

# 甘薯全生育期耐盐种质筛选与耐盐性评价

马佩勇, 边小峰, 郭小丁, 贾赵东, 禹阳, 谢一芝

(江苏省农业科学院粮食作物研究所/农业部种养结合重点实验室, 南京 210014)

**摘要:**将 200 份甘薯材料同时种植在江苏省盐城市盐渍试验田和培肥地, 通过比较这些材料在盐渍地和培肥地苗期成活率、单株结薯数、单株产量、商品薯率、薯块干物率等产量和品质指标, 对这些甘薯材料进行全生育期的耐盐性综合鉴定。结果表明, 在盐渍条件下, 大部分甘薯材料的单株结薯数增加, 而苗期成活率、单株产量、商品薯率和薯块干物率降低。相关性分析结果显示, 甘薯的耐盐指数与苗期相对成活率和单株产量、单株结薯数、商品薯率的耐盐系数呈极显著正相关, 而与薯块干物率呈显著负相关。根据耐盐指数的高低将参试材料的耐盐性进行分级, 共筛选出 19 份耐盐性较强的甘薯材料, 为之后甘薯的耐盐机理研究和耐盐育种提供了材料基础。

**关键词:**甘薯; 耐盐; 种质筛选

## Evaluation and Screening for Salt-tolerant Sweetpotato Accessions during Growth Period

MA Pei-yong, BIAN Xiao-feng, GUO Xiao-ding, JIA Zhao-dong, YU Yang, XIE Yi-zhi

(*Institute of Food Crops/Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Ministry of Agriculture Key Laboratory of planting and breeding combination, Nanjing 210014*)

**Abstract:** Total 200 sweetpotato accessions were planted in the saline field and fertile land in Yancheng City, Jiangsu Province. By comparing the yield and quality index, such as seeding survival rate, number of storage roots per plant, yield per plant, commodity potato rate and dry matter content of storage roots, a comprehensive identification for salt-tolerance in the lifecycle of these sweetpotato materials was carried out. The results showed that the number of storage roots increased, but survival rate of seedling plants, yield per plant, commodity potato rate and dry matter content of storage roots decreased. The salt-tolerance index was positively correlated with the survival rate of seedling plants and the salt-tolerance coefficient of number of storage roots per plant, yield per plant and commodity potato rate, but negatively correlated with the salt-tolerance coefficient of dry matter content of storage roots. 19 salt-tolerant sweetpotato materials were screened out based on the salt-tolerance index. Thus, this study may provide the germplasm resource potentially valuable in works of analyzing salt-tolerance mechanism and breeding for salt-tolerance sweetpotato.

**Key words:** sweetpotato; salt-tolerance; germplasm

土地盐碱化是我国一个严重的生态问题, 据统计, 中国盐渍土总面积达 3600 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 可耕地资源已成为制约我国农业可持续发展的重要因素。仅江苏省沿海滩涂总面积就达 68.7 万  $\text{hm}^2$ , 居全国首位, 且每年以 1333  $\text{hm}^2$  速度增长<sup>[2]</sup>。随

着国民经济和社会的迅速发展, 人口增长与耕地减少的矛盾日益突出, 江苏海岸带盐土作为一种重要的土地后备资源, 亟待开发、利用和保护。利用高耐盐碱植物进行盐碱地生物改良是盐碱地恢复和改良的重要途径<sup>[3]</sup>。耐盐植物在盐渍土的开

收稿日期: 2017-09-01 修回日期: 2017-11-05 网络出版日期: 2018-04-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180417.1421.040.html>

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20151362); 江苏省农业科技自主创新基金(CX(15)1005); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-10-C3)

第一作者主要从事甘薯遗传育种研究。E-mail: andympy@163.com

通信作者: 谢一芝, 主要从事甘薯遗传育种研究。E-mail: xyz@jaas.ac.cn

发利用、维持生态平衡方面一直起着重要作用,其在固土的同时,可降低土壤盐分含量、提高土壤有机质含量,有利于土壤改造,产业需求非常大<sup>[4]</sup>;甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] 是重要的粮食、饲料及工业原料作物,也是一种高产稳产、营养丰富、用途广泛的重要农作物<sup>[5]</sup>,而且甘薯根系发达,茎蔓不定根的再生能力强,表现出很强的抗逆境能力。因此利用沿海滩涂盐碱地种植甘薯能更好地开发甘薯种植潜力,贡献更多的生物质能源<sup>[6]</sup>。而不同甘薯品种的耐盐性有很大差别,很多研究只是在实验室内进行耐盐试验和突变体筛选<sup>[7-13]</sup>,真正在大田生产环境中对甘薯不同材料进行耐盐性筛选和重要性状的耐盐性评价的研究很少。本研究利用江苏省盐城市金海农场盐渍地,对 200 份甘薯材料的耐盐性进行田间试验,根据这些材料的田间产量表现和重要农艺性状的耐盐性分析,筛选出一批耐盐的甘薯材料,为耐盐甘薯新品种的选育提供必要的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试甘薯材料 200 份,均为江苏省农业科学院粮食作物研究所保存的甘薯资源和高代鉴定圃材料。其地理来源和数量如表 1 所示。

表 1 参试材料的地域分布

Table 1 Areal distribution of all sweetpotato materials

地理来源 Origin	材料数量 Number	地理来源 Origin	材料数量 Number
中国江苏 Jiangsu, China	152	中国福建 Fujian, China	3
中国四川 Sichuan, China	10	中国湖北 Hubei, China	2
中国重庆 Chongqing, China	8	中国安徽 Anhui, China	1
中国浙江 Zhejiang, China	7	中国广东 Guangdong, China	1
日本 Japan	5	中国陕西 Shanxi, China	1
中国山东 Shandong, China	5	中国台湾 Taiwan, China	1
中国河南 Henan, China	4		

### 1.2 试验设计

试验设于江苏省盐城市金海农场盐渍试验田,同时以改良过的培肥地为对照。田间设计为顺序排列,单行区,起垄种植,垄长 250 cm,垄距 90 cm,每行 10 株,株距 25 cm,3 次重复。2015 年 6 月 3 日栽苗,同年 10 月 28 日收获。盐渍地和培肥地均为轻质沙壤土,土壤中营养元素及 pH 值情况如表 2 所示。起垄前撒施复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 15:15:15)作为基肥,用量 600 kg/hm<sup>2</sup>,常规田间管理。

### 1.3 取样与测定

栽苗后 15 d 进行查苗,统计薯苗成活率(SSR, seeding survival rate),不补苗。收获时按单行测产,统计商品薯率(CPR, commodity potato rate)(单薯重 ≥ 0.1 kg 的薯块为商品薯),并计算单株结薯数(NSR, number of storage roots per plant)和单株产量(YPP, yield per plant);收获后 3 d 从各参试材料中取中等大小薯块 2 个,切成薄片并烘干,测定薯块干物率(DMC, dry matter content of storage roots)。分别统计各参试材料的相对薯苗成活率(RSSR, relative seeding survival rate)、耐盐指数(STI, salinity tolerance index)和分别基于单株结薯数、单株产量、商品薯率和薯块干物率的耐盐系数(STC, salt tolerant coefficient)。为便于书写和表达,本文用 STC<sub>n</sub>、STC<sub>y</sub>、STC<sub>c</sub> 和 STC<sub>d</sub> 分别表示基于单株结薯数、单株产量、商品薯率和薯块干物率的耐盐系数。各指标计算方法如下:

$$\text{CPR}(\%) = (\text{某品种商品薯个数} / \text{某品种结薯总数}) \times 100\%$$

$$\text{RSSR}(\%) = (\text{某品种盐渍地成活株数} / \text{某品种培肥地成活株数}) \times 100\%$$

$$\text{STC}_n = \text{某品种盐渍地单株结薯数} / \text{某品种培肥地单株结薯数}$$

$$\text{STC}_c = \text{某品种盐渍地商品薯率} / \text{某品种培肥地商品薯率}$$

$$\text{STC}_y = \text{某品种盐渍地单株产量} / \text{某品种培肥地单株产量}$$

$$\text{STC}_d = \text{某品种盐渍地干物率} / \text{某品种培肥地干物率}$$

$$\text{STI} = \frac{A}{\bar{X}} \times \frac{A}{B}$$

STI 公式中,  $A$ ——某品种盐渍地薯块平均产量(g/株),  $B$ ——某品种培肥地薯块平均产量(g/株),  $\bar{X}$ ——所有参试品种盐渍地薯块平均单株产量(g/株)<sup>[14]</sup>。

表 2 试验田基本情况

Table 2 Basic conditions of test plots

试验地类别 Type of experimental conditions	有效氮(mg/kg) Available Nitrogen	有效磷(mg/kg) Olsen-P	有效钾(mg/kg) Olsen-K	有机质(%) Organic content	平均含盐量(‰) Salt content	pH 值 pH value
盐渍地 Saline soil	44.5	29.3	61.5	1.3	3.87	8.5
培肥地 Fertile soil	58.3	17.1	86.7	1.6	0.46	7.7

## 2 结果与分析

### 2.1 苗期相对成活率

200 份参试材料栽插后 15 d 进行查苗,统计成活率。结果显示,不同材料间的相对成活率差异较大。在 200 份参试材料中,苗期相对成活率最高的为 100%,有 13 份,仅占总数的 6.5%;最低的为 23.1%,有 1 份,具体相对成活率分布情况如图 1 所示。200 份材料的平均相对成活率为 74.1%,相对成活率 $\geq 80\%$ 的材料共有 92 份(表 3),其中源自江苏的材料 72 份,四川的材料 5 份,山东的材料 4 份,重庆的材料 3 份,河南的材料 3 份,福建的材料 2 份,安徽、浙江和台湾的材料各 1 份。

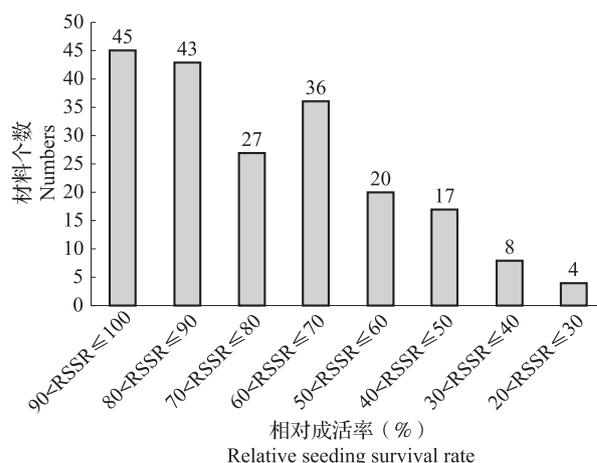


图 1 所有参试材料相对成活率的分布情况

Fig. 1 The RSSR distribution of all sweetpotato materials

表 3 相对成活率 $\geq 80\%$ 的甘薯材料Table 3 The sweetpotato materials with RSSR $\geq 80\%$ 

材料 Materials	相对成活率 (%) RSSR								
S37-2	100.0	R26-2	96.7	551-13	93.3	16-1	90.0	豫薯 8 号	83.3
S11-5	100.0	南薯 1 号	96.7	S32-4	93.3	C28-57	90.0	S89-1	83.3
S111-5	100.0	南薯 88	96.7	S97-3	93.3	S77-5	90.0	S15-6	83.3
苏薯 14 号	100.0	S90-2	96.7	S77-3	93.3	烟 337	89.7	宁薯 192	83.3
S43-10	100.0	S42-14	96.7	S88-2	93.3	郑红 5 号	89.3	S15-1	83.3
南薯 007	100.0	泰中 11	96.6	S9-7	93.3	S5-6	87.0	苏薯 16 号	83.3
R15-17	100.0	皖薯 4 号	96.6	豫薯 7 号	92.6	S55-2	87.0	S74-1	83.3
泉薯 9 号	100.0	Q19-5	96.6	B361	90.0	渝薯 34	86.7	宁 55-1	83.3
S100-1	100.0	C14-38	96.4	苏薯 11 号	90.0	C7-129	86.7	S6-3	82.1
宁紫 2-2	100.0	S10-1	96.3	宁 28-5	90.0	S54-5	86.7	S26-2	82.1
C14-56	100.0	S8-1	96.2	N46-4	90.0	S27-2	86.7	S10-2	81.5
R43-5	100.0	苏渝 303	96.2	Q5-7	90.0	S112-3	86.7	绵紫薯 9 号	81.5
S17-3	100.0	C3-111	93.3	R3-5	90.0	N44-9	86.7	台农 66	80.0
宁 7-82	96.7	渝薯 17	93.3	Q4-30	90.0	S69-1	86.7	R6-13	80.0
S42-5	96.7	浙薯 15	93.3	福薯 7-6	90.0	N29-7	86.7	万紫薯 56	80.0
S85-1	96.7	Q24-12	93.3	S78-4	90.0	南京 92	86.7	宁 33-1	80.0
S2-4	96.7	济 86-320	93.3	S43-1	90.0	宁 4-6	86.7		
S10-7	96.7	绵 7-1-23	93.3	S107-2	90.0	徐薯 22	86.7		
烟 250	96.7	苏薯 12 号	93.3	宁 16-2	90.0	Q39-10	85.7		

## 2.2 参试甘薯材料的耐盐级别鉴定

对 200 份参试材料的耐盐指数进行统计后发现,耐盐指数最高的材料是宁 6-10(1.85),最低的材料是 S92-1(0.01)。根据耐盐指数的高低,将 200 份参试材料划分为强、中、弱 3 个耐盐

级别<sup>[15]</sup>;耐盐级别为“强”的有 19 个材料,占参试材料总数的 9.5%;耐盐级别为“中”的包含 80 个材料,占 40%;而 101 份材料被划分到耐盐级别为“弱”的类别,占 50.5%。详细划分情况见表 4。

表 4 所有参试材料的耐盐级别

Table 4 The salt-tolerance level of all sweetpotato accessions

耐盐级别 Tolerance to salt	品种(系) Variety (Line)							
强 Strong(STI≥1)	宁 6-10	S69-1	渝苏 76	苏薯 15 号	宁薯 192	南薯 1 号	S42-14	南薯 88
	R29-8	S42-5	C14-56	浙薯 15	川 12-17	16-1	南薯 007	S43-10
	渝薯 17	济 86-320	一窝红					
中 Intermediate (0.4≤STI<1)	台农 66	R43-5	福薯 7-6	S74-1	B107-16	R25-4	南京 92	R15-17
	S26-2	宁 7-82	S89-1	烟 250	徐 070339	R3-5	S88-2	徐薯 22
	苏薯 14 号	S34-2	渝苏 8 号	Q5-7	N44-9	绵 7-1-23	S52-1	C28-57
	S2-4	浙薯 255	宁 29-8	宁紫薯 1 号	S97-3	渝薯 34	S10-1	万薯 5 号
	苏薯 16 号	徐 25-2	S27-2	S92-3	S11-4	S44-3	S77-3	S32-4
	S32-9	南京 37	皖薯 4 号	S10-10	B361	S50-7	宁 J20-7	渝紫薯 7 号
	宁 K17-6	S90-2	R3-3	S54-5	S88-4	R28-2	南薯 11	N29-7
	S78-4	N46-4	QZP9413	苏薯 17 号	S15-1	C3-111	S8-1	川 917
	鄂 50-12	Q37-2	551-13	苏薯 9 号	S85-1	S10-7	日引紫-2	万紫薯 56
	苏渝 303	S17-3	S15-6	栗子香	徐薯 18	S8-5	宁薯 1 号	苏薯 12 号
弱 Weak (STI<0.4)	R4-8	郑薯 20	宁紫 2-2	R26-2	泉薯 9 号	宁 10-3	Q4-30	Q19-5
	宁 97-9-2	宁 97-9-1	苏薯 2 号	豫薯 8 号	宁 28-5	R2-2	宁 4-6	S100-1
	D25-1	2006Y04 日本引	绵紫薯 9 号	农林 30	宁 55-1	E07-8	S77-5	S112-3
	C7-129	S111-5	济黑 1 号	S43-1	B136-4	S33-6	宁菜-2	苏薯 11 号
	川薯 69	郑红 5 号	烟 337	Q34-3	宁 K21-1	S9-7	万薯 9902-7	浙紫薯 2 号
	S4-2	S37-2	R3-2	宁 18-16	51-93	Q15-5	宁 26-2	宁 LI0-1
	97-P-4	广紫薯 2 号	S107-2	南京 0551	淮薯 3 号	Q39-10	Q24-12	00P-2
	浙薯 71	浙 QE0570	S32-15	S55-2	S97-1	S10-2	万薯 0611-6	S13-10
	S5-1	S11-5	S27-1	宁 29-11	泉薯 830	R38-15	R2-5	泰中 11
	秦薯 2 号	浙紫薯 1 号	R6-13	苏薯 13 号	S8-9	H11-91	S6-3	S43-12
	00P-18	宁 H13-1	鄂薯 407	豫薯 7 号	宁 33-1	S5-3	南薯 99	徐紫薯 1 号
	胜利百号	宁 16-2	宁 P-23	S10-3	迷你-2	S3-2	C14-38	宁 12-17
	S5-6	日引紫-1	S5-4	-宁 29-15	S92-1			

## 2.3 参试材料单株结薯数的耐盐性评价

相比培肥地,在盐渍地种植的甘薯材料大部分出现了单株结薯数增多的现象。其中,盐渍地是培肥地

单株结薯数的 2 倍或以上的品种(系)有 34 个,1~2 倍的多达 116 个;而盐渍地比培肥地单株结薯数减少的品种(系)只有 50 个,占全部参试材料的 25%(图 2)。

### 2.4 参试材料商品薯率的耐盐性评价

通过统计各参试材料的商品薯率的耐盐系数 (STC<sub>c</sub>),发现盐渍土壤对甘薯材料的商品薯率影响较大,种在盐渍地的参试材料比培肥地的材料商品薯率普遍降低。根据各材料商品薯率的耐盐系数的高低,将 200 份参试材料分为 3 类,将 STC<sub>c</sub> ≥ 0.8 的材料划分为影响级别为“轻”的类别,共 58 个材料; 0.5 ≤ STC<sub>c</sub> < 0.8 的材料划分为影响“中”的类别,共 80 个材料;STC<sub>c</sub> < 0.5 的材料划分为影响“重”的类别,包含 62 个材料(表 5)。

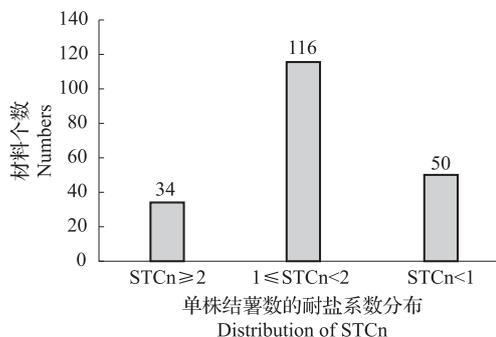


图 2 参试材料单株结薯数的耐盐系数分布情况  
Fig. 2 The STC<sub>n</sub> distribution of all sweetpotato accessions

表 5 参试材料商品薯率的耐盐性评价

Table 5 The salt-tolerance evaluation for commodity potato rate of all sweetpotato accessions

影响级别 Influence degree	品种(系) Variety (Line)							
轻 Weak (STC <sub>c</sub> ≥ 0.8)	秦薯 2 号	C14-56	C28-57	S3-2	S26-2	郑红 5 号	S92-3	浙薯 255
	宁薯 192	16-1	宁 97-9-1	Q4-30	R3-2	南薯 007	栗子香	徐薯 22
	R43-5	S52-1	S32-9	S69-1	S77-5	R26-2	济 86-320	浙薯 71
	S42-14	N29-7	泰中 11	烟 250	渝紫薯 7 号	51-93	豫薯 7 号	渝苏 76
	苏薯 15 号	福薯 7-6	S77-3	2006Y04 日本引	万紫薯 56	南京 0551	S43-10	S15-6
	B361	南薯 1 号	徐 25-2	S50-7	泉薯 9 号	苏薯 9 号	551-13	南薯 11
	南京 92	S54-5	S17-3	南薯 88	宁 6-10	宁 10-3	Q37-2	S43-1
苏薯 12 号	一窝红							
中 Intermediate (0.5 ≤ STC <sub>c</sub> < 0.8)	97-P-4	B107-16	宁 29-8	S74-1	淮薯 3 号	徐薯 18	S10-10	R6-13
	C14-38	宁 4-6	S88-4	Q19-5	台农 66	宁 26-2	S89-1	S10-3
	胜利百号	南京 37	S32-4	宁紫薯 1 号	苏薯 16 号	川 12-17	S42-5	R28-2
	S6-3	R25-4	S78-4	S97-3	宁紫 2-2	R3-3	苏薯 14 号	苏薯 17 号
	S15-1	宁 18-16	农林 30	川 917	S90-2	S34-2	徐 070339	QZP9413
	浙薯 15	济黑 1 号	S8-1	N44-9	Q34-3	N46-4	S88-2	S4-2
	R29-8	S27-2	绵 7-1-23	S11-4	宁 K17-6	R15-17	豫薯 8 号	S10-7
	R4-8	宁 7-82	S2-4	S9-7	宁薯 1 号	S100-1	宁 28-5	宁 55-1
	Q24-12	渝薯 34	R2-5	苏薯 2 号	宁 P-23	S107-2	宁菜-2	Q15-5
	S112-3	万薯 5 号	渝薯 17	S27-1	S85-1	皖薯 4 号	广紫薯 2 号	川薯 69
	R2-2	S33-6	浙紫薯 1 号	S8-5	Q5-7	苏渝 303	S92-1	郑薯 20
重 Strong (STC <sub>c</sub> < 0.5)	渝苏 8 号	S13-10	苏薯 11 号	苏薯 13 号	S43-12	绵紫薯 9 号	R3-5	S55-2
	S97-1	00P-2	C7-129	C3-111	浙紫薯 2 号	B136-4	S37-2	浙 QE0570
	S10-1	S5-1	S44-3	Q39-10	宁 J20-7	宁 97-9-2	S32-15	宁 33-1
	徐紫薯 1 号	D25-1	宁 16-2	H11-91	宁 K21-1	宁 L10-1	S111-5	00P-18
	R38-15	泉薯 830	S11-5	烟 337	万薯 9902-7	E07-8	S10-2	S8-9
	日引紫-2	宁 H13-1	南薯 99	-宁 29-15	S5-6	万薯 0611-6	鄂薯 407	宁 29-11
	宁 12-17	鄂 50-12	迷你-2	S5-3	日引紫-1	S5-4		

2.5 参试材料单株产量的耐盐性评价

通过对参试材料单株产量的耐盐系数 (STC<sub>y</sub>) 进行分析后发现,盐渍地对单株产量影响较大,大部分参试材料的单株产量降低。在 200 个参试材料中,只有 22 个材料在盐渍地的单株产量比培肥地高

或持平(表 6),178 个材料的单株产量比培肥地降低。参试材料中 STC<sub>y</sub> 最高的是 R29-8,为 1.35,最低的是宁 29-15,为 0.12,平均 STC<sub>y</sub> 为 0.67。大部分材料的 STC<sub>y</sub> 在 0.4 ~ 1 之间(153 份),占参试材料总数的 76.5%(图 3)。

表 6 单株产量的耐盐系数 ≥ 0.80 的甘薯材料

Table 6 The sweetpotato accessions with STC<sub>y</sub> ≥ 0.80

材料	耐盐系数								
Materials	STC <sub>y</sub>								
R29-8	1.35	S88-2	1.03	R25-4	0.98	S11-4	0.93	R3-3	0.85
浙薯 15	1.28	S43-10	1.02	苏薯 16 号	0.98	渝薯 34	0.92	浙薯 255	0.85
S69-1	1.16	S27-2	1.01	S10-10	0.97	宁 J20-7	0.92	Q5-7	0.85
宁 6-10	1.14	S42-14	1.01	济 86-320	0.96	S52-1	0.91	S8-5	0.85
台农 66	1.09	R3-5	1.01	鄂 50-12	0.96	宁 7-82	0.91	宁 K17-6	0.83
S42-5	1.09	川 12-17	1.01	南薯 1 号	0.96	S26-2	0.90	S32-9	0.83
渝薯 17	1.09	16-1	1.00	徐 070339	0.96	一窝红	0.89	苏薯 14 号	0.82
宁薯 192	1.09	南薯 007	1.00	皖薯 4 号	0.96	S44-3	0.89	徐 25-2	0.82
烟 250	1.06	宁紫薯 1 号	0.99	福薯 7-6	0.96	N29-7	0.89	B361	0.82
S74-1	1.06	南京 92	0.99	B107-16	0.96	徐薯 18	0.88	C3-111	0.81
S89-1	1.05	渝紫薯 7 号	0.99	C28-57	0.95	万薯 5 号	0.88		
南薯 88	1.04	R15-17	0.99	S2-4	0.94	徐薯 22	0.87		
C14-56	1.04	R43-5	0.98	N44-9	0.94	栗子香	0.87		
苏渝 76	1.04	苏薯 15 号	0.98	S10-1	0.93	南薯 11	0.87		

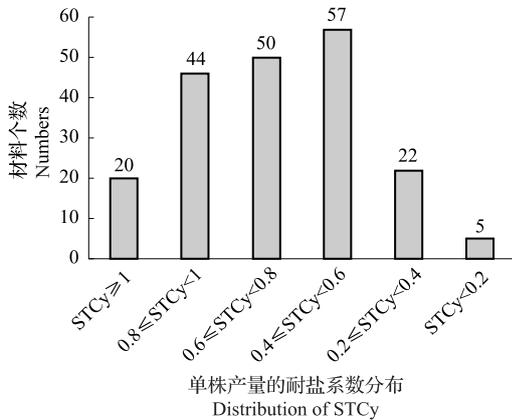


图 3 参试材料单株产量的耐盐系数分布情况

Fig. 3 The STC<sub>y</sub> distribution of all sweetpotato accessions

2.6 盐渍地对参试材料薯块干物率的影响

通过比较盐渍地和培肥地甘薯材料的薯块干物率,发现 200 份参试材料中共有 196 个材料的薯块干物率出现比培肥地降低的情况(图 4),只有 4 个材料(宁 28-5、胜利百号、浙薯 255 和 Q24-12)的薯块干物率比培肥地略高,说明盐渍土壤可使大部分甘薯材料的薯块干物率降低。

2.7 基于不同鉴定指标的耐盐系数(指数)之间的相关性

通过分析各鉴定指标的耐盐系数(指数)之间的相关性(表 7),发现耐盐指数与苗期相对成活率、单株结薯数、商品薯数和单株产量的耐盐系数均呈极显著正相关,而与薯块干物率的耐盐系数呈显著负相关。单株产量的耐盐系数与苗期相对成活率、单株结薯数、商品薯率的耐盐系数呈极显著正相关,而与薯块干物率的耐盐系数相关性不显著。

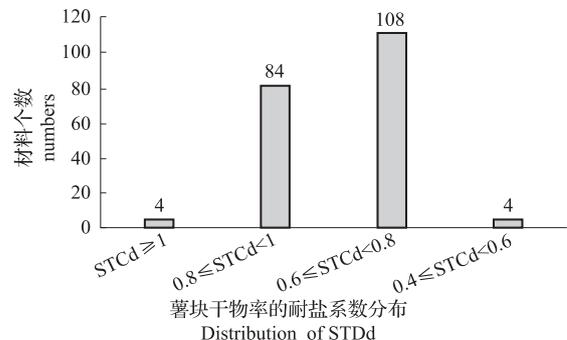


图 4 参试材料薯块干物率的耐盐系数分布情况

Fig. 4 The STC<sub>d</sub> distribution of all sweetpotato accessions

表7 基于不同鉴定指标的耐盐系数(指数)之间的相关性

Table 7 Correlation between salt-tolerance coefficients (indices) based on different identification indices

类别 Category	耐盐指数 STI	相对成活率 RSSR	单株结薯数 耐盐系数 STCn	商品薯率 耐盐系数 STCc	单株产量 耐盐系数 STCy	薯块干物率 耐盐系数 STCd
耐盐指数	1					
相对成活率	0.313 **	1				
单株结薯数耐盐系数	0.357 **	0.246 **	1			
商品薯率耐盐系数	0.397 **	0.127	-0.181 *	1		
单株产量耐盐系数	0.884 **	0.260 **	0.505 **	0.327 **	1	
薯块干物率耐盐系数	-0.140 *	-0.090	0.128	-0.201 **	-0.102	1

\* 表示在 0.05 水平上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关,下同

\* indicated significant at 0.05 levels, \*\* indicated significant at 0.01 levels, the same as below

## 2.8 耐盐指数与培肥地条件下甘薯主要性状的相关性

通过分析耐盐指数与培肥条件下甘薯主要性状的相关性(表8),发现耐盐指数与单株产量呈极显著正相关,而与薯块干物率呈显著负相关。

表8 耐盐指数与培肥地条件下甘薯主要性状的相关性

Table 8 Correlation between salt-tolerance indices and main characters of sweetpotato planted in fertile land

类别 Category	耐盐指数 STI	单株产量 YPP	商品薯率 CPR	单株结薯数 薯数 NSR	薯块干物率 DMC
耐盐指数	1				
单株产量	0.194 **	1			
商品薯率	0.032	0.210 **	1		
单株结薯数	0.070	0.428 **	-4.22 **	1	
薯块干物率	-0.158 *	-0.091	-0.37	0.062	1

## 3 讨论

### 3.1 甘薯耐盐种质筛选评价的方法

植物的耐盐性表现是相当复杂的过程,盐害对植物的伤害表现为离子毒害和渗透胁迫<sup>[16]</sup>。甘薯苗期耐盐性鉴定通常以 NaCl 水培方法为主,条件容易控制,结果比较可靠。代红军等<sup>[17]</sup>利用 NaCl 溶液胁迫甘薯苗,研究苗期叶片的活性氧代谢与耐盐性的关系;王灵燕等<sup>[18]</sup>用 NaCl 溶液处理 4 个甘薯品种的幼苗,通过调查幼苗黄叶率、死亡率、生长量、叶面积等农艺性状来鉴定材料的耐盐性;李育军等<sup>[19]</sup>则通过 NaCl 胁迫甘薯苗,调查植株的绿叶率、茎尖枯死率、苗倒伏率等指标筛选耐盐材料。但甘薯是以膨大根为收获产物,而水培方法只能用于苗期鉴定,无法产生膨大根,因此无法进行全生育期的耐盐性鉴定。本试验在沿海滩涂直接在盐渍地进行甘薯全生育期耐盐种质的筛选,使筛选条件与作物实际的生长条件基本一致,从而保证筛选出的种质

比 NaCl 水培筛选更具大田适应性和生产实用性。

### 3.2 甘薯耐盐性的筛选评价标准

甘薯耐盐性是一个复杂的由多基因控制的数量性状,据研究报道 *CuZnSOD*、*APX*、*IbMIPS1*、*IbMYB1* 都具有调节甘薯耐盐性的作用<sup>[20-22]</sup>。目前甘薯的耐盐性筛选评价指标主要有产量指标、生长指标和生理生化指标。其中生长指标如黄叶率、根生长速率、发根数、根鲜重等仅适合 NaCl 水培条件下的苗期筛选,而耐盐性相关的生理生化指标测定复杂而且耗时费钱,目前只适用于小样本量的研究,不适合大批量种质资源的鉴定筛选。甘薯是以膨大的块根为收获产物的,所以甘薯品种的耐盐性最终要体现在块根产量上。而以甘薯产量为耐盐性筛选指标又有 3 种不同的计算方法。其一是直接以盐渍地的甘薯产量为筛选依据,这种方法简单直接,适合育种高代品系的耐盐鉴定,可以从中直接选拔甘薯耐盐新品种,但容易丢失本身产量低但含有耐盐基因的材料,因此不适用于甘薯基础耐盐资源的筛选。其二是计算盐渍地产量与培肥地产量的比值,即产量的耐盐系数。这种方法不考虑品种间的产量潜力差异,因此适用于研究甘薯耐盐性的单一性状,对甘薯基础种质资源进行评价。其三是采用耐盐指数评价参试品种的耐盐性,这种方法集合了以上两种方法的优点,可以兼顾品种自身的产量潜力和耐盐能力,较为客观地反映品种的耐盐性。郭小丁等<sup>[23]</sup>采用耐盐指数和模糊评判法对滨海盐渍地(土壤含盐量 0.5%)上种植的 50 个甘薯品种进行了耐盐性评价,筛选出 14 个耐盐性强的品种。本研究根据耐盐指数对 200 份参试材料进行耐盐性分级,从中筛选出 19 份耐盐性较强的甘薯材料。

### 3.3 甘薯重要性状指标的耐盐性评价

薯苗相对成活率是衡量甘薯苗期耐盐性的重要指标。在本研究中,耐盐级别为强的 19 份材料中,相

对成活率 $\geq 80\%$ 的材料就有 13 份,占比 68.42%;而相对成活率 $\geq 80\%$ 的材料共有 92 份,其中耐盐级别为强的材料只有 13 份,占比 14.13%;还有 44 份材料(47.83%)表现为中;和 35 份材料(38.04%)表现为弱,表明耐盐性强的甘薯材料基本上相对成活率就高,而相对成活率高的材料却未必耐盐性就强。说明在以甘薯产量指标评价甘薯材料耐盐性时,薯苗相对成活率只能作为一个重要的参考指标而非决定性指标。

甘薯的商品薯率、单株产量、单株结薯数和薯块干物率是评价甘薯品质和产量性状的重要指标,因此基于这些指标的耐盐系数对甘薯材料的耐盐性评价也提供了重要的参考作用。刘桂玲等<sup>[24]</sup>对 9 个主栽甘薯品种进行了全生育期的耐盐鉴定,认为鲜薯产量和薯干产量是合理的综合评价指标。本研究中,在盐渍地生长的 200 份甘薯材料中,有 170 份材料的商品薯率都出现了下降,占总材料数量的 85.00%,单株产量出现下降的有 180 份,占比 90.00%,薯块干物率下降的达 196 份,占比 98.00%;而单株结薯数普遍增多,有 150 份(75.00%)。从繁殖生态学的角度理解,植物遇到逆境时往往会靠增加数量来获取生存优势,可能是甘薯在盐渍胁迫下单株结薯数增多的主要原因。耐盐级别为强的 19 份材料中,STCc $\geq 0.8$ 的材料有 14 份,占比 73.68%;STCy $\geq 1.0$ 的材料有 15 份,占比 78.95%;STCn $\geq 1$ 的材料有 16 份,占比 84.21%;STCd 则全部小于 1。相关性统计结果显示耐盐指数与 STCc、STCy 和 STCn 呈极显著正相关,而与 STCd 显著负相关。说明在筛选耐盐材料时,可同时兼顾单株产量、商品薯率、单株结薯数等性状的筛选。而耐盐指数与培肥地甘薯的单株产量呈显著正相关,表明了甘薯品系本身的产量水平对其耐盐性的强弱影响较大;耐盐指数还与培肥地甘薯的薯块干物率呈显著负相关,说明干物率越低的品种,其耐盐性可能越强,结合本研究中 98% (196 份)的甘薯品系在盐渍地都出现了薯块干物率下降的现象,表明甘薯块根中的水分对其植株的耐盐性有重要的积极作用。

在实际生产中,甘薯的耐盐性种质筛选应以全生育期筛选为主,根据不同的筛选目的选择适应的筛选评价标准,结合产量和品质的重要性状指标,筛选出产量性状和品质性状均较好的耐盐品种(系),应用于育种和实际生产。

#### 参考文献

[1] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述

- [J]. 地理学报,2011,66(5):673-684
- [2] 国家发展改革委. 江苏沿海地区发展规划[Z]. 北京:国家发展改革委,2009
- [3] 高翔,张芸香,郭晋平. 沙漠植物盐爪爪(*Kalidium foliatum*)的耐盐碱性及其对碱性盐胁迫的响应[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2017(4):248-253
- [4] 张健. 江苏沿海滩涂耐盐植物研究方向探析[J]. 安徽农学通报,2012,18(4):79-80
- [5] 马代夫,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业及产业的发展与展望[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):969-973
- [6] 王欣,刘亚菊,张允刚,等. 江苏沿海滩涂盐渍地甘薯新品种适应性研究[J]. 江苏师范大学学报:自然科学版,2016,34(4):33-35
- [7] Ekanayake I J, Dodds J H. In-vitro testing for the effects of salt stress on growth and survival of sweet potato [J]. Sci Hortic, 1993, 55:239-248
- [8] Mukherjee A. Effect of NaCl on in vitro propagation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Appl Biochem Biotechnol, 2002, 102: 431-441
- [9] 柯玉琴,潘廷国. NaCl 胁迫对甘薯苗期生长、IAA 代谢的影响及其与耐盐性的关系[J]. 应用生态学报,2002, 13(10): 1303-1306
- [10] Luan Y S, Zhang J, Gao X R, et al. Mutation induced by ethylmethanesulphonate (EMS), in vitro screening for salt tolerance and plant regeneration of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Plant Cell Tiss Org Cult, 2007, 88:77-81
- [11] Dasgupta M, Sahoo M R, Kole P C, et al. Evaluation of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes for salt tolerance through shoot apex culture under in vitro NaCl mediated salinity stress conditions [J]. Plant Cell Tiss Org Cult, 2008, 94:161-170
- [12] Gao Y, Zhao S, Chen M, et al. Effects of sodium chloride stress on growth of sweet potato plantlets in vitro and ion content [J]. Agric Sci Technol, 2008, 9(5):27-30
- [13] 孙晓波,谢一芝,马鸿翔. 甘薯幼苗对海水胁迫的生理生化响应[J]. 江苏农业学报,2008,24(5):600-606
- [14] 陆漱韵,刘庆昌,李惟基. 甘薯育种学[M]. 北京:中国农业出版社,1998:345-346
- [15] 张允刚,房伯平. 甘薯种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:93
- [16] Tester M, Davenport R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in high plants [J]. Ann Bot, 2003, 91:503-527
- [17] 代红军,柯玉琴,潘廷国. NaCl 胁迫下甘薯苗期叶片活性氧代谢与甘薯耐盐性的关系[J]. 宁夏农学院学报,2001, 22(1):15-18
- [18] 王灵燕,贾文娟,鲍敬,等. 不同甘薯品种苗期耐盐性比较[J]. 山东农业科学,2012,44(1):54-57
- [19] 李育军,龚明权,陈新亮,等. 甘薯品种资源室内耐盐性快速筛选试验初报[J]. 广东农业科学,2012,39(9):14-16
- [20] Yan H, Li Q, Park S C, et al. Overexpression of CuZnSOD and APX enhance salt stress tolerance in sweet potato [J]. Plant Physiol Biochem, 2016, 109:20-27
- [21] Zhai H, Wang F, Si Z, et al. A myo-inositol-1-phosphate synthase gene, IbMIPS1, enhances salt and drought tolerance and stem nematode resistance in transgenic sweet potato [J]. Plant Biotechnol J, 2016, 14(2):592
- [22] Cheng Y J, Kim M D, Deng X P, et al. Enhanced salt stress tolerance in transgenic potato plants expressing IbMYB1, a sweet potato transcription factor [J]. J Microbiol Biotechnol, 2013, 23(12):1737
- [23] 郭小丁,邬景禹,唐君,等. 甘薯品种资源田间耐旱性鉴定研究[J]. 作物品种资源,1994(3):34-36
- [24] 刘桂玲,郑建利,范维娟,等. 黄河三角洲盐碱地条件下不同甘薯品种耐盐性[J]. 植物生理学报,2011,47(8):777-784