

甜瓜品系萌发期耐盐性鉴定及筛选

刘 鹏, 杨文强, 王崇启, 焦自高, 高 超, 孙建磊, 董玉梅

(山东省农业科学院蔬菜研究所 济南 250100)

摘 要: 为了解不同甜瓜品系的耐盐程度, 明确萌发期耐盐性评价指标, 采用 0、50、100、150、200、250 mmol·L⁻¹ 6 个浓度梯度的 NaCl 溶液对 8 份甜瓜材料进行 5 d 萌发期盐胁迫处理, 筛选出 200 mmol·L⁻¹ 为盐胁迫适宜浓度; 用 0 和 200 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液对 213 份甜瓜材料进行 5 d 萌发期胁迫处理, 调查各甜瓜材料的发芽势、发芽率、发芽指数、根长、鲜质量、活力指数等 6 个指标, 利用相关性分析、主成分分析、隶属函数分析、系统聚类等方法对其进行耐盐性评价。研究表明, 主成分分析法将 6 个耐盐指标综合为 1 个主成分, 可代表甜瓜耐盐性 79.23% 的原始数据信息量; 发芽率、发芽势、发芽指数、根长为甜瓜萌发期耐盐性材料鉴定的重要指标; 可将 207 份材料分为四个等级, 分别为耐盐、较耐盐、盐敏感、盐极敏感材料各 39、73、40、55 份。研究结果为耐盐甜瓜材料鉴定、培育和耐盐基因挖掘提供材料和方法支撑。

关键词: 甜瓜; NaCl 胁迫; 品种鉴定; 萌发期

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)08-034-17

Identification and selection of the salt tolerance of melon varieties at germination stage

LIU Peng, YANG Wenqiang, WANG Chongqi, JIAO Zigao, GAO Chao, SUN Jianlei, DONG Yumei

(Institute of Vegetables, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong, China)

Abstract: In order to understand the salt tolerance of different melon varieties and clarify the evaluation indicators of salt tolerance during germination, 8 melon varieties were subjected to 5 days of salt stress treatment during germination using NaCl solutions with 6 concentration gradients of 0, 50, 100, 150, 200, and 250 mmol·L⁻¹, and 200 mmol·L⁻¹ was selected as the appropriate concentration for salt stress. 213 varieties were subjected to 5 days germination stress treatment with 0 and 200 mmol·L⁻¹ NaCl solutions and 6 indicators, including germination potential, germination rate, germination index, root length, fresh mass, and vitality index, were investigated for each melon variety. Correlation analysis, principal component analysis, membership function analysis, and systematic clustering were used to evaluate their salt tolerance. The research results indicate that the principal component analysis method integrates 6 salt tolerance indicators into 1 principal component, which can represent 79.23% of the original data information of salt tolerance. Germination rate, germination potential, germination index, and root length are important indicators for identifying salt tolerant varieties during the germination period. 207 materials can be divided into 4 levels successfully, namely 39 salt tolerant, 73 relatively salt tolerant, 40 salt sensitive, and 55 salt extremely sensitive varieties. This study provides material and methodological support for the identification, cultivation, and gene mining of salt tolerant melon varieties.

Key words: Melon; NaCl stress; Variety identification; Germination stage

收稿日期: 2024-04-15; 修回日期: 2024-06-11

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目(ZR2021MC101); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25); 山东省农业良种工程项目(2022LZGCQY006); 国家盐碱地中心“揭榜挂帅”项目(GYJ2023004)

作者简介: 刘 鹏, 男, 助理研究员, 主要从事西甜瓜育种和栽培研究工作。E-mail: 1019901487@qq.com

通信作者: 董玉梅, 女, 研究员, 主要从事西甜瓜遗传育种工作。E-mail: dongyumeijn@163.com

孙建磊, 女, 副研究员, 主要从事西甜瓜遗传育种工作。E-mail: sunjianlei06@163.com

高 超, 男, 副研究员, 主要从事西甜瓜育种和栽培研究工作。E-mail: gsuperman114@163.com

盐碱地的综合治理与利用是全球性问题。据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计,世界盐碱地面积为 9.54 亿 hm^2 ,严重制约农业生产和生态经济发展^[1]。我国作为世界第三大盐碱地分布地区,面积约为 9913 万 hm^2 ^[2]。甜瓜是世界上重要的园艺作物。我国是甜瓜生产与消费的第一大国,甜瓜产量保持世界第一。甜瓜属于盐敏感型园艺作物,在甜瓜生产中常遭受盐胁迫,危害其产量和品质,盐胁迫已成为制约甜瓜产业可持续发展的重要因素^[3]。

种子萌发期是植物生长周期中盐耐受力最差、抗盐碱能力最弱的阶段^[4]。盐胁迫影响种子萌发的原因包括两个方面:一是渗透胁迫,种子萌发需要充足的水分,盐胁迫下种子周围环境渗透势降低,阻碍种子吸水膨胀,抑制其萌发;二是离子毒害,大量有害盐离子进入种子内部,影响胚发育,干扰各种生理生化反应^[5-6]。盐胁迫会降低种子发芽势、发芽率、萌发活力指数,抑制幼根生长,延缓种子萌发^[7]。

目前,关于瓜类耐盐性材料鉴定多以自交系为材料,较少以一代杂交种为试材^[8-9]。此外,盐胁迫对作物萌发期影响的研究多以发芽势、发芽率、萌发指数、胚根长为检测指标,刘欣玥等^[10]报道盐胁迫下大豆发芽率和胚根长度降低;盐胁迫下绿豆发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数等参数均显著降低^[11],各参数相互影响,在一定程度上降低了鉴定的准确度。相关学者报道 120 和 150 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 为西瓜种质筛选的适宜浓度^[8-9],而针对甜瓜种质资源种子萌发期耐盐性鉴定的 NaCl 适宜浓度仍有待进一步确定。在种质耐盐性评价中,多采用主成分分析、隶属函数法进行综合评价,可有效消除各指标间的相互影响,较好地处理大量的农艺性状数据,提高鉴定准确度,目前在小白菜、南瓜、甜瓜、番茄等多种园艺作物上得到应用^[12-15]。笔者对 213 份甜瓜材料萌发期进行耐盐处理,首先筛选适宜甜瓜耐盐材料评价的 NaCl 浓度,并通过主成分分析、综合隶属函数和聚类分析对供试材料进行综合评价,比较甜瓜材料的萌发期耐盐性,以期对甜瓜耐盐材料的选择提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

从北京、黑龙江、新疆、甘肃、河北、河南、山东、江苏、台湾等省市地引进不同的甜瓜一代杂交种材料 213 份,分别来自新疆农业科学院(简称为新疆农科院)、新疆维吾尔自治区葡萄瓜果研究所(简称为

新疆葡萄瓜果所)、京研益农(北京)种业科技有限公司(简称为京研益农)、山东旭日农业科技有限公司(简称为山东旭日)、山东省农业科学院(简称为山东农科院)、山东省寿光市三木种苗有限公司(简称为山东省寿光市三木)、甘肃省农业科学院(简称为甘肃农科院)、山东高端种业科技开发有限公司(简称为山东高端种业)、江苏丘陵地区镇江农业科学研究所(简称为镇江农科所)、武邑县富农种植专业合作社联合社(简称为武邑富农)、天津科润农业科技股份有限公司(简称为天津科润)、新疆明鑫科鸿农业科技有限责任公司(简称为新疆明鑫科鸿)、黑龙江省景丰农业高新技术开发有限责任公司(简称为黑龙江景丰)、山东晟森农业科技有限公司(简称为山东晟森)、武威安泰达种业有限责任公司(简称为武威安泰达)、宁波丰登种业科技有限公司(简称为宁波丰登)、山东科丰种业有限公司(简称为山东科丰)、北京骄雪种苗科技开发有限公司(简称为北京骄雪)、聊城瑞腾农业科技有限公司(简称为聊城瑞腾)、江苏省农业科学院(简称为江苏农科院)、泰安正泰农业科技有限公司(简称为泰安正泰)、青岛市农业科学研究院(简称为青岛农科院)、开封市农林科学研究院(简称为开封农科院)、中国农业科学院郑州果树研究所(简称为郑州果树所)、宁波市农业科学研究院(简称为宁波农科院)、台湾农友种苗公司(简称为台湾农友)、济南鲁青种苗有限公司(简称为济南鲁青)、河北粒尔田种业有限公司(简称为河北粒尔田)。将收集到的种子放到种子冷藏柜保存备用,具体编号、品种名称、品种类型见表 1。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 4—7 月在山东省农业科学院蔬菜研究所实验室内进行。

适宜甜瓜耐盐材料鉴定的 NaCl 浓度筛选试验:采用完全随机设计,随机挑选编号为 3、4、12、27、53、114、170、207 的 8 份材料作为试验材料,分别为优选瑞丘、黄梦脆、高端玉菇、Cm1029、早熟长久、耀世 25、B0528、M395,设置 6 个 NaCl 浓度处理,分别为 0(蒸馏水对照,CK)、50、100、150、200、250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,3 次重复,每个重复 40 粒种子,共计 5760 粒。具体筛选步骤如下:挑选大小均匀的种子放入温度 29 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 90%的高精度恒温恒湿箱中水浸 2 h,取出后甩干表面水分,取 40 粒放入直径 9 cm 培养皿中,培养皿下铺双层滤纸,上铺一层滤纸,用移液枪加入各浓度的 NaCl 溶液 5 mL,将培养皿放回恒温恒湿箱中催芽,为保证盐浓度稳定,

表1 供试甜瓜材料
Table 1 Tested melon materials

编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source
1	新雪里红 Xinxuelihong	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	27	Cm1029	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
2	京玉357 Jingyu357	薄皮 Thin-skinned	京研益农 Jingyanyinong	28	香妃 Xiangfei	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
3	优选瑞红 Youxuanruihong	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	29	绿皮9818 Lüpi 9818	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
4	黄梦脆 Huangmengcui	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	30	奇遇八号 Qiyubahao	薄皮 Thin-skinned	山东晟森 Shengsen, Shandong
5	雪里红 Xuelihong	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	31	甬甜5号 Yongtian 5	厚皮 Thick-skinned	宁波丰登 Fengdeng, Ningbo
6	耀世28 Yaoshi 28	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	32	银翠蜜 Yincuimi	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
7	白公主 Baigongzhu	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	33	脆红蜜宝 Cuihongmibao	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
8	艳阳 Yanyang	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	34	山科蜜5号 Shankemi 5	薄皮 Thin-skinned	山东科丰 Kefeng, Shandong
9	黄玫瑰 Huangmeigui	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	35	京玉352 Jingyu 352	薄皮 Thin-skinned	京研益农 Jingyanyinong
10	天蜜羊角脆 Tianmiyangjiaocui	薄皮 Thin-skinned	京研益农 Jingyanyinong	36	雪梨四号 Xuelisihao	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing
11	甘甜玉露 Gantianyulu	厚皮 Thick-skinned	甘肃农科院 GAAS	37	羊角蜜B29 Yangjiaomi B29	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS
12	高端玉姑 Gaoduanyugu	厚皮 Thick-skinned	山东高端种业 Gaoduanzhongye, Shandong	38	新凤凰 Xinfenghuang	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
13	佳蜜脆 Jiamicui	厚皮 Thick-skinned	镇江农科所 Zhenjiang Agricultural Science Institute	39	玉蜜一号 Yumiyihao	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
14	含笑 Hanxiao	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	40	瑞腾61 Ruiteng 61	薄皮 Thin-skinned	聊城瑞腾 Ruiteng, Liaocheng
15	恋春 Lianchun	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	41	玉妃 Yufei	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
16	瑞月 Ruiyue	厚皮 Thick-skinned	镇江农科所 Zhenjiang Agricultural Science Institute	42	苏甜4号 Sutian 4	厚皮 Thick-skinned	江苏农科院 JAAS
17	M6D96	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	43	骄蜜甜爽 Jiaomitianshuang	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing
18	金甜丰 Jintianfeng	厚皮 Thick-skinned	武邑富农 Wuyifunong	44	白珍珠 Baizhenzhu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
19	天美55 Tianmei 55	厚皮 Thick-skinned	天津科润 Kerun, Tianjin	45	富豪 Fuhao	厚皮 Thick-skinned	泰安正泰 Zhengtai, Taian
20	皇家叁号 Huangjiasanhao	厚皮 Thick-skinned	新疆明鑫科鸿 Mingxinkehong, Xinjiang	46	明月 Mingyue	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
21	景香王 Jingxiangwang	厚皮 Thick-skinned	黑龙江景丰 Jingfeng, Heilongjiang	47	秀玉8号 Xiuyu 8	厚皮 Thick-skinned	青岛农科院 Qingdao Agricultural Science Institute
22	晟丰八号 Shengfeng 8	厚皮 Thick-skinned	山东晟森 Shengsen, Shandong	48	四季金红四号 Sijijinong 4	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
23	华月 Huayue	厚皮 Thick-skinned	镇江农科所 Zhenjiang Agricultural Science Institute	49	绿妃 Lüfei	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
24	完美9号 Wanmei 9	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	50	开甜翡翠 Kaitianfeicui	厚皮 Thick-skinned	开封农科院 Kaifeng Agricultural Science Institute
25	媚娘 Meiniang	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	51	K1761	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
26	翠蜜 Cuimi	厚皮 Thick-skinned	台湾农友 Nongyou, Taiwan	52	雪酥三号 Xuegusanhao	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing

表 1(续)
Table 1 (Continued)

编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source
53	早熟长九 Zaoshuchangjiu	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	79	众天 5 号 Zhongtian 5	厚皮 Thick-skinned	郑州果树所 Zhengzhou Fruit Research Institute
54	新红瑞 Xinhongrui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	80	西州密 1 号 Xizhoumi 1	厚皮 Thick-skinned	新疆葡萄瓜果所 RIGMXJ
55	福星 Fuxing	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	81	新蜜脆 Xinmicui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
56	K1724	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	82	宝玉 Baoyu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
57	F24	厚皮 Thick-skinned	郑州果树所 Zhengzhou Fruit Research Institute	83	白玉 3 号 Baiyu 3	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
58	开蜜优雅 Kaimiyouya	厚皮 Thick-skinned	开封农科院 Kaifeng Agricultural Science Institute	84	景甜 5 号 Jingtian 5	薄皮 Thin-skinned	黑龙江景丰 Jingfeng, Heilongjiang
59	京玉绿宝 2 号 Jingyulübao 2	薄皮 Thin-skinned	京研益农 Jingyanyinong	85	红玉脆 Hongyucui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
60	经纬王 Jingweiwang	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	86	白玉脆二号 Baiyucui 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
61	纳斯蜜 Nasimi	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	87	完美棒 7 Wanmeibang 7	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
62	美玉 Meiyu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	88	KR1866	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
63	四季金红 5 号 Sijijinhong 5	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	89	K1710	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
64	满田红 Mantianhong	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	90	高端 61 Gaoduan 61	薄皮 Thin-skinned	山东高端种业 Gaoduanzhongye, Shandong
65	白脆美 Baicuimei	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	91	银玉 2 号 Yinyu 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
66	银玉 5 号 Yinyu 5	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	92	金钱豹 Jinqianbao	薄皮 Thin-skinned	河北拉儿田 Liertian, Hebei
67	甬甜 29 Yongtian 29	厚皮 Thick-skinned	宁波农科院 Ningbo Agricultural Science Institute	93	四季金红 2 号 Sijijinhong 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
68	红至尊 7 号 Hongzhizun 7	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	94	华夏蜜 4 号 Huaxiami 4	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
69	绿宝 2 号 Lübao 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	95	天蜜脆梨 Tianmicuili	厚皮 Thick-skinned	济南鲁青 Luqing, Jinan
70	红宝石 6 号 Hongbaoshi 6	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing	96	黄皮 9818 Huangpi 9818	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
71	青甜梨 Qingtianli	薄皮 Thin-skinned	黑龙江景丰 Jingfeng, Heilongjiang	97	寿研莎白二号 Shouyanshabai 2	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong
72	四季银红 2 号 Sijiyinhong 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	98	众天 8 号 Zhongtian 8	厚皮 Thick-skinned	郑州果树所 Zhengzhou Fruit Research Institute
73	风味 8 号 Fengwei 8	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	99	京玉姑 1 号 Jingyugu 1	厚皮 Thick-skinned	京研益农 Jingyanyinong
74	金星 Jinxing	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	100	众天 7 号 Zhongtian7	厚皮 Thick-skinned	郑州果树所 Zhengzhou Fruit Research Institute
75	抗病 F-3800 Kangbing F-3800	厚皮 Thick-skinned	台湾农友 Nongyou, Taiwan	101	银玉 4 号 Yinyu 4	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
76	十全十美 Shiquanshimei	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	102	金玉流星 Jinyuliuxing	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
77	瑞腾蜜 25 Ruitengmi 25	厚皮 Thick-skinned	聊城瑞腾 Ruiteng, Liaocheng	103	俊秀 Junxiu	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
78	神州蜜 Shenzhoumi	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	104	圆果玉姑 Yuanguoyugu	厚皮 Thick-skinned	聊城瑞腾 Ruiteng, Liaocheng

表1(续)
Table 1 (Continued)

编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source
105	滕胧 Menglong	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	132	银玉8号 Yinyu 8	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
106	鸿福一品 Hongfuyipin	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	133	脆甜红玉 Cuitianhongyu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
107	红蜜一号 Hongmi 1	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	134	新东方蜜 Xindongfangmi	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
108	金雪莲 Jinxuelian	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	135	香蜜宝 Xiangmibao	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
109	晟美火蜜 Shengmeihuomi	厚皮 Thick-skinned	山东晟森 Shengsen, Shandong	136	白富美 Baifumei	厚皮 Thick-skinned	镇江农科所 Zhenjiang Agricultural Science Institute
110	红扁 Hongbian	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing	137	晟美黄玉 Shengmeihuanyu	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing
111	晶莹雪 Jingyingxue	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong	138	银玉 Yinyu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
112	金田脆 Jintiancui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	139	早抗春雪 Zaokangchunxue	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
113	金黄蜜 Jinhuangmi	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	140	京玉绿宝 Jingyulubao	薄皮 Thin-skinned	京研益农 Jingyanyinong
114	耀世25 Yaoshi 25	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	141	超级景甜208 Chaojijingtian 208	薄皮 Thin-skinned	黑龙江景丰 Jingfeng, Heilongjiang
115	玉脆 Yucui	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	142	冰糖蜜梨 Bingtangmili	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing
116	上将 Shangjiang	厚皮 Thick-skinned	山东晟森 Shengsen, Shandong	143	火凤凰6号 Huofenghuang 6	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
117	齐鲁红 Qiluhong	厚皮 Thick-skinned	山东晟森 Shengsen, Shandong	144	大脆梨 Daculi	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
118	瑞腾红 Ruitenghong	厚皮 Thick-skinned	聊城瑞腾 Ruiteng, Liaocheng	145	银玉3号 Yinyu 3	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
119	甜红玉 Tianhongyu	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	146	绿宝 Lubao	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
120	新科二号 Xinke 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	147	白脆蜜 Baicuimi	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
121	华夏蜜 Huaxiami	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	148	红肉脆梨 Hongroucuili	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
122	花脆 Huacui	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	149	骄雪之星 Jiaoxuezhixing	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing
123	高端91-2 Gaoduan 91-2	薄皮 Thin-skinned	山东高端种业 Gaoduanzhongye, Shandong	150	四季金红三号 Sijijinhong 3	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
124	安泰蜜18 Antaimi 18	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	151	完美21 Wanmei 21	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
125	白玉脆 Baiyucui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	152	安泰蜜3号 Antaimi 3	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
126	瑞腾9号 Ruiteng 9	薄皮 Thin-skinned	聊城瑞腾 Ruiteng, Liaocheng	153	蜜思源12 Misiyuan 12	厚皮 Thick-skinned	京研益农 Jingyanyinong
127	雪红瑞 Xuehongrui	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing	154	耀浓25 Yaonong 25	厚皮 Thick-skinned	山东高端种业 Gaoduanzhongye, Shandong
128	早蜜一号 Zaomi 1	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	155	鸿图 Hongtu	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong
129	四季银红1号 Sijiyinhong 1	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	156	红凰金8号 Honghuangjin 8	厚皮 Thick-skinned	山东高端种业 Gaoduanzhongye, Shandong
130	金珠 Jinzhu	厚皮 Thick-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing	157	红甜脆 Hongtiancui	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
131	花木兰 Huamulan	薄皮 Thin-skinned	北京骄雪 Jiaoxue, Beijing				

表 1(续)
Table 1 (Continued)

编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Source
158	酥脆 61 Sucui 61	薄皮 Thin-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	185	M395-80	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
159	脆红一号 Cuihong 1	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	186	延籽红 Yanzihong	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS
160	甜红玉 2 号 Tianhongyu 2	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	187	L4	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
161	红蜜宝 Hongmibao	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	188	玉贵人 Yuguiren	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
162	K1688	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	189	特大日本甜宝 Tedaribentianbao	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS
163	K1526	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS	190	B2314	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS
164	脆红 A6 Cuihong A6	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	191	蜜兰-34 Milan 34	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
165	甜蜜雪梨 Tianmixueli	厚皮 Thick-skinned	山东科丰 Kefeng, Shandong	192	黄金蜜 Huangjinmi	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
166	白玉红-32 Baiyuhong 32	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	193	银瓜 Yingua	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS
167	9 号海试 Haishi 9	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	194	金玉 36 Jinyu 36	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
168	L4-23	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	195	金玉 34 Jinyu 34	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
169	香酥蜜 Xiangsumi	薄皮 Thin-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei	196	M135-14	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
170	B0528	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS	197	白玉红 Baiyuhong	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
171	羊角蜜 B10 Yangjiaomi B10	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS	198	鲁厚甜 71 Luhoutian 71	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
172	M2254	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	199	L4-22	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
173	白雪玉 14 Baixueyu 14	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS	200	蜜世界 96 Mishijie 96	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
174	鲁厚甜 85 Luhoutian 85	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	201	M135	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
175	冰翡翠 B28 Bingfeicui B28	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS	202	M139	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
176	海青 6C Haiqing 6C	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	203	M90	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
177	鲁厚甜 83 Luhoutian 83	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	204	M91	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
178	台湾玉姑 Taiwanyugu	厚皮 Thick-skinned	台湾农友 Nongyou, Taiwan	205	M93	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
179	翠梨 Cuili	厚皮 Thick-skinned	山东旭日 Xuri, Shandong	206	SXM-9	厚皮 Thick-skinned	山东省寿光市三木 Sanmu, Shouguang, Shandong
180	赛金蜜 Saijinmi	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	207	M395	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
181	鲁厚甜 1 号 Luhoutian 1	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	208	红冠 Hongguan	厚皮 Thick-skinned	武威安泰达 Antaida, Wuwei
182	M9435	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	209	K1526-89	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
183	金玉 Jinyu	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS	210	黄 L8-94 Huang L8-94	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
184	和甜 45 Hetian 45	薄皮 Thin-skinned	山东农科院 SAAS	211	135M31	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS
				212	绿秀 K8-9 Lüxiu K8-9	厚皮 Thick-skinned	新疆农科院 XAAS
				213	B2935	厚皮 Thick-skinned	山东农科院 SAAS

第3天更换滤纸。培养过程中每天记录甜瓜发芽种子数,最终统计发芽率、发芽势和发芽指数。

甜瓜材料萌发期耐盐性鉴定试验:采用完全随机设计,以213份甜瓜材料为试验材料,设置2个NaCl浓度处理,分别为0和200 mmol·L⁻¹,3次重复,每个重复20粒种子,共计25560粒。具体筛选步骤如下:挑选大小均匀的种子放入温度29℃、湿度90%的高精度恒温恒湿箱中水浸2h,取出后甩干表面水分,取20粒放入直径9cm培养皿中,培养皿下铺双层滤纸,上铺一层滤纸,用移液枪加入各浓度梯度的NaCl溶液5mL,将培养皿放回恒温恒湿箱中催芽,为保证盐浓度稳定,第3天更换滤纸。培养过程中每天记录不同材料甜瓜发芽种子数,种子露白即发芽,测量发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、鲜质量等指标。

1.3 方法

试验参考刘彤彤等^[16]的方法。

统计各材料3个重复每天的种子萌发数,种子露白即为萌发。发芽势/%=前3d发芽种子数/种子总数×100;发芽率/%=前5d内发芽种子数/种子总数×100;发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$,Gt指t日的发芽数,Dt指相应的发芽日数,发芽指数大小直接体现了种子的活力高低。

根长:在第5天从各重复中随机挑选3粒供试种子测量其根长用精度为0.1cm的卷尺测量从子叶与胚根连接处到胚根尾部的长度。

鲜质量:利用滤纸反复吸干表面水分后,从各重复中随机挑选3粒供试种子用精度为0.001g的电子天平称鲜质量。

活力指数=发芽指数(GI)×鲜质量;

各指标相对耐盐系数/%=处理指标/对照指标×100。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2013整理试验数据,计算均值和标准差,使用SPSS 22.0软件对试验数据进行统计描述、单因素方差分析、主成分分析和相关性分析,使用R语言“cluster、factoextra”软件包进行聚类分析及可视化,使用Excel 2013制表。

通过主成分分析法将6个性状值转换为1个综合指数,采用模糊数学隶属函数法对213份甜瓜材料进行耐盐性综合评价。

隶属函数值: $U=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ 或 $U=1-(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ 。

式中:U表示某一指标的隶属函数值;X表示某

一指标的测定值; X_{\min} 为某一指标测定值中的最小值; X_{\max} 表示某一指标测定值中的最大值^[17-19]。

综合隶属函数值: $U_{\text{综合}}=(U_1+U_2+\dots+U_n)/n$ 。

聚类分析:根据各相对指标隶属函数值和综合隶属函数值的大小,采用欧氏距离和组间最大距离连接法,聚类个数K=4,对207份甜瓜材料进行分类,按照综合隶属函数值的大小定义每一类甜瓜材料的耐盐性。

2 结果与分析

2.1 适宜甜瓜耐盐材料鉴定的NaCl浓度筛选

为确定甜瓜萌发期耐盐性筛选的适宜NaCl浓度,随机挑选编号为3、4、12、27、53、114、170、207等8个材料进行0、50、100、150、200、250 mmol·L⁻¹6个浓度梯度盐胁迫处理,统计萌芽率、萌芽势和发芽指数。由表2可知,与对照相比,当盐浓度为50 mmol·L⁻¹时,所有材料发芽率和发芽势无显著变化;当盐浓度为100 mmol·L⁻¹时,3和53号材料发芽指数显著降低,其他材料发芽率、发芽势和发芽指数无显著变化;当盐浓度为150 mmol·L⁻¹时,所有材料的发芽率无显著变化,4个材料的发芽势显著降低,6个材料的发芽指数显著下降;当盐浓度为200 mmol·L⁻¹时,所有材料的发芽势、发芽指数显著降低,除53号材料外的其他材料发芽率均显著降低;在250 mmol·L⁻¹时,所有材料的发芽率、发芽势、发芽指数均显著降低。综上所述,150 mmol·L⁻¹和200 mmol·L⁻¹ NaCl为盐胁迫适宜浓度,后续试验中选取200 mmol·L⁻¹的NaCl进行处理。

2.2 盐胁迫对不同甜瓜材料萌发期的影响

由表3可知,对照组中各性状变异系数在0.12~0.51范围内,变异系数从大到小依次为活力指数、鲜质量、发芽指数、根长、发芽势、发芽率;处理组中各性状变异系数在0.37~0.96范围内,变异系数从大到小依次为活力指数、发芽势、发芽指数、根长、发芽率、鲜质量。相较于对照,盐胁迫下6个性状均受到明显抑制,各性状均值较对照下降幅度≥38%,其中根长受到抑制最严重,变化率最大,为87%,而发芽率受到影响相对较小,变化率为38%。由此可见,不同材料对盐胁迫的响应各不相同,使用单一指标不能全面评价甜瓜的耐盐性强弱。

2.3 甜瓜材料耐盐系数及其相关性分析

为消除甜瓜材料间自身存在的差异,使用各指标的相对耐盐系数对甜瓜耐盐性进行综合评价。由表4可知,相对发芽率的变化范围在0.00~1.00,

表2 不同浓度的 NaCl 溶液对甜瓜种子发芽率、发芽势和发芽指数的影响
Table 2 Effect of different concentrations of NaCl solution on germination rate, germination potential and germination index of melon seeds

编号 No.	发芽率 Germination rate/%					
	0(CK)	50 mmol·L ⁻¹	100 mmol·L ⁻¹	150 mmol·L ⁻¹	200 mmol·L ⁻¹	250 mmol·L ⁻¹
3	0.95±0.07 ab	1.00±0.00 a	0.95±0.00 ab	0.90±0.07 ab	0.85±0.07 b	0.28±0.04 c
4	0.98±0.04 ab	1.00±0.00 a	0.98±0.04 ab	1.00±0.00 a	0.70±0.21 b	0.33±0.18 c
12	0.95±0.07 a	0.93±0.04 a	0.90±0.07 a	0.80±0.00 a	0.45±0.14 b	0.00±0.00 c
27	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.95±0.07 a	0.43±0.46 b	0.03±0.04 b
53	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	1.00±0.00 a	0.90±0.14 a	0.40±0.28 b
114	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	0.95±0.00 a	0.53±0.25 b	0.13±0.18 b
170	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	0.73±0.11 b	0.08±0.11 c
207	0.88±0.11 a	0.65±0.07 a	0.58±0.25 a	0.70±0.07 a	0.15±0.21 b	0.00±0.00 b
编号 No.	发芽势 Germination potential/%					
	0(CK)	50 mmol·L ⁻¹	100 mmol·L ⁻¹	150 mmol·L ⁻¹	200 mmol·L ⁻¹	250 mmol·L ⁻¹
3	0.95±0.07 a	0.98±0.04 a	0.95±0.00 a	0.88±0.11 b	0.73±0.04 b	0.20±0.07 c
4	0.98±0.04 a	1.00±0.00 a	0.93±0.11 a	0.98±0.04 a	0.65±0.14 b	0.15±0.07 c
12	0.93±0.11 a	0.90±0.07 a	0.85±0.07 ab	0.73±0.04 b	0.38±0.18 c	0.00±0.00 c
27	0.98±0.04 a	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.73±0.18 b	0.28±0.32 c	0.03±0.04 c
53	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	1.00±0.00 a	0.73±0.11 b	0.05±0.07 c
114	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a	0.98±0.04 ab	0.93±0.04 b	0.48±0.11 c	0.13±0.18 c
170	1.00±0.00 a	0.98±0.04 a	0.98±0.04 a	0.95±0.07 a	0.53±0.04 b	0.03±0.04 c
207	0.48±0.04 a	0.30±0.00 ab	0.43±0.32 a	0.45±0.00 a	0.00±0.00 b	0.00±0.00 b
编号 No.	发芽指数 Germination index					
	0(CK)	50 mmol·L ⁻¹	100 mmol·L ⁻¹	150 mmol·L ⁻¹	200 mmol·L ⁻¹	250 mmol·L ⁻¹
3	40.51±4.02 a	34.22±1.92 ab	31.26±0.00 b	27.50±1.78 bc	21.85±4.70 c	5.64±0.46 d
4	34.06±0.42 a	33.36±3.54 a	28.63±3.86 ab	30.82±0.06 a	18.03±9.73 b	5.25±3.42 c
12	30.22±3.73 a	28.08±0.97 a	27.04±2.68 ab	22.81±1.90 b	11.34±6.16 b	0.00±0.00 c
27	33.82±0.77 a	30.86±0.00 a	31.11±1.06 a	24.33±4.99 b	9.31±1.32 b	0.85±0.13 b
53	44.36±3.54 a	34.86±1.41 b	32.06±1.13 b	31.61±0.35 b	21.75±5.33 c	4.97±3.72 d
114	38.61±7.42 a	32.86±1.41 ab	31.81±2.06 ab	29.10±1.65 b	15.89±1.18 bc	2.73±3.86 c
170	33.86±2.83 a	31.31±2.19 ab	30.97±0.55 ab	28.39±2.07 b	15.26±2.37 c	0.86±1.21 d
207	17.70±0.87 a	11.82±0.21 ab	14.77±1.19 a	17.08±1.16 a	1.41±2.00 bc	0.00±0.00 c

注:同行中不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

Note: Different letters in the same line indicate significant difference ($p < 0.05$).

表3 盐胁迫处理及对照条件下甜瓜萌发期各性状统计分析
Table 3 Statistical analysis of melon characters at bud stage under salt treatment and control conditions

处理 Treatment	参数 Parameter	发芽率 Germination percentage/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index	根长 Root length/cm	鲜质量 Fresh mass/g	活力指数 Vitality index
CK	最小值 Min	0.32	0.21	21.88	1.53	0.10	2.37
	最大值 Max	1.00	1.00	169.25	14.06	1.89	171.05
	平均值 Average	0.94	0.92	103.60	10.26	0.40	42.66
	标准差 SD	0.11	0.13	29.35	2.25	0.16	21.62
	变异系数 CV	0.12	0.14	0.28	0.22	0.40	0.51
盐处理 Salt treatment	最小值 Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
	最大值 Max	1.00	1.00	96.25	3.68	0.34	31.11
	平均值 Average	0.58	0.37	34.12	1.36	0.15	5.79
	标准差 SD	0.31	0.32	26.57	0.89	0.06	5.58
	变异系数 CV	0.53	0.86	0.78	0.65	0.37	0.96
较对照变化 Comparison with CK	变化值 Variation	0.36	0.55	69.48	8.90	0.25	36.87
	变化率 Percentage variation/%	38	60	67	87	63	86

相对发芽势的变化范围在 0.00~1.05,相对发芽指数的变化范围在 0.00~1.00,相对根长的变化范围在 0.00~0.29,相对鲜质量的变化范围在 0.07~1.12,相对活力指数的变化范围在 0.54~1.00,6 个相对指标的变异系数范围在 0.11~1.27,其中相对发芽率的变异系数最大,相对活力指数的变异系数最小。可以看出不同指标的耐盐系数在不同基因型甜瓜中的变化范围不同,说明不同性状对盐胁迫的响应不同,仅靠单一指标的耐盐系数不能准确评价甜瓜的耐盐性。

进一步对各指标的耐盐系数进行相关性分析,

从表 5 可以看出,6 个性状间均达到极显著正相关。其中,相对发芽势与相对发芽指数相关性最强 ($r=0.972$),相对鲜质量与相对活力指数相关性最弱 ($r=0.684$),6 个指标耐盐系数间的相关性具有较高的一致性,并且相互间包含的信息部分重叠。

2.4 主成分分析

将发芽率、发芽势、发芽指数、根长、鲜质量、活力指数 6 个指标分别记作 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 ,利用 SPSS 软件进行主成分分析,得到特征值贡献率及累积贡献率(表 6)。主成分分析结果显示,分离

表 4 甜瓜萌发期各性状耐盐系数的统计分析

Table 4 Statistical analysis of salt tolerance coefficient of melon at bud stage

参数 Parameter	相对发芽率 RGR	相对发芽势 RGP	相对发芽指数 RGI	相对根长 RRL	相对鲜质量 RFM	相对活力指数 RVI
最小值 Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.54
最大值 Max	1.00	1.05	1.00	0.29	1.12	1.00
平均值 Average	0.22	0.61	0.69	0.13	0.40	0.88
标准差 SD	0.28	0.34	0.22	0.08	0.13	0.10
变异系数 CV	1.27	0.56	0.32	0.62	0.33	0.11

表 5 盐胁迫下甜瓜萌发期各指标的相关性

Table 5 Correlation of indexes in germination stage of melon under salt stress

指标 Index	相对发芽率 RGR	相对发芽势 RGP	相对发芽指数 RGI	相对根长 RRL	相对鲜质量 RFM	相对活力指数 RVI
相对发芽率 RGR	1	0.796**	0.858**	0.691**	0.253**	0.719**
相对发芽势 RGP		1	0.972**	0.857**	0.518**	0.908**
相对发芽指数 RGI			1	0.848**	0.464**	0.924**
相对根长 RRL				1	0.684**	0.870**
相对鲜质量 RFM					1	0.684**
相对活力指数 RVI						1

注:** $p<0.01$,极显著相关。

Note: ** $p<0.01$, the correlation is extremely significant.

表 6 主成分特征值与累积贡献率

Table 6 Principal component eigenvalue and cumulative contribution rate

变量 Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
X_1	0.443	-0.231	-0.271	0.111	0.020	0.800
X_2	0.442	0.106	-0.283	0.345	-0.697	-0.327
X_3	0.440	-0.139	-0.415	0.029	0.653	-0.427
X_4	0.427	0.160	0.109	-0.867	-0.167	-0.027
X_5	0.378	-0.502	0.742	0.188	0.016	-0.127
X_6	0.299	0.798	0.332	0.284	0.255	0.127
特征值 Eigenvalue	4.753	0.843	0.186	0.142	0.063	0.012
贡献率 Contribution rate/%	79.225	14.057	3.094	2.375	1.057	0.193
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	79.225	93.282	96.376	98.751	99.807	100.000

出的相互独立的6个主成分的累积贡献率已达100%,PC1~PC6即可完全代表变量的所有变异程度。第一个主成分的贡献率接近80%,可代表变量的绝大部分信息,计算得到PC1的函数式: $PC1=0.443X1+0.442X2+0.440X3+0.427X4-0.378X5+0.299X6$,主要反映了盐胁迫对甜瓜种子萌发和生长情况的影响。

2.5 耐盐性综合评价与聚类分析

由表7所示,在NaCl浓度为 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,甜瓜种子发芽率、发芽势、发芽指数、根长、鲜质量、活力指数的隶属函数值最高值为0.868 0(64),最低值为0.060 8(99)。根据综合隶属函数值的大小对213份甜瓜种质资源耐盐性进行评价。采用欧氏距离“complete”法、聚类个数 $K=4$,对综合隶属函数值进行聚类,剔除试验中对照发芽率为0的材料,共计207份甜瓜材料进行聚类分析,划分为4种类型(图1)。

第一类型为耐盐材料:1、3、17、54、64、66、67、68、86、88、91、97、102、103、108、112、113、114、116、117、118、119、120、125、127、129、132、134、137、143、152、172、174、178、201、202、210、211、212,共39份,其中厚皮甜瓜39份,约占供试厚皮甜瓜的22%,薄皮甜瓜0份。

第二类型为较耐盐材料:4、12、23、31、38、39、52、53、55、61、62、63、72、73、74、75、76、78、79、82、85、87、92、93、94、104、105、106、107、109、123、124、126、128、133、138、144、146、148、149、150、153、154、155、156、159、160、162、164、166、168、170、175、176、180、181、182、183、187、188、191、192、196、197、198、199、200、203、204、205、206、207、209,共73份,其中厚皮甜瓜67份,约占供试厚皮甜瓜的39%,薄皮甜瓜6份,约占供试薄皮甜瓜的15%。

第三类型为盐敏感材料:14、18、20、21、22、26、27、30、32、34、43、45、47、50、56、57、58、65、70、77、81、84、95、98、101、110、111、121、130、135、139、141、142、145、157、165、167、177、185、203,共40份,其中厚皮甜瓜20份,约占供试厚皮甜瓜的11%,薄皮甜瓜4份,约占供试薄皮甜瓜的10%。

第四类型为盐极敏感材料:2、6、7、8、9、10、13、15、16、19、24、25、28、33、35、36、37、40、41、42、44、46、48、49、51、59、60、69、71、80、83、89、90、99、100、115、122、128、131、136、140、147、151、158、161、163、169、171、173、179、184、190、193、194、

213,共55份,其中厚皮甜瓜27份,约占供试厚皮甜瓜的16%,薄皮甜瓜28份,约占供试薄皮甜瓜的71%。

3 讨论与结论

种子萌发阶段是植物最易受到盐胁迫的阶段,盐胁迫会影响种子的吸水膨胀使其萌发延缓^[20]。根长、鲜质量、发芽指数、活力指数、发芽率、发芽势等指标均能准确快速反映出外界胁迫对种子萌发的影响。番茄种子能够承受低盐浓度的胁迫,各项指标随盐浓度的升高而显著下降,在黄瓜中也有类似的趋势^[21]。笔者采用0、50、100、150、200、250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 6个浓度梯度的NaCl溶液对8个甜瓜材料进行5 d萌发期盐胁迫处理,筛选出150和200 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 为盐胁迫适宜浓度,这与之前的研究结果一致^[15]。

甜瓜的耐盐能力受多个因素影响,单一指标并不能够准确反映出不同材料的耐盐性,只有相应的综合性指标才能更好地反映出材料的耐盐性。相关学者在番茄萌发期和苗期耐盐性筛选研究中发现,单一耐盐指标隶属函数值的聚类与综合隶属函数值的聚类比较,其结果存在一定差异^[22]。已有不少学者对多种作物综合各项指标的隶属函数值进行种质资源鉴定,该方法在很大程度上可反映出种质资源耐盐性的真实水平^[23-26]。所以,为了提高耐盐性鉴定的准确性,应该选用多个不同指标进行综合分析。在本研究中,笔者发现可以将发芽指数、活力指数、发芽势、根长作为甜瓜萌发期耐盐性鉴定的重要指标。笔者对发芽势、发芽率、发芽指数、根长的综合隶属函数值进行聚类,将207份甜瓜材料分成4类:第一类为耐盐材料,共39份;第二类为较耐盐材料,共73份;第三类为盐敏感材料,共40份;第四类为盐极敏感材料,共55份。

相关学者发现,随着盐浓度的升高,发芽率、发芽指数、活力指数表现出先高后低的趋势,说明低浓度盐溶液可以在一定程度上促进种子萌发,且在多种作物上均出现类似结果^[27-29]。笔者发现低盐浓度下甜瓜种子发芽率、发芽势、发芽指数与对照相比也会有所升高,由此说明甜瓜种子对低浓度盐胁迫有一定的耐受性,甚至低浓度盐胁迫能促进甜瓜种子的萌发。一方面可能由于种子从盐溶液中吸收无机盐离子,增加了细胞液浓度,增强了种子的吸水能力,提高了发芽率^[30-31];另一方面可能由于微量的 Na^+ 对呼吸酶有一定的激活作用^[31-33]。此外,氯

表7 盐胁迫下不同材料各性状的盐害系数隶属函数值

Table 7 Membership function values of salt damage coefficients of various characters of different varieties under salt stress

编号 No.	相对发芽率 Relative germination percentage	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽指数 Relative germination index	相对根长 Relative root length	相对鲜质量 Relative fresh mass	相对活力指数 Relative vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value
1	0.879 1	0.476 9	0.542 3	0.652 2	0.647 1	0.640 2	0.639 6
2	0.336 1	0.000 0	0.114 5	0.138 1	0.333 8	0.078 6	0.166 9
3	0.842 0	0.826 1	0.599 9	0.753 7	0.521 9	0.589 7	0.688 9
4	0.600 1	0.438 4	0.354 3	0.623 6	0.435 3	0.299 9	0.458 6
5	—	—	—	—	—	—	—
6	0.038 6	0.013 5	0.014 8	0.049 7	0.431 1	0.012 4	0.093 4
7	0.165 1	0.293 3	0.129 1	0.207 1	0.408 6	0.103 8	0.217 8
8	0.308 9	0.000 0	0.070 8	0.145 3	0.356 2	0.051 1	0.155 4
9	0.2449	0.085 7	0.105 9	0.339 0	0.410 2	0.085 5	0.211 9
10	0.769 7	0.013 9	0.245 6	0.234 2	0.296 8	0.154 2	0.285 7
11	—	—	—	—	—	—	—
12	0.546 2	0.343 3	0.311 3	0.559 5	0.489 2	0.289 9	0.423 2
13	0.117 4	0.000 0	0.030 4	0.088 6	0.373 4	0.022 8	0.105 4
14	0.266 7	0.080 0	0.103 3	0.580 0	0.548 9	0.106 0	0.280 8
15	0.774 6	0.093 3	0.254 4	0.199 1	0.391 4	0.197 7	0.318 4
16	0.279 4	0.133 3	0.147 0	0.382 0	0.359 5	0.106 8	0.234 7
17	0.863 5	0.791 7	0.722 6	0.750 4	0.476 0	0.658 0	0.710 4
18	0.362 8	0.000 0	0.122 1	0.449 8	0.844 6	0.182 2	0.326 9
19	0.749 2	0.094 6	0.301 4	0.170 6	0.347 8	0.213 5	0.312 8
20	0.355 6	0.106 7	0.138 7	0.210 6	0.527 7	0.137 6	0.246 1
21	0.149 4	0.000 0	0.049 2	0.000 0	0.496 5	0.046 4	0.123 6
22	0.520 6	0.226 7	0.247 0	0.484 1	0.940 7	0.406 0	0.470 9
23	0.720 7	0.383 6	0.348 9	0.554 2	0.437 1	0.296 3	0.456 8
24	0.463 3	0.013 5	0.143 7	0.133 5	0.334 6	0.098 8	0.197 9
25	0.469 8	0.106 7	0.195 1	0.176 4	0.316 5	0.128 6	0.232 2
26	0.330 2	0.000 0	0.080 2	0.069 0	0.490 2	0.074 9	0.174 1
27	0.444 4	0.066 7	0.176 9	0.354 8	0.666 7	0.214 4	0.320 6
28	0.321 8	0.014 1	0.087 9	0.128 4	0.321 7	0.058 6	0.155 4
29	—	—	—	—	—	—	—
30	0.129 1	0.000 0	0.045 5	0.000 0	0.568 5	0.048 1	0.131 9
31	0.833 3	0.372 9	0.409 4	0.487 6	0.451 1	0.356 7	0.485 2
32	0.281 7	0.028 6	0.077 7	0.194 0	0.508 6	0.074 8	0.194 2
33	0.167 3	0.000 0	0.036 9	0.026 0	0.310 8	0.023 9	0.094 1
34	0.025 4	0.000 0	0.004 6	0.000 0	0.551 5	0.004 8	0.097 7
35	0.184 3	0.000 0	0.066 6	0.055 0	0.355 0	0.047 9	0.118 1
36	0.038 6	0.013 7	0.014 3	0.066 3	0.317 4	0.009 4	0.076 6
37	0.743 6	0.000 0	0.158 9	0.049 4	0.293 4	0.098 9	0.224 1
38	0.820 1	0.263 9	0.363 6	0.471 4	0.488 9	0.338 4	0.457 7
39	0.534 9	0.315 1	0.318 2	0.459 5	0.524 5	0.314 1	0.411 0
40	0.812 7	0.053 3	0.264 2	0.151 9	0.240 5	0.142 4	0.277 5
41	0.476 2	0.058 0	0.171 5	0.149 0	0.310 5	0.111 4	0.212 7
42	0.265 4	0.033 3	0.079 9	0.181 3	0.301 4	0.050 7	0.152 0
43	0.000 0	0.000 0	0.008 8	0.000 0	0.479 6	0.008 0	0.082 7
44	0.128 7	0.040 5	0.055 3	0.274 5	0.388 9	0.042 7	0.155 1
45	0.185 2	0.000 0	0.044 8	0.037 1	0.500 5	0.042 6	0.135 0

表 7(续)
Table 7 (Continued)

编号 No.	相对发芽率 Relative germination percentage	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽指数 Relative germination index	相对根长 Relative root length	相对鲜质量 Relative fresh mass	相对活力指数 Relative vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value
46	0.138 0	0.000 0	0.035 7	0.088 4	0.387 8	0.027 5	0.112 9
47	0.317 5	0.114 3	0.152 5	0.323 5	0.441 1	0.130 5	0.246 6
48	0.193 1	0.027 0	0.057 7	0.268 0	0.438 1	0.049 1	0.172 2
49	0.381 0	0.013 3	0.087 5	0.044 4	0.265 2	0.050 6	0.140 3
50	0.014 9	0.000 0	0.007 7	0.079 0	0.676 3	0.009 4	0.131 2
51	0.307 2	0.032 8	0.113 1	0.159 8	0.305 5	0.072 5	0.165 2
52	0.550 6	0.254 0	0.287 0	0.468 4	0.466 5	0.257 1	0.380 6
53	0.939 7	0.689 2	0.627 1	0.611 4	0.385 8	0.481 7	0.622 5
54	0.861 1	0.847 2	0.651 2	1.010 4	0.658 4	0.780 5	0.801 5
55	0.823 7	0.364 9	0.409 3	0.546 8	0.505 1	0.391 5	0.506 9
56	0.426 1	0.111 1	0.192 0	0.289 4	0.504 1	0.183 3	0.284 3
57	0.495 2	0.120 0	0.194 1	0.345 2	0.475 6	0.176 6	0.301 1
58	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.000 0	0.528 4	0.000 0	0.088 1
59	0.717 5	0.082 2	0.266 7	0.152 8	0.371 7	0.199 0	0.298 3
60	0.130 5	0.069 4	0.067 8	0.310 9	0.431 6	0.057 0	0.177 9
61	0.900 9	0.581 1	0.509 0	0.459 5	0.432 1	0.428 2	0.551 8
62	0.723 8	0.586 7	0.383 4	0.704 7	0.466 9	0.343 6	0.534 8
63	0.876 2	0.706 7	0.499 2	0.602 2	0.409 5	0.402 2	0.582 7
64	0.867 1	0.893 9	0.788 6	0.936 7	0.711 0	1.010 5	0.868 0
65	0.224 1	0.161 8	0.165 4	0.499 8	0.738 8	0.219 3	0.334 9
66	0.749 2	0.621 6	0.586 5	0.829 1	0.633 1	0.679 6	0.683 2
67	0.826 3	0.765 6	0.542 0	0.6932	0.618 1	0.615 1	0.676 7
68	0.900 9	0.675 7	0.644 5	0.760 6	0.553 2	0.665 4	0.700 1
69	0.330 2	0.133 3	0.137 8	0.432 6	0.399 2	0.108 8	0.257 0
70	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.999 3	0.000 0	0.166 6
71	0.622 7	0.156 9	0.278 8	0.106 1	0.386 5	0.214 4	0.294 2
72	0.506 0	0.453 1	0.345 3	0.600 8	0.451 5	0.301 0	0.442 9
73	0.927 0	0.733 3	0.511 6	0.592 5	0.356 6	0.369 4	0.581 7
74	0.682 1	0.554 1	0.460 8	0.502 1	0.520 6	0.452 1	0.528 6
75	0.482 5	0.360 0	0.300 0	0.485 6	0.411 3	0.242 5	0.380 3
76	0.850 8	0.906 7	0.575 6	0.525 2	0.420 4	0.473 6	0.625 4
77	0.079 4	0.087 0	0.061 3	0.277 1	0.493 5	0.057 6	0.176 0
78	0.630 4	0.436 6	0.363 9	0.601 5	0.528 9	0.361 8	0.487 2
79	0.626 2	0.397 3	0.321 7	0.701 7	0.562 3	0.336 7	0.491 0
80	0.119 0	0.087 0	0.109 8	0.164 9	0.435 9	0.093 0	0.168 3
81	0.321 8	0.069 4	0.134 8	0.374 8	0.535 9	0.135 5	0.262 0
82	0.404 4	0.274 0	0.235 2	0.618 8	0.451 4	0.205 0	0.364 8
83	0.228 6	0.026 7	0.081 0	0.275 2	0.386 1	0.062 3	0.176 6
84	0.024 4	0.000 0	0.010 2	0.000 0	0.528 9	0.010 1	0.095 6
85	0.737 8	0.714 3	0.438 7	0.783 1	0.488 8	0.408 4	0.595 2
86	0.796 0	0.727 3	0.721 6	0.670 3	0.466 4	0.646 2	0.671 3
87	0.952 4	0.920 0	0.742 2	0.555 7	0.428 4	0.620 1	0.703 1
88	0.913 8	0.878 4	0.561 8	0.845 4	0.591 8	0.614 3	0.734 3
89	0.496 3	0.126 8	0.176 6	0.407 5	0.000 3	0.028 2	0.205 9
90	0.419 0	0.094 6	0.173 9	0.165 3	0.373 8	0.130 3	0.226 2

表7(续)
Table 7 (Continued)

编号 No.	相对发芽率 Relative germination percentage	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽指数 Relative germination index	相对根长 Relative root length	相对鲜质量 Relative fresh mass	相对活力指数 Relative vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value
91	0.682 1	0.648 6	0.615 2	0.936 2	0.755 2	0.831 3	0.744 8
92	0.898 0	0.542 9	0.406 3	0.358 9	0.409 6	0.327 4	0.490 5
93	0.816 3	0.718 3	0.440 0	0.783 7	0.506 5	0.421 8	0.614 4
94	0.862 3	0.729 7	0.654 0	0.617 9	0.450 1	0.568 8	0.647 1
95	0.205 9	0.000 0	0.071 1	0.317 8	0.545 0	0.072 5	0.202 1
96	—	—	—	—	—	—	—
97	0.993 8	0.956 5	0.776 7	0.676 1	0.466 8	0.696 0	0.761 0
98	0.251 3	0.069 4	0.091 3	0.301 9	0.514 7	0.088 7	0.219 6
99	0.013 8	0.014 7	0.010 5	0.041 9	0.277 5	0.006 2	0.060 8
100	0.038 1	0.026 7	0.020 4	0.089 6	0.284 0	0.012 4	0.078 5
101	0.270 3	0.175 7	0.161 3	0.467 7	0.498 8	0.152 6	0.287 7
102	0.913 8	0.905 4	0.822 2	0.988 6	0.589 2	0.895 6	0.852 5
103	0.820 1	0.750 0	0.585 5	0.661 8	0.509 3	0.564 0	0.648 5
104	0.746 5	0.648 6	0.513 0	0.446 5	0.366 1	0.378 2	0.516 5
105	0.431 7	0.266 7	0.253 6	0.365 1	0.477 6	0.231 6	0.337 7
106	0.787 3	0.786 7	0.549 1	0.854 8	0.444 6	0.472 8	0.649 2
107	0.927 0	0.760 0	0.624 5	0.577 6	0.431 6	0.524 9	0.640 9
108	0.952 4	1.000 0	0.847 1	0.951 1	0.499 4	0.802 6	0.842 1
109	0.698 4	0.729 7	0.621 1	0.471 6	0.469 8	0.559 4	0.591 7
110	0.095 2	0.029 4	0.049 4	0.150 3	0.735 3	0.065 2	0.187 5
111	0.158 7	0.000 0	0.034 2	0.000 0	0.595 4	0.037 6	0.137 7
112	0.997 7	0.815 8	0.836 8	0.428 0	0.488 4	0.778 4	0.724 2
113	0.924 8	0.808 8	0.633 8	0.772 8	0.451 6	0.552 7	0.690 8
114	0.812 7	0.853 3	0.814 6	0.574 7	0.516 6	0.794 1	0.727 7
115	0.674 6	0.347 2	0.338 4	0.302 8	0.428 0	0.282 5	0.395 6
116	0.722 0	0.629 0	0.475 4	0.620 7	0.784 4	0.664 3	0.649 3
117	0.938 6	0.913 0	0.831 2	0.811 9	0.471 9	0.751 6	0.786 4
118	0.849 4	0.824 3	0.771 5	0.743 5	0.501 5	0.733 5	0.737 3
119	0.966 0	1.000 0	0.651 5	1.011 7	0.551 4	0.670 8	0.808 6
120	0.833 3	0.809 5	0.818 2	0.751 1	0.505 9	0.783 7	0.750 3
121	0.052 9	0.028 2	0.023 9	0.119 4	0.472 5	0.021 6	0.119 8
122	0.517 0	0.028 6	0.114 6	0.103 6	0.328 9	0.077 8	0.195 1
123	0.966 4	0.430 8	0.557 3	0.330 1	0.401 8	0.442 2	0.521 4
124	0.381 0	0.400 0	0.312 8	0.469 6	0.534 8	0.313 8	0.402 0
125	0.887 1	0.821 9	0.735 6	0.570 8	0.511 8	0.711 5	0.706 5
126	0.939 7	0.813 3	0.564 6	0.461 7	0.363 8	0.414 2	0.592 9
127	0.900 2	0.915 5	0.789 2	0.889 3	0.668 0	0.957 7	0.853 3
128	0.038 1	0.013 3	0.019 4	0.110 3	0.398 9	0.015 3	0.099 2
129	0.909 7	0.954 5	0.669 0	0.759 5	0.496 8	0.631 1	0.736 8
130	0.276 5	0.000 0	0.071 8	0.109 0	0.801 6	0.102 3	0.226 9
131	0.517 0	0.014 5	0.153 2	0.111 8	0.403 6	0.122 0	0.220 3
132	0.875 2	0.905 4	0.870 0	0.588 9	0.518 0	0.849 9	0.767 9
133	0.746 0	0.719 3	0.511 1	0.643 2	0.424 7	0.424 1	0.578 1
134	0.927 0	0.973 3	0.659 1	0.955 9	0.648 0	0.779 0	0.823 7
135	0.287 0	0.219 2	0.209 9	0.503 4	0.463 3	0.187 0	0.311 6

表 7(续)
Table 7 (Continued)

编号 No.	相对发芽率 Relative germination percentage	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽指数 Relative germination index	相对根长 Relative root length	相对鲜质量 Relative fresh mass	相对活力指数 Relative vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value
136	0.571 4	0.100 0	0.210 1	0.413 5	0.412 8	0.170 3	0.313 0
137	0.900 2	0.931 5	0.776 3	0.925 1	0.564 3	0.815 1	0.818 7
138	0.812 7	0.733 3	0.436 6	0.624 3	0.351 4	0.311 7	0.545 0
139	0.027 2	0.000 0	0.007 9	0.000 0	0.645 0	0.009 3	0.114 9
140	0.804 8	0.225 4	0.371 9	0.197 6	0.354 0	0.267 1	0.370 1
141	0.483 7	0.019 6	0.244 8	0.209 5	0.526 4	0.242 4	0.287 7
142	0.152 4	0.042 3	0.053 1	0.129 7	0.504 0	0.050 6	0.155 3
143	0.838 1	0.786 7	0.695 8	0.694 7	0.522 1	0.684 2	0.703 6
144	0.393 7	0.200 0	0.207 2	0.452 2	0.442 2	0.177 6	0.312 1
145	0.130 5	0.109 6	0.085 0	0.531 8	0.544 4	0.086 6	0.248 0
146	0.469 8	0.453 3	0.361 1	0.637 5	0.464 4	0.322 2	0.451 4
147	0.228 6	0.000 0	0.044 7	0.006 1	0.238 7	0.023 9	0.090 3
148	0.800 0	0.600 0	0.567 8	0.612 5	0.4233	0.469 8	0.578 9
149	0.939 0	0.859 2	0.772 3	0.580 5	0.392 9	0.602 0	0.691 0
150	0.520 6	0.360 0	0.314 2	0.468 7	0.399 9	0.248 4	0.385 3
151	0.812 7	0.013 3	0.127 7	0.133 3	0.2087	0.062 4	0.226 4
152	0.831 4	0.841 3	0.514 3	0.667 6	0.544 7	0.524 1	0.653 9
153	0.707 9	0.513 5	0.286 2	0.498 4	0.418 9	0.234 8	0.443 3
154	0.355 6	0.360 0	0.217 5	0.556 4	0.452 4	0.190 0	0.355 3
155	0.845 1	0.535 2	0.390 3	0.575 3	0.429 2	0.326 6	0.516 9
156	0.723 8	0.594 6	0.363 4	0.406 6	0.321 9	0.242 5	0.442 1
157	0.463 0	0.208 3	0.163 4	0.541 5	0.590 7	0.178 4	0.357 5
158	0.800 0	0.186 7	0.335 0	0.195 2	0.245 8	0.183 3	0.324 3
159	0.776 6	0.738 5	0.477 0	0.710 3	0.419 9	0.392 1	0.585 7
160	0.867 1	0.716 4	0.468 7	0.742 6	0.398 4	0.369 4	0.593 8
161	0.167 3	0.094 6	0.082 2	0.407 0	0.429 3	0.068 8	0.208 2
162	0.661 4	0.457 1	0.359 6	0.470 4	0.405 4	0.287 4	0.440 2
163	0.444 4	0.106 7	0.096 3	0.320 4	0.375 2	0.072 4	0.235 9
164	0.787 3	0.716 2	0.457 4	0.871 1	0.427 9	0.381 8	0.607 0
165	0.782 8	0.027 4	0.277 7	0.225 7	0.556 3	0.288 1	0.359 7
166	0.862 3	0.297 3	0.328 2	0.440 9	0.346 6	0.231 8	0.417 9
167	0.285 7	0.000 0	0.128 8	0.149 9	0.613 0	0.145 1	0.220 4
168	0.774 6	0.480 0	0.339 1	0.713 8	0.437 3	0.288 0	0.505 5
169	0.925 9	0.125 0	0.274 3	0.144 2	0.290 1	0.169 3	0.321 5
170	0.925 9	0.485 7	0.507 5	0.436 0	0.315 3	0.333 4	0.500 6
171	0.88 89	0.133 3	0.364 5	0.185 9	0.252 7	0.203 4	0.338 1
172	0.880 5	0.846 2	0.582 3	0.748 2	0.453 1	0.509 1	0.669 9
173	0.926 3	0.068 5	0.342 4	0.241 2	0.321 2	0.228 1	0.354 6
174	0.901 6	0.932 4	0.618 3	0.457 7	0.595 2	0.679 3	0.697 4
175	0.965 3	0.675 7	0.380 3	0.356 3	0.327 1	0.256 9	0.493 6
176	0.812 7	0.698 6	0.549 3	0.569 6	0.386 5	0.422 6	0.573 2
177	0.076 2	0.000 0	0.026 1	0.043 5	0.487 2	0.024 2	0.109 5
178	0.848 0	0.753 4	0.504 9	0.703 3	0.505 6	0.483 3	0.633 1
179	0.038 1	0.026 7	0.0162	0.081 7	0.404 6	0.012 9	0.096 7
180	0.778 0	0.464 8	0.382 2	0.366 0	0.421 3	0.315 0	0.454 5

表7(续)
Table 7 (Continued)

编号 No.	相对发芽率 Relative germination percentage	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽指数 Relative germination index	相对根长 Relative root length	相对鲜质量 Relative fresh mass	相对活力指数 Relative vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value
181	0.980 4	0.656 7	0.657 3	0.509 2	0.387 1	0.506 3	0.616 2
182	0.714 3	0.388 9	0.238 4	0.729 3	0.601 0	0.264 1	0.489 3
183	0.607 3	0.514 7	0.376 5	0.671 5	0.450 2	0.327 5	0.491 3
184	0.678 4	0.164 4	0.277 5	0.204 0	0.316 8	0.183 0	0.304 0
185	0.292 1	0.120 0	0.131 5	0.250 2	0.450 6	0.114 5	0.226 5
186	0.647 6	0.146 7	0.206 3	0.273 3	0.387 6	0.159 0	0.303 4
187	0.850 8	0.783 8	0.542 1	0.690 8	0.403 5	0.431 6	0.617 1
188	0.782 8	0.708 3	0.523 7	0.802 6	0.518 8	0.512 2	0.641 4
189	—	—	—	—	—	—	—
190	0.812 7	0.240 0	0.174 3	0.269 5	0.312 4	0.113 7	0.320 5
191	0.926 3	0.904 1	0.865 8	0.499 1	0.347 2	0.612 4	0.692 5
192	0.665 4	0.555 6	0.387 9	0.470 8	0.439 4	0.330 8	0.475 0
193	0.450 5	0.000 0	0.108 2	0.096 3	0.342 9	0.075 8	0.179 0
194	0.542 3	0.159 4	0.152 9	0.553 4	0.397 2	0.120 2	0.320 9
195	—	—	—	—	—	—	—
196	0.750 9	0.766 0	0.606 8	0.689 7	0.457 0	0.534 4	0.634 1
197	0.838 1	0.506 7	0.357 1	0.468 7	0.315 9	0.234 9	0.453 6
198	0.656 4	0.594 6	0.368 8	0.595 6	0.473 0	0.334 1	0.503 7
199	0.717 7	0.600 0	0.540 5	0.719 7	0.413 2	0.438 6	0.571 6
200	0.900 9	0.797 3	0.618 8	0.599 0	0.466 1	0.553 7	0.656 0
201	0.939 7	0.986 7	0.660 4	0.833 0	0.435 0	0.558 6	0.735 6
202	0.924 0	0.940 3	0.696 9	0.732 5	0.576 2	0.744 8	0.769 1
203	0.704 5	0.657 5	0.510 4	0.643 3	0.425 8	0.424 3	0.561 0
204	0.774 6	0.786 7	0.659 7	0.623 6	0.399 7	0.521 3	0.627 6
205	0.900 2	0.890 4	0.607 7	0.640 1	0.431 4	0.510 6	0.663 4
206	0.463 3	0.391 9	0.201 0	0.585 8	0.430 9	0.168 7	0.373 6
207	0.684 1	0.500 0	0.330 3	0.447 1	0.530 4	0.329 2	0.470 2
208	0.198 4	0.180 6	0.099 9	0.471 8	0.484 4	0.092 3	0.254 6
209	0.888 0	0.835 6	0.710 9	0.501 1	0.451 3	0.619 6	0.667 8
210	0.717 5	0.698 6	0.478 9	0.718 2	0.599 8	0.529 7	0.623 8
211	0.981 2	0.938 5	0.998 4	0.689 7	0.507 6	0.959 0	0.845 7
212	0.764 8	0.841 3	0.713 0	0.637 8	0.525 4	0.704 8	0.697 8
213	0.063 5	0.000 0	0.023 1	0.052 0	0.329 3	0.015 7	0.080 6

注:——表示编号为5、11、29、96、189、195的6个材料在对照处理下未正常萌发,无法计算盐害系数隶属函数值。

Note: —— indicate that the six materials numbered 5, 11, 29, 96, 189, and 195 did not germinate normally under the control treatment, and the membership function value of the salt damage coefficient cannot be calculated.

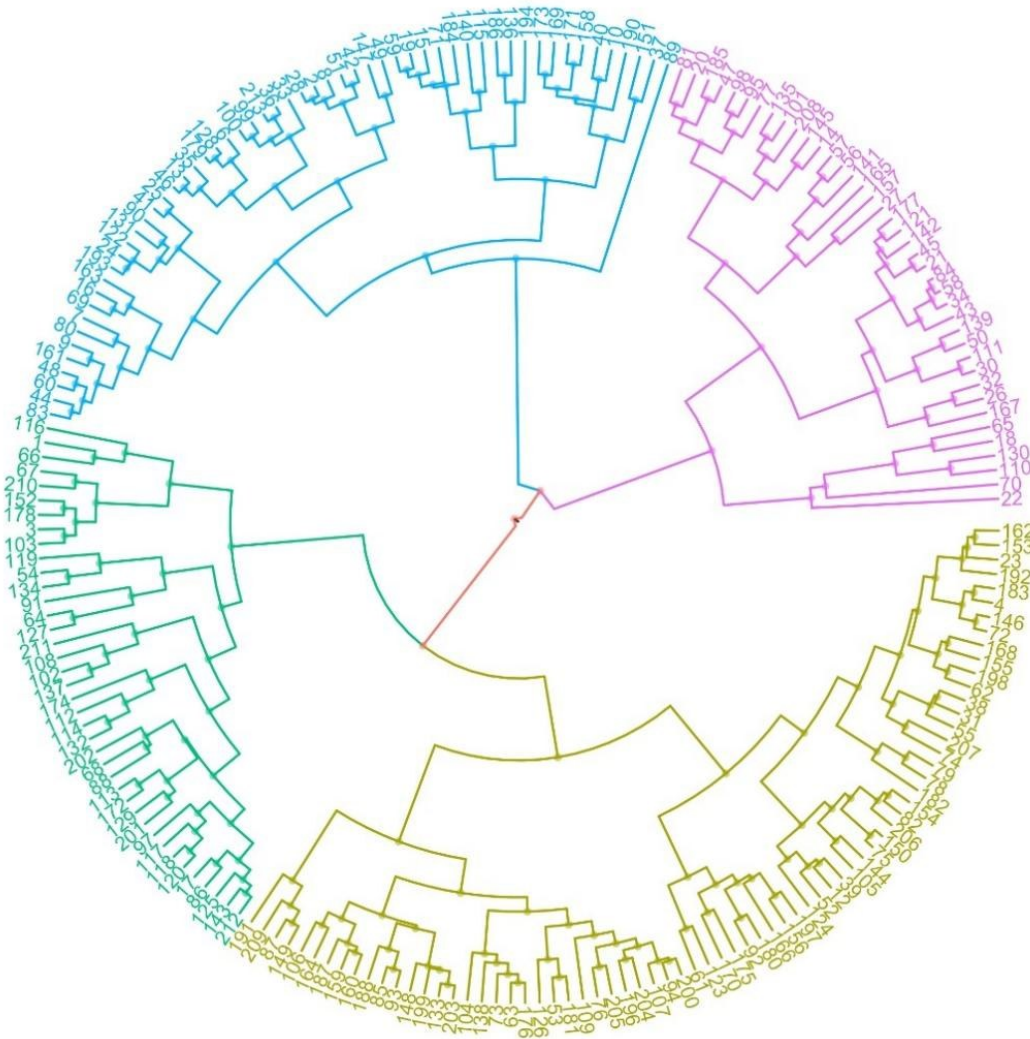
作为植物必需的微量元素,微量的氯离子有益于植物的生长发育^[34-35]。随着NaCl浓度的上升,以上指标均呈现明显下降趋势,表明NaCl造成的渗透胁迫和离子毒害抑制了种子萌发。

综上所述,适宜甜瓜耐盐材料筛选的NaCl浓度为150和200 mmol·L⁻¹,可将盐胁迫下甜瓜萌发期6个单项指标转换为1个综合指标,贡献率可达

79.23%,综合聚类分析可将207份材料分为四个等级,分别为耐盐、较耐盐、盐敏感、盐极敏感材料,分别为39、73、40、55份。本研究结果可为科学评价甜瓜材料耐盐性提供参考依据。

参考文献

[1] 马永辉,刘娟.基于正交试验下宁夏银川市兴庆区盐碱地改良措施的探究[J].江西农业大学学报,2024,46(3):774-784.



注:绿色-耐盐材料;黄色-较耐盐材料;红色-盐敏感材料;蓝色-盐极敏感材料。

Note: Green-Salt tolerant varieties; Yellow-relatively salt tolerant varieties; Red-Salt sensitive varieties; Blue-salt extremely sensitive variety.

图 1 不同甜瓜材料耐盐性聚类图

Fig. 1 Cluster diagram of salt tolerance of different varieties

- [2] 王兴军,侯蕾,厉广辉,等.黄河三角洲盐碱地高效生态利用新模式[J].山东农业科学,2020,52(8):128-135.
- [3] 彭笑洁,崔玉莹,王浩,等.外源褪黑素对盐胁迫下萝卜幼苗生长的影响[J].中国瓜菜,2024,37(5):157-162.
- [4] 马广民.水杨酸对盐胁迫下苦瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国瓜菜,2024,37(2):100-105.
- [5] GOMES-FILHO E, LIMA C R F M, COSTA J H, et al. Cowpea ribonuclease: Properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment[J]. Plant Cell Reports, 2008, 27(1):147-157.
- [6] 张晓艳,李燕芳,黄鑫,等.盐碱胁迫对不同甜瓜材料种子萌发及植株生长发育的影响[J].北方园艺,2021(10):47-52.
- [7] 朱琨,刘骅峻,冯成龙,等.盐胁迫对不同苜蓿材料种子萌发的耐盐性综合评价[J].草地学报,2023,31(12):3724-3733.
- [8] 马肖静,刘勇鹏,尚文凯,等.44份西瓜种质资源苗期耐盐性综合评价[J].中国瓜菜,2024,37(3):45-53.
- [9] 阎志红,刘文革,赵胜杰,等.NaCl胁迫对不同西瓜种质资源发芽的影响[J].植物遗传资源学报,2006,7(2):220-225.
- [10] 刘欣玥,郭潇阳,王欣茹,等.大豆萌发期耐盐性鉴定方法建立及耐盐大豆资源筛选[J].作物学报,2024,50(8):2122-2130.
- [11] 时会影,范保杰,刘长友,等.绿豆种质资源萌发期耐盐性鉴定与评价[J].作物杂志[2024-04-20]. <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20240401.0958.002>.
- [12] 余如刚,张迪,余心悦,等.13种小白菜苗期耐盐比较分析及耐性指标筛选[J].云南农业大学学报(自然科学),2022,37(1):24-31.
- [13] 张蒙,周经明,马玮,等.砷用中国南瓜种子萌发期耐盐性鉴定评价[J].中国瓜菜,2023,36(1):26-34.
- [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] 张明亚,庞胜群,刘玉东,等.加工番茄种子萌发期耐盐性综合评价[J].中国瓜菜,2023,36(10):84-90.

- [16] 刘彤彤, 李宁, 魏良迪, 等. 山西省主推小麦材料芽期及苗期耐盐性的综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(2): 22-33.
- [17] 吴平, 陈晓梅, 丁宁. 4种湿生植物苗期耐盐性综合评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 148-150.
- [18] 彭玉梅, 石国亮, 崔辉梅. 加工番茄幼苗耐盐生理指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 61-66.
- [19] 刘雅辉, 王秀萍, 张国新, 等. 棉花苗期耐盐生理指标的筛选及综合评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(6): 73-78.
- [20] 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[J]. 华北农学报, 2006, 21(5): 24-27.
- [21] 沈季雪, 蒋景龙. 不同浓度 NaCl 处理对 6 种黄瓜种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(7): 111-115.
- [22] 梁昕景, 夏玲, 王学林, 等. 不同甜瓜品种生长特性及耐盐性比较[J/OL]. 分子植物育种, 1-20[2023-11-16]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20231116.1101.010>.
- [23] 董志刚, 程智慧. 番茄材料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.
- [24] 江建霞, 张俊英, 李延莉, 等. 甘蓝型油菜耐低温发芽和苗期抗冻性种质的筛选和鉴定[J/OL]. 分子植物育种, 1-13[2023-11-21]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20231120.1528.018>.
- [25] 黄海涛, 胡江, 徐冬梅, 等. 豇豆萌芽期耐冷性综合鉴定与评价[J]. 西北农业学报, 2019, 28(2): 237-246.
- [26] 李航, 刘丽, 黄乾, 等. 棉花种质资源萌发期耐盐性鉴定及筛选[J]. 作物学报, 2024, 50(5): 1147-1157.
- [27] 李玉晓, 汪磊, 汪魏, 等. 向日葵种质资源的耐盐性评价[J/OL]. 植物遗传资源学报, 1-14[2024-01-12]. <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231130002>.
- [28] 潘平新, 倪强, 马瑞, 等. 不同盐分处理对黑果枸杞种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(2): 342-348.
- [29] 董飞, 王焯楠, 朱娇, 等. 草花苗期耐盐性鉴定及综合评价[J]. 山东农业科学, 2023, 55(1): 38-45.
- [30] 车代弟, 赵海霞, 吴晓凤, 等. 干旱与盐胁迫对二十五种花卉种子萌发影响的评价与花海植物筛选[J]. 北方园艺, 2018(21): 115-121.
- [31] 杨景宁, 王彦荣. NaCl 胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 32-38.
- [32] 徐宁伟, 路斌, 高慧, 等. 盐胁迫对两种苜蓿植物种子萌发的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(8): 138-143.
- [33] 梁云媚, 李燕, 多立安, 等. 不同盐分胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. 草业科学, 1998(6): 21-25.
- [34] WANG R M, CHEN B C, WANG T F, et al. Effects of chlorine dioxide on the germination, oxidative metabolism and growth of barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Scientific Reports, 2019, 9: 5765.
- [35] GEILFUS C M. Review on the significance of chlorine for crop yield and quality[J]. Plant Science, 2018, 270: 114-122.