

番茄品种资源芽苗期和幼苗期的 耐盐性及耐盐指标评价

董志刚, 程智慧*

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:对芽苗期和幼苗期番茄耐盐鉴定指标进行检验,明确番茄芽苗期和幼苗期耐盐性的相关性,筛选耐盐的番茄品种资源,以便为耐盐育种和栽培提供材料和方法。试验采用不同浓度的 NaCl 水溶液人工模拟盐胁迫,以多项指标盐害系数隶属函数值和总隶属函数值为依据,比较了 20 个番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及两个时期耐盐性的相关性,并利用单一指标盐害系数隶属函数值和总隶属函数值进行了聚类分类。结果表明:芽苗期和幼苗期番茄耐盐性有所不同,耐盐和中等耐盐材料相同率为 53.85%。进行番茄耐盐性筛选时可以把发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数、下胚轴长、地上鲜重作为芽苗期耐盐鉴定指标,把地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、根干重、壮苗指数、根/冠比作为幼苗期耐盐鉴定指标。

关键词:番茄;品种;芽苗期;幼苗期;耐盐性;耐盐指标;评价

文章编号:1000-0933(2009)03-1348-08 中图分类号:S332.1 文献标识码:A

Salt tolerance and assessment of salt tolerance indices of tomato varieties in sprout stage and seedling stage

DONG Zhi-Gang, CHENG Zhi-Hui*

College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1348 ~ 1355.

Abstract: Through this experiment, we determined indices which can assess salt tolerance of tomato varieties in sprout stage and seedling stage, defined the correlation between salt tolerance of tomato varieties in sprout stage and that in seedling stage, and select some varieties which are obviously salt tolerant so that they can be used as resources for breeding and cultivation of salt tolerant tomatoes. By artificial simulated salt stress with NaCl aqueous solution, we compared 20 tomato varieties' salt tolerance in their sprout stage and seedling stage according to subjection values of salt toxicity coefficient of indices determined and the sum subjection values and classified the 20 varieties in the two stages by cluster analysis using their single salt tolerance coefficient subjection values and the sum subjection values. Results indicate that salt tolerance in the two growth stages is different, and salt tolerant and moderate salt tolerant tomato varieties have a 53.85% overlap. Germination energy, germination rate, germination index, vigor index, shoot height, shoot fresh weight can serve as indicators to assess salt tolerance of tomato varieties in sprout stage comprehensively. While the fresh and dry weight of the whole plant, shoot height, root length, index of seedling growth and root/shoot ratio can be used to assess salt tolerance of tomato varieties in seedling stage.

Key Words: tomato; varieties; sprout stage; seedling stage; salt tolerance; salt tolerance indices; assessment

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2007BAD79B01);国家自然科学基金资助项目(30370977);国家“十五”科技攻关计划资助项目(2004 BA 516A09)

收稿日期:2007-10-15; 修订日期:2008-04-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengzh@nwsuaf.edu.cn

全世界盐渍土面积 9.5 亿 hm^2 , 约占陆地总面积的 10%, 我国约有盐渍土 2,700 万 hm^2 [1]。随着蔬菜保护地面积的迅速扩大, 轮作的不合理、盲目过量施用化肥, 加剧了土壤的次生盐渍化 [2]。不同作物或同一种作物不同品种间的耐盐性各异 [3,4]。因此, 通过挖掘作物种质本身的耐盐能力, 筛选和培育出耐盐品种是开发利用盐渍土壤最为经济有效的途径。栽培番茄属于中度盐敏感型作物 [5], 为克服土壤的盐渍化, 人们在番茄耐盐材料选育和栽培措施上做了大量工作 [6~8], 但关于芽苗期和幼苗期番茄耐盐指标的评价及两个时期耐盐相关性的还未见研究报道。因此, 明确番茄耐盐鉴定指标非常紧迫和必要。作物在种子萌发期和幼苗期对盐分最敏感 [9], 可在种子萌发期和幼苗期对大量材料进行耐盐性筛选 [10]。前人在研究苦瓜 [11] 和甜菜 [12] 时发现萌发期和幼苗期的耐盐性是不同的, Asins [13] 和 Breto [14] 也曾报道植物的耐盐性是随发育时期不同而变化的。番茄栽培主要采用育苗移栽方法, 所以, 提高番茄幼苗期耐盐性要比开花坐果期更为重要 [15]。本研究通过对不同番茄材料在芽苗期和幼苗期耐盐性的分析, 确定了番茄芽苗期和幼苗期耐盐性鉴定的指标及两个时期耐盐性的相关性, 以期对番茄耐盐性的鉴定提供早期简便的鉴定指标, 并为番茄耐盐机理的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种资源

供试番茄品种资源共 20 个, 其中编号 T01-T08 的 8 份番茄品种由西北农林科技大学农城种业提供, 编号 T09-T20 的 12 份是本课题组番茄选育中常用的性状稳定的品系。详见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 NaCl 胁迫对番茄芽苗期耐盐性的比较

根据前人在进行番茄耐盐性研究时将 NaCl 浓度设置在 0 ~ 80 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间 [4,16], 设置了 4 个处理, 分别为 0、40、60、80 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液, 每个材料分别挑选 100 粒饱满的番茄种子放于铺有 2 层滤纸内径为 12.5 cm 的透明塑料保鲜盒内, 分别加入 10 mL NaCl 溶液, 每个处理重复 3 次, 于人工气候箱内培养, 培养温度 28 $^{\circ}\text{C}$, 以后定时定量补充蒸馏水以保持滤纸湿润, 第 4 天后开始每天 12 h 光照。以胚根长 0.2 cm 作为萌芽标志, 从第 3 天到第 7 天统计种子发芽数。发芽第 7 天时每个处理选 10 株进行测定。

1.2.2 NaCl 胁迫对番茄幼苗期耐盐性的比较

待供试材料在基质中长至 6 叶 1 心时, 选择生长一致的幼苗移至带孔盖的 60 cm $\times$ 45 cm $\times$ 15 cm (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) 的塑料箱中, 每箱 24 株, 装入 11 L 去离子水配成的 1/2 倍 Hoaglands 营养液, 试验期间每天补充去离子水至标记液面刻度。以不含 NaCl 的 1/2 倍 Hoaglands 营养液作为对照, 以含 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 的 1/2 倍 Hoaglands 营养液作为盐胁迫处理, 每隔 3 d 更换一次营养液, 处理第 9 天时选取 5 株材料测定相关指标。

1.3 测定指标与方法

发芽期统计有关发芽指标 [10], 并在每个重复中选 10 个芽苗测定下胚轴长 (Hypocotyl length 简称 HL)、根长 (Root length 简称 RL) 和地上部鲜重 (Shoot fresh weight 简称 SFW)、根鲜重 (Root fresh weight 简称 RFW), 并计算平均值。

发芽率 (Germination rate 简称 GR) (%) = 规定日期内发芽种子数 / 供试种子数 $\times$ 100%

发芽指数 (Germination index 简称 GI) = $\sum G_t / D_t$ (G_t 指时间 t 的发芽数, D_t 指相应的发芽天数)

发芽势 (Germination energy 简称 GE) (%) = 4 d 内发芽种子数 / 供试种子数 $\times$ 100%

表 1 供试番茄品种资源及其编号

Table 1 Tomato germplasm in this study and their code

材料 Variety	编号 No.	材料 Variety	编号 No.
农城 906 (Nongcheng 906)	T01	004 (No. 004)	T11
中杂 9 号 (Zhongza No. 9)	T02	008 (No. 008)	T12
茸粉一号 (Rongfen No. 1)	T03	009 (No. 009)	T13
金棚 1 号 (Jinpeng No. 1)	T04	012 (No. 012)	T14
农城 908 (Nongcheng 908)	T05	013 (No. 013)	T15
毛粉 802 (Maofen 802)	T06	014 (No. 014)	T16
中蔬 4 号 (Zhongshu No. 4)	T07	015 (No. 015)	T17
白果强丰 (Baiguoqiangfeng)	T08	016 (No. 016)	T18
001 (No. 001)	T09	019 (No. 019)	T19
002 (No. 002)	T10	020 (No. 020)	T20

活力指数 (Vigor index 简称 *VI*) = $S \times \sum Gt/Dt$ (S 指芽苗的鲜重)

番茄幼苗期每个重复中选 5 株测定株高 (Shoot height 简称 *SH*) (根茎相交处到最高生长点的长度) 和茎粗 (stem diameter 简称 *SD*) (子叶下约 1cm 处)、地上部鲜重、根鲜重、地上部干重 (Shoot dry weight 简称 *SDW*)、根干重 (Root dry weight 简称 *RDW*), 并计算壮苗指数 (Index of seedling growth 简称 *ISG*) = (根鲜重/地上部鲜重 + 茎粗/株高) × 全株鲜重。幼苗期叶片叶绿素 *a/b* (Chlorophyll *a/b* 简称 *Chl a/b*)、叶绿素 (*a + b*)/类胡萝卜素 (Chlorophyll *a + b*/Carotenoid 简称 *Chla + b/Car*)、叶片细胞膜透性的伤害率 (Plasma membrane permeability 简称 *MIP*) 测定均参照李合生^[17]的方法进行测定, 均重复 4 次。

1.4 数据统计分析

盐害系数^[10] (%) = (对照值 - 处理值)/对照值 × 100%

隶属函数值 $X_{(ij)}$: 用模糊数学隶属函数值的方法计算, 公式为:

$$X_{(ij)} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}}$$

式中, $X_{(ij)}$ 表示 i 种类 j 指标的隶属值; X_{ij} 表示 i 种类 j 指标的测定值; X_{jmax} 、 X_{jmin} 分别为指标的最大值和最小值

采用 DPS7.05 软件的离差平方和法, 利用总隶属函数值进行聚类分析, 依次确定耐盐群类。以芽苗期的发芽势、发芽率、发芽指数、下胚轴长、根长、地上部鲜重、根鲜重、活力指数; 幼苗期地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、根干重、壮苗指数、根/冠、叶片细胞膜透性伤害率、叶绿素 *a/b*、叶绿素 (*a + b*)/类胡萝卜素盐害系数的隶属函数值为指标分别进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同番茄芽苗期耐盐性的比较

发芽势反映了种子发芽的快慢和整齐度, 发芽率反映了种子发芽的多少, 发芽指数能够反映种子在整个发芽期的综合活力, 活力指数既能反映种子发芽率、发芽速度, 又能反映生长势及生长活力。这些指标能够从不同的角度反映出番茄芽苗期耐盐性的强弱, 但是单个指标反映耐盐性往往具有一定的片面性, 仅仅根据单个指标也很难确定耐盐性的强弱。因此, 为了克服这种弊端, 引用各个指标盐害系数的隶属函数值和总隶属函数值来评价番茄芽苗期耐盐性的强弱。由表 2 可知, 总盐害系数的隶属函数值与发芽势、发芽率、发芽指数、下胚轴长、地上部鲜重、根鲜重、活力指数的盐害系数隶属函数值的相关性达极显著水平 ($r = 0.790^{**}$ 、 0.850^{**} 、 0.710^{**} 、 0.740^{**} 、 0.830^{**} 、 0.590^{**} 、 0.940^{**}), 与根长盐害系数隶属函数值的相关性达显著水平

表 2 NaCl 胁迫下番茄芽苗期各指标盐害系数的相关性

Table 2 Correlation between salt toxicity coefficient of indices under NaCl stress in sprout stage

	GE	GR	GI	HL	RL	SFW	RFW	VI	合计 Sum
GE	1.000								
GR	0.590 ^{**}	1.000							
GI	0.550 ^{**}	0.690 ^{**}	1.000						
HL	0.350	0.570 ^{**}	0.560 ^{**}	1.000					
RL	0.280	0.300	0.270	0.250	1.000				
SFW	0.630 ^{**}	0.660 ^{**}	0.440 [*]	0.690 ^{**}	0.080	1.000			
RFW	0.490 [*]	0.560 ^{**}	0.070	0.150	0.330	0.440 [*]	1.000		
VI	0.770 ^{**}	0.840 ^{**}	0.840 ^{**}	0.630 ^{**}	0.330	0.790 ^{**}	0.460 [*]	1.000	
合计 Sum	0.790 ^{**}	0.850 ^{**}	0.710 ^{**}	0.740 ^{**}	0.460 [*]	0.830 ^{**}	0.590 ^{**}	0.940 ^{**}	1.000

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$, 表中字母分别代表: *GE* 发芽势, *GR* 发芽率, *GI* 发芽指数, *HL* 下胚轴长, *RL* 根长, *SFW* 地上部鲜重, *RFW* 根鲜重, *VI* 活力指数, 下表同 * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$, and capital letters in the table represent different items as follows: *GE*: germination energy, *GR*: germination rate, *GI*: germination index, *HL*: hypocotyl length, *RL*: root length, *SFW*: shoot fresh weight, *RFW*: root fresh weight, *VI*: vigor index, and the same below

($r = 0.460^*$), 相关系数最高的为活力指数 0.940, 最低的为根长 0.460。所测指标中除根长与其他指标、根鲜重与发芽指数和下胚轴长、下胚轴长与发芽势没有相关性外, 其他指标的盐害系数间均达到极显著或显著水平。由表 3 可知, 发芽势、发芽率、发芽指数及活力指数盐害系数的隶属函数值随总隶属函数值的增加呈明显的递增趋势, 下胚轴长、根长、地上部鲜重、根鲜重的盐害系数的隶属函数值总体来看是随着盐害系数总和的增加而增加, 但是在总的盐害系数相近的材料间它们的变化规律与总的盐害系数的变化规律略有不同。

表 3 NaCl 胁迫对番茄芽苗期各指标盐害系数的影响
Table 3 Effects of NaCl stress on salt toxicity coefficient of indices in sprout stage

编号 No.	隶属函数值 Subjection value								
	GE	GR	GI	HL	RL	SFW	RFW	VI	Sum
T11	0.000k	0.000k	0.302jk	0.208n	0.224k	0.000o	0.459i	0.153l	1.346
T19	0.054j	0.077j	0.000n	0.447jk	0.128l	0.350k	0.357j	0.000m	1.413
T10	0.376i	0.004k	0.220i	0.461j	0.506d	0.162l	0.503i	0.141l	2.373
T09	0.682f	0.073j	0.369i	0.511i	0.399g	0.350k	0.202k	0.260k	2.845
T13	0.842cd	0.085j	0.520h	0.000p	0.261j	0.123m	0.651gh	0.397hi	2.880
T12	0.608g	0.214fg	0.223i	0.039o	0.358h	0.453i	0.957ab	0.449g	3.302
T08	0.491h	0.203gh	0.493h	0.438k	0.916b	0.178l	0.452i	0.323j	3.494
T20	0.740e	0.143i	0.179m	0.761e	0.206k	0.616ef	0.641h	0.361ij	3.646
T15	0.960ab	0.262f	0.324jk	0.269m	0.301i	0.388j	0.721ef	0.430gh	3.656
T04	0.565g	0.155hi	0.864c	0.851c	0.258j	0.563h	0.000l	0.723d	3.980
T01	0.702ef	0.446e	0.641f	0.762e	0.070m	0.377jk	0.651gh	0.542f	4.190
T14	0.981a	0.202gh	0.297k	0.529h	0.469e	0.817c	0.798d	0.621e	4.714
T17	0.667f	0.838c	0.381i	0.613g	0.434f	0.705d	0.927b	0.655e	5.220
T07	1.000a	0.921b	1.000a	0.525hi	0.535d	0.575gh	0.447Hi	0.884b	5.886
T16	0.871c	1.000a	0.743e	0.645f	0.509d	0.648e	0.770de	0.823c	6.009
T02	0.850cd	0.813c	0.937b	0.900b	0.000n	0.960b	0.700fg	0.884b	6.044
T18	0.882c	0.972ab	0.594g	0.779d	0.384gh	0.711d	1.000a	0.761d	6.082
T06	0.816d	0.749d	0.782d	0.844c	0.933b	0.456i	0.922bc	0.735d	6.237
T03	0.927b	0.700d	0.731e	0.891b	1.000a	0.608fg	0.956ab	0.816c	6.630
T05	0.936b	0.738d	0.779d	1.000a	0.829c	1.000a	0.945ab	1.000a	7.226

表中小写字母表示同一指标不同材料间在 $p < 5\%$ 水平上具有显著差异, 表 5 同 Different small letters in the same column mean significant difference at 5% level, and the same in table 5

2.2 不同番茄幼苗期耐盐性的比较

由表 4 可知, 除叶绿素(a+b)/类胡萝卜素与总盐害系数隶属函数值呈负相关外, 其余指标均表现正相关。与总隶属函数值达极显著相关水平的有地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、根干重、壮苗指数、根/冠、叶片细胞膜透性伤害率($r = 0.830^{**}$ 、 0.960^{**} 、 0.850^{**} 、 0.940^{**} 、 0.960^{**} 、 0.920^{**} 、 0.500^{**}); 达显著相关水平的有叶绿素 a/b、叶绿素(a+b)/类胡萝卜素($r = 0.500^*$ 、 -0.460^*)。地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、根干重、壮苗指标、根/冠 6 个指标间均达到极显著水平; 叶片细胞膜透性伤害率除和叶绿素 a/b 与根干重达到显著水平外, 与其他指标间差异不显著; 叶绿素(a+b)/类胡萝卜素与地上部鲜重、地上部干重、叶绿素 a/b 间的差异达到极显著水平, 与根干重、壮苗指标间差异显著, 与其他指标间差异不显著。由表 5 可知, 除叶绿素(a+b)/类胡萝卜素的盐害系数随耐盐性的增强而呈减小的趋势外, 其他指标的盐害系数均为增加的趋势。根鲜重、地上部鲜重和干重、壮苗指标和根/冠盐害系数的变化趋势和总盐害系数的变化趋势基本相同, 而叶片细胞膜透性伤害率、叶绿素 a/b、叶绿素(a+b)/类胡萝卜素的盐害系数的变化趋势与总盐害系数的变化趋势略有差异。

表 4 NaCl 胁迫下番茄幼苗期各指标盐害系数的相关性

Table 4 Correlation among salt toxicity coefficient of indices under NaCl stress in seedling stage

	<i>SFW</i>	<i>RFW</i>	<i>SDW</i>	<i>RDW</i>	<i>ISG</i>	<i>R/S</i>	<i>MIP</i>	Chl a/b	Chl/Caro	合计 Sum
<i>SFW</i>	1.000									
<i>RFW</i>	0.820 **	1.000								
<i>SDW</i>	0.950 **	0.810 **	1.000							
<i>FDW</i>	0.800 **	0.880 **	0.85 **	1.000						
<i>ISG</i>	0.820 **	1.000 **	0.810 **	0.880 **	1.000					
<i>R/S</i>	0.660 **	0.960 **	0.670 **	0.840 **	0.950 **	1.000				
<i>MIP</i>	0.210	0.350	0.250	0.440 *	0.350	0.380	1.000			
Chl a/b	0.410	0.370	0.380	0.430 *	0.390	0.300	0.500 *	1.000		
Chl/Caro	-0.600 **	-0.430	-0.570 **	-0.510 *	-0.450 *	-0.260	-0.340	-0.680 **	1.000	
合计 Sum	0.830 **	0.960 **	0.850 **	0.940 **	0.960 **	0.920 **	0.500 **	0.500 *	-0.460 *	1.000

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$, *SDW* 地上部干重, *RDW* 根干重, *ISG* 壮苗指数, *R/S* 根/冠, *MIP* 叶片细胞膜透性的伤害率, *Chl a/b* 叶绿素 a/b, *Chl/Caro* 叶绿素/类胡萝卜素, 下表同 * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$, *SDW*: shoot dry weight, *RDW*: root dry weight, *ISG*: index of seedling growth, *R/S*: root/shoot, *MIP*: plasma membrane permeability, *Chl a/b*: chlorophyll a/b, *Chl/Caro*: chlorophyll a + b/carotenoid, and the same below

表 5 NaCl 胁迫对番茄幼苗期各指标盐害系数的影响

Table 5 Effects of NaCl stress on salt toxicity coefficient of indices in seedling stage

编号 No.	隶属函数值 Subjection value									合计 Sum
	<i>SFW</i>	<i>RFW</i>	<i>SDW</i>	<i>RDW</i>	<i>ISG</i>	<i>R/S</i>	<i>MIP</i>	Chl a/b	Chla + b /Caro	
T19	0.000k	0.000i	0.000h	0.120j	0.000i	0.130h	0.140ij	0.192o	0.994a	1.577
T08	0.349h	0.150h	0.259f	0.162j	0.211h	0.000h	0.000o	0.714ef	0.279jk	2.124
T16	0.247i	0.533f	0.123g	0.155ij	0.542f	0.603fg	0.105k	0.000p	0.760b	3.067
T18	0.161j	0.395g	0.080gh	0.000k	0.417g	0.475g	0.112j	0.780d	0.754d	3.174
T13	0.445fg	0.495fg	0.304f	0.133ij	0.494fg	0.426g	0.189h	0.484k	0.429f	3.398
T03	0.458fg	0.552f	0.295f	0.231i	0.568f	0.503a	0.024n	0.632gh	0.561e	3.826
T17	0.388gh	0.565ef	0.438e	0.355h	0.563f	0.575fg	0.158i	0.308n	0.780b	4.129
T02	0.571e	0.662de	0.521cde	0.526fg	0.674e	0.592fgh	0.349d	0.736e	0.315ij	4.948
T15	0.360h	0.825f	0.309f	0.674de	0.832bcd	0.911bcd	0.006o	0.440lm	0.745bc	5.102
T07	0.588de	0.734cd	0.518cde	0.684d	0.750cde	0.737def	0.249f	0.478kl	0.365gh	5.103
T14	0.466fg	0.675de	0.282f	0.469g	0.674e	0.771ef	0.218g	0.582ij	1.000a	5.138
T20	0.558e	0.825bc	0.490de	0.581ef	0.834bcd	0.844cde	0.054m	0.429m	0.717c	5.333
T05	0.696c	0.873b	0.518cde	0.666de	0.889b	0.855def	0.142i	0.498f	0.170l	5.508
T01	0.722c	0.870b	0.637b	0.900bc	0.876de	0.846ab	0.080l	0.643g	0.349hi	5.921
T11	0.583e	0.832bc	0.557bcd	0.858c	0.845c	0.839cde	0.043c	0.478kl	0.649d	6.075
T12	0.839b	0.825bc	0.628bc	0.748b	0.827bcd	0.730def	0.372f	0.604hi	0.445f	6.108
T06	0.592de	0.911ab	0.571bcd	0.996ab	0.915ab	1.000abc	0.255e	0.830c	0.267k	6.336
T10	0.666cd	0.902ab	0.591bc	0.963ab	0.906ab	0.907bcd	0.686b	1.000a	0.000m	6.621
T04	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	0.945abc	0.008m	0.560j	0.439f	6.946
T09	0.523ef	0.896ab	0.503cde	0.858c	0.907ab	0.961abc	1.000a	0.912b	0.389g	6.949

2.3 番茄芽苗期和幼苗期耐盐性聚类分析

由表 6 可知,利用总隶属函数值进行聚类后,可将供试材料分成 3 个群类,第一群类为耐盐材料,共 5 个材料,第二群类为中等耐盐材料,共 8 个材料,第三群类为不耐盐材料,共 7 个材料。发芽率隶属函数的聚类结果与总隶属函数值的聚类结果完全相同;发芽势、发芽指数、活力指数单一指标的聚类结果中耐盐群类分别有 10、9、9 个材料,并且这些番茄材料均属总隶属函数值聚类结果的耐盐或中等耐盐群,这 3 个指标可以作为芽苗期番茄耐盐性鉴定的指标;下胚轴长、地上部鲜重、根长、根鲜重单一指标聚类结果中耐盐群类分别有

10、10、8、7 个材料,只有 1 个材料不属于总隶属函数值聚类结果中的耐盐或中等耐盐群类,根长、根鲜重单一指标聚类结果中的中等耐盐材料分别有 8 个和 7 个。根长和根鲜重单一指标聚类结果与总隶属函数值聚类结果相差较大,二者不宜作为芽苗期番茄耐盐性鉴定的指标。

表 6 芽苗期番茄耐盐性聚类分析
Table 6 Cluster analysis of tomato salt tolerance in sprout stage

	耐盐 Salt tolerant	中等耐盐 Moderate salt tolerant	不耐盐 Non-salt tolerant
SUN	11,19,10,13,09	12,08,15,20,04,01,14,17	07,16,02,18,06,03,05
GE	11,19,10,12,04,08,09,17,01,20		13,02,06,16,18,15,14,07,03,05
GR	11,10,19,09,13	12,08,14,15,20,14,01,17	02,06,05,03,07,16,18
GI	11,14,15,09,17,19,10,12,20		13,08,01,18,04,07,02,16,03,06,05
HL	11,15,13,12,19,08,10,09,14,07		20,01,18,17,16,04,06,02,03,05
RL	11,20,13,04,15,19,01,02	10,16,07,14,17,09,18,12	08,06,03,05
SFW	11,10,08,13,19,09,15,01,12,06		20,03,16,04,07,14,17,18,02,05
RFW	11,08,07,10,19,09,04	13,01,20,15,02,14,16	12,03,05,17,06,18
VI	11,10,19,13,20,08,09,192,15		04,06,18,01,14,17,07,02,16,03,05

表中数字表示供试材料的编号,下同 Numbers in the table represent codes of tomato varieties determined, the same below

由表 7 可知,利用总隶属函数值进行聚类后,可将供试材料分成 3 个群类,第一群类为耐盐材料,共 7 个材料,第二群类为中等耐盐材料,共 6 个材料,第三群类为不耐盐材料,共 7 个材料。根干重隶属函数的聚类结果与总隶属函数值的聚类结果完全相同;地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、壮苗指数、根/冠单一指标的聚类结果中耐盐群类分别有 9、10、8、10、8 个材料,并且这些番茄材料均属总隶属函数值聚类结果的耐盐或中等耐盐群,这 5 个指标可以作为芽苗期番茄耐盐性鉴定的指标;叶绿素(a+b)/类胡萝卜素聚类结果中耐盐群类有 9 个材料,只有 1 个材料不属于总隶属函数值聚类结果中的耐盐或中等耐盐群类。叶片细胞膜透性伤害率、叶绿素 a/b 单一指标聚类结果中耐盐群类分别有 7、3 个材料,中等耐盐材料分别有 4、10 个材料,但二者聚类结果与总隶属函数值聚类结果相差较大,不宜作为芽苗期番茄耐盐性鉴定的指标。

表 7 幼苗期番茄耐盐性聚类分析
Table 7 Cluster analysis of tomato salt tolerance in seedling stage

	耐盐 Salt tolerant	中等耐盐 Moderate salt tolerant	不耐盐 Non-salt tolerant
SUN	19,08,18,16,13,03,17	02,14,15,07,20,05	01,12,11,06,10,04,09
SFW	19,18,16,08,15,17,13,03,14		02,20,07,06,11,09,05,01,10,12,04
RFW	19,08,18,13,16,03,17,02,14,07		15,20,12,11,05,01,06,10,09,04
SDW	19,18,16,08,13,15,03,14		17,02,07,05,20,09,01,12,11,06,10,04
RDW	19,13,08,16,18,03,17	02,20,14,15,05,07	12,01,11,09,06,04,10
ISG	19,18,08,13,16,03,17,02,14,07		15,20,12,11,05,01,06,10,09,04
R/S	19,08,18,03,13,16,02,17		14,07,12,20,01,11,05,15,10,06,04,09
MIP	19,05,17,18,16,20,01	08,15,04,03	13,14,07,06,02,12,11,10,09
Chl a/b	19,17,16	13,07,11,15,20,03,01,14,12,04	08,05,02,18,06,10,09
Chl/Caro	19,14,18,16,15,17,20,03,11		08,06,02,05,10,13,04,12,07,01,09

3 讨论

3.1 芽苗期番茄耐盐性鉴定及耐盐指标的评价

通过对 20 个供试材料各指标盐害系数的总隶属函数值进行聚类分析后,筛选出了 5 个耐盐番茄材料,编号分别为 T11,T19,T10,T13,T09。研究表明:发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数盐害系数的变化趋势与总的盐害系数的变化趋势相同,相关系数也达到了 0.710 以上,呈极显著水平,并且 NaCl 胁迫对所有供试

材料的这 4 项指标均产生了强抑制作用。这也与苏实等^[18]和陈火英等^[4]的研究结果相同,低浓度 NaCl 胁迫推迟发芽,不影响发芽率,当番茄种子受到 $60\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫时,发芽就明显受阻,当浓度升高到 $120\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,难以发芽。下胚轴长、地上部鲜重与总的盐害系数的相关性为 0.740 和 0.830,呈极显著水平,NaCl 胁迫对它们产生了抑制和促进两种效果,下胚轴长受抑制程度高于地上部鲜重。陈火英等^[4]和姜玲若等^[16]研究表明,低浓度 NaCl 胁迫不会对番茄下胚轴长和地上部鲜重产生抑制作用,甚至对某些品种能起到促进生长的作用,下胚轴长要比地上部鲜重容易受到抑制。根长、根鲜重与总的盐害系数的相关系数为 0.460 和 0.590,NaCl 胁迫抑制了根的生长,对根鲜重产生了抑制和促进两种效果。姜玲若等^[16]研究也发现,不同番茄品种受到 NaCl 胁迫时,根生长受到抑制,而对根鲜重产生了抑制和促进两种作用。发芽势、发芽指数、活力指数、下胚轴长、地上部鲜重、根长、根鲜重单一耐盐指标隶属函数值的聚类结果与总隶属函数值聚类结果完全一致或基本一致,而根长和根鲜重单一指标聚类结果与总隶属函数值聚类结果相差较大,这也符合单一指标盐害系数的隶属函数值与总隶属函数值的相关性。所以,我们将发芽势、发芽指数、活力指数、下胚轴长、地上部鲜重、根长、根鲜重作为芽苗期耐盐鉴定的指标。

3.2 幼苗期番茄盐性鉴定及耐盐指标的评价

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]。通过对 20 个供试材料各指标盐害系数的总隶属函数值进行聚类分析后,筛选出了 7 个耐盐番茄材料,编号分别为 T19, T08, T18, T16, T13, T03, T17。从单一指标隶属函数值与总隶属函数值的相关性来看,叶绿素 a/b 的相关性略高于叶绿素 (a + b)/类胡萝卜素的相关性,这是由于番茄幼苗受到 NaCl 胁迫时,叶绿素 a 先受到破坏,因此,叶绿素 a/b 更能衡量番茄幼苗的耐盐性^[19]。地上部和根干重的相关性均达到了 0.800 以上,这也符合 Dasgan^[21]的研究结论:盐胁迫下番茄幼苗的干重更能体现番茄耐盐性的强弱。NaCl 胁迫对地下部干重的受抑程度小于地下部干重,这也与杨晓英等^[22]的研究结果相同。壮苗指数的相关系数最大为 0.960,呈极显著水平,该指数的计算方法符合鉴定的要求。根干重、地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、壮苗指数、根/冠单一耐盐指标隶属函数值的聚类结果与总隶属函数值聚类结果完全一致或基本一致;叶绿素 (a + b)/类胡萝卜素聚类结果与总隶属函数值聚类结果有一定的相似性,但是,其盐害系数与总盐害系数的相关性比较低,不能作为幼苗期番茄耐盐鉴定指标。叶片细胞膜透性伤害率、叶绿素 a/b 单一指标聚类结果与总隶属函数值聚类结果相差较大。所以,我们将根干重、地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、壮苗指数、根/冠作为芽苗期耐盐鉴定的指标。其中,刘翔等^[23]也将干物质质量、根系与地上部鲜比作为鉴定番茄耐盐性强弱的指标。

4 结论

芽苗期和幼苗期番茄耐盐性有所不同,耐盐和中等耐盐材料相同率为 53.85%。通过对单一指标盐害系数的隶属函数值与总隶属函数值的相关性和聚类结果的分析,确定了芽苗期和幼苗期番茄耐盐鉴定的评价指标。芽苗期耐盐鉴定时可以将发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数、下胚轴长、地上部鲜重作为评价指标。幼苗期耐盐鉴定时可以用地上部鲜重、根鲜重、地上部干重、根干重、壮苗指数、根/冠来衡量番茄材料在幼苗期耐盐性的强弱。

References:

- [1] Guan Y X, Liu G H, Liu Q S, *et al.* The Study of Salt-affected Soils in the Yellow River Delta Based on Remote Sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(1): 46–52.
- [2] Huang Y, Zhang Y L. The Soil Degradation Problem in Greenhouse and Control Countermeasures. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 212–216.
- [3] Wei G Q, Zhu Z J, Fang X Z, *et al.* The Effects of NaCl Stress on Plant Growth, Chlorophyll Fluorescence Characteristics and Active Oxygen Metabolism in Seedlings of Two Cucumber Cultivars. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(11): 1754–1759.
- [4] Chen H Y, Zhang C X, Zhuang T M, *et al.* Effect of NaCl Stress on Germination Characteristics of Tomato Cultivars. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 1998, 16(30): 209–212.

- [5] Cuartero J, Fernandez-Munoz R. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 1999, (78): 83—125.
- [6] Fei W, Chen H Y, Cao Z, *et al.* Effects of Salinity Stress on Physiological Characteristics of Tomato Seedling. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2005, 2(1): 5—9, 30.
- [7] Zhang X P. Effects of Salt Stress on Seedling Growth Development of Tomato. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2007, 35(19): 5713—5714, 5752.
- [8] Chen S F, Zhu Y L, Liu Y L, *et al.* Effects of NaCl Stress on ABA and Polyamine Contents in Leaves of Grafted Tomato Seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(1): 58—62.
- [9] Wang G Y, Zhou X M, Zhang J W, *et al.* Salt Tolerance of Cucumber Cultivars at Germination Stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2004, 5(3): 299—303.
- [10] Wang X J, Li R S, Li S J, *et al.* Studies on Salinity-Resistant Selection of Cucumber During Germination. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2000, 31(1): 71—73.
- [11] Chen J, Zhou M H. Effect of Salt Stresses on Different Balsam Pears Germination and Growth. *Journal of Xiangtan Normal University (Natural Science Edition)*, 2002, 24(4): 44—48.
- [12] Geng G, Zhou J C, Chen L, *et al.* Differences of Seed Germination Percentage and Seedling Growth of Different Sugarbeet Lines under Sodium Chloride Stress. *Sugar Crops of China*, 2004, (2): 14—18.
- [13] Asins M J, Breto M P, Cambra M, *et al.* Salt tolerance in *lycopersicon* species. I. Character definition and changes in gene expression. *Theor Appl Genet*, 1993, 85: 769—774.
- [14] Breto M P, Asins M J, Carbonell E A. Genetic variability in *lycopersicon* species and their genetic relationships. *Theor Appl Genet*, 1993, 86: 113—120.
- [15] Foolad M. R Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2004, 76(2): 101—119.
- [16] Jiang L R, Zhang Z H, Hu Y H, *et al.* Effects of NaCl stress at different concentration on tomato germination. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2002, 5: 41—42.
- [17] Li H S, Sun Q, Zhao S J, *et al.* Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000. 134—137, 261—263.
- [18] Su S, Liu W W, Yang W J, *et al.* Effects of Salt Stresses on Seed Germination and Growth of Tomato Seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006, 21(5): 24—27.
- [19] Ruan S L, Xue Q Z. Germination characteristics of seeds under salt stress and physiological Basis of salt-tolerance of seedlings in hybrid rice. *Chinese J. Rice Sci.* 2002, 16(3): 281—284.
- [20] Foolad M R, Lin G Y. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *Hort Sci*, 1997, 32(2): 296—300.
- [21] Dasgan H Y, Aktas H, Abak K, *et al.* Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Sci*, 2002, 163(4): 695—703.
- [22] Yang X Y, Zhang W H, Wang Q Y, *et al.* Salt tolerance of wild soybeans in Jiangsu and its relation with ionic distribution and selective transportation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2237—2240.
- [23] Liu X, Xu M, Li Z W. Study on Salt Tolerance Index in Seedlings of Tomato. *Northern Horticulture*, 2007(3): 4—7.

参考文献:

- [1] 关元秀, 刘高焕, 刘庆生, 等. 黄河三角洲盐碱地遥感调查研究. *遥感学报*, 2001, 5(1): 46—52.
- [2] 黄易, 张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策. *土壤通报*, 2004, 35(2): 212—216.
- [3] 魏国强, 朱祝军, 方学智, 等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(11): 1754—1759.
- [4] 陈火英, 张才喜, 庄天明, 等. NaCl 胁迫对不同品种番茄种子发芽特性的影响. *上海农学院学报*, 1998, 16(30): 209—212.
- [6] 费伟, 陈火英, 曹忠, 等. 盐胁迫对番茄幼苗生理特性的影响. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2005, 2(1): 5—9, 30.
- [7] 张新平. 盐胁迫对番茄幼苗生长发育的影响研究. *安徽农业科学*, 2007, 35(19): 5713—5714, 5752.
- [8] 陈淑芳, 朱月林, 刘友良, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接叶片 ABA 和多胺含量的影响. *园艺学报*, 2006, 33(1): 58—62.
- [9] 王广印, 周秀梅, 张建伟, 等. 不同黄瓜材料种子萌发期的耐盐性研究. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(3): 299—303.
- [10] 王学军, 李仁所, 李式军, 等. 黄瓜抗盐选择研究. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2000, 31(1): 71—73.
- [11] 陈坚, 周木虎. 盐胁迫对不同苦瓜材料萌发及幼苗生长的影响. *湘潭师范学院学报(自然科学版)*, 2002, 24(4): 44—48.
- [12] 耿贵, 周建朝, 陈丽. 氯化钠胁迫下甜菜不同材料(系)种子发芽率和幼苗生长的差异. *中国糖料*, 2004, 2: 14—18.
- [16] 姜冷若, 张振华, 胡永红, 等. 不同浓度 NaCl 胁迫对番茄种子发芽特性的影响. *江苏农业科学*, 2002, 5: 41—42.
- [17] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000. 134—137, 261—263.
- [18] 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. *华北农学报*, 2006, 21(5): 24—27.
- [19] 阮松林, 薛庆中. 盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽特性和幼苗耐盐生理基础. *中国水稻科学*, 2002, 16(3): 281—284.
- [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. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2237—2240.
- [23] 刘翔, 许明, 李志文. 番茄苗期耐盐性鉴定指标初探. *北方园艺*, 2007(3): 4—7.