

121份西瓜材料幼苗期耐盐性鉴定

高博文, 孙德玺, 袁高鹏, 安国林, 李卫华, 刘君璞*, 朱迎春*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要:【目的】评价西瓜材料苗期耐盐性, 筛选耐盐西瓜种质。【方法】以121份西瓜材料为试材, 分别进行苗期150 mmol·L⁻¹ NaCl处理, 8 d后测定地上部分鲜质量、地上部分干质量、茎粗、SPAD、根长、根表面积等指标。运用相关性分析、主成分分析筛选西瓜苗期耐盐鉴定指标, 并结合隶属函数分析对西瓜材料进行综合评价。【结果】150 mmol·L⁻¹ NaCl处理后各西瓜材料间均存在不同程度的耐盐性差异。相关性分析表明, 地上部分干质量与地上部分鲜质量、茎粗存在极显著正相关关系; 根表面积与地上部分鲜质量、地上部分干质量、根长存在极显著正相关关系; 主成分分析表明, 地上部分鲜质量、根长在3个主成分中特征向量较大, 可以作为西瓜苗期耐盐性评价的指标。结合隶属函数分析对121份西瓜材料进行耐盐级别划分: I. 重度盐敏感材料3份; II. 轻度盐敏感材料81份; III. 中间型材料34份; IV. 耐盐材料3份。【结论】地上部分鲜质量、根长可作为西瓜苗期耐盐性鉴定的指标。重度盐敏感材料(PI186489、PI494532、大红籽)及耐盐材料(中石红、PI490377、早花), 为耐盐西瓜品种培育和耐盐基因的挖掘提供材料支撑。

关键词: 西瓜; 幼苗期; 耐盐性鉴定

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)09-1597-10

Identification of salt tolerance of 121 watermelon (*Citrullus lanatus* L.) germplasm resources

GAO Bowen, SUN Dexi, YUAN Gaopeng, AN Guolin, LI Weihua, LIU Junpu*, ZHU Yingchun*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract: 【Objective】 The aims of this study were to identify the salt tolerance of watermelon germplasm resources at the seedling stage and select salt tolerant types. Watermelon is an important vegetable crop in China, and its yield and quality decline seriously under salt stress. At present, the research mainly focuses on the identification of salt-tolerant rootstocks and the application of exogenous substances. However, there are few reports on the screening of salt-tolerant germplasm at seedling stage of watermelon. In this study, 121 watermelon germplasm resources were screened for salt tolerance at seedling stage by the multivariate statistical method, in order to provide abundant parental materials for improvement and breeding of watermelon salt-tolerant varieties. 【Methods】 121 watermelon germplasm materials were cultured until cotyledon expansion, and then transferred into Hoagland's nutrient solution for culture with 15 plants in each pot, and the nutrient solution was changed once every two days. There were two treatments, control group (CK, Hoagland's nutrient solution) and salt stress group (Hoagland's nutrient solution was added with 150 mmol·L⁻¹ NaCl), which had 3 replicates for each treatment with 15 plants in each replicate. During salt stress, the nutrient solution and NaCl were replaced once every 2 days, and the indexes were determined 8 days after treatment. The indexes included shoot fresh weight, shoot dry weight, stem diameter, root length, root surface area and SPAD value. And watermelon accessions were evaluated with correlation analysis, principal component analysis and

收稿日期: 2022-01-10

接受日期: 2022-04-08

基金项目: 现代农业产业技术体系(CARS-26); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2021-ZFRI); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610192021308、Y2019XK16-03、Y2021XK14); 中国农业科学院郑州果树研究所协同创新专项计划(ZGS202102); 郑州市管城回族区财政项目(20131415)

作者简介: 高博文, 女, 硕士, 主要从事二倍体西瓜遗传育种研究。Tel: 18515167366, E-mail: gaobowen0514@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13607671550, E-mail: zhuyingchun@caas.cn; Tel: 13607662298, E-mail: liujunpu@caas.cn

membership function analysis. 【Results】 Compared with the control, these indexes of all materials under NaCl stress revealed abundant genetic diversity. The relative value of fresh weight of overground part was 0.132–0.979, with an average value of 0.509. The relative value of dry weight of overground part was 0.156–0.967, with an average value of 0.611. The relative value of stem diameter was 0.721–1.103, with an average value of 0.917. The relative value of root length was 0.193–0.989, with an average value of 0.745. The relative value of root surface area was 0.204–0.985 with an average value of 0.646. The relative value of SPAD was 1.052–1.494, with an average of 1.201. The results showed that the variation range of each index with 121 watermelon materials was different, so single index could not be used to evaluate the salt tolerance of watermelon. Under NaCl stress, salt tolerance indexes of watermelon seedlings had different degrees of correlation. There existed significantly positive correlations with shoot dry weight, in comparison with shoot fresh weight and stem diameter. Root surface area showed significantly positive correlations with shoot fresh weight, shoot dry weight and root length. The principal component analysis showed that the contribution rates of the first three principal components were 30.685% , 24.245% and 19.490% , respectively, and the cumulative contribution rates reached 74.420%, and the eigenvalues were all greater than 1, indicating that the original six related single indicators could be converted into three independent principal components, which covered most of the information of the original indicators. The fresh weight and dry weight of overground part were the most important variables of principal component, which reflected the overground biomass of watermelon seedlings under salt stress. The load (absolute value) of the second principal component in root length and root surface area was larger, reflecting the growth of watermelon seedlings under salt stress, while the load (absolute value) of the third principal component in SPAD was larger, reflecting the physiological changes of watermelon seedlings under salt stress. Principal component analysis showed that the feature vectors of fresh weight of overground part and root length were larger among the three principal components, which could be used as indexes for evaluation of salt tolerance of watermelon seedlings. The membership function value, weight value and weighted membership function value (D value) were calculated according to the formula. The D value range of test materials was 0.165–0.566, indicating that there were extensive differences in salt tolerance among test materials. According to D value, 121 watermelon materials were divided into 4 salt-resistance types: Three accessions were high salt-sensitive materials (D value < 0.3), including PI186489, PI494532 and Dahongzi; 81 accessions were weak salt-sensitive materials ($0.3 \leq D \text{ value} < 0.6$), including Zhengzhou YCL, Huozhou 1, Yanshi 1, Zhengzhou 1, PI482322, Zhengzhouzigua and so on; 34 accessions were medium materials ($0.6 \leq D \text{ value} < 0.7$), including Luofeilin, Grif16135, Kuiketawuzi, Xiaoma Seed, PI161375, 27150, Tomato seed, Meili, etc; 3 accessions were salt tolerant materials (D value ≥ 0.7), including Zaohua, PI490377, Zhongshihong. 【Conclusion】 Vine fresh weight, and root length were considered as the best indexes to identify salt resistance of watermelon at the seedling stage. High salt-sensitive materials, (PI186489, PI494532, Dahongzi) and salt tolerant materials (Zhongshihong, PI490377, Zaohua) can be used for breeding salt-tolerant cultivars and identification of salt-tolerant gene.

Key words: Watermelon; Seedling; Identification of salt tolerance

土壤盐碱化严重制约着农业经济的发展。据调查统计,全世界范围内约10亿 hm^2 的土地受到盐胁迫的影响^[1],预计到2050年,土壤盐碱化面积将超过全球耕地面积的50%^[2]。西瓜是我国重要的蔬菜作

物之一,目前全国西瓜播种面积约154万 hm^2 ,总产量达6324万 t ^[3]。但西瓜是一种中度盐敏感作物^[4],在盐胁迫下先后发生渗透胁迫和离子毒害,生理代谢紊乱,导致西瓜的产量和品质严重下降。因此,提

高盐碱地西瓜的产量和品质成为一个亟需解决的难题。通过筛选耐盐西瓜种质,对于改善和利用盐碱化土壤、提高西瓜耐盐性具有重要意义。迄今为止,关于西瓜苗期耐盐性的研究主要集中在耐盐砧木的鉴定^[5-8]和施用外源物质^[9-11]等方面,对于西瓜苗期耐盐种质筛选的报道却很少。仅韩志平等^[12]通过水培对16个小型西瓜品种的幼苗期形态、生理指标进行鉴定,得到4个耐盐性较强品种、7个耐盐性中等品

种和5个耐盐性较弱品种。笔者在本研究中选取121份西瓜材料进行苗期耐盐性筛选,以为西瓜耐盐品种的改良和培育提供丰富的材料支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选用的121份西瓜材料(表1)来源于中国农业科学院郑州果树研究所。

表1 西瓜种质资源来源及类型

Table 1 Sources and classification of watermelon

编号 No.	种质资源 Germplasm	来源 Source	类型 Classification	编号 No.	种质资源 Germplasm	来源 Source	类型 Classification
1	PI494530	尼日利亚 Nigeria	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	25	郑州籽瓜 Zhengzhouzigua	中国郑州 Zhengzhou, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
2	PI254723	塞内加尔 Senegal	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	26	信白91-2 Xinbai 91-2	中国江西 Jiangxi, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
3	PI186975	加纳 Ghana	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	27	白瓜籽 Baiguazi	中国北疆 Beijiang, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
4	PI185636	加纳 Ghana	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	28	大阪红瓜籽 Dabanhongguazi	日本 Japan	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
5	PI494532	尼日利亚 Nigeria	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	29	皋兰籽瓜 Gaolanzigua	中国甘肃 Gansu, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
6	PI595203	印度 India	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	30	廊坊籽瓜 Langfangzigua	中国河北 Hebei, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
7	PI179240	土耳其 Turkey	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	31	红瓜子 Hongguazi	中国宁夏 Ningxia, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
8	PI186489	尼日利亚 Nigeria	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	32	磴口籽瓜 Dengkouzigua	中国内蒙古 Inner Mongolia, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
9	PI457916	利比里亚 Liberia	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	33	宁夏红籽瓜 Ningxiahongzigua	中国宁夏 Ningxia, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>
10	PI490377	马里 Mali	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	34	抚州瓜 Fuzhougua	中国江西 Jiangxi, China	地方品种 Landrace
11	PI490381	马里 Mali	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	35	马铃薯瓜 Malinggua	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace
12	PI532722	刚果 Congo	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	36	三义 Sanyi	中国武汉 Wuhan, China	地方品种 Landrace
13	PI532726	刚果 Congo	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	37	手巾条 Shoujintiao	中国新疆 Xinjiang, China	地方品种 Landrace
14	PI532732	刚果 Congo	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	38	周至红 Zhouzhihong	中国陕西 Shaanxi, China	地方品种 Landrace
15	PI559997	尼日利亚 Nigeria	黏籽西瓜 <i>Citrullus</i> ssp. <i>mucosospermus</i>	39	大红甜 Dahongtian	中国陕西 Shaanxi, China	地方品种 Landrace
16	PI542119	博茨瓦纳 Botswana	饲用西瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>citroides</i>	40	糖炮弹 Tangpaodan	中国新疆 Xinjiang, China	地方品种 Landrace
17	PI482322	津巴布韦 Zimbabwe	饲用西瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>citroides</i>	41	喇嘛瓜 Lamagua	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace
18	北京野生 Beijingyesheng	中国北京 Beijing, China	饲用西瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>citroides</i>	42	梨皮 Lipi	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace
19	PI632751	纳米比亚 Namibia	野生西瓜 Wild watermelon	43	核桃纹 Hetaowen	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace
20	Grif16135	纳米比亚 Namibia	热迷西瓜 <i>C. rehmii</i>	44	胎里红 Tailihong	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace
21	PI386014	伊朗 Iran	药西瓜 <i>C. colocynthis</i>	45	宿县小籽 Suxianxiaozhi	中国安徽 Anhui, China	地方品种 Landrace
22	PI386015	伊朗 Iran	药西瓜 <i>C. colocynthis</i>	46	青抱筋 Qingbaojin	中国河北 Hebei, China	地方品种 Landrace
23	PI537277	巴基斯坦 Pakistan	药西瓜 <i>C. colocynthis</i>	47	陕西白 Shaanxibai	陕西 Shaanxi	地方品种 Landrace
24	道县红籽瓜 Daoxianhongzigua	中国安徽 Anhui, China	籽瓜 <i>Citrullus</i> var. <i>megalospermus</i>				

续表 Continued Table

编号 No.	种质资源 Germplasm	来源 Source	类型 Classification	编号 No.	种质资源 Germplasm	来源 Source	类型 Classification
48	偃师一号 Yanshi 1	中国河南 Henan, China	地方品种 Landrace	85	罗菲林 Luofeilin	罗马尼亚 Luomaniya	改良品种 Improved variety
49	槟榔皮 Binlangpi	中国山西 Shanxi, China	地方品种 Landrace	86	红 1 号 Hong 1	日本 Japan	改良品种 Improved variety
50	齐头黄 Qitouhuang	中国上海 Shanghai, China	地方品种 Landrace	87	旭大和 Xudahe	日本 Japan	改良品种 Improved variety
51	2000B57 板叶 2000B57 Banye	中国河南 Henan, China	地方品种 Landrace	88	美国短蔓 Meiguoduanman	美国 America	改良品种 Improved variety
52	吐白皮 Tubaipi	中国新疆 Xinjiang, China	地方品种 Landrace	89	Tomato seed	美国 America	改良品种 Improved variety
53	呼图壁早熟 Hutubizaoshu	中国新疆 Xinjiang, China	地方品种 Landrace	90	新大和 Xindahe	日本 Japan	改良品种 Improved variety
54	卡拉其怕 Kalaqipa	中国新疆 Nanjiang, China	地方品种 Landrace	91	PI161375	韩国 Korea	改良品种 Improved variety
55	大红籽 Dahongzi	中国北疆 Beijiang, China	地方品种 Landrace	92	浓冲 Nongchong	韩国 Korea	改良品种 Improved variety
56	阿拉克孜外 Alakeziwai	中国新疆 Nanjiang, China	地方品种 Landrace	93	郑州 1 号 Zhengzhou 1	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety
57	陕西红籽 Shaanxihongzi	中国陕西 Shaanxi, China	地方品种 Landrace	94	郑州 2 号 Zhengzhou 2	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety
58	透心红 Touxinhong	中国辽宁 Liaoning, China	地方品种 Landrace	95	连小-5 Lianxiao-5	日本 Japan	改良品种 Improved variety
59	宁县西瓜 Ningxianxigua	中国陕西 Shaanxi, China	地方品种 Landrace	96	香小瓜 Xiangxiaogua	日本 Japan	改良品种 Improved variety
60	桃尖 Taojian	中国山东 Shandong, China	地方品种 Landrace	97	短蔓 Duanman	日本 Japan	改良品种 Improved variety
61	小红籽 Xiaohongzi	中国北疆 Beijiang, China	地方品种 Landrace	98	小青皮 Xiaoqingpi	中国吐鲁番 Turpan, China	改良品种 Improved variety
62	奎克塔吾孜 Kuiketawuzi	中国新疆 Nanjiang, China	地方品种 Landrace	99	苏联 2 号 Sulian 2	苏联 Soviet Union	改良品种 Improved variety
63	卡拉塔吾孜 Kalatawuzi	中国新疆 Nanjiang, China	地方品种 Landrace	100	斯拉夫帕卡 Silafupaka	苏联 Soviet Union	改良品种 Improved variety
64	阜阳 1 号 Fuyang 1	中国安徽 Anhui, China	地方品种 Landrace	101	美好 Meihao	乌克兰 Ukraine	改良品种 Improved variety
65	黑皮 Heipi	中国安徽 Anhui, China	地方品种 Landrace	102	大西瓜 Daxigua	中国上海 Shanghai, China	改良品种 Improved variety
66	鸡爪瓜 Jizhuagua	中国北疆 Beijiang, China	地方品种 Landrace	103	中石红 Zhongshihong	中国广东 Guangdong, China	改良品种 Improved variety
67	尉氏西瓜 Weishixigua	中国河南 Henan, China	地方品种 Landrace	104	中育 3 号 Zhongyu 3	中国北京 Beijing, China	改良品种 Improved variety
68	花玲 Hualing	中国北京 Beijing, China	地方品种 Landrace	105	兴城红 Xingchenghong	中国辽宁 Liaoning, China	改良品种 Improved variety
69	早密矮 Zaomia	中国北疆 Beijiang, China	地方品种 Landrace	106	2002D80	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety
70	塔车红 Tachehong	中国北疆 Beijiang, China	地方品种 Landrace	107	郑州 YCL Zhengzhou YCL	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety
71	冻瓜 Donggua	中国河南 Henan, China	地方品种 Landrace	108	墨西哥黑皮 Moxigeheipi	墨西哥 Mexico	改良品种 Improved variety
72	小麻籽 Xiaomazi	中国河南 Henan, China	地方品种 Landrace	109	Sugarlee	美国 America	改良品种 Improved variety
73	美丽 Meili	苏联 Soviet Union	地方品种 Landrace	110	Calhoun Gray	美国 America	改良品种 Improved variety
74	广州花皮 Guangzhouhuapi	中国广州 Guangzhou, China	地方品种 Landrace	111	Black diamond	美国 America	改良品种 Improved variety
75	顶心红 Dingxinhong	中国辽宁 Liaoning, China	地方品种 Landrace	112	Dixielee	美国 America	改良品种 Improved variety
76	黑崩筋 Heibengjin	中国北京 Beijing, China	地方品种 Landrace	113	火洲 1 号 Huozhou 1	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety
77	金包银 Jinbaoyin	中国江西 Jiangxi, China	地方品种 Landrace	114	无杈早 Wuchazao	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety
78	香久山 Xiangjiushan	中国沈阳 Shenyang, China	改良品种 Improved variety	115	早花 Zaohua	中国辽宁 Liaoning, China	改良品种 Improved variety
79	小西瓜-4 Xiaoxigua-4	中国郑州 Zhengzhou, China	改良品种 Improved variety	116	汴梁 1 号 Bianliang 1	中国开封 Kaifeng, China	改良品种 Improved variety
80	无杈西瓜 Wuchaxigua	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety	117	74-5-1	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety
81	朱小黑小子 Zhuxiaohexiaozi	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety	118	苏蜜 1 号 Sumi 1	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety
82	长灰 Changhui	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety	119	小籽 4 号 Xiaozi 4	中国新疆 Xinjiang, China	改良品种 Improved variety
83	AB 系 Ab xi	中国河南 Henan, China	改良品种 Improved variety	120	开杂 5 号 Kaiza 5	中国河南 Henan, China	改良品种 Improved variety
84	琼露 Qionglu	中国上海 Shanghai, China	改良品种 Improved variety	121	华东 26 号 Huadong 26	中国江苏 Jiangsu, China	改良品种 Improved variety

1.2 试验方法

试验于2020年4月—2021年6月在中国农业科学院郑州果树研究所智能温室进行。将试验材料浸种催芽,播于直径为2~4 mm的陶粒中培养,待西瓜幼苗子叶展开时,选取子叶展开较好、生长整齐一致的材料移栽至Hoagland's营养液中培养(水培盆的规格为31.5 cm×25.5 cm×10.0 cm),每盆15株,每2 d更换1次营养液。设对照组(CK, Hoagland's营养液)和盐胁迫组(Hoagland's营养液中添加150 mmol·L⁻¹ NaCl)2个处理,每个处理3个重复,每个重复15株。盐胁迫期间,每2 d更换1次营养液和NaCl,处理8 d后测定其指标。

1.3 指标测定

地上部分生物量:选择受胁迫程度一致的西瓜幼苗用清水冲洗干净并迅速擦干,从根茎结合处划分地上部分和地下部分,用电子天平称地上部分鲜质量(shoot fresh weight, SFW),105 °C杀青1 h,65 °C下烘至恒质量,称干质量(shoot dry weight, SDW),设置6个生物学重复。

茎粗(stem diameter, SD):用数显游标卡尺测定西瓜幼苗茎底端往上1 cm处的宽度,分别测定同一植株的最大值和最小值,取平均数。

根部指标:根系迅速用自来水冲洗,再用去离子水冲洗3次,用吸水纸吸干后,用根系分析仪(LA-S,杭州万深检测科技有限公司)测定根长(root length, RL)、根表面积(root surface area, RSA)。

叶绿素含量:避开叶脉,用SPAD仪分别测定新鲜叶片的左、右、上部3个位置的读数,取平均值作为该叶片的SPAD值,用来代表叶绿素含量。

各指标均用其相对值表示,各指标相对值=处理值/对照值。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2019软件进行数据处理,使用Origin 2019进行绘图,使用SPSS 19.0进行相关性分析、主成分分析和隶属函数分析^[13]。

2 结果与分析

2.1 西瓜苗期对盐胁迫的响应

150 mmol·L⁻¹ NaCl处理后,121份西瓜材料各耐盐指标均受到不同程度的影响(图1)。其中,地上部分干鲜质量、根长、根表面积与对照相比均有所下降,表明盐胁迫对西瓜幼苗的地上部分生物量、根

长和根表面积产生不同程度的抑制作用。部分材料茎粗比对照高,可能是由于幼苗通过增加茎粗、降低株高的方式来响应盐胁迫。SPAD与对照相比均有所增加,表明150 mmol·L⁻¹ NaCl处理对西瓜幼苗的叶绿素积累有促进作用,这可能与处理的盐浓度有关。

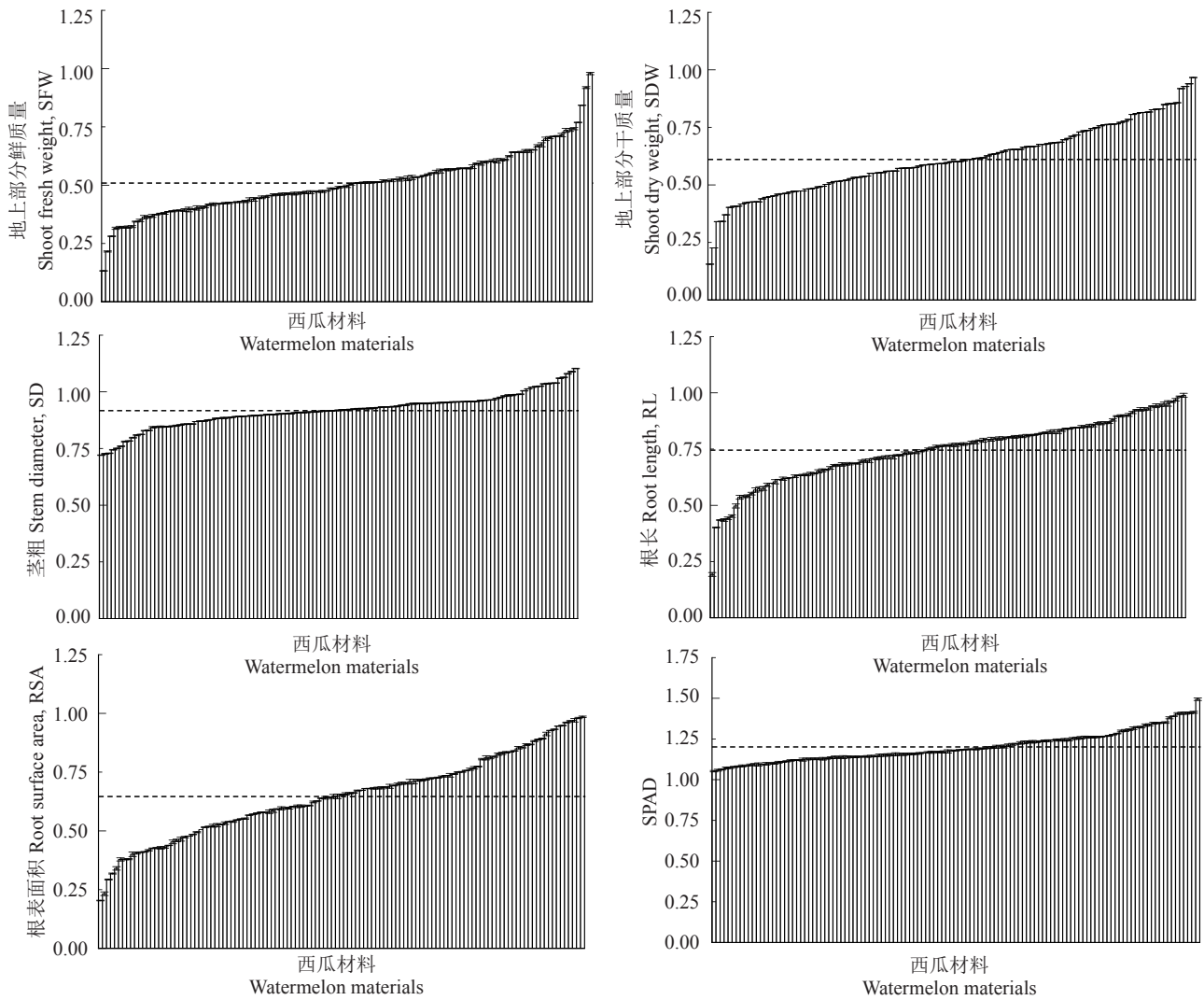
地上部分鲜质量的相对值为0.132~0.979,均值为0.509;地上部分干质量的相对值为0.156~0.967,均值为0.611;茎粗的相对值为0.721~1.103,均值为0.917;根长的相对值为0.193~0.989,均值为0.745;根表面积的相对值为0.204~0.985,均值为0.646;SPAD的相对值为1.052~1.494,均值为1.201。表明121个西瓜材料各指标的变化幅度存在差异,因此无法采用单项指标评价西瓜耐盐性。

2.2 相关性分析

相关性分析可以定量描述不同指标间的相关程度,相关系数的绝对值越大表明指标间的相关性越强。由表2可知,150 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,西瓜幼苗地上部分干质量和地上部分鲜质量、茎粗存在极显著正相关关系,相关系数分别为0.828、0.247;根表面积和地上部分鲜质量、地上部分干质量、根长存在极显著正相关关系,相关系数分别为0.299、0.238、0.437。这说明各指标提供的信息存在冗余,为简化评价流程,需要做进一步分析。

2.3 主成分分析

运用主成分分析可以消除各指标间的相关影响,排除次要指标的干扰作用,提高分析的准确性。由表3可知,前3个主成分的贡献率分别为30.685%、24.245%、19.490%,累积贡献率达到74.420%,且特征值均大于1,表明可以将原来6个相关的单项指标转换为3个彼此独立的主成分且覆盖了原始指标绝大部分的信息。其中地上部分鲜质量、地上部分干质量在第I主成分中载荷(绝对值)较大,是主成分I的重要变量,反映了盐胁迫下西瓜幼苗的地上部分生物量;第II主成分中根长、根表面积的载荷(绝对值)较大,反映了盐胁迫下西瓜幼苗根部的生长情况,第III主成分中SPAD的载荷(绝对值)较大,反映了盐胁迫下西瓜幼苗叶的生理变化。综合相关性分析的结果,选择载荷(绝对值)较大的2个指标:地上部分鲜质量(载荷值为0.945)、根长(载荷值为0.865)作为西瓜苗期的耐盐评价指标。



121 个材料按照相对值从小到大进行排序(从左到右), 误差线表示标准差, 虚线表示该指标 121 个材料的均值。

Materials are sorted according to the increasing relative values (from left to right); error bars indicate standard deviations; dashed lines indicate 121 materials means.

图 1 150 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下 121 个西瓜材料幼苗期各指标相对值

Fig. 1 Relative values of all indexes of 121 watermelon materials under 150 mmol·L⁻¹ NaCl

表 2 150 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下西瓜幼苗各指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of each index of watermelon seedlings under 150 mmol·L⁻¹ NaCl

指标 Index	地上部分鲜 质量 SFW	地上部分干 质量 SDW	茎粗 SD	根长 RL	根表面 积 RSA	SPAD
地上部分鲜 质量 SFW	1					
地上部分干 质量 SDW	0.828**	1				
茎粗 SD	0.173	0.247**	1			
根长 RL	0.177	0.105	0.122	1		
根表面积 RSA	0.299**	0.238**	0.165	0.437**	1	
SPAD	0.121	0.123	0.160	0.043	0.061	1

注:** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: ** indicates a significant correlation at the level of 0.01 (bilateral).

表 3 3 个主成分的特征值、贡献率及载荷矩阵

Table 3 Eigen value, contribution and loading matrix of 3 principal components

指标 Index	主成分 Principal component			
	I	II	III	
载荷矩阵 Loading matrix	地上部分鲜质量 SFW	0.945	0.068	0.134
	地上部分干质量 SDW	0.935	0.157	0.079
	茎粗 SD	0.170	0.174	0.649
	根长 RL	0.004	0.865	0.051
	根表面积 RSA	0.213	0.803	0.072
SPAD	0.010	-0.053	0.846	
特征值 Eigen value	1.841	1.455	1.169	
贡献率 Contribution/%	30.685	24.245	19.490	
累积贡献率 Cumulative contribution/%	30.685	54.930	74.420	

2.4 隶属函数分析

隶属函数分析是基于模糊集合理论,对受到多种指标影响的事物进行综合评价的方法。由表4可知,试验材料的 D 值范围为0.165~0.566,说明供试材料间存在着广泛的耐盐性差异。根据 D 值大小将121个西瓜材料划分为4类:第1类为重度盐敏感材料(D 值 <0.3),包括PI186489、PI494532、大红籽共3份材料;第2类为轻度盐敏感材料($0.3 \leq D$ 值 <0.6),包括郑州YCL、火洲1号、偃师一号、郑州1号、PI482322、郑州籽瓜、PI532726、喇嘛瓜、青抱筋、黑崩筋、三义、PI185636、PI457916、2002D80、齐头黄西瓜、PI595203、大阪红瓜籽、斯拉夫怕卡、浓冲、香久山、郑州2号、手巾条、PI186975、美丽、冻瓜、PI537277、卡拉塔吾孜、香小瓜、小红籽、PI386014、宁县西瓜、琼露、小青皮、金包银、大西瓜、鸡爪瓜、连小-5、朱小黑小子、PI386015、花玲、梨皮、卡拉其怕、汴梁1号、信白91-2、Calhoun Gray、尉氏西瓜、陕西红籽、PI490381、短蔓、磴口籽瓜、宿县小籽、新大和、大红甜、苏联2号、无权西瓜、PI179240、阜阳1号、道县红籽瓜、桃尖、阿拉克孜外、PI494530、PI532732、Dixielee、开杂5号-1、Sugarlee、周至红、黑皮、小籽4号、PI632751、AB系、美国短蔓、长灰、陕西白、无权早、宁夏红籽瓜、广州花皮、早密矮、糖炮弹、苏蜜1号、顶心红、红瓜子共81份材料;第3类为中间型材料($0.6 \leq D$ 值 <0.7),包括罗菲林、Grif16135、奎克塔吾孜、小麻籽、PI161375、27150、Tomato seed、美好、抚州瓜、塔车红、Black diamond、北京野生、兴城红、廊坊籽瓜、PI532722、小西瓜-4、华东26号、2000B57板叶、透心红、红1号、吐白皮西瓜、核桃纹、胎里红、PI542119、白瓜籽、皋兰籽瓜、墨西哥黑皮、PI254723、PI559997、中育3号、旭大和、呼图壁早熟、槟榔皮西瓜、马铃瓜共34份材料;第4类为耐盐材料(D 值 ≥ 0.7),包括早花、PI490377、中石红共3份材料。其中两端型材料分布较少,中间类型材料分布较多,符合正态分布,可以说明这种分级比较合理。

3 讨论

耐盐材料鉴定是西瓜耐盐育种的基础工作。前人多采用表型指标结合生长指标的鉴定方法,如地上部分鲜质量^[14-15]、地上部分干质量^[14,16]、茎粗^[17]、根

长^[16,18-19]、根表面积^[19]等指标来评价植物苗期耐盐性。SPAD作为一种快速衡量植物叶绿素含量的方法,具有操作简单、无损叶片的优点,也被广泛用于豇豆、小麦、苜蓿等作物的苗期耐盐鉴定研究中^[20-22]。张蕾琛等^[15]认为地上部鲜质量、茎粗、根长、SPAD等指标是南瓜苗期耐盐性鉴定的重要指标。本研究表明在 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl处理下西瓜幼苗的各指标均表现出不同程度的耐盐差异。运用主成分分析,将6个指标进行正交变换转化为3个彼此独立的新变量,根据其载荷大小筛选到地上部分鲜质量、地上部分干质量、根长3个重要的耐盐指标。结合相关系数分析的结果,地上部分鲜质量和地上部分干质量的相关系数达到0.828,为简化评价流程,确定地上部分鲜质量和根长作为西瓜耐盐鉴定的关键指标,为筛选和培育耐盐西瓜材料奠定理论基础。

植物的耐盐性是受多种因素影响的复杂性状^[23]。任意单项指标的耐盐性排序各不相同。因此需要运用多元统计分析的方法来研究植物多个耐盐相关指标间的相关关系和内在规律。邹德堂等^[24]通过相关性分析、主成分分析和聚类分析将60个水稻材料划分为3个耐盐级别;马帅国等^[23]运用主成分分析和聚类分析将165份粳稻种质划分为4类,并通过相关性分析和逐步回归分析确定其苗期耐盐性鉴定的重要指标;董志刚等^[25]采用隶属函数分析和聚类分析将20个番茄品种分为耐盐、中等耐盐、不耐盐3类;任富莉等^[26]基于隶属函数分析、主成分分析、聚类分析建立了一套高粱全生育期耐盐评价方法。笔者在本研究中采用水培法在 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl处理下测定121份西瓜种质材料的6个耐盐相关指标,并运用多元统计分析对其进行耐盐评价。利用相关性分析,明确各指标间的相关性强弱。结合主成分分析,获得地上部分鲜质量和根长两个耐盐指标。在此基础上,结合隶属函数分析得到可以综合反映材料耐盐性的 D 值,并以此将121份西瓜材料进行耐盐级别划分:PI186489、PI494532、大红籽为重度盐敏感材料,火洲1号、2002D80、琼露、Calhoun Gray、尉氏西瓜等81份材料为轻度盐敏感材料,罗菲林、奎克塔吾孜、Black diamond、北京野生、PI532722、透心红等34份材料为中间型材料,早花、PI490377、中石红为耐盐材料,为后期耐盐基因的挖掘提供理论依据。

在本研究中笔者仅对西瓜苗期的耐盐性进行鉴

定,无法代表西瓜全生育期的耐盐特性。水培与大田鉴定的结果也因温度、光照、水分等环境因素存在一定差异。因此,今后应加强对西瓜种质伸蔓期、成熟期等方向的耐盐研究,建立全套的西瓜耐盐评价体系。

4 结 论

在 150 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下,西瓜苗期的耐盐鉴定指标包括地上部分鲜质量和根长,筛选获得了 PI186489、PI494532、大红籽等重度盐敏感材料和中石红、PI490377、早花等耐盐材料。

参考文献 References:

- [1] 李建国,濮励杰,朱明,张润森. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9):1233-1245.
LI Jianguo, PU Lijie, ZHU Ming, ZHANG Runsen. The present situation and hot issues in the salt-affected soil reearch[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(9): 1233-1245.
- [2] VINCENT D, ERGÜL A, BOHLMAN M C, TATTERSALL E A R, TILLET R L, WHEATLEY M D, WOOLSEY R, QUILICI D R, JOETS J, SCHLAUCH K, SCHOOLEY D A, CUSHMAN J C, CRAMER G R. Proteomic analysis reveals differences between *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay and cv. Cabernet Sauvignon and their responses to water deficit and salinity[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(7): 1873-1892.
- [3] 王晓君,杨玉莹,孙立新,吴敬学,毛世平. 新冠肺炎疫情对我国西瓜甜瓜产业的影响及后疫情时期发展建议[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(5): 125-131.
WANG Xiaojun, YANG Yuying, SUN Lixin, WU Jingxue, MAO Shiping. Influence of the COVID-19 epidemic on China's watermelon and melon industry and its development countermeasures in the post-epidemic period[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(5): 125-131.
- [4] TANJI K K, KIELEN N C. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas[M]. Rome: Fao Irrigation & Drainage Paper Rome, 2002.
- [5] 张云起. 设施西瓜耐盐砧木筛选及其耐盐机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
ZHANG Yunqi. Study on the screening of salt-tolerant watermelon stock and mechanism of salt-tolerance[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2004.
- [6] 崔聪聪. 西瓜耐盐砧木的筛选及其在盐胁迫下的生理响应[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
CUI Congcong. Studies on the screening and physiological response under salt stress of salt-tolerant watermelon stock[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.
- [7] 王硕硕. 西瓜砧木筛选及其嫁接对西瓜幼苗盐胁迫耐受性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
WANG Shuoshuo. Screening of rootstocks and effects on the grafted watermelon tolerance to salt stress[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015.
- [8] YAN Y Y, WANG S S, WEI M, GONG B, SHI Q H. Effect of different rootstocks on the salt stress tolerance in watermelon seedlings[J]. Horticultural Plant Journal, 2018, 4(6): 239-249.
- [9] YE L, ZHAO X, BAO E C, CAO K, ZOU Z R. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on watermelon growth, elemental uptake, antioxidant, and photosystem II activities and stress-response gene expressions under salinity-alkalinity stresses[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 863.
- [10] AYYUB C M, ALI M, SHAHEEN M R, QADRI R W K, KHAN I, JAHANGIR M M, ABBASI K Y, KAMAL S, ZAIN M. Enhancing the salt tolerance potential of watermelon (*Citrus lanatus*) by exogenous application of salicylic acid[J]. American Journal of Plant Sciences, 2015, 6(19): 3267-3271.
- [11] LI H, CHANG J J, CHEN H J, WANG Z Y, GU X R, WEI C H, ZHANG YONG, MA J X, YANG J Q, ZHANG X. Exogenous melatonin confers salt stress tolerance to watermelon by improving photosynthesis and redox homeostasis[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 295.
- [12] 韩志平,郭世荣,李娟. 设施栽培西瓜品种对盐胁迫的响应[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6): 888-895.
HAN Zhiping, GUO Shirong, LI Juan. Response of watermelon cultivars to salinity stress in protected culture[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2008, 24(6): 888-895.
- [13] 陈新,张宗文,吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 2038-2046.
CHEN Xin, ZHANG Zongwen, WU Bin. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of naked oat (*Avena nuda* L.) at germination stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(10): 2038-2046.
- [14] 慈敦伟,张智猛,丁红,宋文武,符方平,康涛,戴良香. 花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 805-814.
CI Dunwei, ZHANG Zhimeng, DING Hong, SONG Wenwu, FU Fangping, KANG Tao, DAI Liangxiang. Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 805-814.
- [15] 张蕾琛,邢乃林,应泉盛,王迎儿,张慧波,王毓洪,黄芸萍. 不同类型南瓜耐盐材料的筛选[J]. 中国瓜菜, 2017, 30(6): 9-13.
ZHANG Leichen, XING Nailin, YING Quansheng, WANG Yinger, ZHANG Huibo, WANG Yuhong, HUANG Yunping. Influences of salt stress on seedling growth of different pumpkin varieties[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2017, 30(6): 9-13.
- [16] MARIUM A, KAUSAR A, ALI SHAH S M, ASHRAF M Y, AKHTAR N, AKRAM M, RIAZ M. Assessment of cucumber genotypes for salt tolerance based on germination and physiological indices[J]. Dose-Response, 2019, 17(4): 1-8.

- [17] 陆怡. 玉米苗期耐盐自交系的筛选及其耐盐机制分析[D]. 扬州:扬州大学,2016.
LU Yi. Salinity tolerance screening of maize inbreds and study on salinity tolerance mechanism[D]. Yangzhou: Yangzhou University,2016.
- [18] 姚金晓,朱家骝,杨飞,彭红坤,殷武平,王国华. 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.
YAO Jinxiao, ZHU Jialiu, YANG Fei, PENG Hongkun, YING Wuping, WANG Guohua. Evaluation for sea water tolerance of wax gourd at germinating and seedling stages and selection of salt tolerance indices[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2016,25(4):612-618.
- [19] 时晓磊,严勇亮,石书兵,王继庆,谢磊,张金波,耿洪伟. 小麦根部耐盐性状全基因组关联分析[J]. 植物遗传资源学报,2021,22(1):57-73.
SHI Xiaolei, YAN Yongliang, SHI Shubing, WANG Jiqing, XIE Lei, WANG Jinbo, GENG Hongwei. Genome-wide association study of salt tolerance related root traits in wheat[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2021,22(1):57-73.
- [20] RAVELOMBOLA W, DONG L, BARICKMAN T C, XIONG H, OLAOYE D, BHATTARAI G, ZIA B, ALSHAYA H, ALATAWI I, SHI A. Evaluation of salt tolerance in cowpea at seedling stage[J]. Euphytica,2021,217(6):116.
- [21] EL - HENDAWY S E, HU Y, SCHMIDHALTER U. Assessing the suitability of various physiological traits to screen wheat genotypes for salt tolerance[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007,49(9):1352-1360.
- [22] 张则宇,李雪,王焱,常巍,高雪芹,伏兵哲. 59份苜蓿种质材料苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 草地学报,2020,28(1):112-121.
ZHANG Zeyu, LI Xue, WANG Yan, CHANG Wei, GAO Xueqin, FU Bingzhe. Salt tolerance evaluation and salt tolerance index screening of 59 *Alfalfa* germplasm materials at seedling stage[J]. Acta Agrestis Sinica,2020,28(1):112-121.
- [23] 马帅国,田蓉蓉,胡慧,吕建东,田蕾,罗成科,张银霞,李培富. 粳稻种质资源苗期耐盐性综合评价与筛选[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(5):1089-1101.
MA Shuaiguo, TIAN Rongrong, HU Hui, LÜ Jiandong, TIAN Lei, LUO Chengke, ZHANG Yinxia, LI Peifu. Comprehensive evaluation and selection of rice (*Oryza sativa japonica*) germplasm for saline tolerance at seedling stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2020,21(5):1089-1101.
- [24] 邹德堂,郭微,孙健,王敬国,刘化龙,郑洪亮,赵宏伟,谢冬微. 水稻不同基因型耐盐相关性状主成分分析及综合评价[J]. 东北农业大学学报,2018,49(8):1-9.
ZOU Detang, GUO Wei, SUN Jian, WANG Jingguo, LIU Hualong, ZHENG Hongliang, ZHAO Hongwei, XIE Dongwei. Principal component analysis and comprehensive evaluation of salt tolerance related traits in different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49(8):1-9.
- [25] 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.
DONG Zhigang, CHENG Zhihui. Salt tolerance and assessment of salt tolerance indices of tomato varieties in sprout stage and seedling stage[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1348-1355.
- [26] 任富莉,潘映红,张笑笑,蒲伟军,牟永莹,李玉斌,张桦,朱莉. 基于多重表型的高粱耐盐性综合评价方法[J]. 中国农业科技导报,2019,21(6):152-162.
REN Fuli, PAN Yinghong, ZHANG Xiaoxiao, PU Weijun, MOU Yongying, LI Yubin, ZHANG Hua, ZHU Li. Comprehensive evaluation method for sorghum salt tolerance based on multilevel phenotypic analysis[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2019,21(6):152-162.