

番茄种质萌发期与幼苗期耐盐碱性综合评价及筛选

张飞雪, 周利利, 王丰颖, 赵 根, 陈丽萍, 钱文浩

(湖州市农业科学研究院 浙江湖州 313000)

摘要: 为研究不同番茄种质在萌发期和幼苗期的耐盐碱性差异, 初步探究萌发期耐盐碱性 with 幼苗期耐盐碱性之间的关联, 以 23 份番茄种质为材料, 选用新中蔬 4 号为测试材料, 试验共设置 6 个浓度梯度, 根据发芽率指标筛选确定 $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 为萌发期耐盐碱性鉴定的适宜胁迫浓度。在此浓度下, 系统测定了种质萌发期(发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长、活力指数及其相对值)和幼苗期(株高、茎粗、叶绿素含量、丙二醛含量及类胡萝卜素含量)及其相对值。结果表明, 不同番茄种质对 NaHCO_3 胁迫的响应存在显著差异。主成分分析显示, 发芽指数、发芽率和相对发芽率是评价萌发期耐盐碱性的关键指标(PC1 载荷 >0.969)。基于隶属函数法的综合评价(D 值)及聚类分析将 23 份材料分为 3 类: 京番 309、乾德粉如意、乾德粉球为高度耐盐型; 10 份为中度耐盐型; 其余 10 份为盐敏感型。幼苗期评价发现, 乾德喜满园和京番 306 在形态上耐性突出(株高、茎粗耐盐系数 >1), 而京番 306 在生理上表现出优异的叶绿素保持和膜稳定性(MDA 耐盐系数最低, 仅为 0.47)。相关性分析揭示, 萌发期耐盐碱性(相对发芽指数)与幼苗期形态耐盐碱性(株高、茎粗的耐盐系数)呈显著负相关。筛选出京番 309(萌发与幼苗期综合耐性强)、乾德粉如意(萌发期优势)和京番 306(幼苗期优势)等耐盐碱性突出的番茄种质, 并建立了以发芽指数、发芽率、相对发芽率为核心的萌发期耐盐碱性评价体系。研究结果为番茄耐盐碱种质资源的利用、评价模型的构建以及后续耐盐碱分子机制研究提供了重要依据。

关键词: 番茄; NaHCO_3 盐碱胁迫; 耐盐碱性评价

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)09-138-10

Comprehensive evaluation and screening of tomato germplasm for salt-alkali tolerance at germination and seedling stages

Zhang Feixue, Zhou Lili, Wang Fengying, Zhao Gen, Chen Liping, Qian Wenhao

(Huzhou Academy of Agricultural Sciences, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract: To investigate the differences in salt tolerance among different tomato germplasm resources at the germination and seedling stages, and to preliminarily explore the correlation between salt tolerance at the germination stage and that at the seedling stage, this study used 23 tomato accessions as materials. Xinzhongshu 4 was selected for pre-experiments, in which six NaHCO_3 concentration gradients were set. Based on the germination rate, $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ was determined as the appropriate stress concentration for salt tolerance identification at the germination stage. Under this concentration, relevant traits were systematically measured at the germination stage (germination potential, germination rate, germination index, radicle length, vigor index, and their relative values) and at the seedling stage (plant height, stem diameter, chlorophyll content, malondialdehyde content, and carotenoid content). The results showed that the responses of different tomato accessions to NaHCO_3 stress varied significantly. Principal component analysis revealed that germination index, germination rate, and relative germination rate were the key indicators for evaluating salt tolerance at the germination stage (PC1 loading >0.969). Based on the comprehensive evaluation (D value) using the membership function method and cluster analysis, the 23 accessions were classified into three categories: Jingfan 309, Qiande Fenrui, and Qiande Fenqiu were identified as highly salt-tolerant; 10 accessions were moderately salt-tolerant; and the remaining 10 were salt-sensitive. At the seedling stage, Qiande Ximanyuan and Jingfan 306 exhibited outstanding morphological tolerance (salt tolerance coefficient for plant height and stem diameter >1), while Jingfan 306 demonstrated excellent chlorophyll retention capacity and membrane stability physiologically (lowest MDA salt tolerance coefficient). Correlation analysis revealed that salt

收稿日期: 2026-01-30; 修回日期: 2026-03-24

基金项目: 湖州市科技特派员项目 (2023KT55)

作者简介: 张飞雪, 女, 农艺师, 主要从事蔬菜栽培育种及秸秆资源化利用研究。E-mail: 1041502087@qq.com

通信作者: 赵 根, 男, 高级农艺师, 主要从事蔬菜栽培育种及资源化利用研究。E-mail: 77347148@qq.com

tolerance at the germination stage (relative germination index) was significantly negatively correlated with morphological salt tolerance at the seedling stage (salt tolerance coefficient for plant height and stem diameter). Ultimately, elite germplasm were identified, including Jingfan 309 (comprehensive tolerance at both germination and seedling stages), Qiande Fenruyi (advantage at germination stage), and Jingfan 306 (advantage at seedling stage). Furthermore, a germination-stage salt tolerance evaluation system centered on germination index, germination rate, and relative germination rate was established. The findings of this study provide an important basis for the utilization of salt-alkali tolerant tomato germplasm resources, the construction of salt tolerance evaluation models, and subsequent research on the molecular mechanisms.

Key words: Tomato; NaHCO_3 saline-alkali stress; Salt-alkali tolerance evaluation

设施栽培是保障番茄周年均衡供应的重要生产方式,在设施栽培条件下,作物生长环境相对封闭,设施内的温度和湿度明显高于露地,促使土壤固相物质的分解加快,盐基离子在土壤表层大量积累,加剧了保护地土壤的次生盐渍化^[1],次生盐渍化现已成为设施土壤健康与番茄可持续发展的关键障碍之一^[2]。

盐碱胁迫不仅直接影响土壤的物理化学性质,更通过渗透胁迫、离子毒害及氧化损伤等途径抑制种子吸水膨胀、降低 α -淀粉酶活性,导致发芽势和发芽率下降,严重干扰植物的生长发育全过程,导致作物产量与品质的显著下降^[3-5]。番茄作为全球广泛栽培的重要蔬菜作物,其耐盐碱性存在显著的种质间差异。因此,研究不同番茄种质材料在种子萌发期以及苗期对盐碱胁迫的响应差异,筛选耐盐碱种质资源,对番茄抗逆育种和盐碱地改良利用具有重要意义。

植物生长过程中不同生长阶段的耐盐碱性存在较大差异,种子萌发阶段通常对逆境因素表现出较高敏感性,通常将这一时期的表现作为评估植物耐盐碱性的重要依据之一^[6]。幼苗期则是植株形态建成与生理代谢系统建立的关键阶段,株高、茎粗等形态指标直观反映了盐胁迫下的生长抑制程度,而叶绿素含量、丙二醛(MDA)含量及类胡萝卜素含量等生理指标则能反映光合机构稳定性与膜脂过氧化损伤等内在生理响应^[7-8]。目前,针对番茄耐盐碱性的研究多集中于种质萌发期^[2,6],而对番茄种质幼苗期的耐盐碱性差异,以及萌发期与幼苗期耐盐碱性之间关系的研究较少。

近年来,主成分分析、隶属函数法及聚类分析等多变量统计方法广泛应用于作物耐盐性的综合评价中,这些方法能够将多个相关指标降维整合,从而更客观地对种质资源进行分级与筛选^[9-11]。通过相关性分析,可以进一步揭示种子耐盐碱性萌发指标与幼苗期耐盐碱性性状之间的关系,从而探索番茄种质耐盐碱性的综合评价机制。

基于此,本研究以23份生产中主栽及特色番茄种质资源为材料,首先筛选 NaHCO_3 胁迫的适宜浓度,进而系统测定其在萌发期与幼苗期的形态及生理指标。通过方差分析、主成分分析、隶属函数评价、聚类分析及相关性分析等方法:(1)研究不同番茄种质在萌发期和幼苗期的耐盐性差异;(2)建立萌发期耐盐性综合评价模型并对种质进行分类;(3)初步探究萌发期耐盐性与幼苗期耐盐性之间的相关性。本研究旨在为番茄耐盐碱种质资源的鉴定、评价与利用提供科学依据,并为后续耐盐碱分子机制研究与品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试番茄品种材料共24份,均由浙江省瓜菜种业大会湖州分中心湖州市农业科学研究院提供,其中樱桃番茄12份、中果番茄3份,大果番茄9份,于2024年1—3月在浙江农林大学试验室开展耐盐碱性试验。供试材料见表1。

1.2 方法

1.2.1 番茄种子 NaHCO_3 溶液胁迫处理 测试品种选用品种特性较为突出、种植范围相对广泛的番茄品种新中蔬4号,选取大小一致、籽粒饱满的番茄种子,75%乙醇消毒30 s,0.1%氯化汞消毒7 min,后用蒸馏水润洗3~4次。采用纸上发芽法,设定6个 NaHCO_3 浓度梯度:0、50、75、100、150、200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

将种子放入铺有滤纸的培养皿(直径90 mm),每皿30粒,每个培养皿加入等量相应浓度的 NaHCO_3 溶液,放至组织培养室培养7 d。每个处理3次重复。参照国标GB/T 2930.4—2017统计相关萌发指标。随后选取最适 NaHCO_3 浓度,在23份番茄材料中按照上述方法进行萌发指标测定。

1.2.2 番茄幼苗期 NaHCO_3 溶液胁迫处理 将筛选出的发芽指标较好的番茄种子种植于穴盘中,放置

表 1 24 份番茄品种材料信息
Table 1 Information on 24 tomato test materials

编号 No.	品种名称 Cultivar name	品种类型 Cultivar type	品种颜色 Cultivar color	来源 Source
1	乾德粉球 Qiande Fenqiu	樱桃番茄 Cherry tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
2	乾德粉如意 Qiande Fenrui	樱桃番茄 Cherry tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
3	禧越 19 Xiyue 19	樱桃番茄 Cherry tomato	粉色 Pink	陕西金棚种业有限公司 Shaanxi Jinpeng Seed Industry Co., Ltd.
4	珍味 3 号 F ₁ Zhenwei No. 3 F ₁	樱桃番茄 Cherry tomato	粉色 Pink	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
5	乾德小红 Qiande Xiaohong	樱桃番茄 Cherry tomato	红色 Red	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
6	乾德紫娃 Qiande Ziwa	樱桃番茄 Cherry tomato	紫色 Purple	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
7	黄丽娜 Huanglina	樱桃番茄 Cherry tomato	红色 Red	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
8	紫霞 3 号 Zixia No. 3	樱桃番茄 Cherry tomato	紫色 Purple	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
9	金典 2 号 Jindian No. 2	樱桃番茄 Cherry tomato	黄色 Yellow	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
10	寸芒 Cunmang	樱桃番茄 Cherry tomato	黄色 Yellow	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
11	白晶晶 1 号 Baijingjing No. 1	樱桃番茄 Cherry tomato	白色 White	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
12	TY 金典 TY Jindian	樱桃番茄 Cherry tomato	黄色 Yellow	上海富农种业有限公司 Shanghai Funong Seed Industry Co., Ltd.
13	乾德莓香 Qiande Meixiang	中果番茄 Medium-fruited tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
14	乾德喜满园 Qiande Ximanyuan	中果番茄 Medium-fruited tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
15	乾德圣珠 Qiande Shengzhu	中果番茄 Medium-fruited tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
16	乾德亮粉 Qiande Liangfen	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
17	乾德恒运 Qiande Hengyun	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	上海乾德种业有限公司 Shanghai Qiande Seed Industry Co., Ltd.
18	京番 603 Jingfan 603	大果番茄 Large-fruited tomato	红色 Red	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Technology Co., Ltd.
19	京番 404 Jingfan 404	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Technology Co., Ltd.
20	京番 309 Jingfan 309	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Technology Co., Ltd.
21	京番 306 Jingfan 306	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Technology Co., Ltd.
22	特美达 001 Temeida 001	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	陕西金棚种业有限公司 Shaanxi Jinpeng Seed Industry Co., Ltd.
23	瓯秀 101 Ouxiu 101	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	温州科技职业学院 Wenzhou Vocational College of Science and Technology
24	新中蔬 4 号 Xin Zhongshu No. 4	大果番茄 Large-fruited tomato	粉色 Pink	中蔬种业 Zhongshu Seed Industry

于人工气候培养箱中培养,待幼苗长至 2 叶 1 心后进行 NaHCO₃ 溶液胁迫处理,1 周后测定番茄茎粗、株高生长指标,同时测定叶片叶绿素、类胡萝卜素

以及丙二醛含量。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 萌发期指标的测定 种子发芽指标测定参

照《国际种子检验规程》和孙洪助等^[12]的方法,测定其发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数。使用游标卡尺测量下胚轴长度。

(1)发芽势(GP)/%=试验3 d内供试番茄品种发芽种子数/供试番茄品种种子总数×100。

(2)发芽率(GR)/%=试验7 d内供试番茄品种发芽种子数/供试番茄品种种子总数×100。

(3)相对发芽势(RGP)/%=盐处理组供试番茄品种种子发芽势/对照组供试番茄品种种子发芽势×100。

(4)相对发芽率(RGR)/%=盐处理组供试番茄品种种子发芽率/对照组供试番茄品种种子发芽率×100。

(5)胚根长(RL):每个培养皿中的供试番茄品种,随机选取10株幼苗,用直尺测定每株幼苗从种子胚到最长根根尖的长度,并求平均值。

胚根长相对抑制率/=(1-处理后胚根长/CK胚根长)×100。

(6)发芽指数:GI=∑(G_i/D_i),式中,G_i表示第i天种子发芽数,D_i表示对应天数(d)。

(7)相对发芽指数(RGI)/%=盐处理组供试番茄品种种子发芽指数/对照组供试番茄品种种子发芽指数×100。

(8)活力指数:VI=GI×S,式中,S表示种子平均根长(cm)。

1.3.2 生长指标的测定 采用游标卡尺测定株高和茎粗,采用丙酮法测定叶绿素含量^[13]。采用硫代巴比妥酸(TBA)显色法测定丙二醛含量^[14],采用胡紫蔚等^[15]的方法测定类胡萝卜素含量,并计算其耐盐系数。

耐盐系数(STC)=处理组测定值/对照组测定值。

1.4 数据处理及统计分析

隶属函数值计算公式:

$$U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min});$$

$$U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})。$$

$$\text{测定指标的权重计算公式: } W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$\text{耐盐综合评价值计算公式: } D = \sum [U(X_i) \times W_i]。$$

式中, $i=1,2,3\cdots n$, X_i 为第*i*个指标的测定值, $X_{\max}$ 为第*i*个指标的最大值, $X_{\min}$ 为第*i*个指标的最小值, P_i 为第*i*个综合指标的贡献率。

数据采用 Microsoft Excel 2019 处理,IBM SPSS Statistics 26.0 对 NaHCO₃ 处理下不同番茄种质的萌发期以及幼苗期耐盐性指标进行描述性统计、显著性分析、主成分分析和隶属函数分析、聚类分析以及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 番茄种子萌发的适宜盐浓度筛选

设置6个NaHCO₃胁迫浓度,筛选番茄种质资源种子萌发期耐盐碱性评价的适宜浓度,以番茄品种新中蔬4号为研究对象,图1结果表明,随NaHCO₃溶液浓度的增大,番茄种子的发芽率逐渐降低,150、200 mmol·L⁻¹ NaHCO₃浓度处理下番茄发芽率极低,而50 mmol·L⁻¹ NaHCO₃浓度对番茄种子萌发在5 d后产生的影响相对较小,发芽率较高。75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃浓度适合研究番茄种子耐盐性,更能比较出不同番茄种质资源之间的差异。由表2可知,与0 mmol·L⁻¹(CK)相比,当NaHCO₃浓

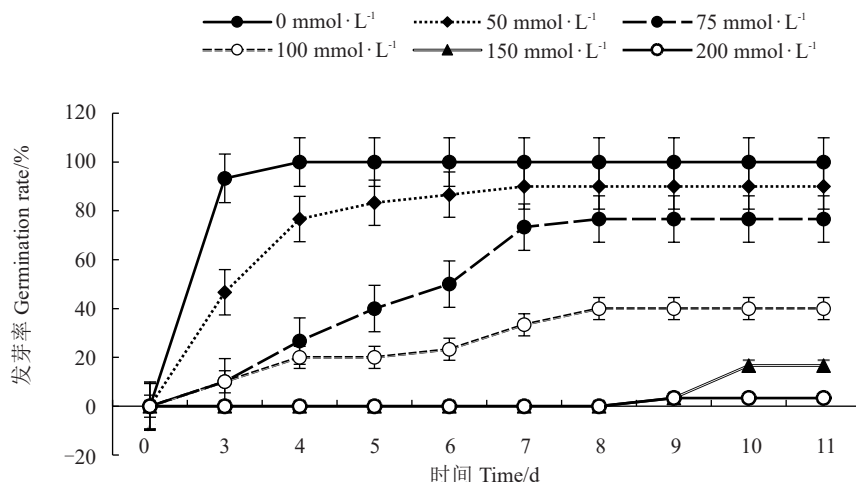


图1 不同盐浓度番茄种子发芽率

Fig. 1 Germination rates of tomato seeds under different salt concentrations

表 2 不同浓度 NaHCO₃ 处理下番茄种质种子萌发期发芽指标的比较
Table 2 Comparison of seed germination indicators at germination stage under different concentrations of NaHCO₃ treatment

指标 Index	0 mmol·L ⁻¹	50 mmol·L ⁻¹	75 mmol·L ⁻¹	100 mmol·L ⁻¹	150 mmol·L ⁻¹	200 mmol·L ⁻¹
发芽势 Germination potential/%	93.33 a	46.66 b	10.00 c	10.00 c	0	0
相对发芽势 Relative germination potential	1.00 a	49.99 b	10.71 c	10.71 c	0	0
发芽率 Germination rate/%	100.00 a	90.00 b	73.00 c	33.00 d	0	0
相对发芽率 Relative germination rate	1.00 a	0.90 b	0.73 c	0.33 d	0	0
发芽指数 Germination index	32.11 a	23.60 b	11.04 c	6.29 d	0	0
相对发芽指数 Relative germination index	1.00 a	73.50 b	34.38 c	19.58 d	0	0
胚根长 Radicle length /cm	2.50 a	0.75 b	0.15 c	0.11 d	0	0
胚根长相对抑制率 Inhibition rate of radicle length/%		70.00	94.00	95.60	0	0

注：同行数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level.

度为 50、75 和 100 mmol·L⁻¹ 时,番茄的胚根长均受到了不同程度抑制,综上,75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫浓度为番茄种质种子萌发期耐盐性评价的最适宜浓度。

2.2 NaHCO₃胁迫对番茄种质各萌发指标的影响

由表 3 可知,75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫处理对 23 份番茄种质材料的种子萌发指标产生显著影响。从发芽率来看,不同材料的耐盐碱性差异显著。其中,乾德紫娃和金典 2 号的发芽率分别高达 95.56%和 88.89%,其相对发芽率亦分别达到 0.99 和 0.92,表明二者在盐碱胁迫下仍能维持较高的萌发能力。相反,乾德喜满园和乾德恒运等材料发芽率为 0,表现出高度盐敏感性。发芽势与发芽指数的变化趋势与发芽率基本一致。发芽势以金典 2 号(27.78%)最高,其次为特美达 001(16.67%),说明其萌发启动较快且受盐害影响较小。发芽指数以乾德紫娃(8.31)和金典 2 号(7.71)为优。胚根长与活力指数反映了种子在盐胁迫下的生长潜力。京番 309、金典 2 号的胚根长较长(0.43~0.44 cm),说明其胚根伸长受抑制较轻。活力指数以乾德粉球(29.17)最高,其次为乾德紫娃(25.54),表明这些材料在盐胁迫下不仅萌发率高,幼苗生长势也较强。综合来看,乾德紫娃与金典 2 号在发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数等多项指标上均表现突出,具有较强的耐盐性;而乾德喜满园、乾德恒运等材料在盐胁迫下几乎丧失萌发能力,属于盐敏感型

种质。
2.3 NaHCO₃胁迫下番茄种质各萌发指标的主成分分析

根据表 4 结果可知,对 8 个番茄种质各萌发指标进行主成分分析,各因子系数的绝对值能够体现其对主成分的重要性,即该因子的贡献值大小。主成分分析结果表明,本试验共提取一个主成分(特征值>1),主成分 1(PC1)的特征值为 7.082,累计贡献率达 78.689%,能够解释番茄种质耐盐碱性萌发性状变异的大部分信息,可用于综合评价不同种质的耐盐表现。在 PC1 中,各性状的系数(即因子载荷)显示,发芽指数(0.982)、发芽率(0.971)和相对发芽率(0.969)的载荷较大,说明这 3 个性状对番茄种子耐盐碱性的贡献最大,是评价耐盐碱能力的关键指标。其次,活力指数(0.921)和相对发芽指数(0.899)也具有较高载荷。

2.4 番茄种质种子萌发期耐盐性综合评价

利用隶属函数对提取的主成分得分进行处理得到 U 值,依据各个主成分的贡献率与累计贡献率的高低算出各个主成分的权重,结合各隶属函数值求出各番茄种质资源种子的综合评价值(D 值),具体结果如表 5 所示,并根据 D 值大小对供试番茄种质资源种子萌发期耐盐性进行排序,D 值越大代表番茄种质资源种子萌发期耐盐性越强。综合评价结果表明,在供试的 23 份番茄种质中,种子萌发期耐盐性最强的为材料京番 309 和乾德粉如意,D 值

序号 No.	品种名称 Cultivar name	发芽势 GP/%	相对发 芽势 RGP	发芽率 GR/%	相对发芽 率 RGR	发芽指数 GI	相对发芽 指数 RGI	胚根长 RL/cm	活力指数 VI
1	乾德粉球 Qiande Fenqiu	10.00±3.30 c	0.12±0.04 bc	90.00±3.33 a	0.93±0.03 ab	6.42±0.12 c	0.49±0.01 a	0.22±0.01 f	29.17±2.12 a
2	乾德粉如意 Qiande Fenruyi	3.30±3.30 e	0.06±0.024 cd	40.00±3.33 d	0.46±0.03 d	2.73±0.24 g	0.27±0.02 d	0.26±0.01 ef	10.33±0.65 f
3	禧越 19 Xiyue 19	0.09±0.16 g	0.00 d	7.78±1.92 ef	0.09±0.02 ef	0.47±0.11 j	0.05±0.01 h	0.00 h	0.00 i
4	珍味 3 号 F ₁ Zhenwei No. 3 F ₁	3.42±3.20 e	0.05±0.02 cd	42.22±1.92 d	0.44±0.02 d	2.69±0.15 gh	0.19±0.01 e	0.24±0.02 f	11.12±0.36 f
5	乾德小红 Qiande Xiaohong	3.33±3.30 e	0.05±0.02 cd	74.44±1.92 b	0.78±0.02 b	4.72±0.16 e	0.37±0.01 c	0.27±0.01 def	17.77±1.51 de
6	乾德紫娃 Qiande Ziwa	16.60±14.50 b	0.27±0.01 a	95.56±1.92 a	0.99±0.02 a	8.31±0.61 a	0.35±0.02 c	0.33±0.02 b	25.54±2.82 b
7	黄丽娜 Huanglina	12.20±10.70 c	0.20±0.02 b	70.00±3.33 bc	0.73±0.02 bc	5.35±0.24 d	0.36±0.01 c	0.26±0.01 f	20.92±1.25 c
8	紫霞 3 号 Zixia No. 3	3.33±3.30 e	0.06±0.02 cd	10.00±3.33 ef	0.12±0.03 ef	0.76±0.24 ij	0.06±0.02 gh	0.16±0.01 g	4.65±1.68 h
9	金典 2 号 Jindian No. 2	27.78±1.90 a	0.29±0.03 a	88.89±1.92 a	0.92±0.02 ab	7.71±0.08 b	0.36±0.002 c	0.43±0.03 a	17.78±1.31 de
10	寸芒 Cunmang	1.11±1.90 f	0.02±0.04 d	18.89±1.92 e	0.21±0.02 e	1.16±0.07 i	0.13±0.01 f	0.23±0.01 f	4.99±0.46 h
11	白晶晶 1 号 Baijingjing No. 1	1.11±1.90 f	0.04±0.07 cd	6.67±3.33 ef	0.07±0.03 f	0.43±0.24 j	0.06±0.03 gh	0.14±0.01 g	2.99±1.58 h
12	TY 金典 TY Jindian	1.11±1.90 f	0.07±0.11 cd	27.78±1.92 e	0.34±0.02 d	1.69±0.16 h	0.28±0.02 d	0.25±0.02 f	6.83±0.34 gh
13	乾德莓香 Qiande Meixiang	0.00 g	0.00 d	76.67±3.33 ab	0.82±0.01 b	4.75±0.2 e	0.42±0.01 b	0.29±0.01 cde	16.61±1.37 de
14	乾德喜满园 Qiande Ximanyuan	0.00 g	0.00 d	0.00 f	0.00 f	0.00 j	0.00 h	0.00 h	0.00 i
15	乾德圣珠 Qiande Shengzhu	6.67 d	0.07 c	40.00±20.82 d	0.41±0.21 d	2.67±0.47 gh	0.17±0.03 e	0.18±0.007 g	15.35±3.27 e
16	乾德亮粉 Qiande Liangfen	0.00 g	0.00 d	6.67±3.33 ef	0.09±0.03 ef	0.39±0.08 j	0.06±0.01 gh	0.00 h	0.00 i
17	乾德恒运 Qiande Hengyun	0.00 g	0.00 d	0.00 f	0.00 f	0.00 j	0.00 h	0.00 h	0.00 i
18	京番 603 Jingfan 603	0.00 g	0.00 d	3.33±3.33 f	0.03±0.03 f	0.22±0.07 j	0.02±0.01 h	0.00 h	0.00 i
19	京番 404 Jingfan 404	7.78±6.90 c	0.08±0.07 cd	32.22±8.39 d	0.33±0.09 d	2.19±0.36 h	0.20±0.05 e	0.29±0.01 cde	7.61±1.36 g
20	京番 309 Jingfan 309	8.89±5.10 c	0.09±0.05 c	62.22±22.19 bc	0.64±0.23 c	3.46±1.01 f	0.26±0.08 d	0.44±0.03 a	7.85±2.63 g
21	京番 306 Jingfan 306	0.00 g	0.00 d	2.22±1.92 f	0.02±0.02 f	0.14±0.01 j	0.01 h	0.00 h	0.00 i
22	特美达 001 Temeida 001	16.67±8.80 b	0.18±0.09 b	60.00±12.02 c	0.62±0.12 c	4.32±0.38 e	0.37±0.06 c	0.24±0.034 f	18.07±2.81 d
23	瓯秀 101 Ouxiu 101	1.11±1.90 f	0.01±0.02 d	4.44±3.85 f	0.05±0.04 f	0.28±0.12 j	0.03±0.01 h	0.00 h	0.00 i

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters following the numbers in the same column indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

为 0.88 和 0.87;材料乾德亮粉、瓯秀 101 的 *D* 值最小,为 0.00 和 0.03,为萌发期耐盐性最弱的材料。

2.5 番茄种质种子萌发期耐盐性聚类分析

利用 *D* 值,采用组间连接法和欧式平方距离进行聚类分析,如图 2 所示。在欧式平方距离为 5 处将 23 份番茄种质资源材料分为 3 类。第一类为高

表 4 番茄种质萌发指标耐盐碱性主成分分析
Table 4 Principal component analysis of salt-alkali tolerance in germination indicators of tomato germplasm

性状 Trait	主成分 PC1
发芽指数 Germination index	0.982
发芽率 Germination rate	0.971
相对发芽率 Relative germination rate	0.969
活力指数 Vigor index	0.921
相对发芽指数 Relative germination index	0.899
相对发芽势 Relative germination potential	0.838
胚根长 Radicle length	0.831
发芽势 Germination potential	0.773
特征值 Eigenvalue	7.082
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	78.689

度耐盐型,包括 3 份材料京番 309、乾德粉如意、乾德粉球, D 值为 0.71~0.88;第二类为中度耐盐型,包括 10 份番茄材料, D 值范围为 0.28~0.65;第三类为剩余 10 份番茄品种为敏感型材料, D 值范围为 0~0.20。根据聚类分析结果表明,番茄品种耐盐性与果型无直接相关性,京番 309、乾德粉如意、乾德粉

球的耐盐性最强。
2.6 NaHCO_3 胁迫下番茄幼苗形态指标的方差分析
由表 6 可知,在盐碱胁迫下,幼苗株高普遍受到抑制。耐盐系数分析表明,乾德喜满园(1.15)和京番 306(1.10)的株高耐盐系数均大于 1,说明其株高在胁迫下不仅未受到抑制,反而有所增长,表现出较强的耐盐性。其他材料株高耐盐系数均小于 1,其中珍味 3 号最低(0.30),显示其株高受盐胁迫抑制最为严重。在茎粗方面,乾德喜满园的耐盐系数同样最高(1.14),茎粗在胁迫下仍保持较好增长态势;京番 306(1.01)次之。而珍味 3 号茎粗耐盐系数仅为 0.34,表明其茎粗发育受盐胁迫抑制最严重。总体来看,京番 309、乾德梅香、乾德粉如意等材料的茎粗耐盐系数在 0.70 以上,仍具备一定耐盐能力。综合株高与茎粗的耐盐系数表现,乾德喜满园和京番 306 在 2 个指标上均表现突出,说明其在幼苗期整体耐盐性较强。而珍味 3 号在株高和茎粗方面均表现出较高盐敏感性。该结果进一步揭示了不同番茄种质在幼苗阶段的耐盐性差异。

表 5 23 份番茄材料耐盐碱性综合评价 D 值
Table 5 Comprehensive evaluation D -value of salt-alkali tolerance in 23 tomato materials

序号 No.	品种名称 Cultivar name	D 值 D -value	综合排序 Comprehensive rank	序号 No.	品种名称 Cultivar name	D 值 D -value	综合排序 Comprehensive rank
1	乾德粉球 Qiande Fenqiu	0.71	3	13	珍味 3 号 F_1 Zhenwei No. 3 F_1	0.52	7
2	乾德莓香 Qiande Meixiang	0.37	10	14	乾德亮粉 Qiande Liangfen	0.00	23
3	乾德恒运 Qiande Hengyun	0.06	19	15	乾德小红 Qiande Xiaohong	0.38	9
4	乾德喜满园 Qiande Ximanyuan	0.37	11	16	乾德紫娃 Qiande Ziwa	0.05	20
5	乾德圣珠 Qiande Shengzhu	0.54	6	17	瓯秀 101 Ouxiu 101	0.03	22
6	乾德粉如意 Qiande Fenruiyi	0.87	2	18	黄丽娜 Huanglina	0.06	18
7	京番 603 Jingfan 603	0.65	4	19	紫霞 3 号 Zixia No. 3	0.35	12
8	京番 404 Jingfan 404	0.18	15	20	金典 2 号 Jindian No. 2	0.51	8
9	京番 309 Jingfan 309	0.88	1	21	寸芒 Cunmang	0.04	21
10	京番 306 Jingfan 306	0.20	14	22	白晶晶 1 号 Baijingjing No. 1	0.59	5
11	特美达 001 Temeida 001	0.12	16	23	TY 金典 TY Jindian	0.06	17
12	禧越 19 Xiyue 19	0.28	13				

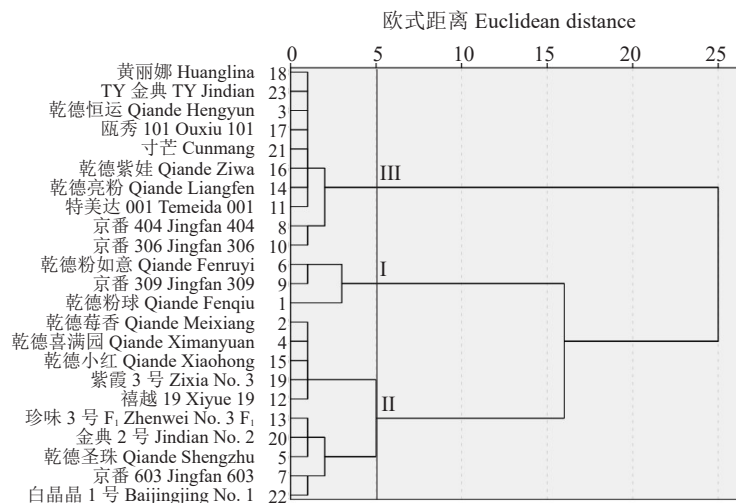


图 2 23 份番茄种质资源聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis diagram of 23 tomato germplasm resources

表 6 75 mmol·L ⁻¹ NaHCO ₃ 胁迫对番茄幼苗形态指标的影响		Table 6 Effects of 75 mmol·L ⁻¹ NaHCO ₃ stress on morphological indicators of tomato seedlings					
序号 No.	品种名称 Cultivar name	株高 Plant height			茎粗 Stem diameter		
		对照组 CK/cm	处理组 Treatment/cm	耐盐系数 STC	对照组 CK/mm	处理组 Treatment/mm	耐盐系数 STC
1	乾德粉球 Qiande Fenqiu	10.20±0.96 b	4.87±0.81 c	0.48±0.13 c	3.83±0.50 c	2.23±0.15 c	0.59±0.09 bc
2	禧越 19 Xiyue 19	16.67±2.47 a	6.70±2.59 bc	0.40±0.14 c	3.63±0.59 c	2.13±0.51 c	0.58±0.05 bc
3	京番 309 Jingfan 309	18.17±0.40 a	10.57±1.64 ab	0.58±0.10 bc	3.77±0.38 c	3.07±0.15 b	0.82±0.11 b
4	乾德梅香 Qiande Meixiang	10.37±1.06 b	7.10±1.23 bc	0.68±0.07 bc	5.13±0.06 b	3.60±0.57 ab	0.70±0.11 b
5	乾德粉如意 Qiande Fenrui	11.47±0.45 b	8.60±0.86 b	0.76±0.10 b	3.90±0.35 c	2.97±0.60 b	0.77±0.20 b
6	乾德喜满园 Qiande Ximanyuan	7.83±1.23 c	8.97±0.75 b	1.15±0.08 a	3.53±0.50 c	3.93±0.50 a	1.14±0.29 a
7	珍珠 3 号 F ₁ Zhenwei No. 3 F ₁	11.97±0.97 b	3.60±0.26 c	0.30±0.04 c	8.23±0.51 a	2.83±0.21 bc	0.34±0.01 c
8	京番 306 Jingfan 306	11.97±1.36 b	13.20±2.86 a	1.10±0.22 a	3.37±0.40 c	3.37±0.21 ab	1.01±0.19 ab

2.7 NaHCO₃胁迫下番茄幼苗生理指标的方差分析

根据表 7 数据,75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫处理显著影响了番茄幼苗的生理指标,不同材料在叶绿素、丙二醛(MDA)及类胡萝卜素含量上的响应存在明显差异。在叶绿素含量方面,所有材料的叶绿素耐盐系数均小于 1,表明盐碱胁迫普遍抑制了叶绿素的合成或促进了其降解。其中,京番 306 的耐盐系数最高(0.76),说明其叶绿素含量稳定性相对较好;乾德喜满园(0.63)和乾德粉球(0.59)次之,而乾德粉如意的耐盐系数最低(0.41),叶绿素受胁迫影响最为显著。丙二醛(MDA)作为膜脂过氧化产物,其含量变化可反映细胞受胁迫程度。多数材料 MDA 含量耐盐系数大于 1,说明胁迫诱导了膜脂过氧化。值得注意的是,乾德梅香的 MDA 含量耐盐系数高达 3.74,表明其膜系统受氧化损伤较为严重。而京番 306 的 MDA 含量耐盐系数仅为 0.47,显著低于其他材料,说明其细胞膜在盐碱胁迫下受

损较轻,表现出较好的膜稳定性。类胡萝卜素含量耐盐系数在不同材料间差异不显著,多数材料系数在 0.50~0.85 之间,说明该指标在盐胁迫下变化相对一致,对区分材料耐盐性的敏感性较低。综合来看,京番 306 在叶绿素保持和 MDA 积累控制方面表现突出,显示出较好的生理耐盐性。

2.8 NaHCO₃胁迫下各指标耐盐系数的相关性分析

根据表 8 对 10 个耐盐系数指标进行的相关性分析结果,番茄种质在 75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫下的萌发、幼苗形态及生理响应之间存在显著相关性。在萌发指标中,相对发芽率(X2)与相对发芽指数(X3)呈极显著正相关($r=0.852^{**}$),此外,相对发芽率(X2)与活力指数(X5)呈极显著正相关($r=0.923^{**}$)。相对发芽指数(X3)与株高耐盐系数(X6)、茎粗耐盐系数(X7)均呈显著负相关($r=-0.788^{*}$, $r=-0.744^{*}$),说明萌发过程较快或较整齐的材料,在幼苗阶段的株高与茎粗生长可能更易

表 7 75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫对番茄幼苗生理指标的影响
Table 7 Effects of 75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ stress on physiological indicators of tomato seedlings

序号 No.	品种名称 Cultivar name	叶绿素含量 Chlorophyll content			丙二醛含量 MDA content			类胡萝卜素含量 Carotenoid content		
		对照组 CK/(mg·g ⁻¹)	处理组 Treatment/ (mg·g ⁻¹)	耐盐系数 STC	对照组 CK/ (nmol·g ⁻¹)	处理组 Treatment/ (nmol·g ⁻¹)	耐盐系数 STC	对照组 CK/ (mg·g ⁻¹)	处理组 Treatment/ (mg·g ⁻¹)	耐盐系 数 STC
1	乾德粉球	2.51±	1.31±	0.59±	42.87±	78.62±	1.83±	0.48±	0.37±	0.85±
	Qiande Fenqiu	0.93 b	0.08 a	0.30 ab	0.92 a	1.28 b	0.07 c	0.18 c	0.05 a	0.32 a
2	禧越 19	2.75±	1.31±	0.47±	45.71±	76.77±	1.74±	0.59±	0.16±	0.33±
	Xiyue 19	0.05 ab	0.54 a	0.19 ab	9.62 a	1.83 b	0.44 c	0.17 bc	0.29 b	0.64 a
3	京番 309	2.53±	1.38±	0.55±	34.86±	78.48±	2.36±	0.52±	0.35±	0.69±
	Jingfan 309	0.29 b	0.24 a	0.14 ab	8.35 ab	0.86 b	0.66 bc	0.07 bc	0.09 a	0.22 a
4	乾德梅香	3.20±	1.50±	0.47±	20.80±	74.15±	3.74±	0.68±	0.34±	0.52±
	Qiande Meixiang	0.46 ab	0.59 a	0.18 ab	5.52 b	0.45 c	0.99 a	0.16 a	0.12 a	0.21 a
5	乾德粉如意	3.02±	1.24±	0.41±	35.58±	78.73±	2.32±	0.59±	0.29±	0.50±
	Qiande Fenrui	0.11 ab	0.23 a	0.07 b	8.50 ab	3.76 b	0.66 bc	0.01 bc	0.05 a	0.08 a
6	乾德喜满园	2.57±	1.65±	0.63±	38.25±	78.01±	2.08±	0.51±	0.34±	0.66±
	Qiande Ximanyuan	0.39 ab	0.68 a	0.19 ab	6.00 ab	1.05 b	0.34 bc	0.03 bc	0.15 a	0.24 a
7	珍珠 3 号 F ₁	3.27±	1.46±	0.44±	28.44±	67.91±	2.40±	0.63±	0.32±	0.51±
	Zhenwei No. 3 F ₁	0.15 a	0.24 a	0.06 ab	3.70 b	3.85 d	0.17 bc	0.01 bc	0.04 a	0.06 a
8	京番 306	2.60±	2.01±	0.76±	28.31±	79.53±	0.47±	0.49±	0.42±	0.85±
	Jingfan 306	0.18 ab	0.65 a	0.23 a	1.27 b	2.57 a	0.18 d	0.02 bc	0.12 a	0.25 a

表 8 75 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ 胁迫下番茄种质耐盐系数相关性分析

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1									
X2	0.669	1								
X3	0.330	0.852**	1							
X4	0.789*	0.551	0.236	1						
X5	0.564	0.923**	0.833*	0.243	1					
X6	-0.079	-0.480	-0.788*	-0.204	-0.353	1				
X7	0.120	-0.415	-0.744*	-0.014	-0.328	0.949**	1			
X8	-0.285	-0.492	-0.530	-0.318	-0.341	0.668	0.664	1		
X9	-0.160	-0.269	-0.338	0.047	-0.332	0.229	0.103	-0.021	1	
X10	0.018	0.057	-0.042	-0.111	0.218	0.456	0.442	0.808*	0.017	1

注：X1~X10 分别代表相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数、胚根长、活力指数、株高耐盐系数、茎粗耐盐系数、叶绿素含量耐盐系数、丙二醛含量耐盐系数、类胡萝卜素含量耐盐系数。*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平相关性显著和极显著。

Note: X1-X10 denote RGP, RGR, RGI, RL, VI, STC of plant height, STC of stem diameter, STC of Chl content, STC of MDA content, and STC of carotenoid content, respectively. * and ** indicate significance at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

受到盐胁迫抑制。幼苗形态指标中株高耐盐系数与茎粗耐盐系数呈极显著正相关($r=0.949^{**}$),表明两者在盐胁迫下的响应具有高度一致性,可协同评价幼苗的整体耐盐性。在生理指标中,叶绿素含量耐盐系数(X8)与类胡萝卜素含量耐盐系数(X10)呈显著正相关($r=0.808^{*}$),说明 2 种光合色素在盐胁迫下的稳定性较为同步。丙二醛含量耐盐系数(X9)与其他指标相关性不显著,暗示膜脂过氧化程度可能受其他调控途径影响,独立于萌发

与形态响应。

3 讨论与结论

盐胁迫会导致植物体内盐离子含量增加,导致植物体内渗透压失衡,有毒物质积累,随后影响细胞代谢活性,降低光合作用效率,导致植物吸水困难,进而影响植物生长发育,严重时导致植株萎蔫死亡^[16]。

番茄作为重要的蔬菜作物之一,建立快速、有效的耐盐碱评价体系,对番茄耐盐碱性进行综合评

价并筛选耐盐性强的品种,对番茄耐盐育种以及盐渍化土地的充分利用具有十分重要的意义。

前人研究耐盐性鉴定中多采用单一中性盐(如NaCl)进行胁迫模拟,结果表明0.6%浓度NaCl溶液作为适宜胁迫浓度^[17-19]。张焕焕等^[6]则选用NaCl、Na₂SO₄、NaHCO₃和Na₂CO₃等4种盐按摩尔比1:9:9:1配制成10、30、50 mmol·L⁻¹的混合盐碱溶液,确定30 mmol·L⁻¹处理能够较好地反映番茄材料的耐盐碱性差异。目前,关于利用NaHCO₃等碱性盐进行番茄耐盐胁迫的研究较少。本研究通过设置不同浓度NaHCO₃胁迫,明确了75 mmol·L⁻¹为番茄萌发期耐盐碱性鉴定的适宜浓度,该浓度能在保证材料间差异显著性的同时,避免因盐害过重导致敏感性材料全面失活。

作物的耐盐性受多基因与环境条件、生理状态的相互作用,是多种代谢途径和一系列生理生化反应的综合结果。因此,耐盐性评价需要综合考虑多个性状因素。主成分分析和隶属函数相结合是进行耐盐性评价的主要方法,该方法已在多个物种中如糜子^[10]、花生^[20]等中用于抗逆性评价及筛选。本研究在种质萌芽期选取了发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数等8个相关指标进行主成分分析,共提取一个主成分(特征值>1),主成分1(PC1)的特征值为7.082,累计贡献率达78.689%,确定发芽指数、发芽率和相对发芽率3个性状对番茄种子耐盐碱性的评价贡献最为显著,隶属函数法分析得出23份番茄种质资源的抗盐能力排序值(*D*值),通过比较*D*值的差异,明确了不同种质间的耐盐强度差异。采用系统聚类分析,将23份番茄种质划分为3类耐盐类型:强耐盐种质、中耐盐种质和敏盐种质,且大果番茄与樱桃番茄在耐盐性分类上并无相关性。京番309(大果番茄)、乾德粉如意(樱桃番茄)、乾德粉球(樱桃番茄)被分为强耐盐性种质,这一研究结果为筛选番茄耐盐材料提供了研究基础。

在幼苗的耐盐碱性方面,本试验盐碱胁迫普遍导致番茄种质叶绿素含量下降与丙二醛(MDA)积累,可能原因是光合作用抑制与膜脂过氧化损伤是主要的生理胁迫效应。值得注意的是,萌发期耐盐性(以相对发芽指数为代表)与幼苗期形态耐盐性(株高、茎粗耐盐系数)呈显著负相关。这提示萌发期与幼苗期的耐盐机制可能存在一定程度的独立性。乾德喜满园和京番306在幼苗期表现出色(形态耐盐系数>1),但在萌发期综合评价(*D*值)仅属中等。在不同发育阶段表现出特异性的耐盐性,这

与董志刚等^[21]研究结果一致,芽苗期和幼苗期番茄耐盐性有所不同。

本研究采用NaHCO₃碱性盐胁迫,确定75 mmol·L⁻¹为番茄萌发期耐盐碱鉴定的适宜浓度;通过主成分与隶属函数分析,明确发芽指数、发芽率等关键评价指标,并筛选出京番309、乾德粉如意等强耐盐种质。研究揭示了萌发期与幼苗期耐盐机制存在差异,为番茄耐盐育种及盐碱地利用提供了理论依据与种质资源。

参考文献

- [1] 陈丽楠,刘秀春,周晏起,等.设施土壤次生盐渍化特征及修复进展[J].中国农学通报,2023,39(9):79-84.
- [2] 马小红,焦慧,虎志瑞,等.番茄种质种子萌发期耐盐性综合评价及关键指标筛选[J].云南大学学报(自然科学版),2025,47(6):1176-1184.
- [3] 王雷,郭岩,杨淑华.非生物胁迫与环境适应性育种的现状及对策[J].中国科学:生命科学,2021,51(10):1424-1434.
- [4] 童有为,陈淡飞.温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究[J].园艺学报,1991,18(2):159-162.
- [5] 杨晓菲,张烨,张思扬,等.盐碱胁迫对小麦种质材料种子萌发及生理特性的影响[J].生态学杂志,2026,45(5):1533-1543.
- [6] 张焕焕,张宗杰,苏晓梅,等.45份番茄材料萌芽期耐盐碱性综合评价[J].中国蔬菜,2025(7):70-82.
- [7] 刘琦.不同NaCl浓度对番茄苗期生长及生理生化指标的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [8] 侯尹婕,黄欣,冯梦娇,等.十二份西瓜种质资源耐盐性鉴定[J].北方园艺,2025(7):1-8.
- [9] 杨建军,张国斌,郁继华,等.盐胁迫下内源NO对黄瓜幼苗活性氧代谢和光合特性的影响[J].中国农业科学,2017,50(19):3778-3788.
- [10] 李昊天,王志祥,刘朝永,等.523份糜子种质资源苗期耐盐性鉴定与综合评价[J].植物遗传资源学报,2026,27(3):580-593.
- [11] 苏力合,黄嵘峥,胡天宇,等.盐胁迫下不同紫花苜蓿品种萌发期和苗期的耐盐性综合评价[J].草地学报,2026,34(5):1664-1676.
- [12] 孙洪助,李鹤,郭世荣,等.8个不同砧用南瓜品种萌芽期耐盐性比较[J].江苏农业科学,2013,41(6):130-133.
- [13] 何勇.设施番茄盐毒害及缓解机理研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [14] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 胡紫蔚,张蕾琛,陈英子,等.西瓜果实类胡萝卜素组分含量与瓤色相关性分析[J].中国瓜菜,2025,38(1):31-38.
- [16] 许园园,李强,任延靖,等.甘蓝耐盐性评价与耐盐品种筛选[J].江苏农业科学,2025,53(22):172-176.
- [17] 于颖珊,尹萌萌,黄战,等.西瓜苗期耐盐性评价体系的建立及耐盐种质筛选[J].中国蔬菜,2025(11):52-60.
- [18] 袁晨晨,燕丽萍,李丽,等.9种白蜡苗期耐盐响应与综合评价[J].中国农学通报,2025,41(34):23-29.
- [19] 陈佳敏,徐世锐,贾蓓蓓,等.燕麦萌发期耐盐性综合评价[J].草地学报,2026,34(5):1717-1736.
- [20] 王菲菲,张胜忠,杨贵华,等.331份花生种质苗期耐盐性综合评价和强耐盐种质鉴定[J].作物学报,2026,52(1):279-294.
- [21] 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.