

加工番茄幼苗期耐盐生理指标筛选 及耐盐性综合评价

彭玉梅, 石国亮, 崔辉梅
(石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 以 7 个加工番茄材料为试材, 采用不同浓度的 NaCl 溶液人工模拟盐胁迫, 对 13 项指标的耐盐系数进行主成份分析、相关分析、隶属函数法和逐步回归分析, 对幼苗期加工番茄耐盐性进行检验, 结果表明: 根据耐盐综合评价(D)得出材料耐盐性排序: KT-55 > KT-25 > KT-63 > KT-16 > KT-40 > KT-18 > KT-70, 筛选出根干重、丙二醛、过氧化物酶 3 个加工番茄幼苗期耐盐性评价指标; 7 个材料的耐盐预测最优方程: $D = -0.129 + 0.004X_1 + 0.002X_2 - 0.001X_3$, 其中 X_1 、 X_2 、 X_3 分别代表根干重、丙二醛、过氧化物酶为指标的耐盐系数。

关键词: 加工番茄; NaCl 胁迫; 耐盐性; 综合评价; 预测
中图分类号: S603.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0061-06

Salt tolerance evaluation of processing tomato lines based on physiological traits at seedling stages

PENG Yu-mei, SHI Guo-liang, CUI Hui-mei
(College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: In this study, seven processing tomato lines were used and simulated salt stress by NaCl was performed. Thirteen indexes regarding salt tolerance of processing tomato seedling were studied by principal component analysis, correlation analysis, subordinative function, and stepwise regression analysis. The results showed that salt tolerance of seven processing tomatoes had an order of KT-55 > KT-25 > KT-63 > KT-16 > KT-40 > KT-18 > KT-70. Root dry weight, MDA, POD were important for salt tolerance. The optimal prediction equation was: $D = -0.129 + 0.004X_1 + 0.002X_2 - 0.001X_3$, where X_1 , X_2 , and X_3 represent the salt tolerance coefficient of the root dry weight, MDA, and POD, respectively.

Keywords: processing tomato; NaCl stress; salt tolerance; comprehensive evaluation; prediction

盐渍土是全球陆地上分布广泛的一类土壤, 严重影响了植物的生长和作物的产量^[1], 新疆气候干旱, 生态环境脆弱, 土壤盐渍化现象普遍存在^[2]。关于植物耐盐性的研究目前已有许多报道, 研究表明植物在不同发育期对盐的抗性不同, 除萌发期, 幼苗期也是植物对盐胁迫最敏感的时期^[3-4]。番茄 (*Solanum lycopersicum*) 属于中度盐敏感植物, 选育耐盐性强的番茄品种一直是番茄育种的重要目标。新疆作为我国最大的加工番茄种植和加工基地, 其生产能力占全国总产 90% 以上^[5]。为了克服土壤盐渍化, 前人在番茄耐盐材料选育和栽培措施上做了大量工作^[4, 6-12], 但研究者采用的鉴定指标并不一致, 董志刚等^[13]把地上部鲜重和干重、根鲜重和干重、壮苗指数、根/冠比作为幼苗期耐盐鉴定指标, Claussen^[14]研究发现脯氨酸可作为水培番茄最终果实产量和品质的鉴定指标, 费伟等^[4]认为脯氨酸、可溶性糖、丙二醛、SOD、POD 活性可作为鉴定番茄幼苗耐盐性的生理指标, 刘翔等^[15]认为盐害指数、株高、茎粗、干物质量、根系与地上部干鲜比可作为耐盐指标。由于品种不同, 其耐盐机制也不同, 许多研究仅从单一指标来评价番茄耐盐性, 往往忽视了耐盐指标间信息的交叉重叠, 目前对培育耐盐加工番茄材料, 进行综合评价和耐盐预测方面的研究尚少。因此, 本研究以 7 个加工番茄材料为试材, 试图利用主成分分析、隶属函数值和聚类分析法对盐胁迫下加工番茄幼苗期的生理生化指标进行耐盐性指标鉴

收稿日期: 2013-12-05
基金项目: 留学回国人员科技活动项目(2010LX005)
作者简介: 彭玉梅(1987—), 女, 新疆石河子人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: pengyumei126@126.com。
通信作者: 崔辉梅(1971—), 女, 新疆石河子人, 副教授, 博士, 研究方向为蔬菜种质资源与遗传育种。E-mail: chm_agr@shzu.edu.cn。

定,筛选出具有较高耐盐性的加工番茄材料和建立耐盐预测最优方程,为加工番茄的耐盐材料选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试加工番茄材料共 7 个,分别是:KT-63、KT-55、KT-16、KT-18、KT-70、KT-25、KT-40。

1.2 试验设计与处理

试验在石河子大学农学院实验站进行。2013 年 3 月初选取大小均一、籽粒饱满的种子浸种催芽,出芽后分别播于穴盘中,草炭、蛭石以 1:1 的比例做基质。待幼苗长至两叶一心时,选择生长一致的幼苗移至 10 cm × 10 cm 的营养钵中,每营养钵中为 1 株,每隔两天浇灌一次 Hoagland 营养液。幼苗四叶一心时,材料每天用相应浓度 NaCl 的 Hoagland 营养液浇透,倒掉钵底渗出的溶液,以保持渗透势的稳定。NaCl 浓度分别为 50、100、150、200、250 mmol · L⁻¹,以浇灌不含 NaCl 的 Hoagland 营养液为对照,每处理 20 株。处理 7 d 后取样进行光合参数和其它相关生理生化指标测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 植株地上、根干重的测定 将植物地上部、根用去离子水快速冲洗干净,置于鼓风干燥箱中 105℃ 杀青 10 min,80℃ 烘至恒重,称得干重。

1.3.2 可溶性糖、脯氨酸、叶片相对电导率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛含量的测定均采用王学奎^[16]的方法。

1.3.3 叶绿素(Chl)含量的测定 采用丙酮乙醇混合液提取法^[17]测定叶绿素(Chl)含量。

1.3.4 光合参数的测定 处理第 7 天,每处理选取 3 株,于 2013 年 6 月 13 日 9:30—11:30,使用 Li-6400XP 型光合仪(美国 LI-COR 公司)取第 3、4 位完全展开功能叶测定净光合速率(P_n)。测定时,使用红蓝光源叶室,光强为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,叶室温度为 25℃。

1.3.5 叶绿素荧光参数的测定 用 FMS-II 型便携式荧光仪(英国 Hansatech 公司)测定叶片 PS II 光化学效率 F_v/F_m 以及 PS II 光合电子传递量子效率 $\phi\text{PS II}$ 。测定前叶片暗适应 20 min,先照射检测光($<0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),再照射饱和脉冲光(12 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),测定 F_v/F_m ,打开内源光化光(Ac-tinic light, 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 3 min 后测 $\phi\text{PS II}$ 。所有指标均重复测定 3 次。

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 单项指标耐盐系数 单项指标耐盐系数用公式(1)表示:

$$\alpha(\%) = \frac{\text{不同盐浓度处理下平均测定值}}{\text{对照测定值}} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 隶属函数值 每一材料各综合指标的隶属函数值用公式(2)计算:

$$\mu(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, X_j 表示第 j 个综合指标值; $X_{\min}$ 表示 j 个综合指标的最小值; $X_{\max}$ 表示 j 个综合指标的最大值。

1.4.3 权重的计算 根据综合指标贡献率的大小用公式(3)计算各综合指标的权重^[18]。

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, W_j 值表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度; P_j 表示各材料第 j 个综合指标的贡献率。

1.4.4 耐盐性综合评价 耐盐性综合评价用公式(4)计算:

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \cdot W_j] \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中, D 值为各材料在盐胁迫下用综合指标评价所得的耐盐性综合评价。

试验原始数据处理采用 Excel 2003 软件完成,数据分析采用 SPSS 11.5 软件对 13 个指标进行简单相关分析和主成分分析;用隶属函数法和主成份赋予权重法计算耐盐性综合评价(D);运用多元逐步回归分析建立最优回归方程得到耐盐性预测值(VP),并筛选出耐盐指标;再对耐盐性综合评价(D)和耐盐预测值(VP)进行简单相关分析;采用最大距离法对耐盐性综合评价(D)进行聚类分析,评价所研究的加工番茄材料耐盐性。

2 结果与分析

2.1 各单项指标的耐盐系数及其简单相关分析

根据公式(1)计算出各单项指标耐盐系数,由表 1 可知,可溶性糖含量(X_3)、脯氨酸含量(X_4)、相对电导率(X_5)、超氧化物歧化酶(X_6)、过氧化物酶(X_7)、过氧化氢酶(X_8)、丙二醛(X_9)这几个指标与对照相比均有所增加($\alpha > 100\%$),地上干重(X_1)、根干重(X_2)、总叶绿素含量(X_{10})、净光合速率(X_{11})、实际光化学效率(X_{13})与对照相比均有所下降($\alpha < 100\%$),最大光化学效率(X_{12})与对照相比差异不大。由于不同材料的各个指标变化幅度不同,

用单一指标的耐盐系数来评价加工番茄的耐盐性,结果均不相同。KT-63 在地上干重(X_1)指标中表现最差,在净光合速率(X_{11})指标中却表现最好,而 KT-25 在地上干重(X_1)指标中表现最好,在净光合速率(X_{11})指标中却表现最差;KT-55 在根干重(X_2)、过氧化氢酶(X_8)指标中表现出耐盐,但在过氧化物酶(X_7)指标中表现最差,而 KT-40 在根干重(X_2)、过氧化氢酶(X_8)指标中表现出耐盐性较差,但在过氧化物酶(X_7)指标中表现出较耐盐;KT-16 在地上干重(X_1)、可溶性糖含量(X_3)、相对电导率(X_5)、超氧化物歧化酶(X_6)指标中表现出耐盐性好,在脯氨酸含量(X_4)指标中表现出耐盐性较差,而 KT-70 在地上干重(X_1)、可溶性糖含量

(X_3)、超氧化物歧化酶(X_6)指标中表现出耐盐性较差,在脯氨酸含量(X_4)指标中表现出耐盐性较好。

从表 2 可知,除了可溶性糖含量(X_3)与脯氨酸含量(X_4)之间的相关系数达极显著水平(-0.893^{**}),地上干重(X_1)与超氧化物歧化酶(X_6)、丙二醛(X_9)与净光合速率(X_{11})、最大光化学效率(X_{12})分别与相对电导率(X_5)、总叶绿素含量(X_{10})之间的相关系数达显著水平外,其他指标间也存在着一定的相关性。说明这 13 项指标之间存在着或大或小的相关性,使得它们所提供的信息发生一定的重叠,而耐盐性是一个复杂的综合性状,如果用单一指标来评价加工番茄的耐盐性则具有片面性,不能准确的评价出所研究的加工番茄材料耐盐性。

表 1 各单项指标的耐盐系数 α 值/%
Table 1 α value of saline tolerance coefficient of each indexes

材料编号 No. of material	单项指标 Single index												
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
KT-63	78.7	91.6	123.9	707.3	114.3	226.0	164.3	178.0	224.8	97.9	88.4	101.2	87.2
KT-55	99.9	157.1	205.8	443.9	156.0	206.3	135.2	210.4	152.0	151.3	38.9	98.3	88.5
KT-16	107.00	82.7	121.9	1025.5	106.5	271.6	189.4	70.0	161.7	94.5	45.1	102.2	90.4
KT-18	83.6	68.9	122.7	771.9	129.4	185.2	180.3	141.6	139.1	98.9	51.8	101.6	102.0
KT-70	80.5	83.6	209.2	257.9	134.8	170.1	269.6	93.0	144.3	97.0	52.4	101.8	101.7
KT-25	141.3	148.8	150.5	746.3	142.7	330.5	199.0	163.8	151.4	94.2	31.6	101.0	82.5
KT-40	98.1	67.3	136.5	705.6	153.5	171.2	222.4	81.5	176.0	101.8	41.6	99.7	89.8

注 Note: X_1 :地上干重; X_2 :根干重; X_3 :可溶性糖含量; X_4 :脯氨酸含量; X_5 :相对电导率; X_6 :超氧化物歧化酶; X_7 :过氧化物酶; X_8 :过氧化氢酶; X_9 :丙二醛; X_{10} :总叶绿素含量; X_{11} :净光合速率; X_{12} :最大光化学效率; X_{13} :实际光化学效率。下同。

Note: X_1 : Dry weight of shoot; X_2 : Dry weight of root; X_3 : Soluble sugar content; X_4 : Proline content; X_5 : Relative conductivity; X_6 : SOD activity; X_7 : POD activity; X_8 : CAT activity; X_9 : MDA content; X_{10} : Chorophyll content; X_{11} : Net photosynthetic rate; X_{12} : Fv/Fm ; X_{13} : $\phi PSII$. The same below.

表 2 各单项指标的相关系数矩阵
Table 2 Correlation matrix of eachsingle index

指标 Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
X_1	1.000												
X_2	0.608	1.000											
X_3	-0.054	0.491	1.000										
X_4	0.344	-0.240	-0.893^{**}	1.000									
X_5	0.248	0.433	0.560	-0.538	1.000								
X_6	0.835^{*}	0.541	-0.271	0.517	-0.256	1.000							
X_7	-0.087	-0.471	0.209	-0.323	0.029	-0.245	1.000						
X_8	0.088	0.727	0.241	-0.256	0.289	0.186	-0.726	1.000					
X_9	-0.276	-0.163	-0.419	0.212	-0.357	0.027	-0.259	0.161	1.000				
X_{10}	-0.041	0.607	0.586	-0.418	0.568	-0.225	-0.590	0.609	-0.154	1.000			
X_{11}	-0.694	-0.386	-0.301	-0.011	-0.577	-0.255	-0.134	0.162	0.776^{*}	-0.237	1.000		
X_{12}	-0.114	-0.542	-0.433	0.357	-0.805^{*}	0.218	0.461	-0.532	-0.018	-0.858^{*}	0.301	1.000	
X_{13}	-0.677	-0.603	0.179	-0.343	-0.124	-0.698	0.443	-0.365	-0.457	-0.154	0.119	0.377	1.000

注: * 表示 $P < 0.05$ 的显著水平; ** 表示 $P < 0.01$ 的显著水平。

Note: * significant at $P < 0.05$; ** significant at $P < 0.01$.

2.2 13 项指标的主成分分析

多指标的主成份分析可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换为新的个数较少而且彼此独立或不相关的综合指标^[19]。利用 SPSS 11.5 软件对 13 个单项指标的耐盐系数进行主成份分析,由表 3 可知,第一、

第二、第三、第四主成份的贡献率分别是 35.969%、26.839%、19.623% 和 7.991%,三者累计贡献率达 90.422% > 85%,基本上代表了所测指标的绝大部分信息,其余可忽略不计,可初步作为 4 个新的反应加工番茄幼苗期不同材料耐盐性的相互独立的综合指标,用 CI(1)、CI(2)、CI(3)和 CI(4)表示。

表 3 各综合指标的系数及贡献率
Table 3 Coefficients of comprehensive indexes[CI(x)] and their contribution ratio (P)

指标 Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	贡献率 Contribution ratio/ %
CI(1)	0.417	0.878	0.620	-0.418	0.759	0.143	-0.445	0.679	-0.259	0.838	-0.495	-0.847	-0.431	35.969
CI(2)	0.659	0.324	-0.617	0.778	-0.360	0.876	-0.479	0.193	0.349	-0.226	-0.021	0.136	-0.781	26.839
CI(3)	-0.612	-0.043	-0.141	-0.076	-0.208	-0.315	-0.579	0.530	0.743	0.319	0.812	-0.259	-0.098	19.623
CI(4)	0.061	0.317	0.403	-0.450	-0.208	0.313	0.322	0.196	0.157	-0.229	0.301	0.330	-0.100	7.991

2.3 各材料综合指标值、权重、隶属函数值、D 值、预测值(VP)及耐盐材料筛选

根据各综合指标的指标系数及各单项指标的耐盐系数求出加工番茄材料 4 个综合指标值,根据隶属函数公式(2)算出相对应的隶属函数值,再由权重公式(3)计算各综合指标的权重。经计算,CI(1)、CI(2)、CI(3)和 CI(4)的权重系数分别为 0.398、0.297、0.217、0.088。用公式(4)计算出各个加工番茄材料的耐盐性综合评价值,由表 4 可知,KT-55 的 D 值

最大,表明该材料的耐盐性最强,根据 D 值的大小可对加工番茄材料的耐盐性进行排序:KT-55 > KT-25 > KT-63 > KT-16 > KT-40 > KT-18 > KT-70。根据各品种的耐盐性综合评价值(D)用最大距离法对 D 值进行聚类分析,可将 7 个加工番茄材料划分为 2 个类群:第 1 类群为耐盐性强的材料资源 KT-55、KT-25、KT-63;第 2 类群为耐盐性弱的材料资源 KT-16、KT-40、KT-18、KT-70(见图 1)。

表 4 各材料综合指标值、权重、隶属函数值、D 值、预测值(VP)及综合评价
Table 4 The value of comprehensive index[CI(x)],index weight(IW),μ(x), D, prediction(VP) of each material and comprehensive evaluation of its salt tolerance(CE)

材料编号 No. of material	综合指标值 Comprehensive index[CI(x)]				隶属函数值 Subordinative function[μ(x)]				综合评价值 Comprehensive evaluation(D)	耐盐性预测值 Prediction (VP)	综合评价 CE
	CI(1)	CI(2)	CI(3)	CI(4)	μ(1)	μ(2)	μ(3)	μ(4)			
KT-63	-1.321	1.129	3.008	0.830	0.098	0.769	1.000	0.797	0.555	0.523	耐盐 Yes
KT-55	4.196	-0.690	1.004	-0.373	1.000	0.437	0.586	0.337	0.685	0.668	耐盐 Yes
KT-16	-1.921	1.700	-0.890	-0.431	0.000	0.873	0.195	0.315	0.329	0.336	不耐盐 No
KT-18	-1.328	-0.768	0.070	-1.011	0.097	0.423	0.393	0.093	0.258	0.245	不耐盐 No
KT-70	-0.892	-3.084	-0.967	1.360	0.168	0.000	0.179	1.000	0.194	0.224	不耐盐 No
KT-25	1.542	2.394	-1.833	0.879	0.566	1.000	0.000	0.816	0.594	0.570	耐盐 Yes
KT-40	-0.276	-0.680	-0.392	-1.255	0.269	0.439	0.298	0.000	0.302	0.270	不耐盐 No
权重 IW					0.398	0.297	0.217	0.088			

2.4 耐盐性鉴定中耐盐指标的筛选和加工番茄材料耐盐性预测

在评价材料是否耐盐时,由于评价指标较多,无法准确客观的评价其耐盐性,则需要建立最优回归方程,找出对耐盐性有显著影响的鉴定指标,剔除对耐盐性影响小的指标,这不仅使得鉴定工作简单化,而且对今后的加工番茄耐盐性鉴定具有一定的预见

性。把耐盐性综合评价值(D)做因变量,把各单项指标的耐盐系数(α)做自变量,采用多元逐步回归分析法建立最优回归方程,为: $D = -0.129 + 0.004X_1 + 0.002X_2 - 0.001X_3$ 。

该回归方程的相关系数 $R = 0.996$, $F = 133.491$,显著水平 $P = 0.001$,方程极显著。式中: X_1 、 X_2 、 X_3 分别代表根干重、丙二醛、过氧化物酶为

指标的耐盐系数。由回归方程可知,在 13 个指标中,上述 3 个指标对耐盐性有显著影响,故在耐盐鉴定中可选择这些指标来测定。

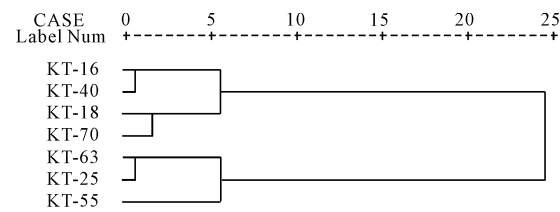


图 1 加工番茄耐盐性综合评价值聚类分析图

Fig.1 Cluster analysis of the comprehensive value of salt tolerance for the seven processing tomatos

通过最优回归方程预测加工番茄苗期耐盐性,得到耐盐性预测值(VP)(表 4),把 7 个加工番茄材料的耐盐性预测值(VP)与耐盐性综合评价值(D)做简单相关分析可得相关系数 $R = 0.995^{**}$,呈极显著相关。说明用此回归方程对加工番茄材料耐盐性进行预测,效果好,准确性高。

3 讨 论

3.1 加工番茄材料苗期耐盐性评价指标的筛选

作物的抗逆性不但是一个受多种因素影响的复杂数量性状,而且不同品种的抗逆机制也不尽相同,从而使得不同品种在逆境条件下对某一具体指标的反应也不尽相同^[18]。在田间生产中番茄以移栽为主要方式,在从苗床中移栽到盐渍土壤时的成活率就成为番茄栽培的一个重要环节,因此番茄幼苗期就应该成为番茄耐盐性鉴定的一个重要生育时期^[20]。本研究为了消除材料间固有的差异,选择盐胁迫下各指标平均值和对照的相对值即耐盐系数来比较材料的耐盐大小。通过对 7 个供试加工番茄材料的 13 项指标耐盐系数进行主成分分析和简单相关分析,将原来的 13 个单一指标转化为 4 个独立且无关的综合指标,再根据各综合指标的贡献率和权重来选择材料耐盐指标,更具有客观合理性。通过逐步回归分析建立最优方程,可考虑以根干重、丙二醛、过氧化物酶这 3 个指标直接参与 D 值运算并作耐盐性评价,避免了大量指标的测定,使加工番茄材料耐盐性的预测更加简捷、快速。Dasgan^[21]研究认为,盐胁迫下番茄幼苗的干重更能体现番茄耐盐性的强弱。杨晓英等^[22]研究指出:随着盐胁迫处理时间的增加,野生大豆干物质积累量呈逐渐上升趋势,而根冠比呈逐渐下降趋势,说明 NaCl 胁迫对地上部干重的受抑程度小于根干重。董志刚等^[13]认为进行番茄耐盐性筛选时可把根干重作为幼苗期耐

盐性鉴定指标。过氧化物酶是植物体内普遍存在的、活性较高的一种酶,它与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等都有密切关系,李烨等^[23]研究指出过氧化物酶可以作为番茄耐盐性筛选的指标。丙二醛(MDA)是植物脂质过氧化物的产物,是检测植物膜伤害的一个重要指标,其含量可以表示膜脂过氧化的程度^[24]。张海波等^[25]比较了 4 个大豆品种出苗期和苗期的耐盐性,指出 MDA 可以作为大豆耐盐性筛选指标。

3.2 加工番茄材料苗期耐盐性综合评价

虽然在耐盐性鉴定中最好应用综合指标的观点已被广大研究者所接受,但对多个指标如何综合而又定量仍少见报道^[26]。本文根据加工番茄材料的综合指标值算出相对应的隶属函数值,进而结合各综合指标所占的权重得到综合评价值(D),由于各加工番茄材料的耐盐综合评价值(D)本身是一个 $[0,1]$ 闭区间上的无量纲系数^[27],故可直接用于抗盐性评价,使各材料间耐盐性的差异具有可比性。从表 4 各材料的综合指标隶属函数值可知,有的材料在某一综合指标的隶属函数值最大,在另一综合指标的隶属函数值又表现最小,说明加工番茄材料不同其耐盐机制也不相同。

加工番茄在不同生育时期对盐胁迫的反应不同,其耐盐机制也有差异,由于本实验研究加工番茄耐盐性的材料有限,对本研究中指出的耐盐性预测方程和耐盐指标是否适于其他加工番茄材料的耐盐性鉴定,还有待于进一步研究和验证。

4 结 论

1) 通过综合评价值(D 值)可知加工番茄材料的耐盐性大小:KT - 55 > KT - 25 > KT - 63 > KT - 16 > KT - 40 > KT - 18 > KT - 70。根据各材料的耐盐性综合评价值(D)用最大距离法对 D 值进行聚类分析,可将 7 个加工番茄材料划分为 2 个类群:第 1 类群为耐盐性强的材料资源 KT - 55、KT - 25、KT - 63;第 2 类群为耐盐性弱的材料资源 KT - 16、KT - 40、KT - 18、KT - 70。

2) 通过逐步回归分析可得评价加工番茄材料耐盐性的最优方程:

$$D = - 0.129 + 0.004X_1 + 0.002X_2 - 0.001X_3,$$

其中 X_1 、 X_2 、 X_3 分别代表根干重、MDA、POD 为指标的耐盐系数。在加工番茄材料耐盐性鉴定中可选择根干重、MDA、POD 这 3 个指标来衡量幼苗期耐盐性强弱。

参 考 文 献:

- [1] 石玉林. 西北地区土壤荒漠化与水土资源利用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 335.
- [2] 蔺 娟, 地里拜尔苏力坦, 艾尼瓦尔·买买提. 新疆盐渍化区土壤养分的空间结构和分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11): 113-117.
- [3] 苏 实, 练薇薇, 杨文杰, 等. 盐胁迫对番茄种子萌发和幼苗生长的效应[J]. 华北农学报, 2006, 21(5): 24-27.
- [4] 费 伟, 陈火英, 曹 忠, 等. 盐胁迫对番茄幼苗生理特性的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(1): 5-10.
- [5] 齐士发, 石书兵, 俞钧山. 新疆加工番茄产业现状及障碍因子对策[J]. 新疆农业科技, 2007, (1): 41-41.
- [6] 陈建林, 吴雪霞, 朱为民. NaCl 胁迫下不同番茄品种幼苗耐盐性研究[J]. 上海农业学报, 2008, 24(3): 80-83.
- [7] 张纪涛, 徐 猛, 韩 坤, 等. 盐胁迫对番茄幼苗的营养及生理效应[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 128-133.
- [8] 史庆华, 朱祝军, Khalid Al-aghabary, 等. 等渗盐胁迫对番茄抗氧化酶和 ATP 酶及焦磷酸酶活性的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30(3): 311-316.
- [9] 孟长军, 邹志荣, 钱卫鹏, 等. 不同樱桃番茄品种种子萌发期的耐盐性研究[J]. 西北农业学报, 2007, 16(3): 169-174.
- [10] 杨凤军, 李天来, 臧忠婧, 等. 不同基因型番茄种子萌发期的耐盐性[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1691-1697.
- [11] 杨凤军, 李天来, 臧忠婧, 等. 外源钙施用时期对缓解盐胁迫番茄幼苗伤害的作用[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1181-1188.
- [12] 苏 桐, 魏小红, 丁学智, 等. 外源 NO 与蔗糖对盐胁迫下番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 幼苗氧化损伤的保护效应[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1558-1564.
- [13] 董志刚, 程智慧. 番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1348-1355.
- [14] Claussen W. Proline as a measure of stress in tomato plants[J]. Plant Science, 2005, 168(1): 241-248.
- [15] 刘 翔, 许 明, 李志文. 番茄苗期耐盐性鉴定指标初探[J]. 北方园艺, 2007, (3): 4-7.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 280-282.
- [17] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986, (3): 26-28.
- [18] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1378-1382.
- [19] 余家林. 农业多元试验统计[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 188.
- [20] Foolad M R, Lin G Y. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species[J]. Hort Science, 1997, 32(2): 296-300.
- [21] Dasgan H Y, Aktas H, Abak K, et al. Determination of screening techniques to salinity tolinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses[J]. Plant Science, 2002, 163(4): 695-703.
- [22] 杨晓英, 章文华, 王庆亚, 等. 江苏野生大豆的耐盐性和离子在体内的分布及选择性运输[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2237-2240.
- [23] 李 烨, 姜景彬, 刘洪兰, 等. 番茄苗期耐盐性相关指标的筛选研究[J]. 北方园艺, 2009, (10): 84-86.
- [24] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84-90.
- [25] 张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等. 大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2805-2812.
- [26] 张 耿, 高洪文, 王 赞, 等. 偃麦草属植物苗期耐盐性指标筛选及综合评价[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 55-61.
- [27] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 等. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 392-398.

(上接第 11 页)

- [9] 刘一龙, 张忠学, 郭亚芬, 等. 膜下滴灌条件下不同灌溉制度的玉米产量与水分利用效应[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(10): 53-56.
- [10] 刘战东, 肖俊夫, 刘祖贵, 等. 膜下滴灌不同灌水处理对玉米形态、耗水量及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 60-64.
- [11] 魏永华, 陈丽君. 膜下滴灌条件下不同灌溉制度对玉米生长状况的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(1): 55-60.
- [12] 谢夏玲, 赵元忠. 玉米膜下滴灌土壤温度的变化规律[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 90-92.
- [13] 费良军, 韩雪冬, 贾丽华, 等. 膜孔灌对玉米不同生育期农田土壤硝态氮运移的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(5): 598-602.
- [14] 曹 俊, 费良军, 脱云飞. 灌水定额对玉米膜孔灌土壤水氮运移特性影响试验研究[J]. 地下水, 2009, 31(4): 99-102.
- [15] 费良军, 脱云飞, 董艳慧. 灌水定额对玉米膜孔灌氮素转化影响试验[J]. 武汉大学学报, 2009, 42(5): 592-596.
- [16] 曹 俊, 费良军, 脱云飞. 玉米膜孔灌农田土壤水氮分布特性[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 16-20.