

加工番茄种子萌发期耐盐性综合评价

张明亚, 庞胜群, 刘玉东, 吉雪花, 杨 岚, 胡继红

(特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室·石河子大学农学院 新疆石河子 832003)

摘要:为筛选出耐盐性较强的加工番茄种质,以石河子大学农学院提供的50份加工番茄种质资源为材料,采用双层滤纸培养法将种子在 $90\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 条件下进行耐盐性鉴定,以蒸馏水处理作为对照,分别测定发芽势、发芽率、胚轴长、胚根长、发芽指数、活力指数,并计算其盐胁迫相对指数,利用相关性分析法、主成分分析法、隶属函数法及聚类分析法进行综合评价。结果表明,盐胁迫下,6个萌发指标均受到不同程度的抑制,50份加工番茄种质在种子萌发期耐盐性有显著差异;通过主成分分析可将多个萌发指标降维至2个综合因子,累计方差贡献率达到89.149%;通过隶属函数法和聚类分析可将50份加工番茄种质划分为高度耐盐型(18份)、中度耐盐型(24份)和盐敏感型(8份)3类。研究结果可为盐渍化地区选育耐盐加工番茄新品种提供育种材料。

关键词:加工番茄;种子萌发期;耐盐性;综合评价

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)10-084-07

Comprehensive evaluation of salt tolerance of processed tomato seeds during germination

ZHANG Mingya, PANG Shengqun, LIU Yudong, JI Xuehua, YANG Lan, HU Jihong

(Key Laboratory of Characteristic Physiology and Germplasm Resources of Fruits and Vegetables/College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: In order to screen out the processed tomato germplasm with strong salt tolerance, 50 processed tomato germplasm resources provided by the College of Agriculture, Shihezi University were used as materials, and the salt tolerance of seeds was identified under the condition of $90\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ by double filter paper culture method. Moreover, the distilled water treatment as a control was used instead of the NaCl treatment. The germination potential, germination rate, cotyl length, radicle length, germination index, and vigor index of the processed tomato seeds were determined and salt stress relative index was calculated. In addition, the correlation analysis, principal component analysis, membership function method, and cluster analysis method were used for comprehensive evaluation. The results suggested that the six germination indexes were inhibited to different degrees under salt stress, and the salt tolerance of 50 tomato germplasm showed significant differences during seed germination. Through principal component analysis, multiple germination indexes could be reduced to two comprehensive factors, and the cumulative variance contribution rate reached 89.149%, relative germination potential, relative germination index and relative vigor index of the tomato seeds as the main indexes were used to identify the salt tolerance of processed tomato at germination stage. In addition, the 50 tomato germplasm were divided into the high salt tolerance type(18), the medium salt tolerance type(24), and the salt sensitive type (8) according to membership function method and cluster analysis. The results can provide breeding materials for breeding new varieties of salt-tolerant processed tomatoes in salinized areas.

Key words: Processing tomato; Seed germination stage; Salt tolerance; Comprehensive evaluation

加工番茄是番茄的一个栽培种,具有自封顶、花期集中、果皮厚、耐贮运等特点,主要用于番茄酱的制作^[1]。新疆具有独特的气候条件,非常适宜加工番茄生长,是中国最大的加工番茄种植区和加工区,尤其是近几年加工番茄种植效益良好,在调整

农业产业结构、推动农民脱贫致富中发挥了重要作用。土壤盐分影响种子萌发和根系活力,降低幼苗存活率,导致作物病虫害加重、减产和商品性下降^[2-4]。新疆气候干旱,土壤盐渍化现象日趋严重,影响了加工番茄产业的提质增效。因此,挖掘加工

收稿日期:2023-05-11;修回日期:2023-08-09

基金项目:石河子大学新品种培育专项(YZZX202204);国家自然科学基金(32160713)

作者简介:张明亚,女,在读硕士研究生,主要研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail:2419538996@qq.com

通信作者:庞胜群,女,副教授,主要研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail:pangshqok@shzu.edu.cn

番茄种质资源,筛选培育耐盐新品种,对提高盐渍化地区的土地利用率和促进生态恢复具有重要意义。

耐盐性是一种数量性状,目前大多数耐盐性鉴定研究集中在苗期,而不同植物品种以及同一品种在不同生育期的耐盐性又存在较大差异^[5]。研究表明,种子萌发期和幼苗期是耐盐性鉴定的最好时期^[6-7],其次是生殖期,其他时期则对盐胁迫相对不敏感^[8]。由于种子萌发期抗性鉴定简单易行、周期短,逐渐成为当前作物耐盐性鉴定的主要时期^[9-10]。目前仍未发现某一形态指标能够单独作为耐盐性鉴定的依据,需要对各形态指标进行综合性评价。针对耐盐性的评价方法主要有主成分分析法、隶属函数法、聚类分析法、相对盐害率分级法等。笔者采用汪斌等^[11]前期筛选出的适合加工番茄种子萌发期耐盐性鉴定的盐胁迫浓度,用 90 mmol·L⁻¹ NaCl 对 50 份加工番茄种质材料进行萌发期耐盐性鉴定,研究盐处理对不同品种发芽势、发芽率、胚轴长等指标的影响,并利用相关性分析法、主成分分析法、隶属函数法及聚类分析法对 50 份加工番茄种质耐盐性进行综合评价,以期筛选出优异材料进行种质资源创新,为培育优质抗逆新品种提供育种材料和理论依据,进而为发展壮大新疆的特色产业提供种质支持和保障。

1 材料与方 法

1.1 材 料

50 份加工番茄种质资源由石河子大学农学院加工番茄课题组提供(表 1)。

1.2 试 验 设 计

试验于 2022 年 6—8 月在石河子大学农学院特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室进行,采用双层滤纸培养法,将供试种子经 55 °C 温汤浸种 15 min,室温清水浸种 5 h 后,均匀摆放在含有 2 层滤纸的发芽盒中,每个发芽盒中注入 15 mL 90 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液,以蒸馏水处理作对照。每个发芽盒中摆放 30 粒种子,每个处理 3 次重复,试验设计采取完全随机排列。于昼夜温度 27 °C/18 °C,光周期为光照/黑暗=12 h/12 h 条件下培养 13 d,每隔 24 h 根据情况补充相同体积的培养溶液 1 次,以减少盐浓度波动。

1.3 测 定 指 标 及 方 法

试验从第 3 天起,每隔 12 h 统计 1 次发芽情况(以胚根突破种皮露白作为发芽标志),第 6 天统计

表 1 供试番茄品种

编号	材料名称	编号	材料名称
S1	S875	S26	SMT124
S2	S382	S27	SFT124
S3	S161	S28	S107
S4	S149	S29	S2478413
S5	SFT1118	S30	S481
S6	SMT1118	S31	S489
S7	S70	S32	FM007
S8	S163	S33	ZL
S9	SFT84	S34	S18321
S10	S133	S35	T59
S11	S15433	S36	S46
S12	SFT3124	S37	S170
S13	SFT3122	S38	JW9
S14	S79	S39	S15431
S15	S98D51	S40	S144
S16	SLGE875	S41	SI3
S17	SFJW3	S42	NY-9W
S18	SMJW14	S43	S80-2-2
S19	FM002	S44	SMT82
S20	SMLHZ38	S45	K20
S21	JW005	S46	TH12-9
S22	SFDF	S47	S9895
S23	SMDF	S48	S485
S24	SFT83	S49	HB
S25	PTQ50	S50	S3811

发芽势,第 12 天统计发芽率,第 13 天从每个发芽盒中随机选取 10 株芽苗,用直尺测量胚根长(RL)和下胚轴长(HL)。萌发指标计算公式如下:

发芽势(GP)/%=第 6 天发芽种子数/供试种子数×100。 (1)

发芽率(GR)/%=第 12 天发芽种子数/供试种子数×100。 (2)

发芽指数(GI)/%=Gt/Dt。 (3)

式中:Gt 指第 t 天的发芽种子数,Dt 指相应的发芽天数。

活力指数(VI)/%=GI×RL。 (4)

盐胁迫相对指数(DRI)/%=盐处理测定值(T)/对照组测定值(CK)×100。 (5)

包括相对发芽势(RGP)、相对发芽率(RGR)、相对胚轴长(RHL)、相对胚根长(RRL)、相对发芽指数(RGI)、相对活力指数(RVI)。为排除种质间的差异,所有指标均转化为盐胁迫相对指数。

为明确不同加工番茄品种的耐盐性差异,采用隶属函数法及主成分分析法^[12]进行综合评价。

1.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2013 整理原始数据,采用 SPSS 22.0 对试验数据进行差异显著性检验(Duncan 法)、相关性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对加工番茄种子萌发指标的影响

由表 2 可知,50 份加工番茄种质的 6 个萌发指标在盐胁迫下均呈降低趋势,平均值介于 16%~69%之间,变异系数介于 36%~105%之间,离散程度较高,说明选择 $90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理能使不同供试材料表现出较为明显的耐盐性差异,可以鉴定加工番茄种子的耐盐性。

在 50 份加工番茄材料中,6 份材料 RGP 值超过 50.00%,其中 S50 的 RGP 值达到了 67.14%;12 份材料 RGP 值低于 5.00%,其中 S24、S35、S40 与 S42 的 RGP 值为 0;其余 32 份材料的 RGP 值在 5.00%~50.00%。7 份材料 RGR 值超过 95.00%,其中 S28 的 RGR 值达到了 98.89%;7 份材料的 RGR 值低于 30.00%,其中 S24 的 RGR 值为 18.01%;其余 36 份材料的 RGR 值在 30.00%~95.00%。4 份材料的 RHL 值超过 70.00%,其中 S39 的 RHL 值达到了 77.81%;9 份材料的 RHL 值低于 30.00%,其中 S43 的 RHL 值为 7.54%;其余 37 份材料的 RHL 值在 30.00%~70.00%。4 份材料的 RRL 值超过 70.00%,其中 S7 的 RRL 值达到了 90.15%;5 份材料的 RRL 值低于 30.00%,其中 S43 的 RRL 值为 4.90%;其余 41 份材料的 RRL 值在 30.00%~70.00%。9 份材料的 RGI 值超过 40.00%,其中 S30 的 RGI 值达到了 52.86%;5 份材料的 RGI 值低于 10.00%,其中 S24 的 RGI 值为 6.67%;其余 36 份材料的 RGI 值在 10.00%~40.00%。5 份材料的 RVI 值超过 30.00%,其中 S7 和 S30 的 RVI 值达分别到了 33.97%、32.74%;5 份材料的 RVI 值低于 3.00%,其中 S43 的 RVI 值为 0.44%;其余 40 份材料的 RVI 值在 3.00%~30.00%。综合来看,S30 在 6 个萌发指标中均表现较好;而 S37、S46 和 S43 在 6 个萌发指标中均表现较差;S42 在 RGP、RGR、RHL、RGI 及 RVI 中表现较差。综上,在 $90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液胁迫下,S30 表现出较好的耐盐性,S37、S42、S43、S46 对盐胁迫比较敏感,种子萌发受到较大影响。

2.2 盐胁迫相对指数的相关性分析

对 50 份加工番茄种质 6 个萌发指标的盐胁迫

相对指数进行相关性分析,结果如表 3 所示,6 个生长指标的盐胁迫相对指数间存在一定程度的相关性。RGR、RHL、RGI、RVI 之间相关性达极显著水平。RGP 与 RGR、RHL、RGI、RVI 呈极显著正相关,相关系数分别为 0.469、0.425、0.744、0.604;RRL 与 RGR、RHL、RGI、RVI 呈极显著正相关,相关系数分别为 0.755、0.752、0.647、0.863。以上数据表明,各指标对盐胁迫的反应程度不同,如果仅仅选用其中 1 个或者 2 个萌发指标对加工番茄种质进行耐盐性鉴定,很难准确鉴定加工番茄的耐盐性。因此,需要进一步探究各指标间的内在联系,建立较为全面的评价方法。

2.3 加工番茄盐胁迫相对指标的主成分分析

利用主成分分析法对 50 个加工番茄种质的 6 个萌发指标的盐胁迫相对指数进行降维,结果如表 4 所示,前 2 个因子的累计贡献率达到 89.149%,能代表盐胁迫下不同供试材料所测指标的绝大部分信息,可初步作为 2 个相互独立的新指标(F1、F2)来反映不同材料萌发期的耐盐性。其中,F1 的贡献率为 74.977%,RGI 和 RVI 有较高的载荷;F2 的贡献率为 14.172%,RGP 有较高的载荷。综上,可提取 RGP、RGI 和 RVI 作为加工番茄萌发期耐盐性评价的主要指标。

2.4 模糊隶属函数法综合评价加工番茄耐盐性

将主成分分析得到的各加工番茄种质 F 值(表 5)代入到隶属函数值公式中,计算出相应的 $\mu(X)$ 值,根据隶属函数值和各指标的权重算出各份种质的 D 值,进而根据 D 值大小对 50 份种质进行排序,综合评价不同加工番茄种质萌发期耐盐性强弱。 D 值越大,代表加工番茄耐盐性越强。50 份加工番茄种质耐盐性排序如表 5 所示,萌发期耐盐性最强的种质为 S30, D 值达到了 0.97;其次为 S44, D 值为 0.86;S39 排名第 3, D 值为 0.85;萌发期耐盐性最差的种质为 S43, D 值仅为 0.12。

2.5 50 份加工番茄萌发期耐盐性聚类分析

根据 D 值采用欧氏距离平均连锁法对 50 份加工番茄进行聚类分析(图 1),在欧氏距离为 15 处可将 50 份加工番茄种质划分为 3 类。其中,第 I 类为高度耐盐型(18 份),包括 S30、S44、S39、S22、S4、S28、S18、S50、S7、S45、S29、S1、S47、S5、S2、S27、S32、S13;第 II 类为中度耐盐型(24 份),包括 S8、S20、S19、S26、S23、S16、S48、S10、S17、S12、S6、S33、S25、S31、S21、S38、S15、S34、S9、

表2 盐胁迫下加工番茄种子萌发期各指标的相对值
Table 2 Relative values of seed germination indices of processed tomato under salt stress %

材料编号	RGP	RGR	RHL	RRL	RGI	RVI
S1	13.33±6.67 gh	95.56±5.09 abc	52.64±3.31 cdefghijk	77.80±3.65 ab	38.43±0.91 bcdefghi	29.95±0.71 ab
S2	35.56±8.39 cde	93.33±5.77 abc	54.11±7.60 cdefghij	49.53±7.12 ghijklmno	37.29±2.91 bcdefghijk	18.38±1.43 fghij
S3	2.78±4.80 gh	41.85±19.13 hij	39.14±9.92 hijklmno	48.59±5.05 hijklmnop	20.93±9.09 mnopqrs	10.09±2.87 mnopqr
S4	48.89±8.39 bed	96.67±3.33 ab	56.74±17.74 bcdefghi	61.05±6.36 cdefgh	45.39±4.45 abcde	27.59±2.71 abcd
S5	11.67±4.48 gh	88.27±10.26 abcde	60.89±8.23 abcdefg	58.09±3.96 defghij	43.94±9.57 abcdefg	25.50±5.56 bcde
S6	5.33±4.62 gh	67.86±18.56 defg	49.20±23.56 efghijkl	53.65±8.68 efghijklm	30.58±11.75 fghijklmn	16.32±6.27 fghijklm
S7	4.56±5.28 gh	97.78±1.92 a	75.06±11.40 ab	90.15±3.34 a	37.74±3.19 bcdefghij	33.97±2.87 a
S8	10.34±6.90 gh	80.46±12.11 abcdef	54.03±1.15 cdefghij	74.62±5.96 bc	30.56±3.34 fghijklmn	22.75±2.48 cdef
S9	3.33±5.77 gh	76.67±12.02 abcdef	44.68±2.34 efghijklm	34.03±7.60 opqrstu	24.00±4.28 ijklmnop	8.11±1.45 opqrst
S10	10.43±9.08 gh	90.84±7.22 abcd	46.09±18.16 efghijklm	52.50±7.92 efghijklmn	32.79±4.17 defghijklmn	17.11±2.17 fghijkl
S11	2.82±2.50 gh	51.72±8.27 ghi	28.74±5.92 mno	34.59±8.91 opqrstu	23.64±6.42 jklmnop	8.03±2.18 opqrst
S12	19.51±11.26 efg	72.71±12.86 bcdefg	48.46±3.78 efghijklm	41.28±4.21 klmnopqrs	30.32±10.05 ghijklmn	12.49±4.14 ijklmno
S13	16.74±17.25 fgh	91.11±5.09 abcd	54.46±6.21 cdefghij	58.91±11.48 cdefghi	36.85±3.95 bcdefghijk	21.42±2.29 defg
S14	11.43±10.30 gh	34.99±7.73 ijk	36.12±8.47 jklmno	39.05±6.21 mnopqrst	21.84±10.46 lmnopqr	8.45±4.05 opqrst
S15	3.33±3.33 gh	65.56±15.75 efg	42.23±6.68 fghijklmn	52.95±9.87 efghijklm	21.78±2.20 mnopqr	11.48±1.16 klmnop
S16	7.79±7.69 gh	85.69±9.73 abcde	47.26±4.39 efghijklm	66.10±16.90 bcdef	30.69±6.12 efghijklmn	19.80±3.95 efg
S17	2.57±2.23 gh	84.29±17.41 abcde	49.55±9.39 efghijkl	62.31±22.22 bcdefgh	27.46±3.30 hijklmno	13.50±1.11 hijklmno
S18	52.84±0.18 abc	77.35±9.45 abcdef	41.55±1.40 ghijklmno	66.02±3.32 bcdef	47.34±6.22 abcd	31.21±4.10 ab
S19	13.60±9.02 gh	84.02±7.32 abcde	69.94±13.06 abcd	67.06±15.18 bcde	26.56±9.08 hijklmno	17.68±6.04 fghijkl
S20	14.48±11.65 fgh	87.78±3.85 abcde	61.53±19.24 abcdefg	54.30±3.50 efghijklm	33.27±8.47 defghijklmn	18.11±4.61 fghijk
S21	7.78±1.92 gh	66.67±8.82 efg	52.31±15.34 cdefghijk	42.46±6.87 jklmnopqrs	22.73±5.81 klmnopq	9.60±2.45 nopqrs
S22	36.81±4.70 cd	94.16±3.91 abc	76.19±7.96 ab	73.77±6.01 bcd	40.99±0.88 abcdefgh	30.24±0.65 ab
S23	18.89±6.94 efg	88.90±3.85 abcde	53.48±14.46 cdefghijk	47.71±7.48 hijklmnopq	34.26±2.45 cdefghijklm	16.42±1.18 fghijklm
S24	0.00±0.00 h	18.01±10.27 k	38.76±7.72 hijklmno	53.51±3.06 efghijklm	6.67±3.87 t	3.57±2.07 rstu
S25	6.13±7.73 gh	66.19±12.63 efg	37.58±10.93 ijklmno	51.73±9.08 efghijklmn	31.72±6.78 efghijklmn	16.42±3.50 fghijklm
S26	14.05±3.07 fgh	91.95±8.68 abc	48.33±16.35 efghijklm	56.74±14.81 efghijk	34.02±2.14 cdefghijklm	19.11±1.20 efg
S27	18.89±5.09 efg	93.33±6.67 abc	60.46±7.60 abcdefg	60.38±5.18 cdefghi	37.42±2.21 bcdefghijk	22.56±1.34 cdef
S28	37.78±15.03 cd	98.89±1.92 a	62.67±15.28 abcdef	65.42±5.78 bcdefg	43.88±4.65 abcdefg	28.73±3.04 abc
S29	50.50±8.28 abc	86.67±12.02 abcde	62.33±4.73 abcdef	50.59±1.96 fghijklmn	35.91±5.69 bcdefghijkl	18.10±2.87 fghijk
S30	66.67±6.67 a	95.56±5.09 abc	72.09±6.45 abc	62.26±7.23 bcdefgh	52.86±3.72 a	32.74±2.31 a
S31	18.51±4.74 efg	52.54±8.74 ghi	24.45±4.79 nop	31.44±6.59 rstu	35.68±8.86 bcdefghijkl	11.18±2.78 lmnopq
S32	17.78±6.94 fgh	95.56±1.92 abc	49.82±2.63 defghijkl	56.02±2.33 efghijkl	38.07±0.81 bcdefghij	21.29±0.45 defg
S33	12.26±7.63 gh	76.63±17.25 abcdef	46.52±11.24 efghijklm	57.15±6.84 efghijk	23.78±1.95 jklmnop	13.50±1.11 hijklmno
S34	5.26±5.26 gh	59.73±20.83 fgh	35.80±2.19 jklmno	44.80±3.81 ijklmnopqr	26.71±6.33 hijklmo	11.96±2.83 jklmnop
S35	0.00±0.00 h	37.33±9.95 ijk	48.96±9.95 efghijkl	36.70±14.20 nopqrstu	19.04±3.04 nopqrst	7.03±1.12 opqrstu
S36	3.85±3.85 gh	25.29±8.35 jk	33.20±7.44 klmno	40.50±2.13 lmnopqrst	11.38±3.99 pqrst	4.61±1.62 qrstu
S37	6.83±0.28 gh	18.08±10.60 k	22.59±3.91 nop	24.92±1.47 tu	8.09±3.54 rst	2.02±0.89 tu
S38	31.97±16.06 def	52.98±22.39 ghi	29.86±3.18 lmno	33.48±5.10 pqrstu	23.75±12.69 ijklmnop	7.95±4.25 opqrst
S39	41.88±12.81 bcd	96.59±3.46 ab	77.81±15.08 a	63.53±0.65 bcdefgh	45.11±6.40 abcdef	28.65±4.07 abc
S40	0.00±0.00 h	52.07±4.35 ghi	35.48±1.17 jklmno	21.87±8.73 u	15.54±3.07 opqrst	3.37±0.66 stu
S41	1.23±2.14 gh	26.79±15.20 jk	24.32±3.21 nop	32.47±3.91 qrstu	7.46±5.03 st	2.40±1.62 tu
S42	0.00±0.00 h	29.35±1.84 jk	29.83±4.29 lmno	31.92±2.97 qrstu	7.72±2.46 st	2.44±0.78 tu
S43	5.56±6.37 gh	22.05±11.67 jk	7.54±1.97 p	4.90±0.05 v	9.08±7.01 pqrst	0.44±0.34 u
S44	56.44±20.43 ab	87.78±10.72 abcde	49.93±5.40 defghijkl	65.74±12.73 bcdefg	48.28±13.49 abc	31.35±8.77 ab
S45	56.32±10.54 ab	78.16±3.98 abcdef	58.21±12.08 bcdefgh	55.10±4.56 efghijklm	37.69±1.83 bcdefghij	20.74±1.01 efg
S46	8.89±12.62 gh	22.46±13.15 jk	22.00±5.34 op	23.44±3.63 u	11.01±9.25 pqrst	2.58±2.17 tu
S47	48.71±21.98 bcd	66.28±28.54 efg	62.94±16.11 abcde	54.60±1.45 efghijklm	35.67±16.68 bcdefghijkl	19.49±9.11 efg
S48	39.66±25.87 bcd	72.11±25.12 cdefg	22.14±7.01 op	39.61±11.21 mnopqrst	38.42±18.07 bcdefghi	15.08±7.10 ghijklmn
S49	19.93±12.76 efg	34.52±19.67 ijk	57.67±15.45 bcdefghi	26.82±7.36 stu	20.83±14.57 mnopqrs	5.61±3.92 pqrstu
S50	67.14±4.07 a	78.57±6.41 abcdef	53.13±1.15 cdefghijk	42.58±9.45 jklmnopqrs	49.98±5.54 ab	20.99±2.33 efg
均值	20	69	47	50	30	16
标准差	0.21	0.27	0.18	0.18	0.13	0.10
变异系数/%	105	39	38	36	43	63

注:同列数据后不同小写字母表示不同材料在 0.05 水平差异显著。

表3 加工番茄种子萌发期盐胁迫相对指数相关性分析

Table 3 Correlation analysis of relative index of salt stress of processed tomato during seed germination

指标	RGP	RGR	RHL	RRL	RGI	RVI
RGP	1					
RGR	0.469**	1				
RHL	0.425**	0.742**	1			
RRL	0.277	0.755**	0.752**	1		
RGI	0.744**	0.860**	0.655**	0.647**	1	
RVI	0.604**	0.866**	0.751**	0.863**	0.913**	1

注:**表示在0.01水平上极显著相关。

表4 盐胁迫下各指标相对值的主成分分析及贡献率

Table 4 Principal component analysis and contribution rate of relative value of each index under salt stress

指标	主成分1	主成分2
RGP	0.309	0.780
RGR	0.433	-0.132
RHL	0.395	-0.269
RRL	0.398	-0.471
RGI	0.439	0.281
RVI	0.458	-0.030
特征值	4.499	0.850
贡献率/%	74.977	14.172
累计贡献率/%	74.977	89.149

表5 不同加工番茄种质萌发期耐盐性综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of salt tolerance of different tomato germplasm at germination stage

材料编号	F_1	F_2	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$	D值	综合排名	材料编号	F_1	F_2	$\mu(X_1)$	$\mu(X_2)$	D值	综合排名
S1	1.01	-1.24	0.81	0.24	0.72	12	S26	0.37	-0.52	0.64	0.38	0.60	22
S2	0.57	0.62	0.70	0.61	0.68	15	S27	0.74	-0.58	0.74	0.37	0.68	16
S3	-0.75	-0.60	0.36	0.37	0.36	39	S28	1.27	0.15	0.87	0.51	0.81	6
S4	1.21	0.93	0.86	0.67	0.83	5	S29	0.71	1.08	0.73	0.70	0.73	11
S5	0.81	-0.65	0.76	0.36	0.69	14	S30	1.78	1.56	1.00	0.79	0.97	1
S6	-0.04	-0.76	0.54	0.34	0.51	29	S31	-0.64	1.21	0.39	0.72	0.44	32
S7	1.43	-2.46	0.91	0.00	0.77	9	S32	0.56	-0.28	0.69	0.43	0.65	17
S8	0.55	-1.39	0.69	0.21	0.61	19	S33	-0.10	-0.73	0.53	0.34	0.50	30
S9	-0.56	-0.33	0.41	0.42	0.41	37	S34	-0.53	-0.27	0.42	0.43	0.42	36
S10	0.19	-0.51	0.60	0.38	0.57	26	S35	-0.93	-0.55	0.32	0.38	0.33	42
S11	-0.96	0.06	0.31	0.50	0.34	41	S36	-1.33	-0.32	0.22	0.42	0.25	44
S12	-0.13	0.24	0.52	0.53	0.52	28	S37	-1.79	0.47	0.10	0.58	0.18	49
S13	0.58	-0.52	0.70	0.38	0.65	18	S38	-0.73	1.34	0.37	0.75	0.43	34
S14	-0.91	0.20	0.32	0.52	0.35	40	S39	1.46	0.14	0.92	0.51	0.85	3
S15	-0.42	-0.88	0.45	0.31	0.42	35	S40	-1.29	0.02	0.23	0.49	0.27	43
S16	0.33	-1.11	0.63	0.27	0.58	24	S41	-1.65	-0.11	0.14	0.46	0.19	48
S17	0.13	-1.33	0.58	0.22	0.53	27	S42	-1.58	-0.26	0.15	0.43	0.20	47
S18	1.08	1.38	0.82	0.76	0.81	7	S43	-2.19	1.33	0.00	0.75	0.12	50
S19	0.52	-1.41	0.68	0.21	0.61	21	S44	1.30	1.35	0.88	0.75	0.86	2
S20	0.43	-0.66	0.66	0.36	0.61	20	S45	0.78	1.35	0.75	0.75	0.75	10
S21	-0.41	-0.53	0.45	0.38	0.44	33	S46	-1.70	0.66	0.12	0.62	0.20	46
S22	1.46	-0.46	0.92	0.39	0.84	4	S47	0.61	0.96	0.71	0.67	0.70	13
S23	0.28	-0.09	0.62	0.47	0.60	23	S48	-0.12	1.86	0.52	0.85	0.57	25
S24	-1.31	-1.08	0.22	0.27	0.23	45	S49	-0.81	0.53	0.35	0.59	0.39	38
S25	-0.18	-0.41	0.51	0.40	0.49	31	S50	0.87	2.61	0.77	1.00	0.81	8

S49、S3、S14、S11、S35；第 III 类为盐敏感型（8 份），包括 S40、S36、S24、S46、S42、S41、S37、S43。其中 S30、S17、S43 分别代表不同的耐盐等级，S30 表现为高度耐盐，S17 表现为中度耐盐，S43 表现为盐敏感。在发芽试验第 13 天萌发情况见图 2，与对照相比，盐胁迫下 3 份种质的生长均受到不同程度的抑制，其中 S30 受盐胁迫影响较小，S43 受

影响最大。

3 讨论与结论

近年来，果蔬耐盐性筛选在甜瓜、西瓜、辣椒、生菜中都有报道^[13-16]，通常是对发芽率、发芽势、胚轴长等相关萌发指标进行综合分析。笔者对 50 份加工番茄种质种子萌发期进行 90 mmol·L⁻¹ NaCl

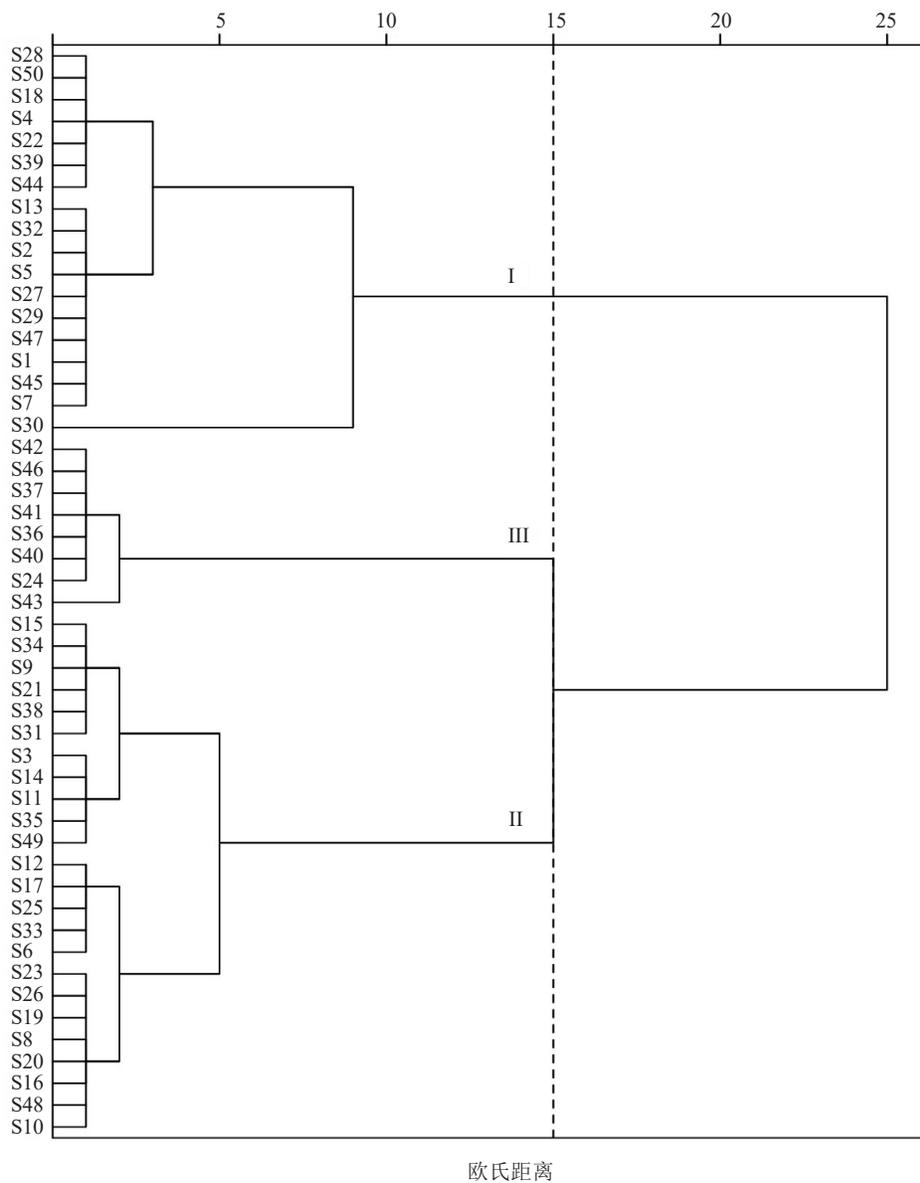


图1 50份加工番茄种质耐盐性聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of salt tolerance of 50 processed tomato germplasm



注:每个品种左边3株为蒸馏水处理(CK),右边3株为NaCl处理。

图2 不同耐盐等级加工番茄第13天萌发差异

Fig. 2 Germination difference of different salt-tolerant grades processed tomatoes on the 13th day

处理,发芽势、发芽率、胚轴长等萌发指标的相对值均小于1,表明盐胁迫处理下各萌发指标均表现出下降趋势,与苏文悦等^[17]研究结果一致。笔者对相对发芽势、相对发芽率、相对胚轴长、相对胚根长、相对发芽指数和相对活力指数6个指标进行主成分分析。结果表明,相对发芽势、相对发芽指数和相对活力指数在主成分中载荷较大,可以作为加工番茄萌发期耐盐性快速鉴定或筛选的主要指标,其中相对活力指数的计算与相对胚根长相关,因此可以将相对发芽势、相对胚根长、相对发芽指数作为加工番茄种子萌发期耐盐性鉴定的首要评价指标,3个指标都是反映种子质量和活力的指标,较单一指标评价更可靠。

关于耐盐性评价方法,近年来研究学者多采用隶属函数法、聚类分析法以及标准差系数法等对番茄、大豆、小麦等作物进行鉴定与评价^[18-20]。笔者通过隶属函数法和聚类分析法对加工番茄萌发期耐盐性进行综合评价,将50份种质分为3大类,第I类为高度耐盐型,包括S30、S44、S39等18份材料,其中耐盐性最强的为S30;第II类为中度耐盐型,包括S8、S20、S29等24份材料;第III类为盐敏感型,包括S43、S37、S41等8份材料,耐盐性最差的为S43。笔者仅对加工番茄萌发期的耐盐性进行鉴定,但是植物不同生长阶段具有不同的耐盐机制,对盐胁迫的耐受程度不同,在其他生育期是否具有同样的耐盐特性还有待进一步研究。

综上所述,笔者采用双层滤纸培养法将50份加工番茄种子在 $90\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl条件下进行耐盐性鉴定,发现在盐胁迫下,发芽势、发芽率、胚轴长、胚根长、发芽指数、活力指数等6个萌发指标均受到不同程度的抑制。采用隶属函数法综合评价,排名前3的品种依次为S30、S44、S39,归为聚类分析中的第I类,属于高度耐盐型品种。研究结果为耐盐型加工番茄新品种培育奠定了重要基础。

参考文献

- [1] 张继峰,王振华,张金珠,等.滴灌下氮盐交互对加工番茄荧光特性及产量品质的影响[J].中国农业科学,2020,53(5):990-1003.
- [2] TANVEER K, GILANI S, HUSSAIN Z. Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium[J]. Journal of Plant Nutrition, 2020, 43(1):28-35.
- [3] LIU G Y, JIANG W X, TIAN L. Polyamine oxidase 3 is involved in salt tolerance at the germination stage in rice[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2022, 49(5):458-468.
- [4] RAVELOMBOLA W S, SHI A N, WENG Y J. Evaluation of salt tolerance at germination stage in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp][J]. Hortscience, 2017, 52(9):1168-1176.
- [5] 徐宁伟,路斌,陈强,等.燕山地区叶底珠萌发期耐盐性综合评价[J].干旱区资源与环境,2023,37(4):178-185.
- [6] 王维.小麦耐盐种质的筛选鉴定及利用[D].山东泰安:山东农业大学,2021.
- [7] 李莉,张科,何明才,等.不同盐浓度对四个品种番茄种子萌发和幼苗芽长的影响[J].北方园艺,2019(24):1-6.
- [8] 龚明,刘友良,丁念诚,等.大麦不同生育期的耐盐性差异[J].西北植物学报,1994,14(1):1-7.
- [9] 姜景彬,魏民,张贺,等.蔬菜耐盐性鉴定方法研究进展[J].中国瓜菜,2009,22(3):39-41.
- [10] 王勤礼,闫芳,侯梁宇,等.NaCl胁迫对不同辣椒自交系种子萌发的影响及其耐盐性评价[J].北方园艺,2018(4):1-8.
- [11] 汪斌,庞胜群,马海新.不同浓度盐胁迫对加工番茄种子萌发的影响[C]//《园艺学报》编辑部:中国园艺学会2015年学术年会论文摘要集,2015:138.
- [12] 苏小雨,高桐梅,张鹏钰,等.基于主成分分析及隶属函数法对芝麻苗期耐热性综合评价[J].作物杂志,2023(4):52-59.
- [13] 朱迎春,孙德玺,邓云,等.NaCl胁迫对西瓜种子发芽的影响[J].中国瓜菜,2018,31(12):19-23.
- [14] 李世玉,程登虎,闫星,等.26份甜瓜材料耐盐性鉴定与评价[J].中国瓜菜,2022,35(9):23-30.
- [15] 张慧静,庞胜群,吉雪花,等.不同制干辣椒品种种子萌发期抗逆性评价[J].北方园艺,2019(22):1-7.
- [16] 郭琳钰,李振轮.基于主成分分析的生菜萌发期耐盐性综合评价[J].分子植物育种,2023,21(11):3749-3760.
- [17] 苏文悦,李鑫,褚雄燕,等.醋栗番茄核心种质芽期耐盐性评价[J].中国蔬菜,2023(2):34-39.
- [18] 武虹宇,张宝月,闫聪硕,等.不同加工番茄品种耐盐性筛选与综合评价[J].农业科技与装备,2022(6):1-6.
- [19] 许立志,庞胜群,刁明,等.隶属函数法评价不同加工番茄品种耐盐性[J].新疆农业科学,2017,54(5):833-842.
- [20] 谢志明,茹仙古丽·尤努斯,马刘峰,等.芽苗期伽师瓜耐盐性筛选与评价[J].北方园艺,2023(6):19-25.