

辣椒芽期耐盐性鉴定方法建立及种质资源评价

马宁^{1,2}, 王瑞丰², 宋江萍², 张晓辉², 阳文龙², 贾会霞², 张静¹, 王海平²

(¹山西农业大学园艺学院, 太谷 030801; ²中国农业科学院蔬菜花卉研究所/蔬菜生物育种全国重点实验室, 北京 100081)

摘要: 为筛选高效鉴定辣椒种质资源耐盐性的方法, 挖掘优异耐盐种质, 本研究通过盐浓度梯度试验确定了适宜鉴定浓度, 并比较分析了培养皿和发芽袋两种辣椒芽期耐盐性鉴定的方法, 并以最优鉴定方法对94份辣椒种质资源进行耐盐性评价。结果表明, 250 mmol/L NaCl 处理可显著区分不同品种的耐盐性差异, 是辣椒芽期耐盐鉴定的适宜浓度; 两种鉴定方法间相对发芽率与相对发芽势无显著差异, 但培养皿鉴定方法在播种效率(较发芽袋提升61.67%)与材料成本(较发芽袋降低74.59%)上优势显著, 为更优鉴定方法; 在 250 mmol/L NaCl 胁迫下, 94份辣椒种质的发芽率、发芽指数和发芽势均受到极显著抑制($P < 0.0001$), 并通过隶属函数法选出了新寨苗辣(A47)、青山小海椒(A37)、红灯笼辣椒(A9)、泥塘辣椒(A29)、三富村辣椒(A65)共5份芽期耐盐品种(平均隶属函数值 > 0.80)。本研究明确了辣椒芽期耐盐性的高效鉴定方法, 筛选出耐盐性强的辣椒种质资源, 为辣椒耐盐品种选育提供了方法和材料。

关键词: 辣椒; 芽期; 鉴定方式; 耐盐性鉴定; 隶属函数法

Establishment of Salt Tolerance Identification Method for Pepper Seedlings and Evaluation of Germplasm Resources

MA Ning^{1,2}, WANG Ruifeng², SONG Jiangping², ZHANG Xiaohui², YANG Wenlong², JIA Huixia², ZHANG Jing¹, WANG Haiping²

(¹College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801; ²Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Beijing 100081)

Abstract: In order to develop an efficient method for screening salt-tolerant pepper germplasm resources and identify superior salt-tolerant genotypes, this study determined the optimal salt concentration through gradient experiments and compared two germination-stage salt tolerance evaluation methods: petri dish and germination bag. And then, the salt tolerance of 94 varieties of pepper was evaluated by the optimal method. The results showed that 250 mmol/L NaCl treatment significantly distinguished salt tolerance differences among varieties and was suitable for germination-stage salt tolerance screening. No significant differences were observed between the two methods in terms of relative germination rate and relative germination potential, but the petri dish method demonstrated significant advantages in sowing efficiency (61.67% higher than the germination bag) and material cost (74.59% lower than the germination bag), making it the superior evaluation method. Under 250 mmol/L NaCl stress, the germination rate, germination index, and germination potential of the 94 pepper germplasm resources were all significantly inhibited ($P < 0.0001$), and five strong salt-tolerant genotypes at the germination stage, specifically Xin Zhai Miao La(A47), Qing Shan Xiao Hai Jiao(A37), Hong Deng Long La Jiao(A9), Ni Tang La Jiao(A29), and San Fu Cun La Jiao(A65), were selected based on membership function values exceeding 0.80. This study established an efficient method for evaluating salt tolerance at the germination stage in pepper and identified salt-tolerant germplasm resources, providing both methodology and materials for breeding salt-tolerant pepper varieties.

Key words: pepper; germination stage; identification method; salt tolerance identification; membership function method

收稿日期: 2025-11-22

网络出版日期: 2026-02-11

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20251122001>

第一作者研究方向为种质资源, E-mail: ma18536494557@163.com

通信作者: 王海平, 研究方向为种质资源, E-mail: wanghaiping@caas.cn

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-24-A-01); 农业农村部作物种质资源安全保存项目(2025NWB037); 中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP-2025-IVFCAAS)

Foundation projects: The China Agriculture Research System of MOF and MARA(CARS-24-A-01); The Safe Preservation Project of Crop Germplasm Resources of Ministry of Agriculture and Rural Affairs(2025NWB037); The Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences(CAAS-ASTIP-2025-IVFCAAS)

土壤盐渍化是全球农业生产面临的主要非生物胁迫之一，据联合国粮农组织统计，全世界约有 1.0×10^9 hm^2 盐碱地，占有耕地面积的7%，我国约有 1×10^8 hm^2 盐碱地^[1]，是世界上盐渍化危害最为严重的国家之一。近年来，不合理的栽培方式和耕作导致土壤次生盐渍化程度不断加重，使盐碱土总面积不断扩大，严重制约农业可持续发展^[2]。因此，开发和利用盐渍化土地，对保障我国农业生产空间、提升农产品供给能力以及农业的可持续发展具有重要意义^[3]。

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 是我国重要蔬菜作物，年种植面积稳定在210万 hm^2 以上，在保障城乡居民蔬菜周年均衡供应和丰富饮食结构中发挥了重要作用^[4]。然而，土壤盐渍化已成为我国辣椒产业发展的核心非生物胁迫因素，盐胁迫不仅抑制辣椒种子萌发与幼苗生长，还导致果实产量降低、品质下降^[5]。因此，筛选耐盐辣椒品种、解析其耐盐机制，是利用盐碱地扩大辣椒生产面积、提高盐渍地辣椒产量以及当地农民增产增收的关键途径。

芽期是植物对盐胁迫最敏感的生长阶段之一，芽期耐盐性鉴定具有周期短、效率高、可批量筛选等优势，是筛选耐盐种质资源的核心技术手段。目前，已在醋栗番茄^[6]、绿豆^[7]、谷子^[8]、油菜^[9]、向日葵^[10]等作物中通过芽期耐盐性鉴定筛选出了优异的耐盐种质。周静^[11]以8份辣椒材料为研究对象，探索不同浓度（0、50、100、150、200、250和300 mmol/L ）的NaCl溶液对辣椒种子萌发期的影响，研究显示随着NaCl浓度的升高，8个品种的辣椒相对发芽率总体呈下降趋势，但是当浓度达到300 mmol/L 时，有一半以上的辣椒品种种子发芽率在10%以下，难以区分这些辣椒品种的耐盐性。周帅等^[12]以23份辣椒材料为研究对象，用不同浓度（0、30、60、90、120、150和180 mmol/L ）的NaCl溶液进行种子萌发处理，结果显示随着盐浓度的增加辣椒种子的发芽情况越来越差，说明较高的盐浓度胁迫能明显抑制辣椒种子的萌发。闫千千^[13]以10份辣椒为材料，用不同浓度（0、40、80、120、160、200和240 mmol/L ）的NaCl溶液进行种子萌发处理，通过5个指标筛选辣椒种质萌发期盐胁迫处理的最适浓度，最终将浓度160 mmol/L NaCl作为对种子萌发有显著抑制作用的最适盐浓度。在辣椒种质资源耐盐性评价方面，周帅等^[12]以各材料4个耐盐指标的平均隶属函数值进行聚类分析，筛选出极耐盐材料3份，敏盐材料4份。张涛等^[5]对100份辣椒种质的研究显示，49份辣椒种质资源的相对盐害率均低于20%，具有很强的耐盐性。然而，这些研究采用的鉴定装置各不相同，尚未形成统一、高效的标准化方法，导致不同研究间的结果可比性较差，难以对辣椒种质资源进行系统、公正地评价。

鉴于此，本研究以国家蔬菜种质资源中期库（北京）中保存的94份来源广泛的辣椒种质资源为材料，系统比较培养皿与发芽袋两种耐盐性鉴定方式在效率、成本与结果可靠性上的差异，确立一种标准化的辣椒芽期耐盐鉴定方法；并利用优化的方法对94份种质进行批量鉴定，结合隶属函数法进行综合评价，以期挖掘出优异的耐盐辣椒种质，为辣椒耐盐品种的选育与遗传改良提供可靠的方法支撑与材料基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

国家蔬菜种质资源中期库保存的辣椒种质主要有尖椒和甜椒2种类型，为获得适应较广的鉴定方法，选用尖椒类型品种中椒6号和中椒409号、甜椒类型品种中椒7号共3个品种用于浓度筛选及两种耐盐性鉴定方法对比试验，在前期预实验中中椒6号表现为耐盐、中椒7号表现为中度耐盐、中椒409号表现为敏盐，3个

品种均选购于中蔬种业科技（北京）有限公司。获得最佳耐盐鉴定方法后对来源于国家蔬菜种质资源中期库（北京）的94份辣椒种质资源进行耐盐性综合评价。94份辣椒种质资源编号及来源见表1。

表1 材料名称和来源地

Table 1 Materials name and source

| 编号 | 材料名称 | 来源地 | 编号 | 材料名称 | 来源地 | 编号 | 材料名称 | 来源地 |
|------|---------------|--------|------|---------------|--------|------|---------------|--------|
| Code | Material name | Source | Code | Material name | Source | Code | Material name | Source |
| A1 | 白泥井肥肠辣 | 内蒙古自治区 | A33 | 辣椒 | 云南省 | A65 | 三富村辣椒 | 吉林省 |
| A2 | 薄脆灯笼青椒 | 内蒙古自治区 | A34 | 麻绳海椒 | 云南省 | A66 | 新明村辣椒 | 吉林省 |
| A3 | 线椒 | 内蒙古自治区 | A35 | 辣椒 | 云南省 | A67 | 子洞村小辣椒 | 吉林省 |
| A4 | 特大甜椒王 | 内蒙古自治区 | A36 | 荒田红辣椒 | 云南省 | A68 | 苇子沟辣椒 | 吉林省 |
| A5 | 羊角椒 | 内蒙古自治区 | A37 | 青山小海椒 | 贵州省 | A69 | 鸭绿沟辣椒 | 吉林省 |
| A6 | 螺丝尖椒 | 内蒙古自治区 | A38 | 跃进海椒-1 | 贵州省 | A70 | 城阳小辣椒 | 吉林省 |
| A7 | 尖椒 | 内蒙古自治区 | A39 | 跃进朝天椒-2 | 贵州省 | A71 | 五道河羊角椒 | 吉林省 |
| A8 | 猪大肠尖椒 | 内蒙古自治区 | A40 | 跃进团海椒 | 贵州省 | A72 | 和平辣椒 1 | 吉林省 |
| A9 | 红灯笼辣椒 | 内蒙古自治区 | A41 | 黄泥坡辣椒 | 贵州省 | A73 | 和平辣椒 2 | 吉林省 |
| A10 | 托县小红辣椒 | 内蒙古自治区 | A42 | 化布线椒 | 贵州省 | A74 | 刘家店辣椒 | 吉林省 |
| A11 | 茂子庄辣椒 | 山东省 | A43 | 黄泥线椒 | 贵州省 | A75 | 大得营子辣椒 | 吉林省 |
| A12 | 左翼河辣椒 | 贵州省 | A44 | 龙山鸡爪辣 | 贵州省 | A76 | 莲花山辣椒 1 | 吉林省 |
| A13 | 保保鸡辣椒 | 贵州省 | A45 | 平桃团辣椒 | 贵州省 | A77 | 莲花山辣椒 2 | 吉林省 |
| A14 | 保保鸡大辣椒 | 贵州省 | A46 | 龙坪辣椒 | 贵州省 | A78 | 莲花山辣椒 3 | 吉林省 |
| A15 | 发伸辣椒 | 贵州省 | A47 | 新寨苗辣 | 贵州省 | A79 | 察隅辣椒-43 | 西藏自治区 |
| A16 | 小河边辣椒 | 贵州省 | A48 | 寨霞辣椒 | 贵州省 | A80 | 辣椒 | 吉林省 |
| A17 | 水头上辣椒 | 贵州省 | A49 | 平江辣椒 | 贵州省 | A81 | 察隅辣椒-41 | 西藏自治区 |
| A18 | 新天地辣椒 | 贵州省 | A50 | 魁胆辣椒 | 贵州省 | A82 | 察隅辣椒-42 | 西藏自治区 |
| A19 | 龙溪辣椒 | 贵州省 | A51 | 木孔辣椒 | 贵州省 | A83 | 察隅辣椒-40 | 西藏自治区 |
| A20 | 屯上辣椒 | 贵州省 | A52 | 茶店辣椒 | 贵州省 | A84 | 察隅辣椒-48 | 西藏自治区 |
| A21 | 城头盖辣椒 | 贵州省 | A53 | 松坪线椒 | 贵州省 | A85 | 香水河辣椒 | 吉林省 |
| A22 | 齐心辣椒 | 贵州省 | A54 | 那乡线椒 | 贵州省 | A86 | 东升村辣椒 | 吉林省 |
| A23 | 先丰辣椒 | 贵州省 | A55 | 章阁羊角椒 | 贵州省 | A87 | 察隅辣椒-38 | 西藏自治区 |
| A24 | 合联辣椒 | 贵州省 | A56 | 大院子辣椒 | 贵州省 | A88 | 满兴村辣椒 | 吉林省 |
| A25 | 紫黄沟海椒 | 贵州省 | A57 | 棉花辣椒 | 贵州省 | A89 | 察隅辣椒-45 | 西藏自治区 |
| A26 | 石场辣椒 | 贵州省 | A58 | 抱塘辣椒 | 贵州省 | A90 | 察隅辣椒-37 | 西藏自治区 |
| A27 | 甘溪辣椒 | 贵州省 | A59 | 双龙圆辣椒 | 贵州省 | A91 | 察隅辣椒-46 | 西藏自治区 |
| A28 | 普兴辣椒 | 贵州省 | A60 | 阳光辣椒 | 贵州省 | A92 | 察隅辣椒-47 | 西藏自治区 |
| A29 | 泥塘辣椒 | 贵州省 | A61 | 柳塘朝天椒 | 贵州省 | A93 | 察隅辣椒-44 | 西藏自治区 |
| A30 | 皱皮辣 | 云南省 | A62 | 辣椒 | 吉林省 | A94 | 察隅辣椒-39 | 西藏自治区 |

| | | | | | |
|-----|----|-----|-----|-------|-----|
| A31 | 辣椒 | 云南省 | A63 | 龙泉村辣椒 | 吉林省 |
| A32 | 辣椒 | 云南省 | A64 | 那金村辣椒 | 吉林省 |

1.2 试验方法

1.2.1 适宜盐浓度筛选 将中椒6号、中椒7号、中椒409号的种子用 75% 乙醇消毒 3 min，再用蒸馏水冲洗 3次，滤纸吸干表面水分备用。随后向铺有两层发芽纸的 13 mm×13 mm 培养皿加入 10 mL 不同盐浓度（50 mmol/L、100 mmol/L、150 mmol/L、200 mmol/L、250 mmol/L）的溶液。将种子整齐均匀地排列在培养皿中，每皿放入50粒种子作为1个重复，以无菌水作为对照，每个处理设置3次重复。最后将培养皿放入湿度为40%的 28℃恒温培养箱（无光照）培养 14 d，每天观察发芽情况，每隔1 d 加入2 mL对应溶液以维持浓度。在第14天统计每个品种的发芽率，发芽率=（发芽种子数/供试种子数）×100%。

1.2.2 两种鉴定方法对比试验 两种方法为培养皿法和发芽袋法。中椒6号、中椒7号、中椒409号种子预处理方法同1.2.1。

培养皿法。向铺有两层发芽纸的13 mm×13 mm 培养皿中加入10 mL筛选出的适宜盐浓度的溶液，对照为无菌水，将预处理好的种子整齐铺在发芽纸上，每个处理3次重复，每次重复50粒种子。统计每个品种每个重复的播种用时。置于恒温培养箱培养14 d，方法同1.2.1。

发芽袋法。将预处理好的种子放入发芽袋（180 mm×125 mm）预留的发芽孔中，将发芽袋悬置于装有 1 L 筛选出的适宜盐浓度溶液的容器上方，使发芽袋通过虹吸作用吸水，对照为无菌水。统计每个品种每个重复的播种用时，培养条件同培养皿，每天观察发芽情况并每隔1 d更换溶液以维持浓度。

在第7天统计两种方法3个品种的相对发芽势，在第14天统计相对发芽率并计算每品种播种用时并核算材料成本（含培养皿/发芽袋、发芽纸等）。发芽势=（7 d 内所有萌发种子数/供试种子数）×100%；相对发芽势=（盐处理发芽势/对照发芽势）×100%；相对发芽率=（盐处理发芽率/对照发芽率）×100%。

1.2.3 辣椒种质资源耐盐性鉴定 基于两种方式的对比结果，选择培养皿作为鉴定方式，使用筛选出的盐浓度对94份种质进行胁迫处理，培养条件同1.2.2；以无菌水处理为对照，每个处理3次重复，每次重复50粒种子。统计第7、9、11、14天的发芽数，计算发芽指数和相对发芽指数。发芽指数=Σ（Gt/Dt），其中Gt 为相应每天的发芽数，Dt 为相应的发芽天数。相对发芽指数=（盐处理发芽指数/对照发芽指数）×100%。

1.3 数据分析

利用WPS Excel、SPSS 27进行数据的整理和分析；使用Graphpad prime软件制作图表。利用模糊数学隶属函数法分别计算相对发芽率、相对发芽指数和相对发芽势的隶属函数值，对不同辣椒种质资源进行耐盐性评价。公式^[10]如下。

$$X'_{ij} = (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$$

式中， X'_{ij} 表示i种类j指标的隶属函数值， X_{ij} 表示i种类j指标的测定值， X_{jmin} 、 X_{jmax} 分别表示指标的最小值和最大值。计算每份种质3项指标的平均隶属函数值，按平均值大小排序，平均值越高，耐盐性越强。

2 结果与分析

2.1 适宜盐浓度筛选

如表2所示，在0 mmol/L至250 mmol/L NaCl 浓度梯度处理下，3个品种的发芽率在50 mmol/L、100 mmol/L、150 mmol/L、200 mmol/L NaCl处理下均与对照组（0 mmol/L）无显著差异，但在250 mmol/L NaCl处理下均与对照组有显著差异。因此，在 250 mmol/L NaCl 处理下可判断3个品种的耐盐性强弱，可作为后续耐盐性筛选的适宜处理浓度。

表2 不同NaCl浓度处理下各品种的发芽率

Table 2 Germination rates of different varieties under treatment with varying NaCl concentrations

| 品种 Variety | NaCl 浓度 (mmol/L) NaCl concentration | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| 中椒6号 Zhongjiao No. 6 | 97.78a | 97.78a | 100.00a | 98.89a | 98.67a | 82.67b |
| 中椒409号 Zhongjiao No. 409 | 97.78a | 95.55a | 98.89a | 95.56a | 94.67a | 50.67b |
| 中椒7号 Zhongjiao No. 7 | 94.44a | 96.67a | 93.33a | 96.67a | 90.67a | 72.67b |

小写字母表示不同盐浓度间在 $P<0.05$ 时差异显著；下同

Lowercase letters indicate the significant differences between different salt concentrations at $P<0.05$ level; The same as below

2.2 两种鉴定方法对比

2.2.1 种子相对发芽率、相对发芽势比较 由表3可知，在 250 mmol/L NaCl 处理下，3个品种的相对发芽率与相对发芽势在两种鉴定方法间均无显著差异 ($P>0.05$)。所有品种在培养皿法下的相对发芽势均低于发芽袋法，可能因发芽袋供水更稳定，利于种子同步萌发；但整体来看，两种方法对品种耐盐性排序的影响一致，即中椒6号、中椒7号耐盐性优于中椒409号。

表 3 两种鉴定方法对种子相对发芽率与相对发芽势的影响

Table 3 Effects of two identification methods on the relative germination rate and relative germination potential of seeds

| 品种 Variety | 鉴定方法 Identification method | 相对发芽率 (%) RGR | 相对发芽势 (%) RGP |
|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| 中椒409号 | 培养皿 | 54.52a | 8.73a |
| Zhongjiao No. 409 | 发芽袋 | 56.67a | 21.93a |
| 中椒6号 | 培养皿 | 82.67a | 11.30a |
| Zhongjiao No. 6 | 发芽袋 | 71.30a | 58.68a |
| 中椒7号 | 培养皿 | 79.48a | 35.00a |
| Zhongjiao No. 7 | 发芽袋 | 80.11a | 54.12a |

RGR: Relative germination rate; RGP: Relative germination potential; The same as below

2.2.2 播种效率与材料成本对比 对两种鉴定方法的播种效率与材料成本进行比较，发现培养皿在播种速度和材料成本上优势显著。培养皿法播种1个品种的平均时间为15.38 min，仅为发芽袋法（40.13 min）的38.33%；培养皿法材料花费包括培养皿和发芽纸，二者合计14.04元/品种，仅为发芽袋（55.26元）的25.41%；综合鉴定结果的一致性、效率和成本，确定培养皿法为更优的辣椒芽期耐盐性鉴定方式，用于后续94份种质筛选。

2.3 辣椒种质的芽期耐盐性指标分析

2.3.1 相对发芽率 根据各种质对照组发芽率，94份辣椒种质被划分为3组进行耐盐性分析（表4），第一组种质的对照组发芽率不低于80%，第二组种质的对照组发芽率40%~80%，第三组种质的对照组发芽率低于

40%。第一组包括67份种质，其中A65、A9、A47、A29和A42共5份种质的相对发芽率均高于85%，表现出强耐盐性；与之相反，A72、A80、A4、A62、A81、A77、A30、A51、A63和A41的相对发芽率均低于10%，表现为弱耐盐性。第二组包含22份种质，其中A17、A44、A71、A89等11份种质的相对发芽率也低于10%，耐盐性弱。第三组包含5份种质，这些种质自身发芽活力低，其中A70在对照组中未发芽，因此仅有93份种质进行相对发芽率的分析。如图1A所示，在 NaCl 处理下，辣椒种子的发芽率呈极显著下降趋势，与对照组存在极显著差异 ($P < 0.0001$)，表明盐胁迫严重抑制了种子的萌发能力。A65（耐盐）、A30（敏盐）在对照组和盐处理组的发芽率见图2。

表 4 辣椒种质资源的对照组发芽率与盐胁迫下相对发芽率

Table 4 Germination rate under control condition and relative germination rate under salt stress for the pepper germplasm resources

| 对照组 | | | | 对照组 | | | | 对照组 | | | |
|------|----------|-------|-------|------|----------|-------|-------|------|----------|-------|-------|
| 编号 | 发芽率 | 分组 | 相对发芽率 | 编号 | 发芽率 | 分组 | 相对发芽率 | 编号 | 发芽率 | 分组 | 相对发芽率 |
| Code | (%) | Group | (%) | Code | (%) | Group | (%) | Code | (%) | Group | (%) |
| | GR of CK | | RGR | | GR of CK | | RGR | | GR of CK | | RGR |
| A65 | 99.33 | 1 | 95.64 | A94 | 94.67 | 1 | 40.85 | A51 | 96.00 | 1 | 0 |
| A9 | 98.67 | 1 | 92.57 | A90 | 90.67 | 1 | 40.81 | A63 | 94.67 | 1 | 0 |
| A47 | 90.67 | 1 | 90.44 | A88 | 100 | 1 | 40.00 | A41 | 80.00 | 1 | 0 |
| A29 | 93.33 | 1 | 90.00 | A27 | 90.00 | 1 | 34.81 | A25 | 74.67 | 2 | 80.36 |
| A42 | 92.00 | 1 | 87.68 | A87 | 81.33 | 1 | 31.97 | A91 | 70.00 | 2 | 67.14 |
| A14 | 87.33 | 1 | 83.21 | A21 | 85.33 | 1 | 29.69 | A57 | 73.33 | 2 | 62.73 |
| A37 | 92.67 | 1 | 82.73 | A64 | 97.33 | 1 | 28.77 | A26 | 60.00 | 2 | 52.22 |
| A6 | 94.00 | 1 | 82.27 | A35 | 100 | 1 | 28.00 | A24 | 58.00 | 2 | 51.72 |
| A86 | 94.00 | 1 | 79.79 | A73 | 97.33 | 1 | 27.40 | A59 | 62.00 | 2 | 51.61 |
| A60 | 84.67 | 1 | 79.13 | A28 | 92.67 | 1 | 27.34 | A3 | 66.67 | 2 | 48.00 |
| A55 | 95.33 | 1 | 78.67 | A36 | 92.00 | 1 | 25.36 | A58 | 58.67 | 2 | 46.02 |
| A43 | 87.33 | 1 | 78.63 | A92 | 84.00 | 1 | 25.00 | A40 | 69.33 | 2 | 45.19 |
| A85 | 90.67 | 1 | 78.31 | A76 | 98.00 | 1 | 23.13 | A22 | 54.00 | 2 | 18.52 |
| A13 | 98.00 | 1 | 77.55 | A83 | 96.67 | 1 | 21.72 | A10 | 76.00 | 2 | 11.40 |
| A53 | 96.00 | 1 | 71.88 | A69 | 98.00 | 1 | 21.43 | A17 | 47.33 | 2 | 8.45 |
| A19 | 93.33 | 1 | 68.57 | A82 | 83.33 | 1 | 19.20 | A44 | 50.67 | 2 | 7.89 |
| A56 | 81.33 | 1 | 66.39 | A31 | 94.67 | 1 | 17.61 | A71 | 46.00 | 2 | 7.25 |
| A20 | 86.00 | 1 | 63.57 | A11 | 80.67 | 1 | 16.53 | A89 | 77.33 | 2 | 3.45 |
| A5 | 89.33 | 1 | 61.94 | A68 | 97.33 | 1 | 15.41 | A74 | 60.00 | 2 | 3.33 |
| A84 | 94.00 | 1 | 61.70 | A75 | 95.33 | 1 | 14.69 | A48 | 41.33 | 2 | 3.23 |
| A39 | 96.67 | 1 | 60.69 | A54 | 96.00 | 1 | 14.58 | A45 | 78.67 | 2 | 2.54 |
| A50 | 90.67 | 1 | 59.56 | A16 | 97.33 | 1 | 14.38 | A32 | 70.00 | 2 | 1.90 |
| A15 | 88.67 | 1 | 57.89 | A93 | 91.33 | 1 | 14.23 | A78 | 48.00 | 2 | 1.39 |
| A38 | 91.33 | 1 | 55.47 | A12 | 92.67 | 1 | 12.95 | A2 | 62.67 | 2 | 0 |
| A66 | 99.33 | 1 | 53.36 | A79 | 93.33 | 1 | 11.79 | A1 | 46.00 | 2 | 0 |
| A52 | 82.67 | 1 | 52.42 | A72 | 99.33 | 1 | 8.05 | A18 | 6.67 | 3 | 60.00 |
| A61 | 81.33 | 1 | 51.64 | A80 | 100 | 1 | 8.00 | A46 | 29.33 | 3 | 44.32 |
| A67 | 92.67 | 1 | 48.56 | A4 | 92.00 | 1 | 6.52 | A33 | 12.00 | 3 | 22.22 |
| A23 | 86.67 | 1 | 48.46 | A62 | 98.00 | 1 | 5.10 | A34 | 37.33 | 3 | 21.43 |
| A7 | 92.67 | 1 | 48.20 | A81 | 97.33 | 1 | 3.08 | A70 | 0 | 3 | - |
| A49 | 83.33 | 1 | 44.40 | A77 | 98.67 | 1 | 1.35 | | | | |
| A8 | 90.67 | 1 | 41.91 | A30 | 98.00 | 1 | 0 | | | | |

编号同表1；-：无数据；下同

The codes are the same as those in table 1; -: No data; GR: Germination rate; The same as below

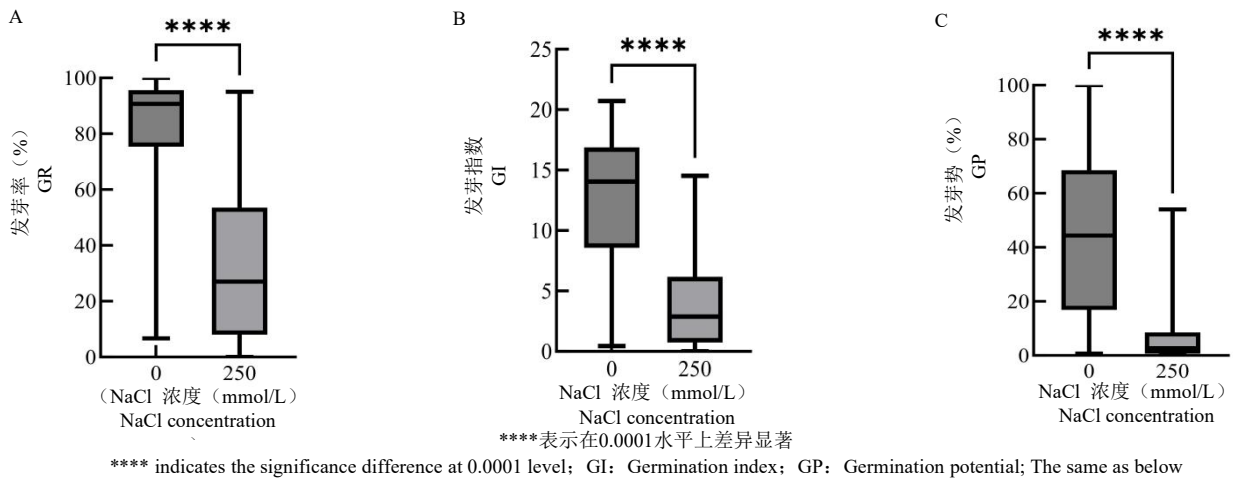
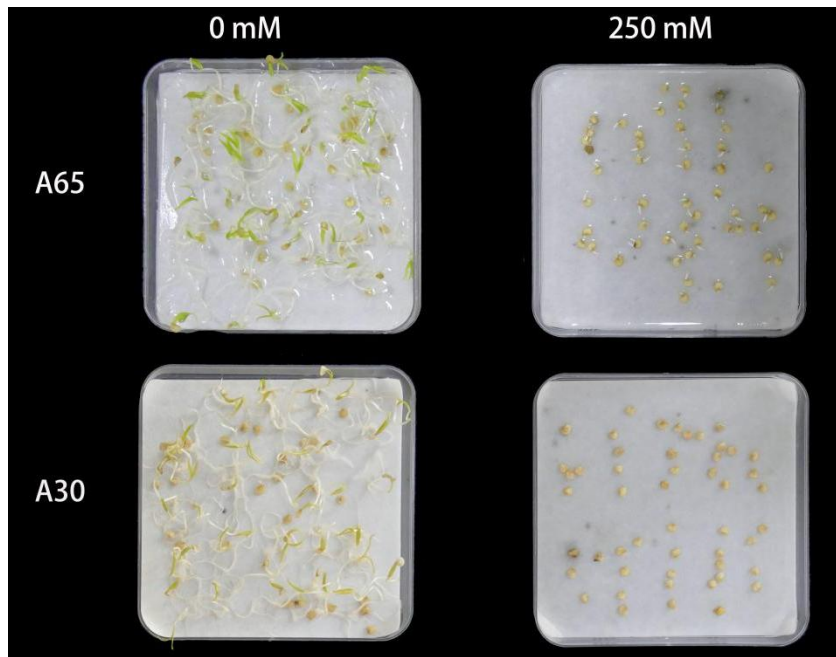


图 1 辣椒种质资源在NaCl处理下萌发期各参数指标

Fig. 1 Germination parameters of pepper germplasm resources under NaCl treatment



A65: 耐盐种质; A30: 敏盐种质

A65: Salt-tolerant germplasm; A30: Salt-sensitive germplasm

图 2 A65、A30两个品种在对照组和盐处理组的发芽率鉴定

Fig. 2 Germination rate identification of A65 and A30 varieties in the control group and salt treatment group

2.3.2 相对发芽指数 由表5可知, 250 mmol/L NaCl 处理下, 在第一组种质(对照组发芽率不低于80%)中, A47的种子相对发芽指数最高, 为81.79%, A37、A9、A29、A65、A13的种子相对发芽指数次之, 均在70.00%以上, 上述6份种质资源的种子活力高, 发芽速度快, 耐盐性强; A11、A72、A93、A79、A80等13份辣椒种质资源的种子相对发芽指数均在10.00%以下, 表明这些种质资源在盐处理下种子活力低, 发芽速度慢, 耐盐性弱。在第二组种质(对照组发芽率在40%~80%)中, A10、A17、A71、A44等12份种质资源的种子相对发芽指数均低于10.00%, 耐盐性弱。在第三组(对照组发芽率低于40%)中, A70的对照组未发芽, 因此仅有93份种质进行相对发芽指数的分析。如图1B所示, 在NaCl处理下发芽指数同样呈为极显著下降趋势,

与对照组存在极显著差异 ($P < 0.0001$)，这说明盐胁迫不仅减少了最终萌发数量，还明显延缓了萌发进程，影响了种子萌发的速度和整齐度，反映了盐分对种子活力与萌发同步性的抑制作用。

表 5 辣椒种质资源的对照组发芽指数与盐胁迫下相对发芽指数

Table 5 Germination index under control condition and relative germination index under salt stress for the pepper germplasm resources

| 编号 Code | 对照组 发芽指数 GI of CK | 分组 Group | 相对发 芽指数 (%) RGI | 编号 Code | 对照组 发芽指数 GI of CK | 分组 Group | 相对发 芽指数 (%) RGI | 编号 Code | 对照组 发芽指数 GI of CK | 分组 Group | 相对发 芽指数 (%) RGI |
|------------|-------------------------|-------------|--------------------------|------------|-------------------------|-------------|--------------------------|------------|-------------------------|-------------|--------------------------|
| A47 | 17.76 | 1 | 81.79 | A21 | 9.93 | 1 | 29.46 | A63 | 17.92 | 1 | 0 |
| A37 | 13.33 | 1 | 78.63 | A54 | 15.68 | 1 | 28.52 | A51 | 17.56 | 1 | 0 |
| A9 | 19.09 | 1 | 75.29 | A67 | 14.82 | 1 | 24.77 | A41 | 10.50 | 1 | 0 |
| A29 | 16.46 | 1 | 71.93 | A28 | 14.06 | 1 | 24.43 | A25 | 10.17 | 2 | 67.68 |
| A65 | 20.23 | 1 | 70.21 | A35 | 20.71 | 1 | 23.36 | A40 | 6.65 | 2 | 46.75 |
| A13 | 18.10 | 1 | 70.19 | A73 | 18.67 | 1 | 21.17 | A59 | 6.84 | 2 | 46.49 |
| A43 | 14.28 | 1 | 66.76 | A90 | 14.49 | 1 | 21.03 | A24 | 6.63 | 2 | 43.93 |
| A14 | 14.52 | 1 | 62.67 | A82 | 12.27 | 1 | 20.75 | A26 | 6.69 | 2 | 41.51 |
| A86 | 19.27 | 1 | 61.34 | A88 | 19.98 | 1 | 20.67 | A91 | 9.38 | 2 | 41.01 |
| A42 | 15.99 | 1 | 60.47 | A8 | 14.71 | 1 | 17.67 | A58 | 5.35 | 2 | 40.12 |
| A6 | 13.95 | 1 | 55.15 | A68 | 16.00 | 1 | 15.59 | A3 | 8.30 | 2 | 39.76 |
| A56 | 9.58 | 1 | 54.85 | A87 | 13.02 | 1 | 15.23 | A57 | 8.77 | 2 | 38.90 |
| A60 | 13.68 | 1 | 51.97 | A76 | 16.02 | 1 | 15.06 | A22 | 6.21 | 2 | 15.90 |
| A61 | 10.21 | 1 | 47.91 | A64 | 16.61 | 1 | 13.86 | A10 | 8.38 | 2 | 7.83 |
| A23 | 12.95 | 1 | 47.76 | A36 | 15.14 | 1 | 13.22 | A17 | 6.78 | 2 | 7.71 |
| A84 | 15.00 | 1 | 46.67 | A16 | 18.92 | 1 | 12.69 | A71 | 5.68 | 2 | 5.53 |
| A19 | 14.73 | 1 | 46.11 | A92 | 9.45 | 1 | 12.25 | A44 | 7.30 | 2 | 4.77 |
| A55 | 17.84 | 1 | 43.78 | A83 | 17.94 | 1 | 11.78 | A48 | 2.96 | 2 | 4.46 |
| A20 | 16.29 | 1 | 43.65 | A12 | 15.78 | 1 | 10.86 | A74 | 6.52 | 2 | 3.06 |
| A85 | 16.93 | 1 | 43.40 | A69 | 16.23 | 1 | 10.79 | A89 | 10.24 | 2 | 2.71 |
| A5 | 15.31 | 1 | 42.13 | A31 | 18.52 | 1 | 10.67 | A32 | 8.02 | 2 | 2.03 |
| A50 | 16.84 | 1 | 41.51 | A75 | 16.99 | 1 | 10.24 | A45 | 10.04 | 2 | 1.62 |
| A53 | 17.46 | 1 | 40.89 | A11 | 7.47 | 1 | 8.80 | A78 | 3.52 | 2 | 1.54 |
| A39 | 16.38 | 1 | 37.66 | A72 | 20.29 | 1 | 6.98 | A2 | 3.17 | 2 | 0 |
| A52 | 11.44 | 1 | 37.44 | A93 | 12.68 | 1 | 6.40 | A1 | 3.09 | 2 | 0 |
| A7 | 8.04 | 1 | 36.02 | A79 | 15.25 | 1 | 5.74 | A18 | 0.46 | 3 | 46.00 |
| A49 | 10.95 | 1 | 35.11 | A80 | 18.97 | 1 | 4.38 | A46 | 3.24 | 3 | 37.93 |
| A15 | 14.40 | 1 | 34.94 | A81 | 17.08 | 1 | 4.08 | A34 | 3.60 | 3 | 21.67 |
| A66 | 19.51 | 1 | 32.34 | A4 | 8.93 | 1 | 3.76 | A33 | 2.14 | 3 | 10.74 |
| A27 | 13.15 | 1 | 31.82 | A62 | 20.28 | 1 | 3.06 | A70 | 0 | 3 | - |
| A38 | 13.13 | 1 | 29.66 | A77 | 9.64 | 1 | 0.81 | | | | |
| A94 | 16.26 | 1 | 29.59 | A30 | 19.15 | 1 | 0 | | | | |

2.3.3 相对发芽势 由表6可知，250 mmol/L NaCl 处理下，在第一组种质（对照组发芽率不低于80%）中，A37和A47的种子相对发芽势较高，分别为76.47%和68.64%，耐盐性强；有13份种质资源在盐处理下并未发芽，耐盐性弱。在第二组种质（对照组发芽率在40%~80%）和第三组（对照组发芽率低于40%）中，共6份种质资源的种子在对照组并未发芽，无法判断其耐盐性。如图1C所示，在NaCl处理下，发芽势同样呈极显著下降趋势，与对照组存在极显著差异 ($P < 0.0001$)。该结果证实了与前两项发芽指标的分析结论，共同支撑了辣椒芽期耐盐性存在丰富遗传多样性的论断。

表 6 辣椒种质资源的对照组发芽势与盐胁迫下相对发芽势

Table 6 Germination potential under control condition and relative germination potential under salt stress for the pepper germplasm resources

| 对照组 | | | | 对照组 | | | | 对照组 | | | |
|------|----------|-------|-------|------|----------|-------|-------|------|----------|-------|-------|
| 编号 | 发芽势 | 分组 | 相对发芽势 | 编号 | 发芽势 | 分组 | 相对发芽势 | 编号 | 发芽势 | 分组 | 相对发芽势 |
| Code | (%) | Group | (%) | Code | (%) | Group | (%) | Code | (%) | Group | (%) |
| | GP of CK | | RGP | | GP of CK | | RGP | | GP of CK | | RGP |
| A37 | 34.00 | 1 | 76.47 | A67 | 44.00 | 1 | 10.61 | A4 | 5.33 | 1 | 0 |
| A47 | 78.67 | 1 | 68.64 | A76 | 52.00 | 1 | 10.26 | A11 | 2.00 | 1 | 0 |
| A9 | 84.00 | 1 | 53.17 | A54 | 47.33 | 1 | 9.86 | A77 | 0.67 | 1 | 0 |
| A29 | 56.67 | 1 | 50.59 | A15 | 45.33 | 1 | 8.82 | A40 | 4.67 | 2 | 57.14 |
| A56 | 14.00 | 1 | 47.62 | A12 | 49.33 | 1 | 8.11 | A25 | 27.33 | 2 | 34.15 |
| A61 | 17.33 | 1 | 46.15 | A55 | 75.33 | 1 | 7.96 | A58 | 5.33 | 2 | 25.00 |
| A13 | 89.00 | 1 | 46.07 | A82 | 35.33 | 1 | 7.55 | A24 | 11.33 | 2 | 23.53 |
| A23 | 40.00 | 1 | 42.50 | A52 | 28.67 | 1 | 6.98 | A26 | 12.67 | 2 | 15.79 |
| A21 | 12.67 | 1 | 42.11 | A75 | 68.00 | 1 | 6.86 | A91 | 21.33 | 2 | 12.50 |
| A65 | 92.67 | 1 | 42.09 | A19 | 48.67 | 1 | 6.85 | A3 | 16.67 | 2 | 12.00 |
| A43 | 50.67 | 1 | 40.79 | A64 | 58.67 | 1 | 6.82 | A59 | 11.33 | 2 | 11.76 |
| A86 | 91.33 | 1 | 39.42 | A38 | 34.00 | 1 | 3.92 | A57 | 18.00 | 2 | 7.41 |
| A27 | 24.67 | 1 | 35.14 | A69 | 56.67 | 1 | 3.53 | A32 | 9.33 | 2 | 7.14 |
| A14 | 51.33 | 1 | 33.77 | A88 | 89.33 | 1 | 2.99 | A44 | 19.33 | 2 | 3.45 |
| A42 | 55.33 | 1 | 32.53 | A90 | 47.33 | 1 | 2.82 | A89 | 30.00 | 2 | 2.22 |
| A49 | 24.67 | 1 | 24.32 | A72 | 95.33 | 1 | 2.10 | A45 | 19.33 | 2 | 0 |
| A50 | 63.33 | 1 | 23.68 | A62 | 97.33 | 1 | 2.05 | A17 | 16.67 | 2 | 0 |
| A28 | 30.67 | 1 | 21.74 | A81 | 72.00 | 1 | 1.85 | A71 | 12.67 | 2 | 0 |
| A84 | 38.67 | 1 | 18.97 | A87 | 37.33 | 1 | 1.79 | A74 | 12.00 | 2 | 0 |
| A60 | 44.67 | 1 | 17.91 | A80 | 76.67 | 1 | 1.74 | A10 | 11.33 | 2 | 0 |
| A20 | 68.67 | 1 | 17.48 | A79 | 50.00 | 1 | 1.33 | A22 | 7.33 | 2 | 0 |
| A73 | 81.33 | 1 | 17.21 | A31 | 80.00 | 1 | 0.83 | A48 | 1.33 | 2 | 0 |
| A94 | 58.00 | 1 | 14.94 | A30 | 82.00 | 1 | 0 | A78 | 0 | 2 | |
| A35 | 100.00 | 1 | 14.67 | A51 | 72.67 | 1 | 0 | A2 | 0 | 2 | |
| A39 | 55.33 | 1 | 14.46 | A63 | 71.33 | 1 | 0 | A1 | 0 | 2 | - |
| A6 | 32.67 | 1 | 14.29 | A83 | 70.67 | 1 | 0 | A46 | 4.67 | 3 | 42.86 |
| A85 | 66.67 | 1 | 14.00 | A36 | 44.67 | 1 | 0 | A33 | 6.67 | 3 | 0 |
| A68 | 51.33 | 1 | 13.64 | A8 | 42.00 | 1 | 0 | A18 | 0 | 3 | - |
| A66 | 83.33 | 1 | 12.80 | A93 | 35.00 | 1 | 0 | A34 | 0 | 3 | - |
| A53 | 84.00 | 1 | 11.90 | A41 | 23.00 | 1 | 0 | A70 | 0 | 3 | - |
| A5 | 57.33 | 1 | 11.63 | A92 | 16.67 | 1 | 0 | | | | |
| A16 | 80.00 | 1 | 11.25 | A7 | 6.00 | 1 | 0 | | | | |

2.4 耐盐性综合评价

参考GB16715.3—2010《瓜菜作物种子 第3部分:茄果类》^[14]中辣椒种子质量最低发芽率不低于80%的标准,只有67份辣椒种质资源的对照组发芽率达到了80%以上(表4),因此基于相对发芽率、相对发芽指数和相对发芽势3项指标的平均隶属函数值对上述67份种质资源进行耐盐性综合评价。67份种质平均隶属函数在0~0.9478之间(表7),耐盐性差异显著,其中A47(0.9478)、A37(0.9421)、A9(0.8612)、A29(0.8273)、A65(0.8029)平均隶属函数值>0.80,为芽期强耐盐种质;A30、A41、A51、A63共4份种质平均隶属函数值为0,为极弱耐盐种质。综合评价结果与单一指标(如相对发芽率)保持高度一致性,但更

全面反映种质耐盐性，如A37相对发芽率（82.73%）低于A65（95.64%），但因相对发芽势（76.47%）高于A65（42.09%），平均隶属函数值（0.9421）高于A65（0.8029），更准确体现其耐盐评价优势。

表 7 辣椒种质资源种子发芽指标的隶属函数值

Table 7 Membership function values of seed germination indicators for the pepper germplasm resources

| 编号 Code | 平均隶属函数 Average membership function | 排名 Ranking | 编号 Code | 平均隶属函数 Average membership function | 排名 Ranking |
|------------|---------------------------------------|---------------|------------|---------------------------------------|---------------|
| A47 | 0.9478 | 1 | A28 | 0.2896 | 35 |
| A37 | 0.9421 | 2 | A73 | 0.2568 | 36 |
| A9 | 0.8612 | 3 | A35 | 0.2567 | 37 |
| A29 | 0.8273 | 4 | A90 | 0.2402 | 38 |
| A65 | 0.8029 | 5 | A88 | 0.2367 | 39 |
| A13 | 0.7572 | 6 | A8 | 0.2181 | 40 |
| A43 | 0.7239 | 7 | A54 | 0.2100 | 41 |
| A86 | 0.6999 | 8 | A76 | 0.1867 | 42 |
| A42 | 0.6938 | 9 | A64 | 0.1865 | 43 |
| A14 | 0.6926 | 10 | A82 | 0.1844 | 44 |
| A56 | 0.6625 | 11 | A87 | 0.1813 | 45 |
| A61 | 0.5764 | 12 | A68 | 0.1767 | 46 |
| A6 | 0.5738 | 13 | A16 | 0.1509 | 47 |
| A60 | 0.5657 | 14 | A36 | 0.1423 | 48 |
| A23 | 0.5488 | 15 | A92 | 0.1370 | 49 |
| A85 | 0.5108 | 16 | A69 | 0.1340 | 50 |
| A84 | 0.4879 | 17 | A12 | 0.1248 | 51 |
| A55 | 0.4873 | 18 | A83 | 0.1237 | 52 |
| A50 | 0.4800 | 19 | A75 | 0.1228 | 53 |
| A20 | 0.4756 | 20 | A31 | 0.1085 | 54 |
| A53 | 0.4691 | 21 | A11 | 0.0935 | 55 |
| A19 | 0.4568 | 22 | A93 | 0.0757 | 56 |
| A5 | 0.4383 | 23 | A79 | 0.0703 | 57 |
| A39 | 0.4280 | 24 | A72 | 0.0657 | 58 |
| A21 | 0.4071 | 25 | A80 | 0.0533 | 59 |
| A27 | 0.4042 | 26 | A62 | 0.0392 | 60 |
| A49 | 0.4039 | 27 | A4 | 0.0380 | 61 |
| A15 | 0.3826 | 28 | A81 | 0.0354 | 62 |
| A66 | 0.3736 | 29 | A77 | 0.0080 | 63 |
| A52 | 0.3657 | 30 | A30 | 0 | 64 |
| A38 | 0.3313 | 31 | A41 | 0 | 64 |
| A94 | 0.3281 | 32 | A51 | 0 | 64 |
| A67 | 0.3164 | 33 | A63 | 0 | 64 |
| A7 | 0.3148 | 34 | | | |

2.5 耐盐指标相关性分析

由表8可知，3项耐盐指标存在显著相关性，相对发芽率与相对发芽指数表现出极显著正相关（ $R=0.949$ ， $P<0.01$ ），同时与相对发芽势也呈现极显著正相关（ $R=0.682$ ， $P<0.01$ ），表明发芽率高的种质，萌发速度与整齐度更优。相对发芽指数与相对发芽势之间具有较强的正相关（ $R=0.845$ ， $P<0.01$ ），进一步验证指标

间的协同性。上述结果表明，相对发芽率可作为辣椒芽期耐盐性的快速评价指标，而综合3项指标的隶属函数法可更精准反映种质耐盐性。

表 8 三项耐盐指标的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of the three salt tolerance indicators

| 耐盐性指标 Salt tolerance index | 相对发芽率 RGR | 相对发芽指数 RGI | 相对发芽势 RGP |
|-------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| 相对发芽率 RGR | 1 | | |
| 相对发芽指数 RGI | 0.949** | 1 | |
| 相对发芽势 RGP | 0.682** | 0.845** | 1 |

**表示在0.01水平上相关极显著

** indicate significant correlaion at the 0.01

3 讨论

土壤盐渍化对辣椒生产的危害日益严重，筛选耐盐种质、建立标准化鉴定方法是耐盐育种的基础。本研究首次系统对比培养皿和发芽袋两种方法在辣椒芽期耐盐性鉴定中的效果。发现培养皿法在保障结果的同时，兼具播种效率高（耗时减少61.67%）、材料成本低（成本降低74.59%）的优势，尤其适合大批量种质的快速筛选。这一结果为辣椒芽期耐盐性鉴定提供了标准化技术参考，解决了现有研究中鉴定装置不统一导致的效率差异问题。但发芽袋在种子根长测量中更便捷（根系生长空间规则、易拉直测量），因此若研究需结合根系形态指标（如根长、根鲜重），可考虑发芽袋法；而仅需通过发芽指标筛选耐盐种质时，培养皿法为最优选择。

种子萌发期是植物对盐胁迫最敏感的阶段，发芽指标可直观反映种质耐盐性，在多种作物中证实为有效的耐盐评价指标^[15-17]。辣椒种质资源在芽期耐盐性上存在丰富的遗传变异，为耐盐育种提供了充足的基因资源。本研究通过分析两种鉴定方法结果的一致性、效率和成本，确定以培养皿法对94份来源广泛的辣椒种质资源通过数学隶属函数法进行综合评价，成功筛选出新寨苗辣（A47）、青山小海椒（A37）、红灯笼辣椒（A9）、泥塘辣椒（A29）、三富村辣椒（A65）共5份芽期强耐盐种质，其相对发芽率均大于80.00%，且萌发速度快、整齐度高，可作为辣椒耐盐育种的核心亲本。这一结果与张涛等^[5]、成宜德等^[18]的研究相符，进一步证实芽期鉴定在耐盐种质挖掘中的有效性。同时本研究筛选出的核心种质与周帅等^[12]、闫千千^[13]所鉴定的耐盐材料有所不同，进一步丰富了辣椒耐盐基因资源的多样性。此外，本研究采用的隶属函数法能够综合多项指标，有效避免了单一指标评价的片面性，这与张明亚等^[19]、张毅等^[20]、张瑀茜等^[21]、马学才等^[22]在耐盐性综合评价中的研究结论一致，再次证明了该方法在作物耐盐性综合评价中的科学性与普适性。

相关性分析表明，相对发芽率与相对发芽指数、相对发芽势均呈极显著正相关，这意味着在需要进行大量种质资源初筛时，可以优先选择相对发芽率这一简便指标以提高效率。然而，对于核心种质或候选品种的精准评价，则应采用综合多项指标的隶属函数法，以便更全面地反映其耐盐性，如本研究中三富村辣椒（A65）相对发芽率最高（95.64%），但因相对发芽势较低（42.09%），其平均隶属函数值（0.8029）低于新寨苗辣（A47，0.9478），更准确体现了其萌发整齐度的劣势。

作物的耐盐性是在不同生长发育阶段由多种生理机制共同调控的复杂性状。芽期耐盐性虽能有效进行早期快速筛选，但是苗期作为作物生长发育的关键阶段，其耐盐性与芽期耐盐性存在差异^[23-25]。未来研究可结合芽期与苗期耐盐性鉴定，构建“芽期初筛-苗期复筛-田间验证”的三级筛选体系，进一步提升耐盐种质筛选的准确性；同时，针对本研究挖掘出的A47、A37等强耐盐种质，利用转录组学、代谢组学等现代生物技术手段深入解析其耐盐分子机制，将有助于克隆关键耐盐基因，为辣椒的分子标记辅助选择育种与基因工程育种提供宝贵的遗传资源与理论依据。

参考文献

- [1] 杨永青,郭岩. 调控作物耐碱性关键基因及其机制解析. 植物学报,2023,58(2):189-193
Yang Y Q, Guo Y. Unveiling of a key gene and mechanism regulating alkaline tolerance in crops. Chinese Bulletin of Botany 2023,58(2):189-193
- [2] 龚成胜,郑雨晴,潘宝贵,郭广君,刁卫平. 辣椒*CaNAC36*的耐盐性分析. 西北植物学报,2024,44(4):593-601
Gong C S, Zheng Y Q, Pan B G, Guo G J, Diao W P. Analysis of salt tolerance of *CaNAC36* pepper. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024,44(4):593-601
- [3] 张建鹏. 盐胁迫下不同辣椒品种的耐盐性差异及生理生化指标响应. 江苏农业科学,2023,51(16):127-133
Zhang J P. Differences in salt tolerance and physiological and biochemical index responses of different pepper varieties under salt stress. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023,51(16):127-133
- [4] 邹学校,朱凡. 辣椒的起源、进化与栽培历史. 园艺学报,2022,49(6):1371-1381
Zou X X, Zhu F. The origin, evolution and cultivation history of chili peppers. Acta Horticulturae Sinica, 2022,49(6):1371-1381
- [5] 张涛,刘勇鹏,韩娅楠,常晓轲,姚秋菊. 100份辣椒种质资源的耐盐综合评价及耐盐品种筛选. 山东农业科学,2020,52(5):7-15
Zhang T, Liu Y P, Han Y N, Chang X K, Yao Q J. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening of salt-tolerant varieties of 100 chili germplasm resources. Shandong Agricultural Sciences, 2020,52(5):7-15
- [6] 苏文悦,李鑫,褚雄燕,包才,何昱霞,黄泽军,国艳梅,王孝宣,杜永臣,刘磊,李君明. 醋栗番茄核心种质芽期耐盐性评价. 中国蔬菜,2023(2):34-39
Su W Y, Li X, Chu X Y, Bao C, He M X, Huang Z J, Guo Y M, Wang X X, Du Y C, Liu L, Li J M. Evaluation of salt tolerance at bud stage of core germplasm of currant tomato. China Vegetables, 2023(2):34-39
- [7] 李诗晴,王素华,张耀文,王丽侠. 769份绿豆种质资源萌发期耐盐性鉴定. 植物遗传资源学报,2025,26(4):672-682
Li S Q, Wang S H, Zhang Y W, Wang L X. Identification of salt tolerance during germination of 769 mung bean germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2025,26(4):672-682
- [8] 秦慧彬,任颀,娄坤,商春悦,阳世杰,侯森,李萌,王海岗,穆志新. 山西谷子萌发期耐盐性鉴定及相关性状GWAS分析. 植物遗传资源学报,2025,26(1):108-119
Qin H B, Ren J, Lou K, Shang C Y, Yang S J, Hou S, Li M, Wang H G, Mu Z X. Identification of salt tolerance during germination of millet in Shanxi province and GWAS analysis of related traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2025,26(1):108-119
- [9] 焦茹玉,朱霖霖,谢其均,谭文清,曲亮,刘新红,邓力超,刘丽莉,严明理. 186份甘蓝型油菜种子萌发期耐盐性鉴定. 植物遗传资源学报,2024,25(12):2081-2093
Jiao R Y, Zhu Y L, Xie Q J, Tan W Q, Qu L, Liu X H, Deng L C, Liu L L, Yan M L. Identification of salt tolerance during germination of 186 *Brassica napus* seeds. Journal of Plant Genetic Resources, 2024,25(12):2081-2093
- [10] 李玉骁,汪磊,汪魏,李军,郭雪瑞,朱梓榕,王玲,吴佳俊,谭美莲. 向日葵种质资源的耐盐性评价. 植物遗传资源学报,2024,25(9):1480-1492
Li Y X, Wang L, Wang W, Li J, Wu X R, Zhu Z R, Wang L, Wu J J, Tan M L. Evaluation of salt tolerance of sunflower germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2024,25(9):1480-1492
- [11] 周静. NaCl胁迫对辣椒种子、幼苗生长发育和叶绿素荧光特性的影响. 合肥:安徽农业大学, 2014
Zhou J. Effects of NaCl stress on the growth and the chlorophyll fluorescence characteristic among pepper seeds and seedlings. Hefei: Anhui Agricultural University, 2014
- [12] 周帅,刁卫平,潘宝贵,郭广君,戈伟,刘金兵,王述彬. 辣椒不同栽培种资源种子萌发期耐盐性差异及评价. 江西农业学报,2020,32(11):16-24
Zhou S, Diao W P, Pan B G, Guo G J, Ge W, Liu J B, Wang S B. Differences and evaluation of salt tolerance during seed germination of different cultivated species of chili peppers. Jiangxi Journal of Agricultural Sciences, 2020,32(11):16-24
- [13] 闫千千. 辣椒种质资源材料的耐盐性评价和基于转录组测序的耐盐基因挖掘. 成都:四川农业大学, 2024
Yan Q Q. Evaluation of salt tolerance of chili germplasm resources materials and mining of salt tolerance genes based on transcriptome sequencing. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2024

- [14] 林展,郑晓鹰,李洪建,谢建平,傅友兰,孙淑珍,黄祖纹,严见方,马连平. GB16715.3—2010 瓜菜作物种子 第3部分:茄果类. 北京:中国国家标准化管理委员会, 2011
- Lin Z, Zheng X Y, Li H J, Xie J P, Fu Y L, Sun S Z, Huang Z W, Yan J F, Ma L P. GB16715.3—2010 Seed of gourd and vegetable crops—Part3: Solanaceous fruits. Beijing: National Standardization Administration, 2011
- [15] 王露欢,张晓吉,刘齐妹,张晓宇,张鑫,薛云云,张蕙琪,田跃霞,李娜,王鹏冬,白冬梅.花生品种萌芽期耐盐性综合评价及qtl定位.植物遗传资源学报,2025,26(9):1796-1808
- Wang L H, Zhang X J, Liu Q M, Zhang X Y, Zhang X, Xue Y Y, Zhang H Q, Tian Y X, Li N, Wang P D, Bai D M. Comprehensive evaluation of salt tolerance and QTL localization of peanut varieties at the germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2025, 26 (9): 1796-1808
- [16] 洪茵恬.线辣椒耐盐性及其对盐胁迫的生理生化响应.杨凌:西北农林科技大学,2019
- Hong Y T. Salt tolerance of line pepper and its physiological and biochemical responses to salt stress. Yangling:Northwest A&F University, 2019
- [17] 王广印,周秀梅,张建伟,沈军.不同黄瓜品种种子萌发期的耐盐性研究.植物遗传资源学报,2004,5(3):299-303
- Wang G Y, Zhou X M, Zhang J W, Shen J. Study on salt tolerance of different cucumber varieties during seed germination. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2004, 5 (3): 299-303
- [18] 成宜德,刘辰,刘贤娟,徐文玲,车亚莉,王淑芬.萝卜萌芽期耐盐性鉴定与评价.山东农业科学,2025,57(1):30-39
- Cheng Y D, Liu C, Liu X X, Xu W L, Che Y L, Wang S F. Identification and evaluation of salt tolerance during the germination stage of radish. *Shandong Agricultural Sciences*, 2025,57(1):30-39
- [19] 张明亚,庞胜群,刘玉东,吉雪花,杨岚,胡继红.加工番茄种子萌芽期耐盐性综合评价.中国瓜菜,2023,36(10):84-90
- Zhang M Y, Pang S Q, Liu Y D, Ji X H, Yang L, Hu J H. Comprehensive evaluation of salt tolerance of processed tomato seeds during germination. *Chinese Journal of Melons and Vegetables*, 2023,36(10):84-90
- [20] 张毅,侯维海,冯西博,韩玉娥,马跃峰,贡民政,王建林.有色大麦种质芽期耐盐性鉴定.植物遗传资源学报,2019,20(3):564-573
- Zhang Y, Hou W H, Feng X B, Han Y E, Ma Y F, Yun M Z, Wang J L. Identification of salt tolerance at bud stage of colored barley germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019,20(3):564-573
- [21] 张瑀茜,高山,张锐,解科星,王杰.盐胁迫对不同油菜种子萌发的影响.种子,2021,40(1):94-98
- Zhang Y X, Gao S, Zhang R, Xie K X, Wang J. The influence of salt stress on the germination of different rapeseed seeds. *Seed*, 2021,40(1):94-98
- [22] 马学才,孙丽霞,方彦,曾瑞,朱明川,刘丽君,马骊,武军艳,李爱国.NaCl胁迫对白菜型冬油菜种子萌发的影响.甘肃农业科技,2020(11):30-36
- Ma X C, Sun L X, Fang Y, Zeng R, Zhu M C, Liu L J, Ma L, Wu J Y, Li A G. The effect of NaCl stress on seed germination of winter rapeseed of Chinese cabbage type. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2020(11):30-36
- [23] 林峰,赵慧艳,史飞飞,高鹏,刘晨煦,岳阳,金昕,张意德,李永光,韩英鹏,赵雪,滕卫丽.大豆种质资源苗期耐盐鉴定及遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2024,25(6):945-956
- Lin F, Zhao H Y, Shi F F, Gao P, Liu C X, Yue Y, Jin X, Zhang Y D, Li Y G, Han Y P, Zhao X, Teng W L. Identification of salt tolerance at seedling stage and genetic diversity analysis of soybean germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024,25(6):945-956
- [24] 沈兰兴,张小村,孔凡美,吕紫佳,漆奕辉,孟婷婷,占楠彪.耐盐黄瓜品种鉴定及萌芽期盐胁迫对黄瓜苗期耐盐性的影响.肥料与健康,2024,51(4):33-40,70
- Shen L X, Zhang X C, Kong F M, Lyu Z J, Qi Y H, Meng T T, Zhan N B. Identification of salt-tolerant cucumber varieties and the influence of salt stress at the germination stage on the salt tolerance of cucumber seedlings *Fertilizer and Health*, 2024,51(4):33-40,70
- [25] 薛天源,鲁金春子,何思晓,余忆,陈敬东,文静,沈金雄,傅廷栋,曾长立,万何平.286份甘蓝型油菜种质苗期耐盐碱性综合评价.植物遗传资源学报,2024,25(3):356-372
- Xue T Y, Lu J C Z, He S X, Yu Y, Chen J D, Wen J, Shen J X, Fu T D, Zeng C L, Wan H P. Comprehensive evaluation on saline-alkali tolerance of 286 *Brassica napus* germplasm at seedling stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024,25(3):356-372