

油莎豆种质资源苗期耐盐性鉴定与评价

于馥榕^{1,2}, 李毅丹², 程云清¹, 杨向东², 任伟²

(1. 吉林师范大学生命科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 吉林省农业科学院, 吉林 长春 130124)

摘要:选取国内外油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)种质资源39份作为试验材料,采用水培法,在1.2% NaCl胁迫条件下对其进行盐胁迫处理,测定17个幼苗生长相关指标,并利用主成分分析(PCA)、聚类分析、隶属函数等方法综合评价油莎豆种质资源耐盐性并筛选耐盐种质。结果表明:不同油莎豆种质资源各项指标的变异系数范围是0.128~0.455,其中,叶宽、枯黄率、根长、地上部鲜质量、地下部鲜质量等存在极显著差异($P<0.01$);叶绿素和分蘖数存在显著差异($P<0.05$)。通过主成分分析将17个指标转变成5个相互独立的综合指标,综合贡献率达到80.11%。干质量、叶绿素、茎粗、根冠比、分蘖数和组织含水量可作为主要耐盐评价指标。聚类分析将39份油莎豆种质划分为3个等级,依据CDC值及D值的分析结果,最终筛选出耐盐性强的油莎豆种质资源3份:JYD-35、JYD-40和JYD-3。

关键词:油莎豆;种质;幼苗期;耐盐性;筛选

中图分类号:S565;S32 **文献标志码:**A

Identification and evaluation of salt tolerance of Tigernut germplasm resources at seedling stage

YU Furong^{1,2}, LI Yidan², CHENG Yunqing¹, YANG Xiangdong², REN Wei²

(1. School of Life Science, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China;

2. Agricultural Biotechnology Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130124, China)

Abstract: The salt tolerance of thirty-nine germplasm resources of Tigernut (*Cyperus esculentus* L.) from China and abroad were evaluated by measuring 17 physiological indicators using principal component analysis (PCA), cluster analysis, membership function and other methods under the normal and 1.2% NaCl treatment conditions. The results showed that the coefficient of variation of each indicator ranged from 0.128 to 0.455. All germplasms showed highly significant differences ($P<0.01$) in leaf width, yellowing rate, root length, fresh weight of aboveground and underground parts; and significant differences ($P<0.05$) in chlorophyll content and tiller number between the NaCl treatment and the normal conditions. According to the result of PCA, 17 variables was transformed into 5 independent comprehensive indicators whose contribution rate reached 80.11%. Dry weight, chlorophyll content, stem diameter, root-shoot ratio, tiller number and tissue water content could be the main evaluation indicators for salt tolerance. All germplasms were clustered into 3 grades. According to the analysis results of CDC value and D value, three salt-tolerant germplasms of JYD-35, JYD-40 and JYD-3 were identified.

Keywords: Tigernut; germplasm; seedling stage; salt tolerance; identify

土壤盐渍化是世界农业生产中主要的非生物胁迫因子之一,影响作物生长发育,进而引起产量减少、质量下滑^[1]。近年来,随着人为因素以及气候状况变化,全球土壤盐渍化情况不断恶化,土壤中高浓度Na⁺会影响植物体内水分循环系统,积累

有毒离子,从而使植物受到毒害^[2]。因此,筛选耐盐性植物、探究其耐盐机理,培育耐盐品种,是我国农业产业发展的重要课题。

油莎豆属于莎草科、莎草属的多年生草本植物,被称为地下板栗、地下核桃^[3]。油莎豆作为新

型经济生态型作物,在一些盐碱地、低洼地均可种植。它的综合价值很高,营养丰富,含有膳食纤维、淀粉、蛋白质等,油脂含量可达 24%~28%^[4-5]。油莎豆种植简单,分蘖力强,能够防风固沙,改善生态环境,具有很强的抗逆性、适应性^[6-7]。我国在 1952 年从前苏联将油莎豆作为一年生草本植物引进栽培,目前,在我国大部分地区均可种植^[8-9]。

现已开展耐盐性研究的作物包括花生^[10-11]、番茄^[12-13]、大豆^[14]、小麦^[15]、水稻^[16]、紫花苜蓿^[17]等,但关于油莎豆种质资源耐盐性评价及耐盐筛选

的研究鲜见报道。因此,本试验选取 39 份国内外的油莎豆种质资源,在幼苗期进行盐胁迫处理,测定相关指标,从而确定其耐盐性的强弱,划分耐盐等级,开展综合评价并筛选耐盐种质资源,为后续开展油莎豆耐盐分子机制研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验所采用的 39 份油莎豆种质资源如表 1 所示,其中 32 份来自国内,7 份来自国外。

表 1 供试油莎豆种质资源
Table 1 Tigernut germplasm resources collected in this study

种质编号 Tigernut germplasm number	粒形 Grain shape	粒色 Grain color	来源地 Origin	种质编号 Tigernut germplasm number	粒形 Grain shape	粒色 Grain color	来源地 Origin
JYD-1	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-22	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国江苏 Jiangsu, China
JYD-2	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-23	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国吉林 Jilin, China
JYD-3	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-24	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国吉林 Jilin, China
JYD-4	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-25	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国吉林 Jilin, China
JYD-5	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-26	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国河北 Hebei, China
JYD-6	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-27	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国河北 Hebei, China
JYD-7	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-28	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国河北 Hebei, China
JYD-8	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-29	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国吉林 Jilin, China
JYD-9	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-30	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国吉林 Jilin, China
JYD-10	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-31	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China
JYD-12	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-33	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	马里 Mali
JYD-13	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-34	圆粒型 Round grain	红色 Red	喀麦隆 Cameroon
JYD-14	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国湖北 Hubei, China	JYD-35	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	喀麦隆 Cameroon
JYD-15	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-36	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	喀麦隆 Cameroon
JYD-16	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-39	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国河北 Hebei, China
JYD-17	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-40	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国河北 Hebei, China
JYD-18	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-41	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	俄罗斯 Russia
JYD-19	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-42	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	西班牙 Spain
JYD-20	长粒型 Long-grained	黄色 Yellow	中国河南 Henan, China	JYD-45	椭圆型 Oval	黄色 Yellow	中国北京 Beijing, China
JYD-21	圆粒型 Round grain	黄色 Yellow	中国江苏 Jiangsu, China				

1.2 试验设计

挑选饱满、大小均一的油莎豆块茎,使用 5% NaClO 溶液进行表面消毒,蒸馏水冲洗 6 次,待滤纸吸干后,直接放入托盘中,置于昼/夜温度为 25℃/20℃,湿度为 60% 的人工气候培养箱培养 7 d。观察其发芽状况同时每天补充适量蒸馏水,以确保油莎豆块茎正常萌发。将长势一致的油莎豆幼苗进行水培处理,培养至三叶期时,设置两个处理:以 Hoagland 营养液为基底的 1.2% NaCl 溶液进行盐胁迫处理(T);以 Hoagland 营养液作为对照处理(CK)。每个处理设置 4 组重复,处理 7 d 后开始测定各项指标。

1.3 生长指标测定

处理 7 d 后的油莎豆种质幼苗生长情况测定指标包括株高、叶绿素、叶宽、叶厚、茎粗、分蘖数、枯黄率、根长、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、地下部干质量、总鲜质量、总干质量、组织含水量、鲜质量根冠比以及干质量根冠比。具体方法参照《牧草种质资源描述规范和数据标准》^[18] 执行。使用叶绿素仪 (SPAD-502 Plus, KONICA MINOLTA, Japan) 测定油莎豆叶片相对叶绿素含量 (SPAD 值)。根据张静等^[19] 方法,枯黄率用目测法打分,计算公式如下:

$$\text{枯黄率} = \text{叶片枯黄面积} / \text{总叶面积} \times 100\% \quad (1)$$

1.4 耐盐性综合评价

根据陈新等^[1] 的耐盐系数法对不同油莎豆种质的耐盐性进行评价。耐盐系数 (CDC) 计算公式如下:

$$\text{耐盐系数} = \text{盐胁迫指标测定值} / \text{对照测定值} \times 100\% \quad (2)$$

主成分因子负荷量的大小可表示所测油莎豆各项指标耐盐性的强弱,可用隶属函数值表达。对于同一综合指标而言,隶属函数值越大,说明其耐盐性越强;隶属函数值越小,说明其耐盐性越弱。 D 值为隶属值之和, D 值越大,代表该材料耐盐性越强; D 值越小,代表该材料耐盐性越弱。因此,参照陈新等^[1] 方法,按公式(3)、(4)和(5)分别计算因子权重系数(V_i)、各材料各综合指标的隶属函数值 $[\mu(x_i)]$ 和 D 值,计算公式如下:

$$W_i = CV_i / \sum_{i=1}^n CV_i \quad (3)$$

$$\mu(x_i) = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4)$$

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(x_i) \times W_i] \quad (5)$$

式中, CV_i 为供试材料 $\mu(x_i)$ 的变异系数, W_i 表示 CV_i 在总变异中所占比率, x_i 、 $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 分别表示第 i 综合指标及其最大值和最小值。最后,根据隶属函数值 $\mu(x_i)$ 和 D 值对 39 份油莎豆进行聚类分析,将 39 份油莎豆按照等级不同进行划分。

1.5 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件整理数据,使用 IBM SPSS Statistics 26.0 进行统计分析,对所获得的试验数据进行相关性分析、主成分分析、隶属函数和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 油莎豆种质资源耐盐指标测定值分析

对 39 份油莎豆种质资源进行盐胁迫处理后,对其 17 个表型指标进行测定并分析(表 2)。在正常条件下,油莎豆各指标的变异系数范围是 0.086 ~ 0.546,说明所选油莎豆种质资源的丰富性。在盐胁迫条件下,油莎豆各指标的变异系数范围是 0.128 ~ 0.455,说明盐胁迫处理对油莎豆各指标产生一定的影响,存在变异。其中,叶宽、枯黄率、根长、地上部鲜质量、地下部鲜质量、地下部干质量、总鲜质量、总干质量和组织含水量呈现极显著差异($P < 0.01$);叶绿素和分蘖数差异显著($P < 0.05$)。此外,在盐处理(T)和对照处理(CK)条件下,各指标的相关系数(r)范围为 0.012 ~ 0.751,表明在盐胁迫条件下,各个指标对盐胁迫的敏感程度存在一定差异。

2.2 耐盐系数与各指标相关性分析

耐盐系数反映各指标之间的关联程度以及供试油莎豆种质耐盐性强弱。对 39 份油莎豆种质资源耐盐系数进行分析可知(表 3),同一指标的耐盐系数在不同油莎豆种质之间表现出明显差异,其变异系数范围介于 0.151 ~ 0.957。

对 39 份油莎豆种质资源表型指标进行相关性分析(表 4),结果表明,17 个表型指标之间存在一定程度的相关性。9 个指标相关性达极显著水平($P < 0.01$),分别为叶宽、枯黄率、根长、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量、总鲜质量、总干质量和组织含水量。2 个指标相关性达显著水平($P < 0.05$),为叶绿素和分蘖数。其中,株高与组织含水量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数是 0.412;株高与地上部鲜质量、地上部干质量和总鲜质量呈显著正相关,相关系数分别为 0.355、0.333 和 0.354。叶绿素与叶厚呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数是 0.430;叶绿素与根长呈显著正相关($P < 0.05$),相关系数是 0.375。叶宽与叶厚、茎粗、根长、地下部鲜

质量、总鲜质量、组织含水量、地上部干质量和总干质量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.423、0.600、0.445、0.522、0.488、0.428、0.576 和 0.491; 叶宽与地上部鲜质量呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数是 0.333; 叶宽与分蘖数呈极显著负相关($P<0.01$), 相关系数是-0.457。叶厚与茎粗和根长呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数分别是 0.403 和 0.340。茎粗与地上部鲜质量、总鲜质量和组织含水量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.453、0.505 和 0.441; 茎粗与根长、地上部干质量和总干质量呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数分别是 0.401、0.384 和 0.319。枯黄率与鲜质量根冠比呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数是 0.627; 枯黄率与地下部鲜质量呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数是 0.351; 枯黄率与地上部鲜质量呈显著负相关($P<0.05$), 相关系数是-0.332。根长与地上部干质量和地下部鲜质量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.413 和 0.425; 根长与总鲜质量和总干质量呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数分别是 0.320 和 0.348; 根长与干质量根冠比呈显著负相关($P<0.05$), 相关系数是-0.318。地上部鲜质量与地上部干质量、总鲜质量、总干质量和组织含水量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.628、0.929、0.507 和 0.923; 地上部鲜质量与地下部鲜质量呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数是 0.318; 地上部鲜质量与鲜质量根冠比呈显著负相关($P<0.05$), 相关系数是-0.368。地上部干质量与地下部鲜质量、总鲜质量、总干质量和组织含水量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.735、0.782、0.949 和 0.619。地下部鲜质量与总鲜质量、总干质量、组织含水量和鲜质量根冠比呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.616、0.767、0.463 和 0.721。地下部干质量与干质量根冠比呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数是 0.353。总鲜质量与总干质量和组织含水量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别是 0.692 和 0.933。总干质量与组织含水量呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数是 0.491; 总干质量与鲜质量根冠比呈显著正相关($P<0.05$), 相关系数是 0.326。以上数据表明, 各指标对盐胁迫反应的敏感程度不同, 很难准确鉴定油莎豆种质的耐盐性。

2.3 主成分分析

主成分分析是将多个指标简化为少量的主成分来数据处理^[20]。本试验对 39 份不同油莎豆种质的 17 个指标进行主成分分析(表 5), 结果显示, 前 5

个综合评价指标的贡献率达到 80.11%, 因此可将原本 17 个指标变量降维转变成 5 个相互独立的综合指标, 分别用 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 表示。 F_1 的贡献率为 45.41%, 其中地上部干质量和总鲜质量有较高的载荷量; F_2 的贡献率为 12.09%, 其中的叶绿素和株高值较大, 要明显高于其他; F_3 的贡献率为 8.81%, 在鲜质量根冠比和枯黄率有较高的载荷量; F_4 的贡献率为 7.77%, 在分蘖数, 叶宽和叶厚上有较高的载荷量; F_5 的贡献率为 6.04%, 在干质量根冠比和地下部鲜质量有较高的载荷量。因此, 干质量、叶绿素、茎粗、根冠比、分蘖数和组织含水量可作为油莎豆种质资源耐盐性评价的主要指标。

对 39 份油莎豆种质资源所测定的生长指标采用 IBM SPSS Statistics 26.0 将数据平均值进行标准化处理, 以每个主成分贡献率占所提取主成分累积贡献率的比例作为权重, 建立主成分综合模型为 $F = 0.567F_1 + 0.151F_2 + 0.11F_3 + 0.1F_4 + 0.08F_5$, 计算 F 值(表 6)。

2.4 隶属函数法及聚类分析

根据上述所提到的公式来进行计算隶属函数值和 D 值(表 7), 最终根据 D 值大小对油莎豆进行耐盐性排序, 可反映油莎豆耐盐性强弱。 D 值越大, 代表油莎豆耐盐性越强; D 值越小, 代表油莎豆耐盐性越弱。39 份油莎豆种质资源 CDC 值范围为 0.639~1.724, 平均值为 0.977, 变异系数为 0.255, 其中, 油莎豆种质资源 JYD-35、JYD-40、JYD-39、JYD-30 和 JYD-3 耐盐性较强, JYD-10、JYD-19、JYD-22 和 JYD-2 耐盐性较弱。39 份油莎豆种质资源 D 值范围为 2.704~11.013, 平均值为 5.102, 变异系数为 0.342。通过 D 值大小可知, 油莎豆种质资源中 JYD-35、JYD-40、JYD-7 和 JYD-3 耐盐性较强, JYD-10、JYD-19、JYD-31 和 JYD-22 耐盐性较弱。综合 CDC 值和 D 值排序大小, 最终得出油莎豆种质资源中 JYD-35、JYD-40 和 JYD-3 耐盐性强, JYD-10、JYD-19 和 JYD-22 耐盐性弱。

采用欧式平方根距离的方法对油莎豆种质资源进行聚类分析, 在 $\lambda = 5$ 处, 将 39 份油莎豆划分为 3 个等级(图 1), 其中第 I 级为耐盐型, 第 II 级为中度耐盐型, 第 III 级为敏感型。第 I 级包括 JYD-35 和 JYD-40 两份种质, 占种质资源总数的 5.13%; 第 II 级包括 12 份种质, 占种质资源总数的 30.76%; 第 III 级包括 25 份种质, 占种质资源总数的 64.1%。因此, 综合来看, JYD-35、JYD-40 和 JYD-3 耐盐性较强, 与上述试验数据分析结果相一致。

表 2 不同处理条件下供试油莎豆各性状指标统计值

Table 2 Statistical values of various character indexes of the tested Tigernut under different treatment conditions

项目 Project	对照 CK				盐胁迫 T				<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	相关系数 <i>r</i>
	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 <i>SD</i>	变异系数 <i>CV</i> /%	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 <i>SD</i>	变异系数 <i>CV</i> /%			
株高 Plant height	71.300	47.250	5.491	0.095	48.000	27.900	4.681	0.128	18.270	0.940	−0.120
叶绿素 Chlorophyll	35.750	24.000	2.684	0.086	18.950	7.350	2.863	0.207	35.924	0.012 *	0.399
叶宽 Leaf width	6.740	3.420	0.787	0.152	5.890	2.340	0.695	0.158	9.356	0.000 **	0.751
叶厚 Leaf thickness	0.420	0.160	0.061	0.210	0.310	0.120	0.047	0.192	4.372	0.115	0.256
茎粗 Stem diameter	4.320	1.610	0.627	0.214	2.870	1.190	0.397	0.188	7.197	0.584	0.091
分蘖数 Number of tiller	2.500	1.250	0.334	0.188	2.250	1.000	0.302	0.179	1.582	0.030 *	0.347
枯黄率 Withering rate	0.700	0.200	0.111	0.283	0.750	0.350	0.97	0.173	−10.160	0.002 **	0.483
根长 Root length	29.550	10.880	3.299	0.153	23.780	9.780	2.618	0.138	5.602	0.001 **	0.508
AFM	7.783	1.924	1.880	0.300	2.419	0.700	0.353	0.251	14.770	0.001 **	0.512
ADM	0.918	0.242	0.139	0.280	0.750	0.350	0.097	0.173	2.314	0.001 **	0.497
UFM	1.261	0.085	0.263	0.455	0.809	0.206	0.152	0.331	7.484	0.000 **	0.685
UDM	0.280	0.029	0.029	0.434	0.187	0.032	0.029	0.455	0.074	0.575	0.039
TFM	8.996	2.128	1.401	0.310	3.134	0.944	0.430	0.228	13.219	0.000 **	0.554
TDM	1.013	0.271	0.155	0.277	0.617	0.300	0.083	0.195	6.444	0.000 **	0.599
组织含水量 Water content	79.840	18.570	1.259	0.318	25.450	5.910	0.371	0.256	13.684	0.002 **	0.491
<i>R</i> / <i>T</i> _f	0.241	0.038	0.046	0.307	0.648	0.159	0.115	0.309	−12.393	0.960	0.270
<i>R</i> / <i>T</i> _d	0.608	0.089	0.084	0.546	1.376	0.106	0.284	1.140	−2.088	0.944	0.012

注:AFM;地上部鲜质量;ADM;地上部干质量;UFM;地下部鲜质量;UDM;地下部干质量;TFM:总鲜质量;TDM:总干质量;*R*/*T*_f:鲜质量根冠比;*R*/*T*_d:干质量根冠比。*表示显著相关($P<0.05$),**表示极显著相关($P<0.01$)。下同。

Note: AFM: Aboveground fresh mass; ADM: Aboveground dry mass; UFM: Underground fresh mass; UDM: Underground dry mass; TFM: Total fresh mass; TDM: Total dry mass; *R*/*T*_f: Fresh mass root-shoot ratio; *R*/*T*_d: Dry mass root-shoot ratio. * represents a significant correlation ($P<0.05$), ** represents a extremely significant correlation ($P<0.01$). The same below.

3 讨 论

3.1 油莎豆种质资源耐盐指标筛选

在种质资源的耐盐性评价中,植物的耐盐性是一个受多基因、多途径调控的复杂网络。因此,应该采取多种指标来反映植物的耐盐性^[20-21],仅凭某种单一性指标来评价植物耐盐性存在局限性。王康等^[22]将菊苣幼苗的脯氨酸积累作为耐盐性评价指标,在一定的试验范围内可以达到预期结果。但植物在受到盐胁迫时,其形态、生理及发育过程等多个机制会发生较复杂的变化,挑选多种重要的耐盐性指标来反映其耐盐性更为必要^[23]。

张智猛等^[10]认为出苗速度、株高、主根长、生物量等 10 个指标可作为其耐盐性鉴定的重要指标,指标之间的相关性显著,可较为全面地反映花生品种萌发至苗期的耐盐性。张士超等^[24]利用隶属函数值法对来自不同品种的 11 份甜高粱在盐处理条件

下进行测定,对 10 个耐盐指标进行综合评价,从而筛选出耐盐性较强的甜高粱。张飞等^[25]研究发现,形态指标中株高、茎粗、根长、鲜质量、干质量、根冠比等作为番茄耐盐性鉴定所用的主要形态指标,各指标的变化与耐盐性有关,为确定不同品种的耐盐性提供了参考数据。孙璐等^[26]将根长、叶质量、发芽率作为高粱萌发期耐盐鉴定的重要指标,认为根部生长因子是最表现高粱受到盐胁迫的指标,能更好地筛选出耐盐性强的品种。因此,本研究通过对上述文献中所提到的指标进行了一定的筛选,找到对本试验供试材料影响相对较大的指标进行测定,其中包括株高、叶绿素、叶宽、茎粗、分蘖数、枯黄率、根长、总鲜质量、总干质量、组织含水量、根冠比等 17 个指标。进一步的主成分分析结果表明,这 17 个指标中,干质量、叶绿素、根冠比、分蘖数和组织含水量贡献率较大,是评价油莎豆种质资源苗期耐盐性的主要指标。

表 3 供试油莎豆各种质指标的耐盐系数

Table 3 Salt tolerance coefficient of germplasm indexes of the tested Tigernut

种质 编号 Number	株高 Plant height	叶绿素 Chlorophyll	叶宽 Leaf width	叶厚 Leaf thickness	茎粗 Stem diameter	分蘖数 Number of tillers	枯黄率 Withering rate	根长 Root length	AFM	ADM	UFM	UDM	TFM	TDM	组织 含水量 Water content	R/T_f	R/T_d
JYD-1	0.72	0.33	0.88	0.66	0.68	1.00	2.00	0.66	0.31	0.62	0.70	0.92	0.36	0.65	0.32	2.40	1.57
JYD-2	0.69	0.34	0.63	0.70	0.78	0.88	0.93	0.68	0.46	0.64	0.53	0.70	0.47	0.65	0.44	1.12	1.17
JYD-3	0.71	0.46	1.06	0.91	1.00	0.80	2.50	1.03	0.60	0.94	2.42	1.38	0.72	0.99	0.67	4.07	1.38
JYD-4	0.56	0.42	0.89	0.66	0.77	0.83	1.50	0.81	0.33	0.76	0.86	0.95	0.40	0.71	0.36	2.20	1.29
JYD-5	0.58	0.35	1.19	1.38	1.07	1.00	1.73	0.67	0.29	0.64	0.77	1.02	0.35	0.69	0.31	2.81	0.51
JYD-6	0.73	0.39	0.93	0.69	1.07	0.86	0.98	1.01	0.61	1.02	2.71	1.51	0.77	1.08	0.72	4.71	1.51
JYD-7	0.75	0.54	1.59	0.81	1.06	0.88	1.57	0.87	1.01	1.80	1.71	1.82	1.12	1.62	1.04	1.47	1.14
JYD-8	0.61	0.35	0.79	0.71	0.40	1.00	1.33	0.91	0.27	0.72	0.64	0.97	0.35	0.75	0.30	2.83	1.38
JYD-9	0.60	0.36	0.92	1.22	0.99	0.88	1.97	0.78	0.68	1.02	1.17	0.82	0.73	1.00	0.69	1.69	0.82
JYD-10	0.50	0.27	0.41	0.42	0.40	1.13	1.38	0.44	0.16	0.40	0.48	0.76	0.19	0.51	0.14	2.05	1.24
JYD-12	0.72	0.29	0.89	0.70	0.85	0.67	2.35	0.81	0.46	0.91	1.23	1.00	0.53	0.92	0.47	2.70	1.07
JYD-13	0.64	0.30	0.80	0.58	0.70	1.20	1.33	0.88	0.50	1.09	2.49	1.37	0.66	1.12	0.58	5.58	1.26
JYD-14	0.72	0.21	0.95	0.58	0.64	0.89	2.75	0.70	0.26	0.73	0.86	1.00	0.34	0.75	0.28	3.32	1.44
JYD-15	0.71	0.33	0.86	0.87	0.55	0.56	1.24	0.69	0.18	0.47	0.55	0.46	0.24	0.47	0.20	2.98	1.02
JYD-16	0.78	0.47	0.79	0.81	0.84	0.80	1.58	0.78	0.35	0.66	0.89	0.73	0.42	0.67	0.39	2.77	1.12
JYD-17	0.77	0.38	0.67	0.46	0.45	1.17	1.88	0.85	0.32	0.90	1.01	0.97	0.37	0.91	0.35	3.16	1.11
JYD-18	0.60	0.49	0.54	0.80	0.52	1.50	0.80	0.80	0.38	0.62	0.75	0.62	0.41	0.62	0.38	2.17	1.23
JYD-19	0.66	0.44	0.66	0.44	0.47	1.15	1.08	0.78	0.35	0.64	0.49	0.52	0.37	0.62	0.33	1.54	0.76
JYD-20	0.51	0.41	0.91	1.21	0.51	1.20	2.47	0.71	0.27	0.68	0.87	0.91	0.34	0.71	0.28	3.27	1.34
JYD-21	0.84	0.51	0.77	1.24	0.76	1.17	0.84	1.02	0.38	0.81	0.86	1.16	0.44	0.84	0.40	2.34	1.50
JYD-22	0.68	0.45	0.71	0.72	0.64	0.86	1.17	0.80	0.41	0.57	0.52	0.48	0.42	0.52	0.41	1.28	0.83
JYD-23	0.44	0.54	0.79	1.04	0.69	1.00	1.12	1.11	0.28	0.58	0.89	1.07	0.36	0.63	0.33	3.45	1.98
JYD-24	0.76	0.43	0.66	0.79	0.69	1.14	1.05	0.95	0.52	0.64	0.35	0.76	0.49	0.65	0.46	0.66	1.03
JYD-25	0.71	0.37	0.94	0.84	0.60	1.00	1.26	0.81	0.30	0.80	0.68	1.07	0.37	0.86	0.31	1.98	1.26
JYD-26	0.57	0.36	0.82	0.79	0.61	0.75	1.40	0.81	0.26	0.69	1.21	1.06	0.32	0.73	0.27	2.31	1.53
JYD-27	0.56	0.52	1.09	0.90	0.79	1.00	2.13	0.94	0.42	1.12	0.98	1.88	0.50	1.26	0.41	2.42	1.59
JYD-28	0.67	0.51	1.26	1.27	1.12	0.75	1.22	1.28	0.53	1.40	1.07	1.87	0.61	1.45	0.50	2.03	1.32
JYD-29	0.64	0.59	0.93	0.82	0.60	1.14	2.70	0.78	0.52	0.83	1.41	1.21	0.58	0.87	0.54	2.84	1.40
JYD-30	0.57	0.68	0.76	1.08	0.96	1.20	1.18	1.03	0.38	0.94	0.92	4.16	0.45	1.05	0.34	2.11	3.92
JYD-31	0.51	0.45	0.85	0.91	0.48	0.71	0.98	0.67	0.22	0.36	0.31	0.53	0.23	0.38	0.21	1.37	4.21
JYD-33	0.64	0.54	0.78	0.88	0.83	1.15	2.20	1.06	0.32	0.75	1.18	1.37	0.43	0.81	0.38	3.64	1.86
JYD-34	0.53	0.46	0.97	1.09	1.07	1.00	1.10	1.31	0.33	0.87	1.19	1.22	0.41	0.90	0.35	3.66	1.41
JYD-35	0.67	0.69	1.36	1.44	1.54	1.00	1.63	1.94	0.85	2.14	3.83	2.86	1.15	2.22	0.64	4.10	1.25
JYD-36	0.66	0.52	0.62	1.04	0.86	1.13	1.38	1.20	0.29	0.64	0.38	0.62	0.30	0.63	0.26	1.59	1.03
JYD-39	0.54	0.52	0.75	0.69	0.62	1.00	1.97	0.87	0.34	0.75	1.30	0.75	0.44	0.75	0.39	3.58	10.19
JYD-40	0.70	0.57	1.10	1.19	0.83	0.78	1.40	1.01	0.76	1.10	4.93	1.13	0.79	1.10	0.73	6.55	0.99
JYD-41	0.55	0.48	0.72	0.92	0.57	1.14	1.50	1.06	0.20	0.38	0.46	0.54	0.24	0.40	0.22	2.61	1.32
JYD-42	0.63	0.66	0.85	1.20	0.76	0.75	1.28	0.93	0.29	0.75	0.48	0.83	0.35	0.76	0.30	2.33	1.03
JYD-45	0.43	0.47	0.89	0.79	0.79	0.75	2.33	0.85	0.26	0.56	0.66	0.79	0.31	0.51	0.28	2.72	1.89
平均值 Average	0.637	0.446	0.871	0.878	0.758	0.969	1.568	0.906	0.402	0.818	1.147	1.123	0.470	0.84	0.409	2.729	1.638
变异系数 CV/%	0.151	0.250	0.254	0.292	0.315	0.200	0.343	0.273	0.461	0.427	0.83	0.61	0.457	0.417	0.44	0.435	0.957

表 4 供试油莎豆各性状指标耐盐系数相关性

Table 4 Correlation of salt tolerance coefficient of various character traits of the tested Tigernut

	株高 Plant height	叶绿素 Chlorophyll	叶宽 Leaf width	叶厚 Leaf thickness	茎粗 Stem diameter	分蘖数 Number of tillers	枯萎率 Withering rate	根长 Root length	AFM	ADM	UFM	UDM	TFM	TDM	组织 含水量 Water content	R/T_t	R/T_d
株高 Plant height	1.000																
叶绿素 Chlorophyll	-0.195	1.000															
叶宽 Leaf width	-0.034	0.133	1.000														
叶厚 Leaf thickness	-0.240	0.430**	0.423**	1.000													
茎粗 Stem diameter	0.007	0.193	0.600**	0.403*	1.000												
分蘖数 Number of tillers	0.095	0.054	-0.457**	-0.281	-0.271	1.000											
枯萎率 Withering rate	-0.157	0.008	0.221	-0.115	0.018	-0.055	1.000										
根长 Root length	0.118	0.375*	0.445**	0.340*	0.401*	-0.057	0.200	1.000									
AFM	0.355*	0.227	0.333*	0.238	.453**	0.282	-0.332*	0.213	1.000								
ADM	0.333*	0.045	0.576**	0.039	0.384*	0.163	0.206	0.413**	0.628**	1.000							
UFM	0.230	-0.137	0.522**	-0.052	0.248	0.112	0.351*	0.425**	0.318*	0.735**	1.000						
UDM	-0.210	-0.015	-0.049	-0.167	-0.037	0.152	0.189	-0.159	-0.211	0.013	0.154	1.000					
TFM	0.354*	0.143	0.488**	0.202	0.505**	0.248	-0.128	0.320*	0.929**	0.782**	0.616**	-0.119	1.000				
TDM	0.280	-0.049	0.491**	-0.062	0.319*	0.257	0.280	0.348*	0.507**	0.949**	0.767**	0.229	0.692**	1.000			
组织含水量 Water content	0.412**	0.111	0.428**	0.217	0.441**	0.150	-0.225	0.256	0.923**	0.619**	0.463**	-0.252	0.933**	0.491**	1.000		
R/T_t	-0.048	-0.235	0.255	-0.198	-0.139	-0.064	0.627**	0.308	-0.368*	0.236	0.721**	0.175	-0.037	0.326*	-0.144	1.000	
R/T_d	-0.295	0.021	-0.074	0.066	-0.094	-0.049	0.022	-0.318*	-0.310	-0.221	-0.111	0.353*	-0.293	-0.123	-0.313	0.010	1.000

表 5 供试油莎豆各种质指标主成分分析及贡献率

Table 5 Principal component analysis and contribution rate of germplasm indexes of the tested Tigernut					
指标 Index	因子载荷 Factor Loading				
	F1	F2	F3	F4	F5
株高 Plant height	6.521	0.661	3.090	1.115	0.206
叶绿素 Chlorophyll	5.964	0.766	1.276	0.834	0.316
叶宽 Leaf width	11.298	0.308	4.921	1.640	-0.999
叶厚 Leaf thickness	7.071	0.830	2.631	0.999	-0.026
茎粗 Stem diameter	7.827	0.849	2.740	0.490	-0.764
分蘖数 Number of tillers	11.769	0.497	4.545	2.404	-1.754
枯黄率 Withering rate	12.693	0.429	2.061	1.050	0.746
根长 Root length	6.650	0.960	2.883	1.400	-0.350
AFM	8.936	0.434	2.268	0.589	0.066
ADM	4.314	0.739	2.383	1.349	0.039
UFM	8.438	0.151	3.432	0.935	-0.177
UDM	11.042	0.274	5.201	2.847	-2.118
TFM	7.218	0.250	4.221	1.162	-0.094
TDM	5.740	0.533	2.826	0.756	-0.836
组织含水量 Water content	7.258	0.580	2.872	1.049	-0.525
R/T_f	7.403	0.439	3.331	1.745	-0.477
R/T_d	6.074	1.146	1.933	1.703	-0.378
特征根 Characteristic root	7.719	2.054	1.498	1.321	1.026
贡献率 Contribution rate/%	45.407	12.085	8.811	7.770	6.036
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	45.407	57.491	66.302	74.072	80.107
因子权重 Factor weight	0.567	0.151	0.110	0.097	0.075

表 6 油莎豆种质资源表型性状综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of phenotypic traits of germplasm resources of Tigernut					
种质编号 Number	排名 Ranking	得分 Score	种质编号 Number	排名 Ranking	得分 Score
JYD-1	24	11.593	JYD-22	14	8.462
JYD-2	35	9.155	JYD-23	34	13.627
JYD-3	7	17.169	JYD-24	28	9.170
JYD-4	26	11.506	JYD-25	23	11.212
JYD-5	29	11.143	JYD-26	9	11.833
JYD-6	5	17.462	JYD-27	10	15.585
JYD-7	8	16.979	JYD-28	12	15.517
JYD-8	25	11.544	JYD-29	3	14.685
JYD-9	22	12.294	JYD-30	21	21.193
JYD-10	37	8.824	JYD-31	11	12.306
JYD-12	16	12.779	JYD-33	13	15.435
JYD-13	6	17.247	JYD-34	2	14.455
JYD-14	17	12.757	JYD-35	33	24.760
JYD-15	36	9.019	JYD-36	1	9.923
JYD-16	27	11.233	JYD-39	4	26.081
JYD-17	19	12.441	JYD-40	32	20.221
JYD-18	31	10.479	JYD-41	30	10.231
JYD-19	38	8.632	JYD-42	20	10.884
JYD-20	15	12.893	JYD-45	14	12.374
JYD-21	18	12.515			

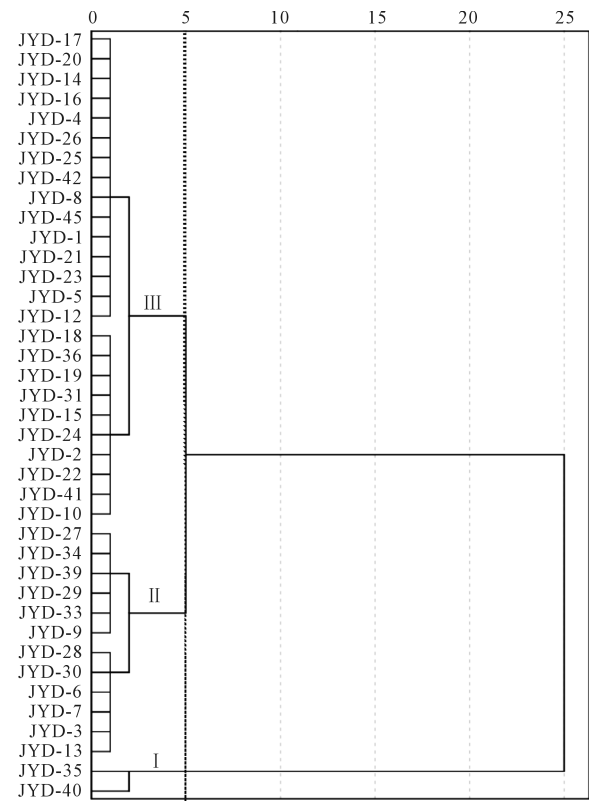


图 1 基于 D 值的油莎豆种质资源耐盐性系统聚类图
Fig.1 Systematic cluster map of salt-tolerance of Tigernut germplasm resources based on D value

表 7 供试油莎豆种质耐盐性评价隶属函数和 D 值

Table 7 Membership function and D value of salt-tolerance evaluation of germplasm of the tested Tigernut

种质编号 Number	隶属函数 Membership function					CDC 值		D 值	
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	数值 Value	排序 Ranking	数值 Value	排序 Ranking
JYD-1	6.202	0.707	2.983	0.951	0.720	0.868	24	4.097	29
JYD-2	5.645	0.811	1.169	0.671	0.830	0.695	36	3.578	34
JYD-3	10.980	0.353	4.814	1.477	1.485	1.273	5	7.062	6
JYD-4	6.753	0.875	2.524	0.164	0.487	0.843	26	4.290	24
JYD-5	7.509	0.894	2.633	0.327	1.250	0.905	21	4.807	18
JYD-6	11.451	0.542	4.438	2.241	2.240	1.253	6	7.447	4
JYD-7	12.375	0.526	1.954	0.886	1.260	1.222	8	7.490	3
JYD-8	6.332	1.006	2.776	1.237	0.164	0.842	27	4.178	27
JYD-9	8.617	0.520	2.161	0.426	0.580	0.960	17	5.286	14
JYD-10	3.996	0.215	2.276	1.185	0.552	0.639	39	2.704	39
JYD-12	8.120	0.196	3.325	0.229	0.336	0.974	15	5.045	15
JYD-13	10.723	0.319	5.094	2.684	2.604	1.240	7	7.143	5
JYD-14	6.900	0.295	4.114	0.999	0.581	0.965	16	4.549	21
JYD-15	5.421	0.578	2.719	0.593	1.322	0.727	34	3.616	32
JYD-16	6.940	0.625	2.765	0.885	1.012	0.874	23	4.494	22
JYD-17	7.084	0.515	3.224	1.582	0.037	0.925	20	4.604	19
JYD-18	5.756	1.192	1.826	1.540	0.864	0.778	32	3.858	30
JYD-19	5.126	0.653	1.360	0.995	0.468	0.666	38	3.285	37
JYD-20	6.926	0.962	3.839	0.996	0.140	0.976	14	4.600	20
JYD-21	7.538	1.572	2.015	1.202	0.842	0.933	19	4.911	17
JYD-22	5.395	0.672	1.276	0.534	0.445	0.674	37	3.385	36
JYD-23	7.150	1.748	3.436	1.405	1.142	0.958	18	4.917	16
JYD-24	5.684	1.051	0.677	0.680	1.048	0.709	35	3.600	33
JYD-25	6.641	1.041	2.062	0.876	0.438	0.834	29	4.266	26
JYD-26	6.686	1.028	2.808	0.052	0.332	0.851	25	4.284	25
JYD-27	9.044	1.370	3.133	1.012	0.996	1.089	11	5.851	11
JYD-28	10.495	1.651	2.088	0.380	0.634	1.110	9	6.512	8
JYD-29	8.426	0.619	3.783	1.257	0.570	1.083	12	5.450	13
JYD-30	9.650	3.804	3.304	2.042	2.363	1.277	4	6.783	7
JYD-31	4.077	2.254	2.923	0.951	2.070	0.786	30	3.221	38
JYD-33	8.272	1.306	4.138	1.553	0.135	1.108	10	5.502	12
JYD-34	8.860	1.558	3.306	1.281	1.581	1.051	13	5.864	10
JYD-35	17.530	1.680	4.379	2.043	1.903	1.724	1	11.013	1
JYD-36	5.879	1.410	1.550	0.627	0.427	0.773	33	3.808	31
JYD-39	6.717	3.969	8.002	3.332	4.030	1.497	3	5.913	9
JYD-40	14.284	1.141	6.489	2.757	4.199	1.509	2	9.566	2
JYD-41	5.269	1.286	2.632	0.039	0.053	0.782	31	3.478	35
JYD-42	6.789	1.319	2.128	0.488	0.130	0.834	28	4.338	23
JYD-45	6.219	1.062	3.685	0.315	0.693	0.898	22	4.173	28
平均值 Average						0.977		5.102	
变异系数 CV/%						0.255		0.342	

3.2 油莎豆种质资源耐盐性综合评价

植物对盐胁迫的响应是一系列综合因素作用的结果,其形态与生理的适应性有多种表现^[27-29]。因此,利用多种评价方法才能更加全面地反映出油莎豆的耐盐性。唐榕等^[30]采用盐胁迫处理油莎豆幼苗,地上部生长指标呈显著下降趋势,本研究也得到类似结果。试验相关性分析结果表明,其中 9 个指标呈极显著相关,2 个指标呈显著相关。此外, CDC 值介于 0.639~1.724,平均值为 0.977,变异系数为 0.255; D 值介于 2.704~11.103,平均值为 5.102,变异系数为 0.342。根据 CDC 值与 D 值大小对油莎豆种质资源进行耐盐性排序,其中耐盐性较强的种质资源为 JYD-35、JYD-40 和 JYD-3;耐盐性较差的种质资源为 JYD-10、JYD-19、JYD-22,与

聚类分析结果一致。因此,对 39 份油莎豆种质资源的耐盐性进行全面的综合评价,最终得出油莎豆种质资源中 JYD-35、JYD-40 和 JYD-3 耐盐性强, JYD-10、JYD-19 和 JYD-22 耐盐性弱。

4 结 论

盐胁迫显著降低油莎豆苗期的株高、生物量和叶绿素等表型及生理特征。干质量、叶绿素、茎粗、根冠比、分蘖数和组织含水量可作为主要耐盐评价指标。筛选出苗期耐盐性强的油莎豆种质资源 3 份:JYD-35、JYD-40 和 JYD-3。

参 考 文 献:

[1] 陈新,张宗文,吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 2038-2046.

- CHEN X, ZHANG Z W, WU B. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of naked oat (*Avenanuda* L.) at germination stage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (10): 2038-2046.
- [2] 王康军,樊继伟,陈凤,等. 植物对盐胁迫的响应及耐盐调控的研究进展[J]. *江西农业学报*, 2018, 30(12): 31-40.
- WANG K J, FAN J W, CHEN F, et al. Research advances in response of plants to salt stress and regulation of salinity tolerance[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30(12): 31-40.
- [3] 于红,敬思群. 油莎豆化学成分及应用研究进展[J]. *食品工业*, 2015, 36(6): 242-244.
- YU H, JING S Q. Research progress of application and chemical components of *Cyperus esculents* L[J]. *The Food Industry*, 2015, 36(6): 242-244.
- [4] 张学昆. 我国油莎豆产业研发进展报告[J]. *中国农村科技*, 2019, (4): 67-69.
- ZHANG X K. Progress report on the research and development of China's Yousha bean production[J]. *China Rural Science & Technology*, 2019, (4): 67-69.
- [5] 杨帆,朱文学. 油莎豆研究现状及展望[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33 (7): 4-6.
- YANG F, ZHU W X. Research status and prospect of *Cyperusesculentus* [J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(7): 4-6.
- [6] 王瑞元,王晓松,相海. 一种多用途的新兴油料作物——油莎豆[J]. *中国油脂*, 2019, 44(1): 1-4.
- WANG R Y, WANG X S, XIANG H. A multi-purpose novel oil crop——*Cyperus* beans[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(1): 1-4.
- [7] 黄春荣,梁文章,孙祖东. 油莎豆的引种及生产发展策略[J]. *大众科技*, 2012, 14(6): 178-181.
- HUANG C R, LIANG W Z, SUN Z D. Yousha-beans introduction and production development strategy [J]. *Popular Science&Technology*, 2012, 14(6): 178-181.
- [8] 焦兵阳,王英,尹诗慧,等. 油莎豆生物学特性、功能与遗传研究进展[J]. *现代化农业*, 2021, (1): 40-44.
- JIAO B Y, WANG Y, YIN S H, et al. Advances in biology, function and genetics of oilseed bean[J]. *Modernizing Agriculture*, 2021, (1): 40-44.
- [9] 阳振乐. 油莎豆的特性及其研究进展[J]. *北方园艺*, 2017, (17): 192-201.
- YANG Z L. Characteristics and research progress of *Cyperusesculentus* [J]. *Northern Horticulture*, 2017, (17): 192-201.
- [10] 张智猛,慈敦伟,丁红,等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(12): 3487-3494.
- ZHANG Z M, CI D W, DING H, et al. Indices selection and comprehensive evaluation of salinity tolerance for peanut varieties [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(12): 3487-3494.
- [11] 慈敦伟,张智猛,丁红,等. 花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. *生态学报*, 2015, 35(3): 805-814.
- CI D W, ZHANG Z M, DING H, et al. Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(3): 805-814.
- [12] 郭丽丽,郝立华,贾慧慧,等. NaCl 胁迫对两种番茄气孔特征、气体交换参数和生物量的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 3949-3958.
- GUO L L, HAO L H, JIA H H, et al. Effects of NaCl stress on stomatal traits, leaf gas exchange parameters, and biomass of two tomato cultivars[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(12): 3949-3958.
- [13] 牟晓璐,汤圆强,李涛,等. 番茄耐盐性研究进展[J]. *福建热作科技*, 2019, 44(2): 62-65.
- MU X L, TANG Y Q, LI T, et al. Progress on salt tolerance of tomato[J]. *Fujian Science & Technology of Tropical Crops*, 2019, 44 (2): 62-65.
- [14] 牛远,杨修艳,戴存凤,等. 大豆芽期和苗期耐盐性评价指标筛选[J]. *大豆科学*, 2018, 37(2): 215-223.
- NIU Y, YANG X Y, DAI C F, et al. Related indices selection of soybean salt tolerance at germination and seedling stages [J]. *Soybean Science*, 2018, 37(2): 215-223.
- [15] 彭智,李龙,柳玉平,等. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 638-645.
- PENG Z, LI L, LIU Y P, et al. Evaluation of salinity tolerance in wheat (*Triticumaestium*) genotypes at germination and seedling stages [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(4): 638-645.
- [16] 耿雷跃,马小定,崔迪,等. 水稻全生育期耐盐性鉴定评价方法研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(2): 267-275.
- GENG L Y, MA X D, CUI D, et al. Identification and evaluation method for saline tolerance in rice during the whole growth stage[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(2): 267-275.
- [17] 张立全,张凤英,哈斯阿古拉. 紫花苜蓿耐盐性研究进展[J]. *草业学报*, 2012, 21(6): 296-305.
- ZHANG L Q, ZHANG F Y, HASI A G L. Research progress on alfalfa salt tolerance [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21 (6): 296-305.
- [18] 李志勇,王宗礼. 牧草种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 1-85.
- LI Z Y, WANG Z L. Descriptors and data standard for forage[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 1-85.
- [19] 张静,廖丽,白昌军,等. 竹节草对 NaCl 胁迫临界浓度的初步研究[J]. *草地学报*, 2014, 22(3): 661-664.
- ZHANG J, LIAO L, BAI C J, et al. Critical concentration of salt stress in *Chrysopogonaciculatus* [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22 (3): 661-664.
- [20] 张相锋,杨晓绒,焦子伟. 植物耐盐性评价研究进展及评价策略[J]. *生物学杂志*, 2018, 35(6): 91-94.
- ZHANG X F, YANG X R, JIAO Z W. Research progress of salt tolerance evaluation in plants and tolerance evaluation strategy[J]. *Journal of Biology*, 2018, 35(6): 91-94.
- [21] 蔡晓锋,胡体旭,叶杰,等. 植物盐胁迫抗性的分子机制研究进展[J]. *华中农业大学报*, 2015, 34(3): 134-141.
- CAI X F, HU T X, YE J, et al. Molecular mechanisms of salinity tolerance in plants [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2015, 34(3): 134-141.