

# 甜瓜种质资源芽苗期和幼苗期耐 $\text{NO}_3^-$ 性评价及鉴定指标筛选

赵卫星,常高正,高宁宁,李海伦,梁慎,康利允,徐小利,李晓慧\*

(河南省农业科学院园艺研究所,河南郑州 450002)

**摘要:**为筛选出耐盐性甜瓜材料和提供早期鉴定指标,利用 150 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  对 23 份甜瓜种质芽苗期和幼苗期进行胁迫处理,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 2 个时期不同种质的耐盐性,并进行了耐盐性鉴定指标的筛选。结果表明,不同甜瓜种质对  $\text{NO}_3^-$  胁迫处理的响应有明显差异,芽苗期和幼苗期耐盐性材料有 4 份相同,分别占芽苗期和幼苗期耐盐材料的 57.14% 和 25.00%,耐盐和中等耐盐材料相同率为 90.00%;并筛选出胚根干质量、主胚根长可作为芽苗期耐盐性鉴定指标,茎粗、根干质量、壮苗指数、叶绿素 a+b/类胡萝卜素、地上部干质量可作为幼苗期耐盐性鉴定指标。

**关键词:**甜瓜种质;芽苗期;幼苗期;耐  $\text{NO}_3^-$  性;鉴定指标

**中图分类号:**S652   **文献标志码:**A   **文章编号:**1004-3268(2018)01-0084-06

## Evaluation and Selection of Identification Indices for $\text{NO}_3^-$ Tolerance at Sprout and Seedling Stages of Melon Germplasms

ZHAO Weixing, CHANG Gaozheng, GAO Ningning, LI Hailun,

LIANG Shen, KANG Liyun, XU Xiaoli, LI Xiaohui\*

(Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to screen salt-tolerant materials and provide early identification indices of melon, 150 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  solution was used to treat 23 melon germplasms at sprout and seedling stages, and based on subordinate function values and total subordinate function value of salt damage coefficient, the salt tolerance was compared and the salt tolerance identification indexes were screened. The result showed that the responses of different melon germplasms to  $\text{NO}_3^-$  stress treatment were obviously different and salt tolerance at sprout and seedling stages was varied. Four salt tolerant materials were the same, which occupied 57.14% and 25.00% of salt tolerant materials at sprout stages and seedling stages respectively, and the same rate of salt tolerant and medium salt tolerant materials was 90.00%. Radicle dry weight and main radicle length were screened as salt resistance identification indexes for melon at sprout stages, and stem diameter, root dry weight, strong seedling index, chlorophyll a + b/carotenoids and above ground dry weight could be used as salt resistance appraisal indicators for melon at seedling stage.

**Key words:** Melon germplasm; Sprout stage; Seedling stage;  $\text{NO}_3^-$  tolerance; Identification indices

土壤盐渍化已经成为全球限制农业生产的非生物因素之一<sup>[1]</sup>。近年来,随我国农业结构的调整,

保护地栽培面积逐步扩大,肥料的过量施用和轮作的不合理,加剧了土壤的次生盐渍化<sup>[2]</sup>,已成为制

收稿日期:2017-08-20

基金项目:国家西甜瓜产业技术体系建设项目(CARS-26);河南省科技攻关项目(162102110099);河南省农业科学院自主创新项目

作者简介:赵卫星(1978-),男,河南上蔡人,副研究员,博士,主要从事西甜瓜育种及栽培生理研究。

E-mail:wxzhao2008@163.com

\* 通讯作者:李晓慧(1980-),女,河南郑州人,副研究员,硕士,主要从事西甜瓜育种及栽培生理研究。

E-mail:lixiaohui80@126.com

约园艺产业发展的瓶颈。利用作物自身耐盐能力的差异,筛选和培育耐盐品种是提高盐渍化土壤作物产量较为有效的途径<sup>[3]</sup>。我国是世界上甜瓜种植面积最大的国家之一,2015年甜瓜栽培面积为40.69万 $\text{hm}^2$ ,产量1 527.1万t<sup>[4]</sup>。选育耐盐性甜瓜品种对克服或减轻盐分胁迫对甜瓜生产造成的危害具有重要意义。植物种质资源耐盐性鉴定及评价是新品种选育的基础,且国内相关学者已在小麦<sup>[5]</sup>、棉花<sup>[6-7]</sup>、番茄<sup>[8]</sup>、黄瓜<sup>[9]</sup>、冬瓜<sup>[10]</sup>、甜瓜<sup>[11]</sup>等作物上开展了耐盐性鉴定与评价等方面的研究,但多数以 $\text{NaCl}$ 胁迫作为研究手段。由于甜瓜是忌 $\text{Cl}^-$ 性肥料作物,生产上施用的肥料多为 $\text{KNO}_3$ 或 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 型复合肥,土壤次生盐渍化的盐分组成阴离子以 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主<sup>[12-13]</sup>。同一种作物不同品种(系)对盐胁迫的响应各异,依据这种差异可区分品

种(系)间耐盐性<sup>[14]</sup>。而目前有关 $\text{NO}_3^-$ 胁迫下甜瓜耐盐性差异还鲜见报道。鉴于此,以国内收集到的23份甜瓜种质为材料,进行芽苗期和幼苗期耐盐性评价和分析,以期筛选出耐盐性材料和提供早期鉴定指标,为今后耐盐甜瓜种质资源筛选和利用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试甜瓜种质共23份,均为性状稳定的厚皮类型自交系,由河南省农业科学院园艺研究所西甜瓜课题组从国内各地收集得到(表1),于2015年进行扩繁采种后保存。供试 $\text{NO}_3^-$ 溶液浓度为150 mmol/L,由 $\text{KNO}_3$ 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 各提供1/2,加入去离子水配制而成。

表1 供试甜瓜种质资源及编号

编号	自交系	来源地	编号	自交系	来源地	编号	自交系	来源地	编号	自交系	来源地
1	T-14	河南	7	A-65	新疆	13	T-81	甘肃	19	T-107	未知
2	T-28-1	河南	8	A-68	新疆	14	T-97	山东	20	D-110-1	未知
3	T-30-1	河南	9	A-71	新疆	15	T-98	山东	21	D-127-1	未知
4	T-38	河南	10	伽师瓜	新疆	16	T-99	河北	22	T-128	广西
5	T-45	河南	11	T-73	甘肃	17	T-101-1	河北	23	T-129	江苏
6	T-47-1	海南	12	T-75	甘肃	18	T-104-1	山西			

### 1.2 试验方法

1.2.1 芽苗期 将吸足150 mmol/L $\text{NO}_3^-$ 溶液的双层滤纸放入洁净烘干的培养皿中,选取籽粒饱满、大小一致的种子50粒放在双层滤纸中间,盖上培养皿,置于( $28 \pm 1$ )℃的培养箱中黑暗培养6 d。处理期间每2 d更换1次滤纸,以保证盐浓度保持相对稳定。以去离子水为对照,每个处理重复3次。以胚根长0.2 cm作为萌芽标志,从第2天到第5天统计种子发芽数。发芽第6天,每个处理选10株进行相关指标的测定。

1.2.2 幼苗期 选取籽粒饱满、大小一致的种子,浸种催芽后播种于盛有混合基质( $V_{蛭石}:V_{珍珠岩}=1:1$ )的32孔穴盘中。待幼苗长到三叶一心时,将穴盘放置于加有150 mmol/L $\text{NO}_3^-$ 的日本山崎甜瓜营养液(硝酸钙826 mg/L、硝酸钾607 mg/L、硫酸镁370 mg/L、磷酸二氢铵153 mg/L)进行胁迫处理,以全营养液处理为对照(CK)。为防止盐刺激,胁迫处理每天按50 mmol/L的浓度梯度递增,达到预定浓度后的第8天,胁迫症状比较明显时,每个处理随机取5株进行相关指标的测定。

### 1.3 测定项目与方法

芽苗期测定主胚根长、下胚轴长、胚轴粗度、地上部鲜质量和干质量、根鲜质量和干质量、根系活力<sup>[14]</sup>、电解质渗漏率<sup>[15]</sup>;统计种子发芽率,并计算

活力指数,活力指数 =  $\sum Gt/Dt \times$  鲜质量(其中, $Gt$ 为时间 $t$ 内的发芽数, $Dt$ 为相应的发芽时间),每个处理重复3次。

幼苗期测定株高、茎粗、最大叶长、最大叶宽、地上部鲜质量、根鲜质量、地上部干质量、根干质量、叶片叶绿素a/b和叶绿素a+b/类胡萝卜素<sup>[16]</sup>、细胞膜电解质渗漏率<sup>[17]</sup>,并计算壮苗指数,壮苗指数 = (根鲜质量/地上部鲜质量 + 茎粗/株高) × 全株鲜质量,每个处理重复3次。

### 1.4 统计分析

计算盐害系数,盐害系数 = (对照值 - 处理值)/对照值 × 100。

参考陈德明等<sup>[17]</sup>的方法采用隶属函数法进行耐盐性综合评价。通过下述公式计算盐害系数的隶属函数值。

$$X_{ij} = (x_{ij} - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min})$$

式中, $x_{ij}$ 为*i*品种*j*指标值; $x_{i\min}$ 为*j*指标最小值; $x_{i\max}$ 为*j*指标最大值;累加各指标的具体隶属函数值即为总隶属函数值;盐害系数的隶属函数值越大,耐盐性越小。

采用DPS 7.05软件分析各指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值间的相关性,并采用离差平方和法进行聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同甜瓜种质芽苗期耐盐性比较

由表 2 可知,供试甜瓜种质间所测指标的盐害系数隶属函数值差异显著,且与总隶属函数值之间的变化趋势有一定差异;各指标盐害系数隶属函数值的平均值由大到小依次为胚根鲜质量、胚根干质量、主胚根长、根系活力、活力指数、芽鲜质量、电解质渗漏率、下胚轴长、芽干质量、胚轴粗度。

对各指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值进行相关性分析(表 3)。结果表明,总隶属函数值与活力指数、主胚根长、下胚轴长、胚根干质量盐害系数隶属函数值的相关性达极显著水平( $r = 0.670^{**}$ 、 $r = 0.610^{**}$ 、 $r = 0.610^{**}$ 、 $r = 0.720^{**}$ ),与芽鲜质量盐害系数隶属函数值的相关性达显著水平( $r = 0.480^*$ ),与胚轴粗度、芽干质量、胚根鲜质量、电解质渗漏率、根系活力盐害系数隶属函数值间的相关性均未达到显著水平。

表 2 甜瓜种质资源芽苗期不同性状指标耐  $\text{NO}_3^-$  性评价

种质 编号	盐害系数隶属函数值										总隶属 函数值
	活力 指数	主胚 根长	下胚 轴长	胚轴 粗度	芽鲜 质量	芽干 质量	胚根鲜 质量	胚根干 质量	电解质 渗漏率	根系 活力	
13	0.101i	0.225g	0.149g	0.126i	0.284f	0.011i	0.271h	0k	0m	0.475h	1.642
2	0.061j	0.070l	0.109i	0.082gk	0.273f	0.261e	0.136i	0.309i	0.321e	0.190l	1.812
14	0.319g	0.322i	0.220e	0.007n	0.224g	0.004j	0.489f	0.239j	0.014m	0.569f	2.407
6	0.013k	0.573e	0.144g	0.181g	0.067k	0.093g	0.564e	0.547ef	0.212h	0.162l	2.556
12	0.166i	0.580e	0.363cd	0.037m	0.209g	0.041h	0.626d	0.435h	0.078k	0.070n	2.605
10	0.399f	0.496g	0.326d	0.097g	0.029l	0.146f	0.594de	0.454g	0.101j	0.125m	2.767
3	0.336g	0.471g	0.083j	0.058k	0.521d	0.045h	0.256h	0.314i	0.300e	0.409i	2.793
7	0.112i	0.112k	0.158g	0.151h	0.127hi	0.638c	0.658d	0.464g	0.040l	0.442hi	2.902
21	0.252h	0.528f	0.080j	0.038m	0.481d	0.041h	0.068j	0.635d	0.754b	0.756d	3.633
16	0.231h	0.501fg	0.175fg	0.324c	0.057k	0.013i	0.907ab	0.824bc	0.246g	0.358j	3.636
9	0.125i	0.644d	0m	0.317c	0m	0.921a	0.789c	0.614e	0.268f	0o	3.678
15	0.440ef	0.534ef	0.043k	0.541a	0.332ef	0.008j	0.874b	0.530f	0.001m	0.415i	3.718
19	0.216hi	0.382h	0.122h	0.227e	0.095j	0.075g	0.855c	0.599e	0.504cd	0.678e	3.753
17	0.223h	0.521f	0.028l	0.271d	0.022l	0.009ij	0.875b	1.000a	0.318e	0.518g	3.785
23	0.527e	0.714c	0.111hi	0.048l	0.618c	0.003j	0.520ef	0.631de	0.423d	0.295k	3.890
11	0.099ij	0.529f	0.397c	0.060k	0.153h	0.743b	0.524ef	0.504fg	0.201hi	0.804c	4.014
20	0l	0m	0.385c	0.408b	0.122i	0.467d	0.374g	0.449gh	1.000a	1.000a	4.205
22	0.544e	0.858b	0.245e	0.253d	0.650c	0.010ij	0k	0.691d	0.563c	0.481gh	4.295
18	0.645c	0.704c	0.107i	0.067k	0.368e	0k	1.000a	0.779c	0.259f	0.665e	4.594
5	0.755b	0.323i	0.354d	0.054kl	0.733b	0.100g	0.873b	0.908ab	0.167i	0.683e	4.950
8	0.211hi	0.662d	0.192f	1.000a	0.121i	1.000a	0.927a	0.572e	0.261f	0.365j	5.311
1	0.677c	0.938a	0.731b	0o	0.750b	0.248e	0.513f	0.963a	0.329e	0.866b	6.015
4	1.000a	1.000a	1.000a	0.206f	1.000a	0.040h	0.869bc	0.851b	0.447d	0.297k	6.710

注:同列不同小写字母表示不同材料间同一指标在  $P < 0.05$  水平上具有显著差异,下同。

表 3  $\text{NO}_3^-$  胁迫下甜瓜芽苗性状指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关性

项目	活力 指数	主胚 根长	下胚 轴长	胚轴 粗度	芽鲜 质量	芽干 质量	胚根鲜 质量	胚根干 质量	电解质 渗漏率	根系 活力	
总隶属 函数值	0.670 **	0.610 **	0.610 **	0.320	0.480 *	0.220	0.400	0.720 **	0.350	0.280	

注: \*、\*\* 分别表示显著( $P < 0.05$ )和极显著( $P < 0.01$ )水平,下同。

### 2.2 不同甜瓜种质幼苗期耐盐性比较

在  $\text{NO}_3^-$  胁迫处理条件下,甜瓜幼苗各个指标盐害系数隶属函数值在不同种质间有明显差异(表 4),各指标盐害系数隶属函数值的平均值由大到小依次为株高、地上部鲜质量、电解质渗漏率、根鲜质量、最大叶长、地上部干质量、叶绿素 a/b、茎粗、根干质量、壮苗指数、叶绿素 a + b/类胡萝卜素、最大叶宽。

对各指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值

进行相关性分析(表 5)。结果表明,茎粗、最大叶长、最大叶宽、地上部鲜质量、根鲜质量、地上部干质量、根干质量、壮苗指数、叶绿素 a + b/类胡萝卜素的盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关性达极显著水平( $r = 0.820^{**}$ 、 $r = 0.705^{**}$ 、 $r = 0.530^{**}$ 、 $r = 0.570^{**}$ 、 $r = 0.800^{**}$ 、 $r = 0.630^{**}$ 、 $r = 0.830^{**}$ 、 $r = 0.810^{**}$ 、 $r = 0.770^{**}$ );叶绿素 a/b、细胞膜电解质渗漏率、株高盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关性未达显著水平。

表4 甜瓜种质资源幼苗期不同性状指标耐NO<sub>3</sub><sup>-</sup>性评价

种质 编号	株高	茎粗	盐害系数隶属函数值										总隶属 函数值
			最大 叶长	最大 叶宽	地上部 鲜质量	根鲜 质量	地上部 干质量	根干 质量	壮苗 指数	叶绿素 a/b	叶绿素 a + b/类胡萝卜 素	电解质 渗透率	
22	0j	0.212h	0.246f	0.132e	0.100k	0.042j	0.019l	0.149g	0.241f	0.023l	0.012k	0.179gh	1.355
19	0.089i	0.185i	0.167j	0.032k	0m	0.333ef	0.260f	0.023j	0.155g	0.170h	0.161e	0.112ij	1.687
12	0.443f	0.004m	0.010n	0l	0.391g	0.126hi	0.360e	0.264ef	0.026k	0.092j	0.027j	0.347de	2.090
14	0.370g	0m	0n	0.051j	0.506e	0.115i	0.061ij	0.041i	0.159g	0.091j	0.439c	0.280e	2.113
21	0.010j	0.126k	0.231i	0.042jk	0.319i	0.240fg	0.577bc	0k	0.351de	0.099j	0.025j	0.119i	2.139
16	0.676cd	0.168j	0.151j	0.078h	0.514e	0.213g	0.201gh	0.042i	0.094i	0.064k	0.047i	0.153h	2.401
10	0.551e	0.227h	0.264f	0.050j	0.341gh	0.020k	0m	0.104h	0.011l	0.205g	0.017k	0.705c	2.495
8	0.646d	0.056l	0.279f	0.129e	0.477f	0.186g	0.047k	0.050i	0.007l	0.494d	0.129f	0l	2.500
9	0.673cd	0.270g	0.326de	0.119f	0.432fg	0k	0.213g	0.272e	0.022k	0.065k	0.049hi	0.124hi	2.565
20	0.035i	0.348e	0.154j	0.136e	0.243j	0.068j	0.530c	0.214f	0.336e	0.373e	0.116fg	0.068k	2.621
18	0.591e	0.185hi	0.305e	0.066i	0.505ef	0.131h	0.496cd	0.212f	0.108i	0.132i	0.108g	0.064k	2.903
4	0.466f	0.026l	0.034m	0.028k	0.346gh	0.380e	0.022l	0.097h	0.040j	0.415de	0.273d	0.821b	2.948
23	0.044i	0.271g	0.380d	0.113fg	0.022l	0.264f	0.226g	0.197fg	0.217f	0.871b	0.284d	0.077jk	2.966
17	0.874c	0.296f	0.120k	0.088h	0.926ab	0.081j	0.218g	0.024j	0.383d	0.105j	0.049hi	0.098j	3.262
13	0.718c	0.183i	0.111k	0.108g	0.384g	0.576d	0.053jk	0.457c	0.037jk	0.141hi	0.287d	0.274f	3.329
11	0.518ef	0.554d	0.497c	0.198d	0.251ij	0.350e	0.173h	0.110h	0.200fg	0.155h	0.060h	0.297e	3.363
6	1.000a	0.362e	0.623b	0.185d	0.533e	0.112i	0.357e	0.154g	0m	0.386e	0l	0.637d	4.349
5	0.962ab	0.181i	0.465c	0.130e	0.756cd	0.009k	0.179h	0.100h	0.138h	0.702c	0.085gh	0.835b	4.542
2	0.227h	0.171j	0.069l	1.000a	0.098k	0.502d	0.100i	0.311de	0.151g	1.000a	0.149ef	0.802bc	4.580
15	0.681c	0.104k	0.172ij	0.119f	0.856b	0.855b	0.624b	0.694b	0.563bc	0m	0.091g	0.082j	4.841
1	0.442f	0.609c	0.423cd	0.043jk	0.684d	0.874b	0.423d	0.365d	0.630b	0.363ef	0.444c	1.000a	6.300
7	0.941b	0.722b	0.818b	0.249c	0.774bc	0.704c	0.414d	0.678b	0.516c	0.339f	1.000a	0.401d	7.556
3	0.073i	1.000a	1.000a	0.571b	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	1.000a	0.133i	0.711b	0.215g	8.703

表5 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>胁迫下甜瓜幼苗性状指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关性

项目	株高	茎粗	最大 叶长	最大 叶宽	地上部 鲜质量	根鲜 质量	地上部 干质量	根干 质量	壮苗 指数	叶绿素 a/b	叶绿素 a +b/ 类胡萝卜素	电解质 渗透率	
总隶属 函数值	-0.020	0.820**	0.705**	0.530**	0.570**	0.800**	0.630**	0.830**	0.810**	0.250	0.770**	0.310	

### 2.3 甜瓜种质资源芽苗期和幼苗期耐盐性聚类分析

2.3.1 芽苗期 选取芽苗期盐害系数的总隶属函数值及与其相关性显著或极显著指标的隶属函数值进行聚类分析(表6)。结果表明,利用总隶属函数值进行聚类,可将供试材料分成3个群类,第一群类为耐盐材料,共7份,第二群类为中等耐盐材料,共13份,第三群类为盐敏感材料,共3份;胚根干质量盐害系数隶属函数值的聚类结果与总隶属函数值的聚类结果基本一致,与其有差异的10号、12号、6号材料也属于中等耐盐材料,胚根干质量可作为甜瓜芽苗期耐盐性鉴定指标;主胚根长盐害系数隶属函数值的聚类结果中耐盐材料有7份,其中4份属于总隶属函数值聚类结果中的耐盐性材料,3份属于中等耐盐材料,主胚根长也可作为甜瓜芽苗期耐盐性鉴定指标;活力指数盐害系数隶属函数值的聚类结果中耐盐材料有8份,其中2份属于总隶属函数值聚类结果中的耐盐性材料,5份属于中等耐盐材料,1份属于敏感类群,活力指数作为耐盐性材

料的鉴定指标具有一定局限性。下胚轴长、芽鲜质量盐害系数隶属函数值的聚类结果与总隶属函数值的聚类结果相差较大,不宜作为耐盐性的鉴定指标。因此,胚根干质量、主胚根长可作为甜瓜芽苗期耐盐性鉴定指标。

2.3.2 幼苗期 选取幼苗期盐害系数的总隶属函数值及与其相关性显著或极显著指标的隶属函数值进行聚类分析(表7)。结果表明,利用总隶属函数值进行聚类,可将供试材料分成3个群类,第一群类为耐盐材料,共16份,第二群类为中等耐盐材料,共4份,第三群类为盐敏感材料,共3份。茎粗、根干质量、壮苗指数、叶绿素a+b/类胡萝卜素、地上部干质量单一盐害系数隶属函数值聚类结果中耐盐材料分别有19、15、16、16、13份,在总隶属函数值聚类结果中均属于耐盐或中等耐盐类群,这5个指标可以作为幼苗期甜瓜耐盐性鉴定的指标;最大叶长、地上部鲜质量、根鲜质量单一盐害系数隶属函数值聚类结果中耐盐类群分别有10、6、10份,虽然这些材料在总隶属函数值聚类结果中属于耐盐或中等

耐盐类群,但与总隶属函数值聚类结果相比,筛选的范围相对较小,将这 3 个指标作为幼苗期甜瓜耐盐性鉴定的指标会造成一定的误差。最大叶宽单一指

标聚类结果与总隶属函数值聚类结果相差较大,不宜作为幼苗期耐盐性鉴定的指标。

表 6 甜瓜种质资源芽苗期耐  $\text{NO}_3^-$  性聚类分析

指标	耐盐材料	中等耐盐材料	敏感材料
总隶属函数值	2、3、6、10、14、12、13	5、18、20、22、7、11、23、9、17、15、19、21、16	1、8、4
活力指数	3、14、7、15、8、19、16、17	2、9、10、11、13、6、20	1、18、5、22、23、4
主胚根长	2、10、20、5、14、19、13	3、7、16、11、21、15、17、6、12、8、9、18、23	1、4、22
下胚轴长	2、18、23、19、3、21、9、15、17、6、13、10、8、16、14、22		1、4、5、12、7、11、20
芽鲜质量	6、16、7、17、9、8、20、10、19、11	2、13、12、14、15、18	1、5、22、23、3、21、4
胚根干质量	2、3、14、13	6、15、8、11、7、20、10、12、9、19、21、23、22	1、17、5、4、16、18

表 7 甜瓜种质资源幼苗期耐  $\text{NO}_3^-$  性聚类分析

指标	耐盐材料	中等耐盐材料	敏感材料
总隶属函数值	4、17、18、13、20、11、23、8、9、10、21、12、19、14、16、22	2、15、5、6	1、7、3
茎粗	4、8、12、14、2、16、5、13、18、19、10、22、15、21、6、20、9、23、17		1、11、7、3
最大叶长	2、4、12、14、13、17、15、19、16、20	1、23、5、11、6、8、10、21、22、9、18、	3、7
最大叶宽	1、21、10、14、4、19、12、16、17、18	5、8、22、20、9、15、13、23、6、11、7	2、3
地上部鲜质量	6、14、18、16、8、9	2、22、19、23、4、10、21、13、11、20	1、5、7、3、15、17
根鲜质量	5、9、10、17、20、22、6、14、12、18	4、11、19、8、16、21、23	1、15、3、2、13、7
地上部干质量	2、8、13、14、22、10、5、11、9、17、23、16、19		1、7、6、12、15、21、18、20、3
根干质量	4、5、10、11、6、22、18、20、23、8、14、16、17、19、21	1、2、9、12、13	3、7、15
壮苗指数	2、14、19、5、16、18、11、23、22、4、13、9、12、6、8、10		1、7、15、17、20、21、3
叶绿素 a+b/类胡萝卜素	2、19、5、15、8、18、20、6、10、22、12、21、9、17、16、11	1、14、4、13、23	3、7

### 3 结论与讨论

植物在芽苗期和幼苗期是对盐胁迫较为敏感的阶段,可作为鉴定和筛选耐盐种质的重要时期<sup>[18]</sup>。本试验通过对 23 份甜瓜材料盐害系数的总隶属函数值进行聚类分析,芽苗期和幼苗期分别筛选出了 7、16 份耐盐材料,仅有 4 份材料相同,分别占芽苗期和幼苗期耐盐材料的 57.14% 和 25.00%,但耐盐和中等耐盐材料的相同率达 90.00%,说明 2 个时期耐盐材料有明显不同,与盖如玉<sup>[19]</sup>和吴兰荣等<sup>[18]</sup>分别对大豆和花生的研究结果一致。造成这种差异的原因可能与芽苗期和幼苗期甜瓜生长对盐胁迫响应机制有关,芽苗期耐盐性主要表现为生物机体对渗透胁迫的抵抗,而幼苗期则主要表现为植物对盐分的主动排泄<sup>[20]</sup>。由于甜瓜的生育期较长,不同甜瓜种质耐盐性强弱在不同生育阶段会有一定差异,在甜瓜耐盐材料的筛选上,仅根据幼苗期主要性状进行评判具有一定的局限性。因此,还需进一步开展不同生育时期耐盐性的研究,并将其与芽苗期、幼苗期耐盐性进行相关性分析,使芽苗期、幼苗期耐盐性的鉴定结果更接近于实际,为甜瓜种质资源耐盐性的早期鉴定提供理论依据。

从 23 个甜瓜材料单一指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关性来看,芽苗期胚根干质量、活力指数、主胚根长、下胚轴长的相关系数达

0.610\*\*以上,呈极显著水平。说明  $\text{NO}_3^-$  胁迫对这 4 个指标均有较强的抑制作用,这与徐慧妮等<sup>[21]</sup>和陈火英等<sup>[22]</sup>分别对黄瓜和番茄的研究结果相同。芽鲜质量相关系数为 0.480\*,呈显著水平,其在盐胁迫过程中也受到了抑制。说明这 5 个指标最可能作为甜瓜芽苗期耐盐性鉴定指标。将这 5 个指标盐害系数隶属函数值的聚类结果与总隶属函数值聚类结果进行比较,筛选出胚根干质量、主胚根长可作为芽苗期耐盐性鉴定指标,可能与根系在直接与土壤环境接触过程受到盐胁迫的影响较大有关,也证实了 Merchan 等<sup>[23]</sup>和 Hodge 等<sup>[24]</sup>的盐胁迫通过根系结构的改变抑制植物生长的观点。幼苗期茎粗、最大叶长、最大叶宽、地上部鲜质量、根鲜质量、地上部干质量、根干质量、壮苗指数、叶绿素 a+b/类胡萝卜素的盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的相关系数均在 0.530\*\*以上,呈极显著水平,这些指标受到  $\text{NO}_3^-$  胁迫的抑制作用较强,与曹齐卫等<sup>[25]</sup>的研究基本一致。说明这 9 个指标最有可能作为甜瓜幼苗期耐盐性鉴定指标,比较这 9 个指标盐害系数隶属函数值与总隶属函数值的聚类结果,筛选出茎粗、根干质量、壮苗指数、叶绿素 a+b/类胡萝卜素、地上部干质量可作为甜瓜幼苗期耐盐性鉴定指标,与程智慧<sup>[26]</sup>对黄瓜的研究结果基本一致,也适应培育壮苗的需求。但阮松林等<sup>[27]</sup>的研究则认为,水稻幼苗受到  $\text{NaCl}$  胁迫时叶绿素 a 先受到破坏,叶绿素 a/b

比叶绿素 a + b/类胡萝卜素更能反映水稻的耐盐性,这种差异可能与作物间对盐胁迫响应机制不同有关,具体原因还有待于进一步研究。

本试验仅对甜瓜芽苗期和幼苗期部分指标进行了隶属函数分析,并筛选出了一些耐盐性鉴定指标,但多集中在形态指标方面。相关研究认为,植物的耐盐性是体内一系列因素综合作用的结果,表观形态特征对环境胁迫的反应往往落后于生理反应<sup>[28]</sup>;且植物可在分子水平、细胞水平以及组织器官水平上启动一系列应答反应来抵抗盐分的胁迫<sup>[20]</sup>。因此,应深入探讨盐胁迫下甜瓜生理生化特征的变化及其在不同水平上的应答机制,有利于更系统地分析耐盐性的本质,提高耐盐性材料评价和耐盐指标筛选的准确性,为今后耐盐甜瓜种质筛选及新品种选育提供参考。

#### 参考文献:

- [1] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annu Rev Plant Biol, 2008, 59: 651-681.
- [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[J].土壤通报,2004,35(2):212-216.
- [3] 王述民,李立会,黎裕,等.中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(I)[J].植物遗传资源学报,2011,12(2):167-177.
- [4] 中华人民共和国农业部.中国农业统计资料(2015)[M].北京:中国农业出版社,2016.
- [5] 张巧凤,陈宗金,吴纪中,等.小麦种质芽期和苗期的耐盐性鉴定评价[J].植物遗传资源学报,2013,14(4):620-626.
- [6] 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.
- [7] 张国伟,路海玲,周治国.棉花萌发期和苗期耐盐性及耐盐指标评价[C]//中国棉花学会.2010年年会论文汇编.郑州:中国棉花学会,2010:243-250.
- [8] 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.
- [9] 董志刚,孟焕文,程智慧.黄瓜品种资源芽苗期和幼苗期耐盐性及其评价指标研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):156-162.
- [10] 姚金晓,朱家骝,杨飞,等.海水胁迫下冬瓜幼芽期和幼苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J].西北农业学报,2016,25(4):612-618.
- [11] 朱春燕.甜瓜品种资源耐盐性及其指标评价[D].上海:上海交通大学,2011.
- [12] 童有为,陈淡飞.温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究[J].园艺学报,1991,18(2):159-162.
- [13] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,等.山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J].生态学报,2010,30(7):1853-1859.
- [14] 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[J].中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [17] 陈德明,俞仁培,杨劲松.盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J].土壤学报,2002,39(3):368-373.
- [18] 吴兰荣,陈静,许婷婷,等.花生全生育期耐盐鉴定研究[J].花生学报,2005,34(1):20-24.
- [19] 盖如玉.大豆种质资源的耐盐性鉴定和多样性分析[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [20] 王东明,贾媛,崔继哲.盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J].中国农学通报,2009,25(4):124-128.
- [21] 徐慧妮,王秀峰,孙旭东,等.黄瓜种子萌发对 $\text{NO}_3^-$ 胁迫的响应及耐盐性评价[J].西北植物学报,2011,31(2):325-331.
- [22] 陈火英,李怀志,刘杨,等.番茄耐盐性及耐盐育种研究进展[J].上海交通大学学报(农业科学版),2007,25(5):507-512.
- [23] Merchan F, De Lorenzo L, Rizzo S G, et al. Identification of regulatory pathways involved in the reacquisition of root growth after salt stress in *Medicago truncatula*[J]. Plant J, 2007, 51(1):1-17.
- [24] Hodge A, Berta G, Doussan C, et al. Plant root growth, architecture and function[J]. Plant Soil, 2009, 321(1):153-187.
- [25] 曹齐卫,李利斌,孔素萍,等.不同黄瓜品种幼苗对等渗 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{NaCl}$ 胁迫的生理响应[J].应用生态学报,2015,26(4):1171-1178.
- [26] 程智慧.番茄和黄瓜耐盐鉴定及盐逆境对蔗糖代谢和离子吸收的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [27] 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[J].中国水稻科学,2002,16(3):281-284.
- [28] 孙凯,张胜利,朱弘博.利用隶属函数法对不同基因型甘薯耐盐碱能力的分析与评价[J].东北师范大学学报(自然科学版),2015,47(2):115-119.