对照,且活力指数降幅和变异系数最大,发芽率降幅最小,为50.4%。活力指数的变异系数最大,达1.021,其次为发芽势,为0.731。

对25份小黑麦材料萌发期性状进行方差分析可得(表3),各指标处理间和材料间均表现为极显著差异,150 mmol/L的盐胁迫下,不同小黑麦材料间差异较大,反映了不同小黑麦种质材料之间具有显著不同的遗传特性和耐盐能力。

### 2.3 NaCl胁迫对不同小黑麦种质材料相对萌发指标

表2 NaCl胁迫下25份小黑麦材料萌发指标的变异分析

Table 2 Analysis of variation in germination indicators of 25 triticale materials under salt stress

指标	CK			150 mmol/L NaCl		
	变幅	变幅均值	变异系数	变幅	变幅均值	变异系数
GP/%	57.78~94.44	75.87	0.164	1.11~80	28.82	0.731
GR/%	81.11~98.89	90.89	0.052	3.33~92.22	44.44	0.563
RL/cm	11.13~13.93	11.84	0.060	1.20~7.98	4.13	0.470
SL/cm	10.62~13.08	11.48	0.039	1.63~9.88	3.87	0.545
GI	40.04~56.56	45.54	0.111	0.64~38.7	15.01	0.674
VI	454.67~634.28	520.79	0.103	1.69~292.23	78.91	1.021

表3 NaCl胁迫下25份小黑麦材料萌发指标差异分析

Table 3 Analysis of differences in germination indexes of 25 triticale materials under salt stress

变异来源	发芽势	发芽率	发芽指数	根长	芽长	活力指数
处理间	96.97**	76.80**	176.03**	323.60**	286.20**	502.84**
材料间	20.38**	51.11**	32.93**	17.71**	9.48**	11.02**
处理×材料	6.87**	15.73**	4.94**	8.38**	17.65**	8.32**

注:\*表示显著水平( $P<0.05$ );\*\*表示极显著水平( $P<0.01$ )

### 的影响

在150 mmol/L NaCl胁迫条件下,不同材料间各相对萌发指标差异显著( $P<0.05$ ),所有材料相对活力指数均为最低。鉴-18的相对发芽势(95.71%)与相对发芽率(98.77%)均为最高;冀饲草一号的相对芽长(64.53%)和相对根长(65.28%)均为最高;石大一号的相对耐盐指数(87.37%)和相对活力指数(55.92%)均为最高。

### 2.4 NaCl胁迫条件下相对萌发指标之间的相关性分析

采用双变量相关系数法将NaCl胁迫下萌发期6个相对性状指标进行相关性分析(表5),各相对萌发指标间的相关性均为极显著,相对发芽势(RGP)和相对发芽指数(RGI)的相关系数最大,为0.974。相对芽长和相对发芽势的相关系数最小。

### 2.5 25份小黑麦种质材料萌发期耐盐性的综合评价

基于隶属函数法将25份小黑麦种质材料萌发期耐盐性进行综合评价。通过不同小黑麦材料各指标相对值得出隶属值,再将每份材料各指标相对值的隶属值进行累加平均(表5),最终得到每份材料的隶属均值排名,即:JI>SD>J-18>HN>X-516>T-8>T-2>JIN>X-143>X-520>T-3>J-46>J-47>X-509>T-6>X-522>X-515>T-4>XJ>T-11>T-5>T-7>T-1>T-9>T-10。

利用欧式距离法将小黑麦的种子发芽势、发芽率、发芽指数、根长、芽长和活力指数的隶属值进行系统聚类,在欧氏距离为15处将25份小黑麦材料分成3类(图2),其中隶属均值在0.88~0.95之间为高耐盐型,隶属均值在0.19~0.63之间为中度耐盐型,隶属均值在0.00~0.05之间为盐敏感型。由此,高耐盐型材料有3份,为冀饲草一号、鉴-18、石大一号,其中石大一号与鉴-18隶属均值相同,冀饲草一号隶属均值最高,为0.95;中度耐盐型材料有17份,即,X-515、X-509、X522、X-143、X-516、鉴-46、X-520、TWXB-11、TWXB-3、TWXB-6、TWXB-4、XJ-小黑麦、TWXB-2、HN-小黑麦、TWXB-8、鉴-47和晋饲草一号;盐敏感型材料有5份:TWXB-1、TWXB-7、TWXB-5、TWXB-9和T-10。

## 3 讨论

萌发期是植物生命活动中最敏感、最脆弱的时期,因此在抗逆条件下,植物在萌发期的一些性状表现经常被用来作为检验该植物或品种抗逆性强弱的重要参考依据。筛选萌发期耐盐性优良种质材料数量大,利用梯度盐溶液进行试验筛选费时费力,研究者们多通过选择胁迫最适盐溶液进行批量材料的耐盐性试验。张笛等<sup>[15]</sup>对5份谷子材料进行适宜盐浓度初探,发现150 mmol/L的盐浓度是筛选谷子耐盐性

表 4 NaCl 胁迫下不同小黑麦材料的相对萌发指标

Table 4 Relative germination index of different triticale materials under salt stress

编号	相对发芽势/%	相对发芽率/%	相对根长/%	相对芽长/%	相对发芽指数/%	相对活力指数/%
1	4.550±0.045 <sup>ij</sup>	8.940±0.045 <sup>lm</sup>	5.200±0.033 <sup>cf</sup>	14.400±0.006 <sup>kl</sup>	16.960±0.410 <sup>ij</sup>	0.980±0.002 <sup>h</sup>
2	64.750±0.125 <sup>bcd</sup>	74.550±0.132 <sup>bcdef</sup>	48.100±0.101 <sup>abcd</sup>	39.400±0.022 <sup>bcdefg</sup>	30.030±0.255 <sup>ghij</sup>	14.910±0.045 <sup>cdefg</sup>
3	48.730±0.114 <sup>cdefgh</sup>	65.510±0.048 <sup>cdefg</sup>	37.890±0.087 <sup>bcd</sup>	34.990±0.073 <sup>efgh</sup>	23.700±0.422 <sup>ghij</sup>	9.830±0.052 <sup>defgh</sup>
4	39.770±0.064 <sup>defgh</sup>	47.050±0.039 <sup>ghij</sup>	31.340±0.022 <sup>cde</sup>	28.600±0.015 <sup>ghij</sup>	16.800±0.337 <sup>ij</sup>	5.190±0.002 <sup>gh</sup>
5	3.030±0.030 <sup>j</sup>	12.970±0.013 <sup>klm</sup>	5.470±0.008 <sup>cf</sup>	15.800±0.007 <sup>kl</sup>	17.530±0.337 <sup>ghij</sup>	0.860±0.003 <sup>h</sup>
6	26.390±0.025 <sup>ghij</sup>	44.700±0.001 <sup>ghij</sup>	26.380±0.004 <sup>cdef</sup>	27.630±0.088 <sup>ghij</sup>	27.680±0.344 <sup>ghij</sup>	18.430±0.034 <sup>cde</sup>
7	2.540±0.006 <sup>j</sup>	10.710±0.021 <sup>lm</sup>	5.800±0.017 <sup>ef</sup>	13.980±0.007 <sup>kl</sup>	18.690±0.407 <sup>ghij</sup>	1.110±0.004 <sup>h</sup>
8	45.810±0.036 <sup>cdefgh</sup>	57.320±0.02 <sup>efghi</sup>	40.560±0.014 <sup>abcd</sup>	30.280±0.075 <sup>ghi</sup>	46.030±0.239 <sup>bcde</sup>	23.440±0.039 <sup>e</sup>
9	1.960±0.020 <sup>j</sup>	5.960±0.026 <sup>m</sup>	2.640±0.021 <sup>f</sup>	10.680±0.029 <sup>j</sup>	14.870±0.134 <sup>j</sup>	0.570±0.005 <sup>h</sup>
10	1.590±0.016 <sup>j</sup>	3.850±0.022 <sup>m</sup>	1.510±0.012 <sup>f</sup>	12.430±0.002 <sup>kl</sup>	14.460±0.124 <sup>j</sup>	0.360±0.001 <sup>h</sup>
11	25.880±0.032 <sup>ghij</sup>	40.820±0.046 <sup>hij</sup>	26.170±0.039 <sup>cdef</sup>	16.260±0.002 <sup>kl</sup>	14.940±0.173 <sup>j</sup>	3.930±0.007 <sup>gh</sup>
12	30.880±0.285 <sup>efghi</sup>	40.480±0.285 <sup>hij</sup>	42.710±0.376 <sup>abcd</sup>	20.110±0.009 <sup>ijkl</sup>	19.590±0.198 <sup>ghij</sup>	0.810±0.002 <sup>h</sup>
13	51.850±0.019 <sup>cdefg</sup>	76.610±0.021 <sup>abdef</sup>	48.410±0.014 <sup>abcd</sup>	46.890±0.048 <sup>bcde</sup>	53.250±0.168 <sup>b</sup>	26.040±0.056 <sup>c</sup>
14	21.280±0.037 <sup>hij</sup>	34.870±0.022 <sup>ijk</sup>	22.000±0.014 <sup>def</sup>	46.260±0.027 <sup>bcde</sup>	31.140±0.177 <sup>efghi</sup>	6.030±0.009 <sup>gh</sup>
15	39.940±0.045 <sup>defgh</sup>	41.670±0.043 <sup>ghij</sup>	32.100±0.016 <sup>cde</sup>	47.820±0.011 <sup>bcde</sup>	36.520±0.133 <sup>cdef</sup>	9.330±0.014 <sup>defgh</sup>
16	60.120±0.050 <sup>bcd</sup>	64.660±0.024 <sup>cdefgh</sup>	52.320±0.013 <sup>abc</sup>	48.670±0.044 <sup>bcd</sup>	32.980±0.269 <sup>defgh</sup>	17.130±0.022 <sup>cdef</sup>
17	37.780±0.035 <sup>defgh</sup>	44.900±0.026 <sup>ghij</sup>	34.930±0.029 <sup>cd</sup>	42.870±0.002 <sup>bcdefg</sup>	50.530±0.188 <sup>bc</sup>	17.940±0.033 <sup>cde</sup>
18	21.010±0.042 <sup>hij</sup>	31.310±0.008 <sup>ijkl</sup>	22.250±0.026 <sup>def</sup>	43.490±0.009 <sup>bcde</sup>	35.810±0.181 <sup>def</sup>	7.940±0.008 <sup>efgh</sup>
19	53.930±0.049 <sup>cdef</sup>	77.840±0.062 <sup>abcde</sup>	49.220±0.029 <sup>abcd</sup>	37.860±0.064 <sup>cdefgh</sup>	21.360±0.147 <sup>ghij</sup>	10.750±0.030 <sup>defgh</sup>
20	63.400±0.054 <sup>bcd</sup>	86.750±0.029 <sup>abc</sup>	48.160±0.039 <sup>abcd</sup>	25.410±0.018 <sup>hijk</sup>	23.120±0.202 <sup>ghij</sup>	11.180±0.013 <sup>defgh</sup>
21	95.710±0.025 <sup>a</sup>	98.770±0.012 <sup>abc</sup>	69.200±0.005 <sup>a</sup>	51.820±0.018 <sup>b</sup>	55.730±0.331 <sup>b</sup>	38.200±0.016 <sup>b</sup>
22	29.080±0.021 <sup>efghij</sup>	53.000±0.026 <sup>efghij</sup>	31.520±0.023 <sup>cde</sup>	49.200±0.044 <sup>bc</sup>	34.080±0.135 <sup>defg</sup>	10.660±0.007 <sup>defgh</sup>
23	82.160±0.092 <sup>ab</sup>	96.150±0.022 <sup>ab</sup>	65.280±0.063 <sup>ab</sup>	64.530±0.066 <sup>a</sup>	83.800±0.372 <sup>a</sup>	55.640±0.115 <sup>a</sup>
24	72.870±0.124 <sup>abc</sup>	82.140±0.090 <sup>abcd</sup>	64.100±0.061 <sup>ab</sup>	64.340±0.054 <sup>a</sup>	87.310±0.147 <sup>a</sup>	55.920±0.051 <sup>a</sup>
25	56.330±0.110 <sup>bcde</sup>	60.790±0.089 <sup>defgh</sup>	44.760±0.067 <sup>abcd</sup>	35.270±0.040 <sup>defgh</sup>	46.350±0.395 <sup>bcd</sup>	19.870±0.006 <sup>cd</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

表 5 NaCl 胁迫下各相对萌发指标之间的相关性

Table 5 Correlation of each relative germination index under salt stress.

指标	相对发芽势	相对发芽率	相对根长	相对芽长	相对发芽指数	相对活力指数
RGP	1					
RGR	0.895**	1				
RRL	0.658**	0.741**	1			
RSL	0.579**	0.680**	0.685**	1		
RGI	0.974**	0.920**	0.689**	0.629**	1	
RVI	0.702**	0.789**	0.664**	0.823**	0.738**	1

注: \*显著相关 ( $P < 0.05$ ), \*\*极显著相关 ( $P < 0.01$ )

的最适浓度。任丽彤等<sup>[6]</sup>初步选取 8 份小黑麦材料进行盐浓度筛选并选择 200 mmol/L 盐溶液作为小黑麦材料种子萌发的筛选浓度。杨紫贻等<sup>[16]</sup>比较不同盐浓度对 30 份紫花苜蓿耐盐性响应, 认为 150~200 mmol/L 高盐浓度下, 不同品种苜蓿间萌发指标差异显著。本研究认为 150 mmol/L 盐浓度对 25 份小黑麦材料中挑选的 4 份材料发芽势和发芽率影响差异显

著, 盐浓度再提高, 部分品种的发芽势太低, 不利于批量材料之间萌发特性的比较分析。因此, 选择 150 mmol/L 的盐浓度作为本研究 25 份小黑麦材料种子萌发期耐盐性筛选的盐胁迫浓度。

植物的耐盐性是复杂的综合性状, 在萌发期不同指标可以反映不同的信息, 而多指标综合评价比单项指标评价更能准确全面地反映植物耐盐性大小。在

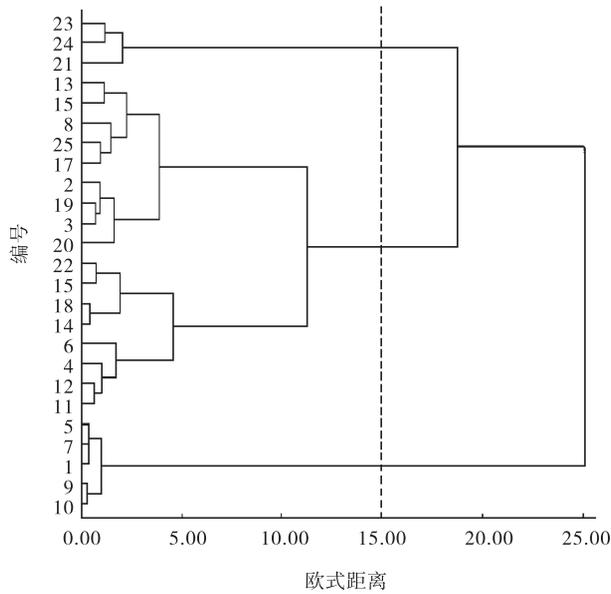


图2 25份小黑麦种质材料萌发期耐盐性聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of salt tolerance of 25 triticale germ-plasm materials at germination stage

萌发指标中,发芽势和发芽率的高低可以直观的反映植物的耐盐特性<sup>[17]</sup>,而且发芽率比发芽势表现更稳定。根长和芽长反映了小黑麦在逆境下出苗后幼苗的生长情况,可作为小黑麦生长能力的评价指标<sup>[18]</sup>。除此之外,发芽指数和活力指数也常作为评价小黑麦耐盐性的重要指标,它们可以反映种子活力、出苗整齐度及盐耐受力这几方面的综合能力。本研究中,150 mmol/L盐浓度条件下,所有供试材料的相对发芽率、相对发芽势及发芽指数均显著低于对照 ( $P < 0.05$ ),冀饲草一号、鉴-18和石大一号的相对发芽势、发芽率、根长、苗长及活力指数均显著高于其余种质材料 ( $P < 0.05$ ),而且不同指标的变幅和变异系数差异显著,不同指标之间具有极显著相关性。由此可见,不同指标评价小黑麦耐盐性强弱变化表现并不一致,须在所有指标基础上综合评价小黑麦的耐盐性。

斯日古楞等<sup>[19]</sup>通过主成分分析构建耐盐体系并

表6 盐胁迫下25份小黑麦种质材料各相对指标隶属值及综合排名

Table 6 Membership function value and comprehensive ranking of each relative index for 25 triticale materials under salt stress.

编号	盐胁迫下各指标函数隶属值						隶属均值	排名
	RGP	RGR	RGI	RRL	RSL	RVI		
23	0.91	0.99	0.95	1.00	0.88	1.00	0.95	1
24	0.77	0.76	0.83	0.97	1.00	0.96	0.88	2
21	1.00	1.00	1.00	0.89	0.56	0.83	0.88	3
13	0.63	0.80	0.71	0.65	0.51	0.49	0.63	4
15	0.62	0.70	0.69	0.69	0.30	0.33	0.55	5
8	0.58	0.65	0.64	0.34	0.42	0.48	0.52	6
2	0.65	0.72	0.63	0.50	0.21	0.26	0.50	7
25	0.51	0.62	0.54	0.46	0.45	0.32	0.48	8
19	0.55	0.78	0.66	0.52	0.10	0.19	0.47	9
17	0.40	0.50	0.42	0.54	0.53	0.31	0.45	10
3	0.55	0.66	0.58	0.44	0.13	0.21	0.43	11
20	0.49	0.92	0.57	0.25	0.14	0.18	0.43	12
22	0.29	0.57	0.43	0.64	0.28	0.20	0.40	13
15	0.31	0.42	0.36	0.72	0.32	0.17	0.38	14
6	0.31	0.47	0.34	0.30	0.17	0.31	0.32	15
18	0.20	0.31	0.26	0.54	0.29	0.12	0.29	16
14	0.17	0.34	0.26	0.59	0.23	0.11	0.28	17
4	0.32	0.49	0.37	0.30	0.03	0.08	0.26	18
12	0.30	0.38	0.42	0.16	0.07	0.01	0.22	19
11	0.26	0.39	0.34	0.10	0.01	0.07	0.19	20
5	0.02	0.11	0.06	0.09	0.05	0.01	0.05	21
7	0.01	0.08	0.05	0.05	0.06	0.01	0.04	22
1	0.03	0.05	0.04	0.06	0.03	0.01	0.04	23
9	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	24
10	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	25

结合隶属函数法综合排名得到耐盐性由高到低8个燕麦品种。申吴燕等<sup>[20]</sup>研究了盐渍化土地中生长的12种植物,计算不同植物的各个测定指标相对值并采用隶属函数法进行耐盐性排名。徐正辉等<sup>[21]</sup>采用五级评分法综合评价将8个燕麦品种分成3种类型:耐盐性强、耐盐性较好和耐盐性差。任丽彤等<sup>[6]</sup>通过计算出各测定指标的耐盐系数为依据,采用聚类分析法将87份小黑麦分成3类:耐盐性较强、中间型和盐敏感型。本文以不同指标的相对值为依据,采用隶属函数法对不同黑麦耐盐性进行综合排名,为了提高耐盐性鉴定的准确性,再将不同指标的隶属函数进行聚类分析,将25份小黑麦材料的耐盐性划分为3类,即高耐盐型、中度耐盐型和盐敏感型。其中,冀饲草一号、石大一号、鉴-18属于高耐盐型种质材料,在盐胁迫下综合性状表现良好,可以作为小黑麦耐盐品种选育的优质资源,且须进行大田试验才能更加全面、客观地评价其耐盐特性。

#### 4 结论

在150 mmol/L NaCl胁迫下,25份小黑麦种质材料的相对发芽率、相对发芽势、发芽指数、根长及芽长较对照均显著降低。通过隶属函数法和系统聚类法,评价出3份高耐盐型材料:冀饲草一号、石大一号和鉴-18;17份中度耐盐材料:X-515、X-509、X522、TWXB-6、X-143、TWXB-3、鉴-46、TWXB-11、X-520、TWXB-4、X-516、TWXB-2、HN-1小黑麦、TWXB-8、鉴-47、XJ-1小黑麦和晋饲草一号;5份盐敏感型材料:TWXB-1、TWXB-7、TWXB-5、TWXB-9、TWXB-10。其中,冀饲草1号的综合隶属排名最高,在盐胁迫下综合表现最好。

#### 参考文献:

[1] 韩丽萍,郭卫卫,韩晓凡,等. 利用SOM聚类分析及主成分分析方法鉴定小麦品种萌发期耐盐性[J]. 中国农学通报,2021,37(24):6-17.

[2] 何江峰,赵萌莉,郑轶慧,等. 小黑麦的饲用特性及其在草地生态中的应用前景[J]. 中国草地学报,2012,34(1):101-107.

[3] 王晓龙,李红,米福贵,等. 3种冰草种子萌发期耐盐性评价[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021,64(13):97-101,148.

[4] 王景瑞,王立,徐先英,等. 干旱荒漠区4种一年生植物种

子萌发期耐盐性[J]. 草业科学,2020,37(2):237-244.

[5] 时丽冉,吕亚慈,刘贵波,等. 不同小黑麦品种萌发期抗盐性的比较[J]. 种子,2008,27(10):101-103,105.

[6] 任丽彤,孔广超,邵红雨,等. 小黑麦萌发期耐盐性评价[J]. 麦类作物学报,2012,32(5):926-931.

[7] 黄婷,崔文鹤,解山,等. 盐分胁迫对小黑麦种子萌发的生理生态性状的影响[J]. 种子,2010,29(4):9-11.

[8] 邵红雨. 小黑麦耐盐生理生化特性及其利用价值的研究[D]. 石河子:石河子大学,2007:12-14.

[9] 张荣庆,陈慧,王瑞清. 小黑麦耐盐种质资源的筛选[J]. 种子,2016,35(10):61-64.

[10] 宫文龙,赵桂琴,刘欢. 22个紫花苜蓿品种种子萌发期耐盐性综合评价[J]. 草原与草坪,2017,37(5):35-40.

[11] 季波,徐金鹏,时龙,等. 10种禾本科牧草种子萌发期耐盐性[J]. 新疆农业科学,2021,58(2):342-351.

[12] 王慧慧,刘骐华,王婧,等. 4个匍匐翦股颖品种种子萌发期耐盐性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(5):31-36+43.

[13] 李雪,沙栢平,高雪芹,等. 不同紫花苜蓿种质材料萌发期耐盐性鉴定与综合评价[J]. 草地学报,2020,28(2):437-445.

[14] 刘艳君,祁娟,柳茜,等. 垂穗披碱草种子萌发的耐盐性研究[J]. 草原与草坪,2014,34(4):61-65.

[15] 张笛,苗兴芬,王雨婷. 100份谷子品种资源萌发期耐盐性评价及耐盐品种筛选[J]. 作物杂志,2019,35(6):43-49.

[16] 杨紫怡,唐芳,王亚文,等. 30份苜蓿种质萌发期耐盐性评价[J]. 草原与草业,2021,33(2):6-14.

[17] 潘香逾,李瑜婷,刘立军,等. 盐胁迫下14种绿肥植物种子萌发特性及耐盐性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(3):98-105.

[18] 程西永,王杨铭,吴少辉,等. 普通小麦与其近缘种及人工合成材料的耐盐性分析[J]. 河南农业大学学报,2015,49(3):285-291.

[19] 斯日古楞,张玉霞,马群,等. 8个饲用燕麦品种萌发期耐盐性综合评价[J]. 草原与草坪,2020,40(6):118-123.

[20] 吴燕,吐尔逊娜依·热依木,雪热提江·麦提努日,等. 12种植物萌发期耐盐性筛选[J]. 新疆农业科学,2020,57(10):1912-1920.

[21] 徐正辉. 萌发期燕麦对不同梯度盐胁迫的响应[J]. 中国草食动物科学,2020,40(3):36-39.

reached the maximum value when the seeds entered the middle stage of germination. **【Conclusion】** In conclusion, although ABA and GA<sub>3</sub> are the main endogenous hormones involved in regulating seed dormancy and germination, they do not always play a decisive role, and other endogenous hormones, such as IAA, ME-IAA, JA, JA-ILE, H2JA and ZR, also play an important role in the germination process.

**Key words:** alfalfa; endogenous hormones; seed germination; UPLC-MS/MS

(上接 71 页)

## Evaluation of germination characteristics and salt tolerance of 25 forage triticale seeds under NaCl stress

LI Xue-ying, GAO Zhi-hao, LAN Jian, HU Hai-ying\*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** **【Objective】** The aim of the study is to investigate the salt tolerance of different forage triticale germplasm. **【Method】** The germination potential, germination rate, germination index, shoot length, root length and vigor index of 25 forage triticale materials under 150 mmol/L NaCl stress were compared and analyzed. **【Result】** The experiments showed that the germination rate, germination potential, germination index, shoot length, root length and vigor index of 25 materials were significantly lower ( $P < 0.01$ ) at 150 mmol/L NaCl concentration compared with the control (CK), and the difference between materials was highly significant ( $P < 0.01$ ). The 25 materials could be divided into three types after comprehensive evaluation by the membership function method and systematic clustering method. The first type had three germplasm materials (Ji Forage No. 1, Shi Da No. 1 and Jian-18), which belonged to high salt tolerance type. The second type was made up of 17 germplasm materials (X-515, X-509, X522, TWXB-6, X-143, TWXB-3, Jian-46, TWXB-11, X-520, XJ-triticale, TWXB-4, X-516, TWXB-2, HN-triticale, TWXB-8, Jian-47, and JIN Forage No. 1), which were moderately salt-tolerant. The third type consisted of five germplasm materials (TWXB-1, TWXB-7, TWXB-5, TWXB-9, and TWXB-10), which were salt-sensitive. **【Conclusion】** This study could provide a basis for the selection and utilization of new salt-tolerant forage triticale varieties.

**Key words:** forage triticale; germination characteristics; salt resistance; comprehensive evaluation