文章编号:1000-7601(2019)03-0023-08 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.03.03

不同基因型燕麦苗期耐盐碱性分析及其鉴定指标的筛选

付鸾鸿,于 崧,于立河,薛盈文,郭 伟

(黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

摘 要:为探讨不同基因型燕麦苗期的耐盐碱性,筛选适宜松嫩平原种植的燕麦品种,本研究采用 Hoagland 营养液水培法,以 250 mmol · L^{-1} 高浓度 $NaHCO_3$ 胁迫模拟松嫩平原盐碱环境,对 49 份来自国内外不同地区的主栽燕麦品种进行研究。试验测定了 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$ 胁迫下燕麦的株高(X_1)、根长(X_2)、地上部鲜重(X_3)、地下部鲜重(X_4)、地上部干重(X_5)、地下部干重(X_6)、地上部含水量(X_7)、地下部含水量(X_8)、根冠比(X_9)9 个指标,以各单项指标的耐盐碱系数(SATC) 作为衡量耐盐碱性的依据,利用多元分析方法对不同燕麦品种耐盐碱能力进行了综合评价。结果表明:通过对各指标的耐盐碱系数进行主成分分析,得到 X_4、X_7、X_8 3 个综合指标,涵盖了全部数据 86.155%的信息量;通过隶属函数分析和聚类分析将 49 份燕麦品种分为 3 类,其中草莜 1 号、张燕 7、T7 等 3 个品种为耐盐碱品种,HLJ 1、白燕 2 号等 41 个品种为中度耐盐碱品种,三分三、坝莜 13 号等 5 个品种为盐碱敏感品种。

关键词:燕麦;苗期;耐盐碱性;多元分析;鉴定指标

中图分类号:S512.6 **文献标志码**:A

Analysis of saline-alkaline tolerance in seedling stage and screening of identification indexes of different oat genotypes

FU Luan-hong, YU Song, YU Li-he, XUE Ying-wen, GUO Wei

(*College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing, Heilongjiang* 163319, *China*)

Abstract: In order to explore the salt alkaline bearing capacity of different oat cultivars in seedling stage and screen the oat cultivars, which are well suited for Songnen Plain to grow. This research used Hoagland hydroponics with high concentrations of 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$ stress to simulate the saline conditions of Songnen Plain, and carried out a study on 49 major oat cultivars, which came from China and abroad. Nine indexes including plant height (X_1), root length (X_2), aboveground fresh weight (X_3), underground fresh weight (X_4), aboveground dry weight (X_5), underground dry weight (X_6), aboveground water content (X_7), underground water content (X_8), and root shoot ratio (X_9) were measured under 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$ stress. Based on the saline-alkaline tolerance coefficient (SATC) of each individual indicator, different oat cultivars were evaluated by principal components analysis, subordinate function analysis, and clustering analysis. The results showed that three comprehensive indexes including X_4, X_7 and X_8 were obtained by principle component analysis of saline-alkaline tolerance coefficients of all indexes. The comprehensive indexes described 86.155% information of all data. The 49 oat cultivars were divided into three groups through subordinate function analysis and clustering analysis. Among them, Caoyou 1, Zhangyan 7 and T7 were salt-tolerant cultivars, 41 cultivars such as HLJ 1, Baiyan 2 were moderate tolerant to saline-alkaline, 5 cultivars such as Sanfensan, Bayou 13 were sensitive to saline-alkaline tolerance.

Keywords: oat; seedling stage; saline-alkaline tolerance; multiple analysis; identification index

---

收稿日期:2018-06-25 **修回日期**:2019-05-12

基金项目:国家公益性行业(农业)专项(201303007);国家科技支撑计划项目(2014BAD07B00);高校学成引进人才科研启动计划项目(XYB2014-02);大庆地区燕麦品种的引进筛选及应用评定(XC2017005)

作者简介:付鸾鸿(1993-),女,硕士研究生,研究方向为作物遗传育种。E-mail: http157@126.com

通信作者:于立河(1960-),男,教授,博士,主要从事作物遗传育种与种质资源创新研究。E-mail: yulihe2002@126.com

土壤盐渍化给农业生产带来了严重的威胁。全球约有 3.8×10^9 hm^2的土地存在不同程度的盐渍化,约占可耕地面积的 1/10[1-3]。我国盐渍化土壤总面积约为 9.91×10^7 hm^2[4],其中松嫩平原盐碱土地面积约为 3.73×10^6 hm^2,是世界三大苏打盐碱地集中分布区之一[5]。苏打盐碱土中含有大量的交换性 Na^+和较高浓度的 CO_3^{2-}和 HCO_3^-[6],给植物的生长带来了负面影响,因此如何开发利用盐碱地并提高盐碱地作物产量已成为一项重要的课题。

关于作物苗期耐盐碱性的鉴定,国内外已有很多报道。目前已从小麦[7]、芸豆[8]、玉米[9]等作物中筛选出耐盐碱性较强的品种。张婷婷等[7]研究表明,150 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$是春小麦苗期耐盐碱性鉴定的适宜筛选浓度,在该浓度下可将 30 份春小麦分为高耐盐碱品种、耐盐碱品种、中度耐盐碱品种以及盐碱敏感品种 4 类。马艳明等[10]研究表明,75 mM NaCl 处理下的相对根长和相对苗高可作为冬小麦品种苗期耐盐性的参考指标。刘雅辉等[11]研究表明,相对出苗率、相对株高和相对叶片数可准确反映棉花苗期耐盐能力的强弱。而至今关于燕麦耐盐碱性研究则大多集中在生理生化响应机制等方面[12-13],鲜有针对燕麦苗期耐盐碱性分析及品种筛选的报道。燕麦(*Avena sativa* L.)为禾本科早熟禾亚科燕麦属的一年生草本植物[14],被称为耐盐碱先锋作物[13],松嫩平原是重要的燕麦种植区之一[15],所以选择和培育盐碱胁迫耐性强的燕麦基因型对改良和利用该地区苏打盐碱地意义重大。本研究用 $NaHCO_3$胁迫模拟松嫩平原盐碱生境,利用相关性分析、主成分分析、隶属函数分析以及聚类分析相结合的方法展开对不同基因型燕麦苗期耐盐碱性的综合评价,旨在为选育适合于苏打盐碱地种植的燕麦品种提供理论参考,为耐盐碱基因的挖掘提供前提。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料均为来自国内外不同地区的主栽燕麦品种,见表 1。

1.2 试验设计

本试验于 2017 年在黑龙江省八一农垦大学生物技术中心麦类作物实验室进行。前期为摸索不同燕麦品种苗期耐盐碱性适宜筛选浓度,本研究进行了预备试验:用 50~300 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$溶液(浓度梯度为 50 mmol · L^{-1})对燕麦进行胁迫处理,测定了株高、地上鲜重以及地下鲜重 3 项指标,经分析发现当 $NaHCO_3$浓度为 250 mmol · L^{-1}时(pH = 8.14),不同燕麦品种的指标差异最为明显,故将该浓度列为本试验的适宜处理浓度;从各供试品种中挑拣发育良好、外观相近的种子,用 1%的 NaClO 溶液消毒 20 min,用蒸馏水反复冲洗干净后浸泡 8 h,经人工气候箱内恒温培养 4 d 后,将发芽整齐一致的幼苗移植到盛有培养液的塑料培养钵(37 cm×28 cm×9 cm)中,置于 21℃植物组织培养室中进行培养(光强 400 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 光照 14 h/黑暗 10 h,相对湿度 50%),3 次重复。前 4 d 用蒸馏水进行培养,之后每隔 5 d 更换一次 Hoagland 营养液,营养液与蒸馏水的比例按 1/4、1/2、1 倍递增。

1.3 测定项目与方法

从幼苗长至两叶一心开始进行盐碱胁迫处理,每隔 3 d 更换一次营养液与盐碱溶液的混合液,胁迫 7 d 后测定处理与对照(对照组未进行盐碱胁迫处理,仅为营养液培养,处理组与对照组均为 3 盆,每盆 84 株)的株高、根长、地上部及地下部的干、鲜重,并计算耐盐碱系数(saline-alkaline tolerance coefficient, SATC)。具体方法:取长势均匀的燕麦植株,用蒸馏水洗去根部的盐碱胁迫液后用吸水纸吸去幼苗表面的水分,取直尺测量幼苗的株高与根长。其中株高是植株根颈部到顶部之间的距离;鲜重为采集鲜活植株后立刻测得的重量;干重是植株经 105℃杀青 30 min 后,再于 80 ℃烘干至恒重的重量;植株含水量=(鲜重-干重)/鲜重×100%;根冠比=地下鲜重/地上鲜重;耐盐碱系数=处理值/对照值×100%。

1.4 数据处理与统计分析

对耐盐碱系数进行主成分分析,得到 3 个主成分及贡献率。将 3 个主成分的耐盐碱系数进行隶属函数分析,得到加权隶属函数值 D,据此可对不同燕麦品种进行耐盐碱等级评定。

$$U(S_i) = \frac{S_i - S_{i\min}}{S_{i\max} - S_{i\min}} \times 100\%$$

$$i = 1,2,\cdots,n \qquad U(S_i) \in [0,1] \qquad (1)$$

式中,$U(S_i)$ 为第 i 个主成分耐盐碱系数的隶属函数值;S_i 为第 i 个主成分的耐盐碱系数;$S_{i\max}$ 为第 i 个主成分的耐盐碱系数最大值;$S_{i\min}$ 为第 i 个主成分的耐盐碱系数最小值。

表 1　供试燕麦品种及来源

Table 1　Studied oat cultivars and origins

编号 Code	品种 Cultivar	来源 Origin	编号 Code	品种 Cultivar	来源 Origin
1	HLJ 1(皮燕麦)	黑龙江省 Heilongjiang Province	26	坝莜 13 号(裸燕麦) Bayou 13	河北省 Hebei Province
2	白燕 2 号(裸燕麦) Baiyan 2	吉林省 Jilin Province	27	坝莜 14 号(裸燕麦) Bayou 14	河北省 Hebei Province
3	白燕 3 号(裸燕麦) Baiyan 3	吉林省 Jilin Province	28	坝莜 18 号(裸燕麦) Bayou 18	河北省 Hebei Province
4	白燕 5 号(裸燕麦) Baiyan 5	吉林省 Jilin Province	29	翼张燕 4 号(皮燕麦) Yizhangyan 4	河北省 Hebei Province
5	白燕 7 号(皮燕麦) Baiyan 7	吉林省 Jilin Province	30	张燕 7 号(皮燕麦) Zhangyan 7	河北省 Hebei Province
6	白燕 8 号(裸燕麦) Baiyan 8	吉林省 Jilin Province	31	张燕 8 号(皮燕麦) Zhangyan 8	河北省 Hebei Province
7	草莜 1 号(裸燕麦) Caoyou 1	内蒙古 Inner Mongolia	32	SX1(裸燕麦)	山西省 Shanxi Province
8	都燕 3 号(裸燕麦) Duyan 3	内蒙古 Inner Mongolia	33	SX2(裸燕麦)	山西省 Shanxi Province
9	定燕 2 号(皮燕麦) Dingyan 2	内蒙古 Inner Mongolia	34	SX3(裸燕麦)	山西省 Shanxi Province
10	定莜 9 号(裸燕麦) Dingyou 9	内蒙古 Inner Mongolia	35	SX4(裸燕麦)	山西省 Shanxi Province
11	晋燕 8 号(裸燕麦) Jinyan 8	内蒙古 Inner Mongolia	36	T6(皮燕麦)	加拿大 Canada
12	晋燕 9 号(裸燕麦) Jinyan 9	内蒙古 Inner Mongolia	37	T7(皮燕麦)	加拿大 Canada
13	蒙燕 1 号(皮燕麦) Mengyan 1	内蒙古 Inner Mongolia	38	T8(皮燕麦)	加拿大 Canada
14	蒙燕 2 号(裸燕麦) Mengyan 2	内蒙古 Inner Mongolia	39	T9(皮燕麦)	加拿大 Canada
15	同燕 2 号(裸燕麦) Tongyan 2	内蒙古 Inner Mongolia	40	T10(皮燕麦)	加拿大 Canada
16	三分三(裸燕麦) Sanfensan	内蒙古 Inner Mongolia	41	T11(皮燕麦)	加拿大 Canada
17	远杂 2 号(裸燕麦) Yuanza 2	内蒙古 Inner Mongolia	42	T12(皮燕麦)	加拿大 Canada
18	燕科 2 号(裸燕麦) Yanke 2	内蒙古 Inner Mongolia	43	T13(皮燕麦)	加拿大 Canada
19	坝莜 1 号(裸燕麦) Bayou 1	河北省 Hebei Province	44	T14(皮燕麦)	加拿大 Canada
20	坝莜 3 号(裸燕麦) Bayou 3	河北省 Hebei Province	45	T15(皮燕麦)	加拿大 Canada
21	坝莜 4 号(裸燕麦) Bayou 4	河北省 Hebei Province	46	T16(皮燕麦)	加拿大 Canada
22	坝燕 6 号(皮燕麦) Bayan 6	河北省 Hebei Province	47	T17(皮燕麦)	加拿大 Canada
23	坝莜 9 号(裸燕麦) Bayou 9	河北省 Hebei Province	48	T19(皮燕麦)	加拿大 Canada
24	坝燕 11 号(皮燕麦) Bayan 11	河北省 Hebei Province	49	T20(皮燕麦)	加拿大 Canada
25	坝莜 12 号(裸燕麦) Bayou 12	河北省 Hebei Province			

$$W_i = \sum_{i=1}^{n} P_i \qquad i = 1,2,\cdots,n \qquad (2)$$

式中,W_i 为第 i 个主成分耐盐碱系数的权重;P_i 为第 i 个主成分耐盐碱系数的贡献率。

$$D = \sum_{i=1}^{n} [U(S_i) \times W_i] \qquad i = 1,2,\cdots,n \quad (3)$$

式中,D 为加权隶属函数值,即综合评价值。

本试验用 Excel 2003 计算各指标值的平均数及耐盐碱系数,用 SPSS 22.0 进行方差分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析。

2　结果与分析

2.1　各指标的耐盐碱系数及相关关系分析

由表 2 中 F 值可知,不同燕麦品种各指标间存在显著性差异,各组均值间的差异有统计学意义。在 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$ 胁迫下,各燕麦品种的株

高(X_1)、根长(X_2)、地上部鲜重(X_3)、地下部鲜重(X_4)、地上部干重(X_5)、地下部干重(X_6)、地上部含水量(X_7)、地下部含水量(X_8)与对照处理相比均有所下降(SATC<1),大部分品种根冠比(X_9)与对照处理相比有所增加(SATC>1),但不同基因型燕麦各指标的变化幅度各不相同,因此利用单一指标评价耐盐碱性可能会得到不同甚至相反的结果。由表 3 各耐盐碱系数间的相关关系可以看出,各指标间存在着显著或极显著的相关性,它们提供的信息是重叠的,影响了燕麦耐盐碱性的鉴定和筛选,因此,为弥补单一指标评价的不足之处,本研究运用了如下多种分析方法对此进行了完善。

表 2 各指标的耐盐碱系数及方差分析(F 值)

Table 2 Saline-alkali tolerance coefficients and variance analysis of each index (F-value)

品种 Cultivar	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
1	0.524	0.273	0.133	0.091	0.271	0.113	0.856	0.984	0.679
2	0.711	0.951	0.138	0.456	0.352	0.644	0.767	0.972	1.223
3	0.594	0.323	0.224	0.335	0.389	0.200	0.853	0.995	1.496
4	0.829	0.830	0.243	0.361	0.643	0.486	0.781	0.979	1.484
5	0.693	0.557	0.162	0.265	0.349	0.345	0.826	0.979	1.637
6	0.618	0.644	0.194	0.301	0.533	0.500	0.801	0.972	1.553
7	0.756	0.775	0.235	0.335	0.372	0.371	0.925	0.992	1.423
8	0.534	0.427	0.153	0.199	0.320	0.280	0.827	0.969	1.304
9	0.585	0.334	0.177	0.205	0.428	0.241	0.769	0.986	1.158
10	0.680	0.899	0.207	0.319	0.414	0.480	0.791	0.981	1.538
11	0.498	0.283	0.122	0.134	0.238	0.160	0.801	0.988	1.101
12	0.747	0.818	0.178	0.397	0.513	0.500	0.735	0.983	1.779
13	0.748	0.738	0.230	0.264	0.487	0.349	0.850	0.981	1.148
14	0.717	0.769	0.239	0.289	0.585	0.346	0.820	0.987	1.209
15	0.500	0.338	0.122	0.289	0.342	0.326	0.696	0.990	1.739
16	0.496	0.171	0.148	0.172	0.383	0.500	0.749	0.859	1.166
17	0.519	0.261	0.150	0.249	0.322	0.241	0.771	0.996	1.661
18	0.472	0.265	0.113	0.172	0.295	0.201	0.747	0.986	1.523
19	0.592	0.335	0.220	0.263	0.349	0.161	0.875	0.992	1.194
20	0.500	0.430	0.174	0.199	0.269	0.323	0.803	0.989	1.144
21	0.643	0.845	0.170	0.328	0.343	0.357	0.871	0.993	1.773
22	0.728	0.342	0.313	0.179	0.464	0.155	0.898	0.995	0.573
23	0.598	0.687	0.140	0.279	0.313	0.299	0.841	0.994	1.792
24	0.520	0.266	0.122	0.140	0.273	0.247	0.812	0.948	1.146
25	0.605	0.427	0.166	0.274	0.313	0.238	0.854	0.989	1.645
26	0.552	0.346	0.141	0.129	0.327	0.211	0.779	0.952	0.911
27	0.333	0.237	0.046	0.031	0.095	0.061	0.854	0.935	0.669
28	0.448	0.222	0.209	0.257	0.422	0.229	0.799	0.973	1.232
29	0.608	0.356	0.203	0.211	0.362	0.213	0.865	0.999	1.043
30	0.779	0.699	0.298	0.406	0.473	0.438	0.903	0.994	1.364
31	0.744	0.702	0.275	0.293	0.465	0.355	0.891	0.986	1.066
32	0.460	0.377	0.122	0.234	0.284	0.239	0.771	0.998	1.747
33	0.634	0.564	0.127	0.070	0.338	0.375	0.777	0.928	0.552
34	0.463	0.207	0.074	0.096	0.214	0.164	0.688	0.951	1.286
35	0.585	0.486	0.127	0.177	0.296	0.182	0.774	0.998	1.393
36	0.725	0.757	0.334	0.471	0.897	0.837	0.776	0.951	1.409
37	0.863	0.982	0.517	0.637	0.952	0.796	0.882	0.984	1.232
38	0.627	0.626	0.183	0.245	0.365	0.277	0.867	0.992	1.344
39	0.709	0.745	0.271	0.254	0.502	0.320	0.886	0.983	0.936
40	0.785	0.724	0.241	0.294	0.470	0.325	0.841	0.993	1.219
41	0.566	0.281	0.141	0.236	0.363	0.309	0.711	0.980	1.670
42	0.696	0.755	0.215	0.270	0.442	0.338	0.865	0.986	1.255
43	0.583	0.527	0.192	0.264	0.304	0.314	0.905	0.985	1.377
44	0.556	0.522	0.192	0.325	0.361	0.340	0.855	0.996	1.692
45	0.695	0.774	0.252	0.288	0.519	0.422	0.868	0.971	1.139
46	0.609	0.533	0.198	0.171	0.378	0.178	0.871	0.997	0.864
47	0.522	0.443	0.155	0.193	0.302	0.230	0.843	0.986	1.243
48	0.570	0.453	0.186	0.262	0.324	0.284	0.874	0.993	1.405
49	0.591	0.414	0.187	0.256	0.375	0.267	0.838	0.996	1.370
F	4774.219	8679.997	51.687	81.541	27.383	2.945	11.917	2.509	72.428

注:$\alpha=0.05$; X_1:株高;X_2:根长;X_3:地上部鲜重;X_4:地下部鲜重;X_5:地上部干重;X_6:地下部干重;X_7:地上部含水量;X_8:地下部含水量;X_9:根冠比。下同。

Note: $\alpha=0.05$; X_1: Plant height; X_2: Root length; X_3: Aboveground fresh weight; X_4: Underground fresh weight; X_5: Aboveground dry weight; X_6: Underground dry weight; X_7: Aboveground water content; X_8: Underground water content; X_9: Root shoot ratio. The same below.

2.2　主成分分析

利用 SPSS 22.0 进行降维-因子分析,将 9 个指标的耐盐碱系数转化为 3 个综合指标(comprehensive index, CI),最大程度地反映原有信息。由表 4 可知,苗期前 3 个综合指标的贡献率分别为 52.887%、17.769%、15.499%,累计贡献率达 86.155%,高度概括了大量数据信息。由于因子载荷是原有变量和因子变量的相关系数,所以因子载荷绝对值越大,公共因子与原有变量关系越强。根据表 4 中各主成分因子载荷量绝对值的最大值得出 X_4(地下部鲜重)、X_7(地上部含水量)、X_8(地下部含水量)是燕麦苗期耐盐碱性的主要鉴定指标。

2.3　不同燕麦品种耐盐碱性综合评价

2.3.1　综合指标的隶属函数值　根据(1)式可以计算 49 份燕麦品种 3 个主成分(CI_1、CI_2、CI_3)的隶属函数值。以表 5 中 CI_1 为例,在 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$处理下,T7 的 $U(S_1)$ 值最大为 1,表明其在 CI_1上表现的耐盐碱性最强,而 SX3 的 $U(S_2)$ 值最小为 0,表明其在 CI_2上表现的耐盐碱性最弱。

2.3.2　综合指标的权重　由各综合指标 CI_1、CI_2、CI_3的贡献率,根据(2)式可求出其权重,W_1、W_2、W_3 分别为 0.515、0.278、0.207(表 5)。

2.3.3　品种综合评价及分类　根据(3)式计算加权隶属函数值 D,进而对 49 份燕麦品种进行耐盐碱等级评定。由表 5 可知加权隶属函数最大值为 0.927,对应 T7,表明其耐盐碱性最强;加权隶属函数最小值为 0.191,对应 SX3,可见其耐盐碱性最弱。采用组间连接距离聚类法对加权隶属函数值进行聚类分析,并得到聚类树状图(图 1),将 49 份燕麦品种分为 3 类:

第Ⅰ类:草莜 1 号、张燕 7、T7,共 3 个耐盐碱品种。

第Ⅱ类:HLJ 1、白燕 2 号、白燕 3 号、白燕 5 号、白燕 7 号、白燕 8 号、都燕 3 号、定燕 2 号、定莜 9 号、晋燕 8 号、晋燕 9 号、蒙燕 1 号、蒙燕 2 号、同燕 2 号、远杂 2 号、燕科 2 号、坝莜 1 号、坝莜 3 号、坝莜 4 号、坝燕 6 号、坝莜 9 号、坝燕 11 号、坝莜 12 号、坝莜 18 号、冀张燕 4 号、张燕 8 号、SX1、SX4、T6、T8、T9、T10、T11、T12、T13、T14、T15、T16、T17、T19、T20,共 41 个中度耐盐碱品种。

第Ⅲ类:三分三、坝莜 13 号、坝莜 14 号、SX2、SX3,共 5 个盐碱敏感品种。

3　讨　论

关于对盐碱土地的利用,耐盐碱品种选育是一种行之有效的方法[16]。作物的盐碱胁迫耐性是受多个数量性状基因座调控的复杂性状[17],且该特性在不同生长时期的表现也不完全相同[18]。苗期是作物对盐碱胁迫最敏感的阶段之一[19],通过该时期筛选得到抗逆性较强的作物品种是保障苗全、苗齐的前提[20],对农业生产意义重大。

表 3　耐盐碱系数间的相关关系

Table 3　Correlation among saline-alkali tolerance coefficients

指标 Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	1								
X_2	0.832**	1							
X_3	0.762**	0.566**	1						
X_4	0.698**	0.717**	0.729**	1					
X_5	0.745**	0.617**	0.869**	0.759**	1				
X_6	0.624**	0.705**	0.587**	0.801**	0.784**	1			
X_7	0.364*	0.306*	0.488**	0.172	0.114	−0.084	1		
X_8	0.244	0.224	0.222	0.286*	0.028	−0.215	0.350*	1	
X_9	0.035	0.181	−0.077	0.477**	0.065	0.258	−0.278	0.316*	1

注:* 和 ** 分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 的显著水平。

Note: * and ** mean significant levels at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

表 4　因子载荷矩阵

Table 4　Component matrix

主成分 Principle component	特征根 Characteristic root	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution	因子载荷量 Factor loading								
				X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
CI_1	4.76	52.887	52.887	0.893	0.851	0.869	0.909	0.886	0.816	0.325	0.237	0.214
CI_2	1.599	17.769	70.656	0.170	0.016	0.280	−0.203	−0.117	−0.470	0.843	0.447	−0.552
CI_3	1.395	15.499	86.155	−0.062	0.054	−0.171	0.226	−0.245	−0.232	0.029	0.794	0.750

表 5 不同燕麦品种的权重、隶属函数值、D 值及综合评价

Table 5 The weight, subordinative function value, D value, and comprehensive assessment of different oat cultivars

品种 Cultivar	$U(S_1)$	$U(S_2)$	$U(S_3)$	D 值 D value	耐盐碱等级 Saline-alkaline tolerance grade
1	0.099	0.709	0.893	0.433	中 Middle
2	0.701	0.333	0.807	0.621	中 Middle
3	0.502	0.696	0.971	0.653	中 Middle
4	0.545	0.392	0.857	0.567	中 Middle
5	0.386	0.582	0.857	0.538	中 Middle
6	0.446	0.477	0.807	0.529	中 Middle
7	0.502	1.000	0.950	0.733	强 Strong
8	0.277	0.586	0.786	0.468	中 Middle
9	0.287	0.342	0.907	0.431	中 Middle
10	0.475	0.435	0.871	0.546	中 Middle
11	0.170	0.477	0.921	0.411	中 Middle
12	0.604	0.198	0.886	0.550	中 Middle
13	0.384	0.684	0.871	0.568	中 Middle
14	0.426	0.557	0.914	0.563	中 Middle
15	0.426	0.034	0.936	0.423	中 Middle
16	0.233	0.257	0.000	0.191	弱 Weak
17	0.360	0.350	0.979	0.485	中 Middle
18	0.233	0.249	0.907	0.377	中 Middle
19	0.383	0.789	0.950	0.613	中 Middle
20	0.277	0.485	0.929	0.470	中 Middle
21	0.490	0.772	0.957	0.665	中 Middle
22	0.244	0.886	0.971	0.573	中 Middle
23	0.409	0.646	0.964	0.590	中 Middle
24	0.180	0.523	0.636	0.370	中 Middle
25	0.401	0.700	0.929	0.593	中 Middle
26	0.162	0.384	0.664	0.328	弱 Weak
27	0.000	0.700	0.543	0.307	弱 Weak
28	0.373	0.468	0.814	0.491	中 Middle
29	0.297	0.747	1.000	0.568	中 Middle
30	0.619	0.907	0.964	0.770	强 Strong
31	0.432	0.857	0.907	0.649	中 Middle
32	0.335	0.350	0.993	0.476	中 Middle
33	0.064	0.376	0.493	0.240	弱 Weak
34	0.107	0.000	0.657	0.191	弱 Weak
35	0.241	0.363	0.993	0.431	中 Middle
36	0.726	0.371	0.657	0.613	中 Middle
37	1.000	0.819	0.893	0.927	强 Strong
38	0.353	0.755	0.950	0.589	中 Middle
39	0.368	0.835	0.886	0.605	中 Middle
40	0.434	0.646	0.957	0.601	中 Middle
41	0.338	0.097	0.864	0.380	中 Middle
42	0.394	0.747	0.907	0.599	中 Middle
43	0.384	0.916	0.900	0.639	中 Middle
44	0.485	0.705	0.979	0.648	中 Middle
45	0.424	0.759	0.800	0.595	中 Middle
46	0.231	0.772	0.986	0.538	中 Middle
47	0.267	0.654	0.907	0.507	中 Middle
48	0.381	0.785	0.957	0.613	中 Middle
49	0.371	0.633	0.979	0.570	中 Middle
权重 Weight	0.515	0.278	0.207		

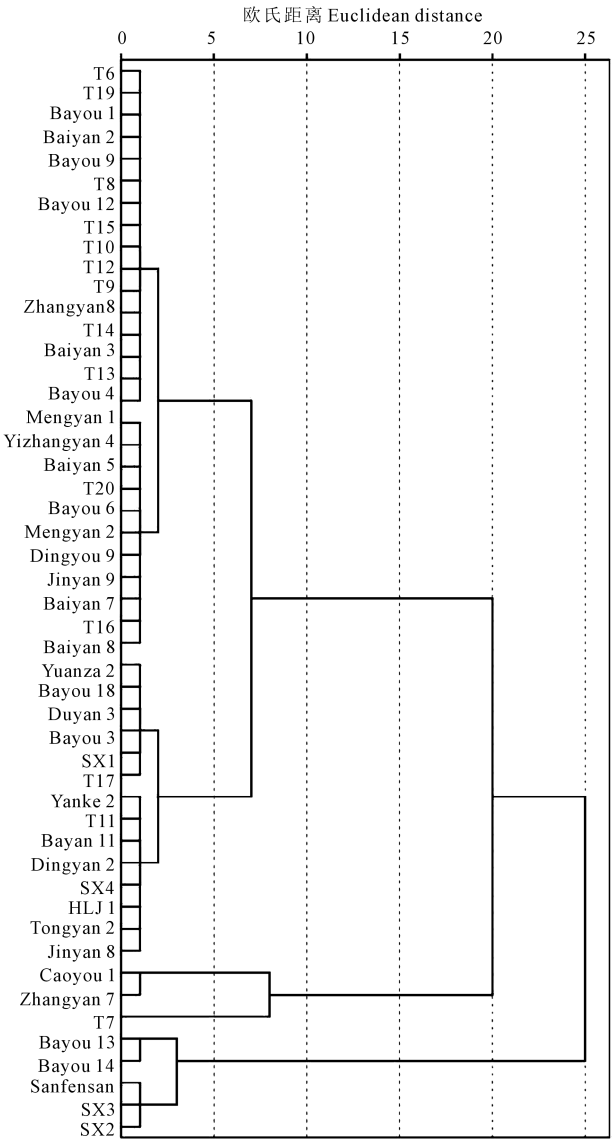

图 1　49 份燕麦品种的聚类图

Fig.1　Clustering diagram of 49 oat cultivars

已有一些研究表明,作物会通过改变生长形态和调控生理生化响应机制来应对盐碱胁迫,并通过调整生物量的分配来构建和维持逆境下的存活与生长[21-22]。此外,由于作物耐盐碱性是受多因子影响的复杂性状[17],不仅受本身基因座的影响,还受到外部环境的调控,因此仅选用单项指标来衡量作物的抗逆性不够科学和准确。本研究选择了一些便捷、直观的生长指标进行测定,并运用多元分析方法进行综合评价,以期通过更为全面的评价与分析而获得最有利于农业高产的耐盐碱燕麦品种。

本研究在前人研究的基础上,结合松嫩平原土壤特点,以 $NaHCO_3$ 胁迫模拟苏打盐碱生境,以 250 mmol · L^{-1} $NaHCO_3$ 作为燕麦耐盐碱性鉴定的临界浓度,通过主成分分析,将 9 个生长指标的耐盐碱系数转换为 3 个综合指标,即地下部鲜重、地上部含水量以及地下部含水量,高度概括了大量数据信息,可作为燕麦耐盐碱性的主要鉴定指标。本研究在盐碱胁迫条件下,除根冠比以外,其它各生长指标值与对照值相比均有不同程度的下降,说明在高浓度盐碱胁迫下燕麦会通过降低生长量、生物量以及植株含水量来维持其在逆境条件下的存活与生长[22]。根冠比体现了植物根系与地上部生物量的分配情况,本研究发现燕麦根冠比的处理值高于对照值,说明在盐碱胁迫下植株通过增大根冠比来增加其对水分和营养物质的吸收[23],以实现逆境条件下的自我保护;生物量是检测作物耐盐碱性的最佳指标之一[24],高浓度的盐碱胁迫会抑制植物生物量的积累[25-26]。本研究得出生物量是评定燕麦盐碱胁迫耐性的重要鉴定指标;对于盐碱胁迫下燕麦植株含水量均低于对照的现象,说明盐碱胁迫抑制了植物对水分的吸收,这可能是由于高浓度盐离子造成的渗透胁迫降低了植物细胞外的水势,从而增加了细胞水分吸收的难度[27],进而导致了植株含水量的降低。本研究中,耐盐碱品种草莜 1 号、张燕 7 号、T7 在盐碱胁迫下各生长指标值均较高,说明此类燕麦品种拥有较强的逆境保护机制,受到的盐碱胁迫伤害较轻,维持了自身的正常生长。在作物耐盐碱性鉴定指标的筛选方面,李琳等[8]发现全株干重、地上鲜重、根长、地下含水量和地下鲜重可作为芸豆苗期耐盐碱性的鉴定指标。张国伟等[28]指出株高、地上部干质量、根系干质量、根系活力等指标的盐害系数可作为棉花苗期耐盐性的鉴定指标。本研究表明,地下部鲜重、地上部含水量以及地下部含水量可作为燕麦苗期耐盐碱性的主要鉴定指标,这与前人的研究结果有相似之处。

本研究通过隶属函数分析,得到不同燕麦品种的耐盐碱综合评价值(D 值),并参照 D 值进行了聚类分析,较为客观地将 49 份参试燕麦品种划分为耐盐碱、中度耐盐碱以及盐碱敏感品种 3 种类型,这不仅有利于丰富燕麦耐盐碱遗传资源的多样性,也为燕麦耐盐碱分子研究奠定了科学基础。

在试验材料的选择方面,本研究选用了 49 份来自国内外不同地区的主栽燕麦品种,虽然它们的遗传背景多样,但本研究为各品种创造了一致的试验环境,将试验偏差降到最低;在燕麦耐盐碱性的评价方面,本研究运用多种分析方法相结合,避免了使用单一方法的不足,这也体现了综合评价的意义

与价值。由于在实际生产中,产量是评定作物耐盐碱性强弱的关键所在,因此进一步展开作物田间全生育期的耐盐碱性鉴定是十分必要的;本研究仅针对苗期进行了不同基因型燕麦耐盐碱性的评价工作,在对燕麦耐盐碱生理生化响应机制的研究以及分子水平上的研究等方面还需进一步拓展,以期通过更全面的综合评价与分析而获得最有利于农业高产的燕麦品种。

4 结 论

本研究将参试的 49 个不同基因型燕麦品种分成耐盐碱型(3 个)、中度耐盐碱型(41 个)、盐碱敏感型(5 个)三类,其中草莜 1 号、张燕 7 号、T7 为耐盐碱型燕麦品种,三分三、坝莜 13 号、坝莜 14 号、SX2、SX3 为盐碱敏感品种,其他 41 个为中度耐盐碱品种。此外,通过对不同基因型燕麦苗期各生长指标的耐盐碱系数进行主成分分析,得到地下部鲜重(X_4)、地上部含水量(X_7)、地下部含水量(X_8)3 个综合指标,可作为燕麦耐盐碱性的主要鉴定指标。本研究可为选育适宜于苏打盐碱地种植的燕麦品种提供理论参考,为燕麦抗逆栽培、种质资源鉴定以及良种选育提供参考。

参 考 文 献:

[1] 阮成江, 谢庆良. 盐胁迫下沙棘的渗透调节效应[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(2): 45-47.

[2] Boyer J S. Plant productivity and environment[J]. Science, 1982, 218(4571):443-448.

[3] Zhu J K. Plant salt tolerance [J]. Trends in plant science, 2001, 6(2):66-71.

[4] 李文昊, 王振华, 郑旭荣, 等. 新疆绿洲盐碱地滴灌条件下地下水局部动态对荒地盐分的影响[J]. 干旱区研究, 2016, 33(5): 1110-1118.

[5] 冯玉杰, 张巍, 陈桥, 等. 松嫩平原盐碱化草原土壤理化特性及微生物结构分析[J]. 土壤, 2007, 39(2): 301-305.

[6] Wang L X, Fang C, Wang K. Physiological responses of Leymus Chinensis to long-term salt, alkali and mixed salt-alkali stresses [J]. Journal of Plant Nutrition, 2015,38(4):526-540.

[7] 张婷婷, 于崧, 于立河, 等. 松嫩平原春小麦耐盐碱性鉴定及品种(系)筛选[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(8): 1008-1019.

[8] 李琳, 于崧, 蒋永超, 等. 芸豆苗期耐盐碱性鉴定及品种筛选研究[J]. 植物生理学报, 2016, 52(1): 62-72.

[9] 张春宵, 袁英, 刘文国, 等. 玉米杂交种苗期耐盐碱筛选与大田鉴定的比较分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(5): 14-18.

[10] 马艳明, 刘敏, 冯魁, 等. 新疆冬小麦选育品种苗期耐盐性鉴定[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(8): 1394-1401.

[11] 刘雅辉, 王秀萍, 张国新, 等. 棉花苗期耐盐形态指标的筛选及综合评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5119-5120, 5721.

[12] 杨科, 张保军, 胡银岗, 等. 混合盐碱胁迫对燕麦种子萌发及幼苗生理生化特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 188-192.

[13] 范远, 任长忠, 李品芳, 等. 盐碱胁迫下燕麦生长及阳离子吸收特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2875-2882.

[14] 李英丽, 方正, 毛明艳. 不同燕麦品种耐碱性筛选和鉴定[J]. 河北农业大学学报, 2014, 37(6): 13-17.

[15] 葛军勇, 臧华栋, 钱欣, 等. 白城地区皮燕麦肥料效应与推荐施肥研究[J]. 作物杂志, 2015, (3): 98-103.

[16] 高建明, 夏卜贤, 袁庆华, 等. 高粱种质材料幼苗期耐盐碱性评价[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1303-1310.

[17] 马晓军, 金峰学, 杨姗, 等. 作物耐盐碱数量性状基因座(QTL)定位[J]. 分子植物育种, 2015, 13(1): 221-227.

[18] 武俊英. 燕麦耐盐生理特性及农艺措施调控研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 34-35.

[19] 王宝山, 赵可夫, 邹琦. 作物耐盐机理研究进展及提高作物抗盐性的对策[J]. 植物学通报, 1997,14(Z1): 26-31.

[20] 刘妍妍, 吴纪中, 许璋阳, 等. 人工海水胁迫下小麦芽期和苗期的耐盐性鉴定方法[J]. 植物生理学报, 2014, 50(2): 214-222.

[21] Koyama M L, Levesley A, Koebner R M. Quantitative trait loci for component physiological traits determining salt tolerance in rice [J]. Plant Physiology, 2001, 125(1):406-422.

[22] Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18(7):337-343.

[23] 张嚚, 顾万荣, 王泳超, 等. DCPTA 对盐胁迫下玉米苗期根系生长、渗透调节及膜透性的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2474-2481.

[24] 白健慧. 燕麦对盐碱胁迫的生理响应机制研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016.

[25] Meloni D A, Oliva M A, Ruiz H A, et al. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress [J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(3):599-612.

[26] Winicov I. New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants [J]. Annals of Botany, 1998, 82(6):703 -710.

[27] 李擎天, 赵宇, 周绮云, 等. 珠眉海棠水通道蛋白 MzPIP1;1 基因的克隆与表达分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3): 63-68.

[28] 张国伟, 路海玲, 张雷, 等. 棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2045-2053.