

主成分分析及隶属函数法对菊芋苗期耐盐性评价

张国新, 王秀萍, 姚玉涛, 薛志忠

(河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北省盐碱地绿化工程技术研究中心, 唐山市植物耐盐研究重点实验室, 河北唐山 063200)

摘要 [目的]综合评价苗期菊芋耐盐性, 筛选耐盐品种。[方法]利用不同盐分梯度的盐碱原土, 对6个菊芋品种(系)苗期耐盐性进行分析, 通过主成分及指标相关分析, 运用隶属函数法进行耐盐性评价。[结果]筛选出叶面积、株高、地上鲜重、地下鲜重、地上干重、丙二醛、净光合速率、气孔导度8个指标作为综合评价指标, 菊芋品种(系)B1、N1综合得分为0.812、0.625。[结论]6个品种(系)中, B1、N1苗期耐盐性较强。

关键词 菊芋; 苗期耐盐性; 主成分分析; 隶属函数法; 评价

中图分类号 S632.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)30-0077-03

Salt Tolerance of *Helianthus tuberosus* L. Seedlings Evaluated by Principal Component Analysis and Membership Function Method
ZHANG Guo-xin, WANG Xiu-ping, YAO Yu-tao et al (1. Coastal Agriculture Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hebei Technical Research Center of Saline-alkali Soil Greening Project, Tangshan Key Laboratory of Plant Salt Tolerance Research, Tangshan, Hebei 063200)

Abstract [Objective] To evaluate the salt tolerance of *Helianthus tuberosus* in seedling stage and to screen salt-tolerant varieties. [Method] The salt tolerance of 6 *H. tuberosus* varieties (lines) was analyzed by using salt-alkali soil with different salt gradients. The salt tolerance was evaluated by means of principal component and index correlation analysis, and the method of membership function was used to evaluate the salt tolerance of 6 *H. tuberosus* varieties (lines). [Result] Eight indexes such as leaf area, plant height, aboveground fresh weight, underground fresh weight, aboveground dry weight, malondialdehyde (MDA), net photosynthetic rate and stomatal conductance were selected as comprehensive evaluation indexes. The synthesis scores of B1 and N1 were 0.812, 0.625, respectively. [Conclusion] Among the 6 varieties (lines), B1 and N1 have strong salt tolerance in seedling stage.

Key words *Helianthus tuberosus* L.; Salt tolerance at seedling stage; Principal component analysis; Membership function method; Evaluation

菊芋 (*Helianthus tuberosus* L.) 为菊科向日葵属多年生草本植物, 别名洋姜、鬼子姜, 是集食用、饲用、工业及能源原料为一体的多功能植物。菊芋块茎干物质的主要成分为菊淀粉 (inulin), 被作为优质的膳食纤维源和脂肪替代物, 是“十一五”首推生物能源的原料植物。菊芋耐盐碱性强, 在滨海滩涂应用中取得了一定效果^[1-2]。利用盐荒地及滩涂资源发展菊芋的规模化种植, 对高效利用滨海盐碱地、推动盐碱产业发展具有积极意义。

我国对菊芋的研究起步较晚, 主要在20世纪90年代末开始进行较系统研究, 目前对盐胁迫研究主要集中在耐盐特性、离子吸收分布、光合效应等方面^[3-7], 在品种耐盐性评价方法方面的报道相对较少。笔者从苗期菊芋耐盐指标分析入手, 通过多指标相关性及主成分分析, 筛选主要指标, 采用隶属函数法对菊芋品种进行苗期评价, 对耐盐品种筛选方法及盐碱地应用具有生产实际意义。

1 材料与与方法

1.1 材料 6个菊芋品种(系), 编号为J2、Q12、M4、B1、L8、N1, 均来自于河北省农林科学院滨海农业研究所资源圃。

1.2 方法 试验在河北省农林科学院滨海农业研究所试验基地进行。2016年5月5日, 将带一个芽眼的块茎(直径1 cm)播种于装有沙子、底部有孔的塑料花盆中(口直径×高=35 cm×38 cm), 深浅保持一致, 均埋深5 cm, 自然光条件培养, 当植株叶片展开后, 用1/2 Hoagland 营养液浇灌。4叶进

行疏苗, 每盆保留2个品种各3株。当苗长到6叶时, 进行盐水胁迫试验, 以清水为对照, 用NaCl配成0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%的盐溶液, 每天进行一次盐水浇灌, 每盆浇灌1 L, 使底部流出盐水, 并按比例加入适量营养液, 防止养分缺失。每处理3盆共9株苗, 处理10 d后进行指标测定。

1.3 指标测定 株高: 利用直尺, 测定菊芋植株生长点至根部沙面的距离; 叶面积: 利用YMJ-B型便携式叶面积仪进行功能叶片叶面积测量, 取3株平均值; 鲜干重: 分别称取洗净吸干水分的植株鲜质量, 装入干燥纸袋内, 于70℃烘干至恒质量后称取干质量, 结果取平均值; 质膜透性测定参照“山东农业大学植物生理实验”电导法; 丙二醛含量测定参照《现代植物生理学实验指南》硫代巴比妥(TBA)显色法; 光合参数测定采用便携式光合测定系统(Li-6400, USA)。

1.4 数据处理 运用DPS统计分析软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 各指标耐盐系数 耐盐性是一个受多基因控制的复杂数量性状, 单一指标不能全面反映品种的耐盐性, 该研究参照其他作物耐盐性指标分析结论, 选取盐分处理下变化幅度大的形态、生理指标作为主要分析指标, 通过耐盐系数法, 取相对值, 消除品种本身的固有差异, 不同浓度下的耐盐系数用公式(1)表示:

式(1): $\alpha = \text{不同浓度处理下平均测定值} / \text{对照测定值} \times 100\%$, 表1中单项指标的耐盐系数为不同浓度耐盐系数的平均值。

2.2 主因子指标分析 从表2可以看出, 盐分胁迫下的12个指标相关性中, 叶面积(x_1)与地上鲜重(x_3)正相关, 达

基金项目 河北省科技项目(16226304D-5)。

作者简介 张国新(1971—), 男, 河北青龙人, 研究员, 从事盐碱地高效利用研究。

收稿日期 2018-05-30

到极显著水平,与地下鲜重(x_4)、地上干重(x_5)正相关,达到显著水平,说明叶面积增加,有利于植株生长,从而提高地上鲜重、干重。地上鲜重(x_3)与地下鲜重(x_4)、地上干重(x_5)正相关,分别达极显著、显著水平,说明地上部鲜重增加,促

进了根系生长,同时提高了地上干物质积累。地上干重(x_5)与地下干重正相关,达到极显著水平。气孔导度(x_{10})与胞间CO₂浓度(x_{12})正相关,达极显著水平,说明气孔导度加大,气体流量增加,提高了胞间CO₂浓度,利于光合作用。

表1 供试材料单项指标的耐盐系数

Table 1 Salt tolerance coefficient of single indicator of tested materials

品种(系) Variety (line)	叶面积(x_1) Leaf area	株高(x_2) Plant height	地上鲜重(x_3) Aboveground fresh weight	地下鲜重(x_4) Underground fresh weight	地上干重(x_5) Aboveground dry weight	地下干重(x_6) Underground dry weight	膜质透性(x_7) Membrane permeability	丙二醛 醛(x_8) Malonaldehyde	净光合 速率(x_9) Net photosynthetic rate	气孔导 度(x_{10}) Stomatal conduc- tance	蒸腾速 率(x_{11}) Transpi- ration rate	胞间CO ₂ 浓度(x_{12}) Inter- cellular CO ₂ concentration
J2	0.405	0.508	0.401	0.542	0.427	0.492	41.233	1.667	0.515	0.4	0.936	0.454
Q12	0.368	0.507	0.356	0.469	0.301	0.393	10.324	2.04	0.536	0.697	1.098	0.63
M4	0.351	0.698	0.396	0.543	0.269	0.404	8.705	2.695	0.467	0.692	1.039	0.697
B1	0.533	0.589	0.624	0.672	0.495	0.497	5.883	1.726	0.609	0.295	1.066	0.409
L8	0.404	0.503	0.477	0.561	0.45	0.456	2.294	2.019	0.428	0.243	0.941	0.391
N1	0.519	0.599	0.58	0.61	0.493	0.484	15.2	2.196	0.516	0.283	0.935	0.442

表2 指标相关性分析

Table 2 Index correlation analysis

变量 Variable	标准差 Standard deviation	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	0.070 6											
x_2	0.070 5	0.054 3										
x_3	0.099 2	0.954 2	0.182 7									
x_4	0.062 9	0.878 4	0.311 4	0.949 8								
x_5	0.089 1	0.862 7	-0.290 6	0.833 9	0.769 7							
x_6	0.041 7	0.783 4	-0.190 3	0.724 2	0.765 0	0.923 5						
x_7	12.829 1	-0.084 5	-0.270 9	-0.296 9	-0.191 0	0.080 2	0.370 2					
x_8	0.339 1	-0.420 0	0.747 2	-0.269 1	-0.253 7	-0.622 4	-0.658 5	-0.407 6				
x_9	0.056 4	0.607 7	0.005 3	0.452 0	0.447 1	0.298 1	0.356 2	0.099 6	-0.511 1			
x_{10}	0.189 5	-0.730 2	0.303 7	-0.763 1	-0.714 2	-0.962 9	-0.868 0	-0.005 2	0.533 5	-0.053 7		
x_{11}	0.067 4	-0.175 5	0.215 6	-0.176 4	-0.174 6	-0.537 0	-0.569 5	-0.430 3	0.142 5	0.504 5	0.651 3	
x_{12}	0.116 4	-0.693 1	0.483 9	-0.684 7	-0.630 9	-0.956 7	-0.873 2	-0.092 4	0.708 0	-0.146 8	0.973 2	0.584 5

注:相关系数临界值, $\alpha=0.05$ 时, $r=0.811 4$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.917 2$

Note: Critical value of correlation coefficient, $\alpha=0.05$, $r=0.811 4$; $\alpha=0.01$, $r=0.917 2$

从表3、4主因子分析看出,3个主因子代表了12个指标的90.297 1%的主要信息,其中第1个因子代表信息最多,贡献率达53.240 4%。从旋转因子载荷矩阵看出,主因子1的叶面积(x_1)、地上鲜重(x_3)、地下鲜重(x_4)、地上干重(x_5)、气孔导度(x_{10})5个指标代表了总指标53.240 4%的信息;主因子2的平均株高(x_2)、丙二醛(x_8)代表了21.326 9%信息;

表3 主因子分析

Table 3 Principal factor analysis

序号 No.	特征值 Eigenvalue	百分率 Percentage %	累计百分率 Cumulative percentage//%
1	6.686 4	53.240 4	53.240 4
2	2.453 6	21.326 9	74.567 3
3	1.695 6	15.729 8	90.297 1
4	0.999 9	8.332 2	98.629 3
5	0.164 5	1.370 7	100

主因子3的净光合速率(x_9)代表了总指标因子15.729 8%的信息。上述3个主因子的8个指标为菊芋耐盐指标的主要分析指标。

2.3 耐盐性评价 由于不同变量常常具有不同的单位和不同的变异程度,因此为了消除量纲影响和变量自身变异大小和数值大小的影响,消除单个指标带来的片面性,用隶属函数法将各品种的各耐盐指标扩展到[0,1]区间上,将数据标准化。用下式分别计算各耐盐指标的隶属函数值,每份材料各综合指标的隶属函数值用公式(2)(3)求得。

$$\text{式(2)}: \mu_{vj} = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), j=1, 2, 3, \dots, n$$

$$\text{式(3)}: \mu_{vj}^* = 1 - (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), j=1, 2, 3, \dots, n$$

式中, x_j 表示第 j 个综合指标值; x_{\min} 表示第 j 个综合指标的最小值; x_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值, μ_{vj} 为隶属函数值, μ_{vj}^* 为反隶属函数值。丙二醛与耐盐系数是负相关,用公式(3)计算。

表 4 方差旋转因子载荷矩阵

Table 4 Rotated factor matrix

因子 Factor	叶面积(x_1) Leaf area	株高(x_2) Plant height	地上鲜重(x_3) Aboveground fresh weight	地下鲜重(x_4) Underground fresh weight	地上干重(x_5) Aboveground dry weight	丙二醛(x_6) Malonaldehyde
因子 1 Factor 1	0.923 1	-0.017 1	0.945 4	0.917 1	0.956 5	-0.448 2
因子 2 Factor 2	0.052 3	0.874 2	0.252 0	0.274 3	-0.265	0.821 2
因子 3 Factor 3	0.297 9	0.063 4	0.186 3	0.181 2	-0.068 1	-0.300 1
因子 Factor	净光合速率(x_9) Net photo- synthetic rate	气孔导度(x_{10}) Stomatal conductance	蒸腾速率(x_{11}) Transpiration rate	胞间 CO_2 浓度(x_{12}) Intercellular CO_2 concentration	方差贡献 Variance contribution	累计贡献 Cumulative contribution
因子 1 Factor 1	0.342 8	-0.916 1	-0.430 3	-0.862 8	6.389 0	0.532 4
因子 2 Factor 2	-0.143 4	0.223 6	0.288 1	0.415 5	2.567 8	0.746 4
因子 3 Factor 3	0.906 8	0.285 7	0.818 9	0.181 2	1.878 8	0.903 0

通过各品种(系)的 8 个指标隶属函数值比较分析(表 5), B1 值为 0.813, 为最高, N1 次之, Q12 最小, 说明 B1、N1 在盐分胁迫下, 苗期指标表现较好的耐受性, 在 6 个品种(系)中, 耐盐性较强。

表 5 隶属函数值及综合排名

Table 5 Value of membership function and comprehensive ranking

品种(系) Variety (line)	叶面积 Leaf area	株高 Plant height	地上鲜重 Aboveground fresh weight	地下鲜重 Underground fresh weight	地上干重 Aboveground dry weight	丙二醛 Malonal- dehyde	净光合速率 Net photosyn- thetic rate	气孔导度 Stomatal conductance	平均得分 Average score	排名 Ranking
J2	0.298	0.025	0.166	0.360	0.697	1.000	0.483	0.346	0.422	3
Q12	0.093	0.021	0.000	0.000	0.141	0.637	0.594	1.000	0.311	6
M4	0.000	1.000	0.148	0.362	0.000	0.000	0.213	0.988	0.339	5
B1	1.000	0.443	1.000	1.000	1.000	0.942	1.000	0.116	0.813	1
L8	0.291	0.000	0.492	0.452	0.843	0.657	0.000	0.000	0.342	4
N1	0.925	0.493	0.837	0.695	0.990	0.486	0.485	0.088	0.625	2

3 讨论与结论

菊芋作为多功能菊科植物, 在滨海盐碱地具有一定应用前景^[8]。由于受少雨及蒸发影响, 春季滨海盐碱地土壤盐分向表层聚集^[9], 而此时期正是作物幼苗期, 是受土壤盐分胁迫最重阶段, 所以苗期的耐盐强弱, 一定程度上能反映品种的全生育期耐盐性。耐盐性是一个受多基因控制的复杂数量性状, 多指标综合分析的隶属函数模糊评价法能全面反映品种苗期的耐盐性, 目前已在多种植物耐盐性评价中得到应用^[10-12]。

笔者采用主成分分析对不同盐分梯度的多指标进行筛选, 通过隶属函数法进行不同梯度指标耐盐系数平均值的比较, 通过综合得分评价苗期菊芋的耐盐性, 筛选出叶面积、株高、地上鲜重、地下鲜重、地上干重、丙二醛、净光合速率、气孔导度为苗期隶属函数综合评价指标, 从品种耐盐性上看, B1、N1 综合得分为 0.812、0.625, 苗期耐盐性较强。

参考文献

[1] 刘兆普, 隆小华, 刘玲, 等. 海岸带滨海盐土资源发展能源植物资源的研

- 究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 9-14.
- [2] 谢逸萍, 孙厚俊, 王欣, 等. 新型能源植物菊芋资源的引种鉴定与海涂利用评价[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 62-63, 71.
- [3] 黄明月, 阮成江, 王金妹, 等. 菊芋耐盐性的初步研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(5): 137-141.
- [4] 郭丽, 王殿奎, 王明泽, 等. 盐碱胁迫对菊芋种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(8): 96-97.
- [5] 张国新, 郝桂琴, 刘雅辉, 等. 盐分胁迫对菊芋幼苗生长指标的影响[J]. 河北农业科学, 2014, 18(3): 13-16.
- [6] 陆艳, 叶慧君, 耿守保, 等. NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长和叶片光合作用参数以及体内离子分布的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 86-91.
- [7] 隆小华, 刘兆普, 王琳, 等. 半干旱地区海涂海水灌溉对不同品种菊芋产量构成及离子分布的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 300-306.
- [8] 张国新, 杨扬, 薛志忠. 菊芋应用价值及其在河北滨海盐碱区的发展前景[J]. 河北农业科学, 2011, 15(8): 72-74.
- [9] 张国新, 王秀萍, 鲁雪林, 等. 冀东滨海盐碱区耕层土壤盐碱变化规律研究[J]. 河北农业科学, 2010, 14(10): 53-55.
- [10] 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.
- [11] 张彦威, 张礼凤, 李伟, 等. 大豆发芽期和苗期耐盐性的隶属函数分析[J]. 山东农业科学, 2016, 48(1): 21-25.
- [12] 田淑慧, 陶翠霞, 张锋. 20 种药用植物的苗期耐盐性及其评价[J]. 山东农业科学, 2017, 49(8): 49-54.

科技论文写作规范——讨论

着重于研究中新的发现和重要方面, 以及从中得出的结论。不必重复在结果中已评述过的资料, 也不要模棱两可的语言, 或随意扩大范围, 讨论与文中无多大关联的内容。