

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2024.44030

大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价与筛选

孙现军¹ 胡正¹ 姜雪敏² 王世佳² 陈向前² 张惠媛¹ 张辉^{1,*}
姜奇彦^{2,*}

¹ 中国农业科学院作物科学研究所 / 作物基因资源与育种全国重点实验室, 北京 100081; ² 中国农业科学院作物科学研究所 / 农业农村部粮食作物基因资源评价利用重点实验室, 北京 100081

摘要: 土壤盐渍化严重影响大豆品质与产量, 筛选耐盐大豆资源对开展盐碱地综合利用意义重大。为建立大豆苗期耐盐鉴定评价体系, 设置淡水和 NaCl 含量为 0.9%~1.8% 的 10 个等差梯度, 以蛭石为培养基质, 大豆 2 片真叶始现时开始盐处理。结果表明, 1.2% 盐处理 16 d 时, 不同大豆种质资源耐盐等级四分位差值最大, 是大豆苗期耐盐鉴定评价的最适条件。利用大豆苗期耐盐鉴定评价体系对来自国内外的 504 份大豆种质资源进行苗期耐盐性鉴定评价, 耐盐等级为 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级的大豆资源依次为 46 份、146 份、157 份、79 份、76 份。利用 *GmSALT3* 基因的分子标记对 1 级耐盐资源进行检测, 其中 40 份(86.96%)大豆材料扩增结果与 *GmSALT3* 基因的分子标记结果相符合。为分析大豆苗期鉴定过程中盐胁迫浓度的变化趋势, 确立了土壤含盐量(Y , %)与电导率(X , mS cm^{-1})的回归方程: $Y=0.278X-0.0618$, 预测精准度在 95% 以上。测定统计了从盐处理开始至调查结束时的培养基质含盐量变化趋势, 培养基质含盐量基本维持在 13 mS cm^{-1} 左右。本研究为大豆苗期规模化耐盐性鉴定和培育耐盐新种质提供了技术体系和基础材料。

关键词: 大豆种质资源; 苗期耐盐体系; 苗期耐盐资源; 土壤含盐量测定

Identification, evaluation and screening of salt-tolerant of soybean germplasm resources at seedling stage

SUN Xian-Jun¹, HU Zheng¹, JIANG Xue-Min², WANG Shi-Jia², CHEN Xiang-Qian², ZHANG Hui-Yuan¹, ZHANG Hui^{1,*}, and JIANG Qi-Yan^{2,*}

¹ Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences / State Key Laboratory of Crop Gene Resources and Breeding, Beijing 100081, China; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Grain Crop Genetic Resources Evaluation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China

Abstract: Soil salinization has a significant impact on soybean quality and yield. Therefore, it is crucial to screen salt-tolerant soybean resources for the comprehensive utilization of salinized land. To establish a method for identifying and evaluating salt tolerance in soybean at the seedling stage, we conducted experiments using fresh water and 10 equal-differential gradients of NaCl solutions ranging from 0.9% to 1.8%. These solutions were applied to vermiculite culture medium when the soybean plants reached the stage of two emerged leaves. Results indicated that the 1.2% salinity treatment for 16 days demonstrated the highest

本研究由国家重点研发计划项目(2021YFD1201603), 山东省重点研发计划项目(ZDYF2023LZGC001), 海南省重点研发计划项目(ZDYF2022XDNY135), 中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP No. CAAS ZDRW202201, 01-ICS-02), 国家自然科学基金项目(31601329)和江苏省现代作物生产协同创新中心和现代作物生产省部共建协同创新中心项目(CIC-MCP)资助。

This study was supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFD1201603), the Key Research and Development Program of Shandong Province (ZDYF2023LZGC001), the Key Research and Development Program of Hainan Province (ZDYF2022XDNY135), the Agricultural Science and Technology Innovation Program of the Chinese Academy of Agricultural Sciences (ASTIP No. CAAS ZDRW202201, 01-ICS-02), the National Natural Science Foundation of China (31601329), and the Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production co-sponsored by Province and Ministry (CIC-MCP).

* 通信作者(Corresponding authors): 姜奇彦, E-mail: jiangqiyan@caas.cn; 张辉, E-mail: zhanghui06@caas.cn

第一作者联系方式: E-mail: sunxianjun@caas.cn

Received (收稿日期): 2024-02-21; Accepted (接受日期): 2024-05-21; Published online (网络出版日期): 2024-06-05.

URL: <https://link.cnki.net/urlid/11.1809.S.20240604.1549.010>

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

interquartile range of salt-tolerant grading among various soybean germplasm resources, thus considered the optimal condition for evaluating salt tolerance in soybean seedlings. A total of 504 soybean germplasm resources from diverse geographic regions at home and abroad were subjected to evaluation using the soybean salt-tolerant evaluation system. Among them, 46, 146, 157, 79, and 76 soybean germplasm resources received salt-tolerant gradings of 1, 2, 3, 4, and 5, respectively. The soybean resources with salt-tolerant grading 1 were further analyzed using the *GmSALT3* gene molecular marker. The amplification results of 40 soybean resources (80.96%) were consistent with the *GmSALT3* gene molecular marker. To analyze the change in salt stress concentration in the culture medium during the identification of soybean seedlings, a regression equation was established between soil salt content (Y , %) and electrical conductivity (X , mS cm^{-1}): $Y=0.278X-0.0618$, with a prediction accuracy above 95%. The variation trend of salt content in the culture medium was measured from the beginning of salt treatment until the end of the investigation, and it was found to be maintained at approximately 13 mS cm^{-1} . This study not only provides a technical system for large-scale identification of salt-tolerant soybean seedlings but also serves as a foundation for breeding new soybean salt-tolerant germplasm resources.

Keywords: soybean germplasm resources; salt-tolerant system at seedling stage; salt-tolerant germplasm resources at seedling stage; soil salinity determination

我国约有 1 亿公顷盐碱地, 占国土面积的十分之一左右, 位居世界第三, 其中至少有 0.3 亿公顷具有开发利用潜力^[1]。习总书记强调, “要加强种质资源、耕地保护和利用等基础性研究, 转变育种观念, 由治理盐碱地适应作物向选育耐盐碱植物适应盐碱地转变”。大豆在国民经济发展和保障国家粮食安全方面具有重要的战略作用, 据中国海关数据统计, 2023 年我国大豆进口量 9941 万吨, 比 2022 年增加 11.4%, 提高国内大豆生产量刻不容缓。培育和种植耐盐大豆品种是开发利用盐碱地、实现耕地资源扩容较为经济有效的方法之一。大豆属于中度耐盐作物, 5.0 mS cm^{-1} 是其承受的土壤盐碱度阈值, 当土壤盐度超过 6.7 mS cm^{-1} 时, 大豆植株的死亡率将大大提升, 导致大豆产量和品质下降^[2]。大豆种质资源耐盐性存在差异, 筛选耐盐大豆种质资源为培育高耐盐大豆品种提供备选材料。

大豆耐盐碱鉴定评价研究较多, 苗期耐盐性鉴定一般在大田或室内进行。不同研究者采用的鉴定体系不尽相同。早在“七五”期间, 研究者们从我国 1 万余份大豆资源内筛选出 283 份芽期、苗期均耐盐的材料^[3]。邵桂花^[4]先用淡水压盐造墒, 使大豆在低盐条件下出苗, 之后用淡水和咸水调配的混合液处理, 从 2000 多个大豆资源中筛选出文丰 7 号、铁丰 8 号等耐盐资源。大田内大豆耐盐碱鉴定体系存在土壤盐碱不均匀, 胁迫条件难控制等问题, 之后许多研究者在条件可控的温室内利用水培处理方式, 通过一系列盐胁迫相关的调查指标, 筛选出晋豆 23^[5]、阜 107-3^[6]、辽豆 10 号^[7]、S11-5^[8]、Avery^[9]、Lee68^[10]等耐盐大豆种质。水培鉴定方法具有盐胁迫条件均匀一致等特点, 但无法消除水淹环境对大豆耐盐碱鉴定评价的影响, 在室内模拟土培法更能体

现大豆耐盐实际能力。孔令功^[11]将大田土与营养土按 20 : 1 的比例混合后作为大豆培养鉴定基质, 待大豆两叶一心期开始用 120 mmol L^{-1} 的 NaCl 溶液进行盐处理, 从 49 份大豆材料中鉴定出青皮平顶香等 10 份耐盐种质。柏锡等^[12]利用沙性土(细沙 : 草炭土 = 7 : 3)培养大豆长至 V2 期, 进行不同 NaCl 浓度的盐胁迫处理, 确定叶片死亡率和丙二醛含量作为此鉴定体系的主要指标。刘谢香等^[13]建立了一种以蛭石为基质, 从大豆播种开始即利用 150 mmol L^{-1} 的 NaCl 处理, 利用耐盐指数评价指标反应出 27 份种质资源的耐盐能力差别。石广成等^[14]以蛭石为基质, 待真叶展开后逐次加大盐胁迫浓度, 从 332 份种质中筛选出沁源大黑豆、运城扁黑豆和农科 6 号高耐盐资源。

中国是大豆起源地, 目前我国国家作物种质库保存了 4 万余份的大豆资源, 建立高效操作性强的大豆耐盐体系能够提高筛选效率, 快速获得耐盐碱大豆资源。苗期耐盐是作物生长发育的重要时期, 直接影响作物的产量和品质, 是提升盐碱地生产效能的关键。鉴于此, 本研究以蛭石为鉴定基质, 设置了不同含盐量胁迫梯度处理, 建立了高效快速的大豆苗期耐盐性鉴定评价技术体系, 从来自国内外的 504 份大豆种质内筛选出 46 份苗期 1 级耐盐资源, 为大豆耐盐资源鉴定筛选和新耐盐品种培育提供鉴定体系和基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验设计

在人工气候室内对来自国内外的 504 份大豆种质资源进行苗期耐盐性鉴定, 详细材料信息见附表 1。从每份供试大豆材料中挑选 10 粒饱满无损伤的种子播种于装有等量蛭石的小方盒内(直径 $7.0 \text{ cm} \times$

高 7.5 cm), 播种后覆盖约 2 cm 厚的蛭石, 每 28 个小盒置于 55.0 cm (长)×38.0 cm (宽)×8.5 cm (高)的长方形盒内, 每长方形盒内均设置耐盐对照材料汾豆 93。从每个长方形盒底部加入 4 L 淡水, 置于 25℃, 16 h 光照/8 h 黑暗条件下培养。培养 1 周时, 大豆真叶始现, 设置淡水和 0.9%~1.8%的 10 个等差梯度的 NaCl 盐溶液, 第 2 周、第 3 周和第 4 周从长方形盒底部分别加入 3 L、2 L 和 1 L 含有不同浓度的盐处

理液, 淡水处理下每次加入的水量均为 3 L, 鉴定材料出现盐害症状时开始调查各材料耐盐等级, 每天调查 1 次。

1.2 调查指标

大豆苗期耐盐性鉴定体系建立: 盐处理 6 d 时, 开始对不同 NaCl 溶液处理下的大豆材料进行调查, 根据鉴定材料表型判定耐盐级别, 大豆苗期耐盐级别标准见表 1。

表 1 大豆苗期耐盐等级参照标准
Table 1 Reference standard for salt-tolerant grading of soybean at seedling stage

耐盐级别	大豆植株表型
Salt-tolerant grading	Symptom of soybean plants
1	生长正常, 基本无受害症状, 植株枯死率 0~20.0%。 Normal growth, no symptoms of injury, and a plant senescence rate of 0~20.0%.
2	生长基本正常, 植株枯死率 20.1%~40.0%。 The growth was generally normal, with a plant senescence rate of 20.1%~40.0%.
3	生长接近正常, 植株枯死率 40.1%~60.0%。 The growth was close to normal, with a plant senescence rate of 40.1%~60.0%.
4	生长受抑制, 植株枯死率 60.1%~80.0%。 Growth inhibition, with a plant senescence rate of 60.1%~80.0%.
5	植物死亡或生长严重受阻, 植株枯死率 80.1%~100%。 Dead or severely stunted, with a plant senescence rate of 80.1%~100%.

1.3 土壤盐含量测定方法

主要参照王艳等^[15]的方法进行。为确定土壤含盐量跟电导率的关系, 在北京不含盐碱土壤区域, 采用五点随机法取土样。放在 70℃烘箱内, 彻底烘干, 用磨样器磨碎土样。加入不同质量的 NaCl 试剂, 配制成含盐量为 0.1%~1.5% (质量比)的 15 个等差梯度。称取 20 g 烘干土样放入 100 mL 的丝口瓶内。蒸馏水煮沸 5 min 后, 用量筒加入 100 mL 沸水溶解土样, 静止放置至上清液析出, 用便携式电导率测定土壤上清液电导率。

1.4 培养基质含盐量测定

将单个装有等量蛭石的小方盒(直径 7.0 cm×高 7.5 cm)置于圆形塑料盒(直径 9.0 cm×高 4.0 cm)内, 设置 3 个处理。处理 1: 盒内只装有等量蛭石, 未播种大豆, 盐溶液处理; 处理 2: 装有等量蛭石的盒内播种对照材料汾豆 93, 盐溶液处理; 处理 3: 装有等量蛭石的盒内播种对照材料汾豆 93, 淡水处理。先从每塑料盒底部加入 150 mL 淡水, 第 2 周、第 3 周和第 4 周上午向处理 1 组和处理 2 组内依次加入 120 mL、100 mL 和 80 mL 的 NaCl 含量为 1.2%的溶液, 处理 3 组每周加入 120 mL 淡水。从开始盐处理时, 每天傍晚从 3 组内分别取出 1 盒, 连续取样 21 d。采用水土比 5 : 1 的浸提液法测定培养基质含

盐量: 将培养基质放入 70℃烘箱烘干, 称取 20 g 烘干的蛭石倒入干净的丝口瓶内, 之后加入 100 mL 煮沸 5 min 的纯净水, 拧紧瓶盖充分混匀, 静止放置至上清液析出, 测定析出上清液电导率。

1.5 数据分析

利用 Microsoft Excel 表格录入数据、SPSS 软件分析数据、SigmaPlot 软件绘制图谱。

2 结果与分析

2.1 大豆苗期耐盐性鉴定体系构建

为建立大豆苗期耐盐性鉴定评价标准技术体系, 设置淡水和 NaCl 含量为 0.9%~1.8%的一系列等差梯度盐溶液。由表 2 可知, 盐处理 6 d 时, 大豆敏盐材料在 1.8%盐胁迫下开始出现盐害表型。随着盐胁迫浓度增加, 大豆叶片盐害症状加重, 各材料间耐盐等级四分位差出现极大值的时间逐渐提前。连续调查 20 d 后发现, 盐胁迫浓度低于 1.1%时, 各材料间耐盐等级四分位差虽呈上升趋势, 但均未出现极大值; 当盐胁迫浓度在 1.2%时, 各材料间耐盐等级四分位差在盐处理 16 d 时达到最高值 1.13; 在 1.3%~1.7%盐胁迫下, 各材料间耐盐等级四分位差极大值均为 1, 其中 1.3%时, 极大值在盐胁迫 17 d 时出现, 其他盐浓度时极大值都在盐处理 12 d 前出

表 2 不同盐浓度下各资源间耐盐等级的四分位差变化
Table 2 Interquartile difference of salt-tolerant grading among resources under different salt concentrations

NaCl 含量 NaCl content (%)	1st–5th day	6th day	7th day	8th day	9th day	10th day	11th day	12th day	13th day	14th day	15th day	16th day	17th day	18th day	19th day	20th day
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.13	0.63
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.50	0.50	0.63	1.13	1.13
1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50
1.2	0	0	0	0	0	0	0.13	0.50	0.50	1.00	1.00	1.13	1.00	1.00	1.00	0.63
1.3	0	0	0	0	0	0	0	0.50	0.50	0.13	0.50	0.50	1.00	0.63	0.50	1.00
1.4	0	0	0	0	0.13	0.50	0.50	1.00	0.63	0.50	0.63	0.50	0.50	0.50	0.63	0.50
1.5	0	0	0	0.50	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	0.50	0.50	0.50	0.50	0
1.6	0	0	0.63	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.13	0	0	0	0	0
1.7	0	0	0.63	0.63	1.00	0.50	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.8	0	0.13	0.50	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

现, 在 1.8%盐胁迫下, 各材料间耐盐等级四分位差在第 7 天时出现极大值 0.5。1.5%~1.8%盐浓度下, 极值虽然出现的较早, 但高盐胁迫浓度下严重抑制了大豆的生长发育, 无法准确体现鉴定材料的耐盐水平。综上所述, 1.2%盐胁迫处理是大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价的最佳浓度, 盐处理 16 d 时调查供试材料的耐盐等级较为合适。

2.2 大豆种质资源苗期耐盐鉴定评价

利用建立的大豆种质资源苗期耐盐性评价体系, 对来自国内外的 504 份大豆种质资源进行了苗期耐盐性鉴定。供试的大豆种质资源苗期耐盐能力差异较大, 依据表 1 大豆叶片枯死率判定大豆资源的耐盐等级(图 1-A)。统计结果表明(附表 1), 耐盐等级为 1 级的大豆份数有 46 份, 占比最少, 仅 9.13%; 耐盐

等级为 2 级、3 级大豆资源份数分别是 146 份 (28.97%)、157 份(31.15%), 2 级、3 级的大豆资源份数最多, 两者占比之和超过 60%; 4 级和 5 级大豆资源份数分别是 79 份(15.67%)、76 份(15.08%) (图 1-B)。利用建立的大豆种质资源苗期耐盐性评价体系能够较好地区分供试材料, 此方法体系为有效筛选大豆耐盐品种或种质资源, 高效服务于大豆耐盐品种选育和耐盐种质创新利用提供重要的技术支撑。

2.3 苗期耐盐功能基因 *GmSALT3* 的分子标记检测

分子标记辅助鉴定技术广泛应用于种质筛选和品种选育^[16], 关荣霞等^[17]从大豆品种铁丰 8 号中克隆出耐盐基因 *GmSALT3*, 根据 *GmSALT3* 在不同大豆品种中的 5 种单倍型, 开发了 *GmSALT3* 的功能标

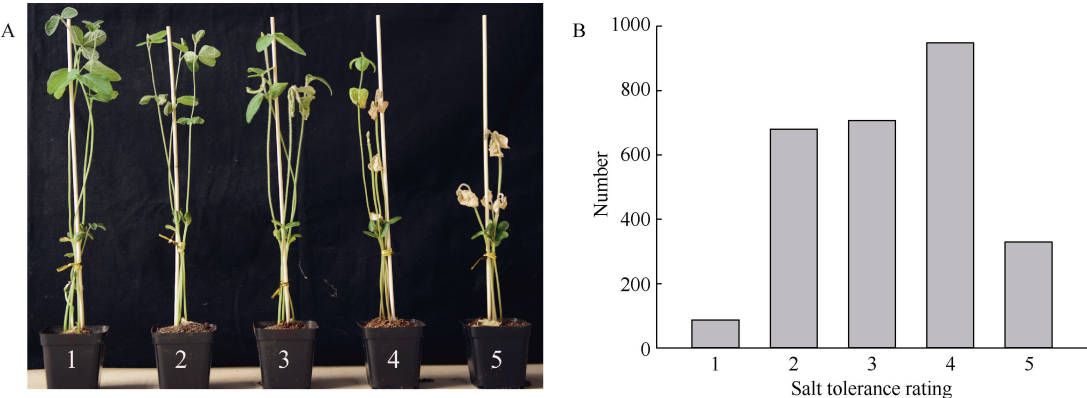


图 1 大豆苗期耐盐性鉴定评价
Fig. 1 Identification and evaluation of salt-tolerant soybean at seedling stage
A: 大豆苗期不同耐盐等级表型; B: 大豆苗期不同耐盐等级份数统计。
A: phenotypes of soybean of different salt-tolerant grades at seedling stage; B: statistics of soybean of different salt-tolerant grades at seedling stage.

记。利用此类标记对筛选出的 46 份高耐资源进行了检测, 其中 40 份 (86.96%) 资源扩增的结果与 *GmSALT3* 的功能标记一致, 推测这 40 份大豆资源的耐盐能力可能与 *GmSALT3* 基因相关; 剩余 6 份 (13.04%) 苗期耐盐大豆资源检测结果与 *GmSALT3* 的功能标记不同, 推测这 6 份种质的苗期耐盐能力可能由其他功能基因控制。综上所述, 从 504 份大豆种质资源中筛选出的 46 份 1 耐盐种质拥有多类响应盐胁迫的模式, 不仅丰富了苗期耐盐大豆的资源库, 也为挖掘新的大豆应答盐胁迫机制提供备选材料。

2.4 土壤含盐量测定

研究表明 5.0 mS cm^{-1} 是大豆能承受的土壤盐碱度阈值^[2], 通过监测土壤盐碱含量的信息, 能够提前采取措施降低盐碱对作物的伤害。为确立土壤含盐量与上清液电导率的关系, 利用非盐碱土配制了 0.1%~1.5% 的土样。采用水土比为 5 : 1 的土壤浸提液法, 分别测定不同含盐量的土壤电导率, 确立了土壤含盐量(Y , %)与电导率(X , mS cm^{-1})的回归方程: $Y = 0.278X - 0.0618$ (图 2-A)。表 3 对回归方程的预测值进行了评价, 结果表明除了土壤含盐量 1.5% 的预测精度为 95.3% 以外, 其他土壤含盐量的预测精度均超过 96%, 由此可知, 利用此回归方程能够较为准确地计算土壤含盐量。

为监测大豆苗期耐盐性鉴定评价体系培养基质

盐含量的动态变化, 测定统计了从盐处理开始至调查结束时的培养基质含盐量变化趋势(附表 2)。由图 2-B 可知, 处理 1 (未播种大豆) 和处理 2 (播种大豆) 在第 1 次盐处理下, 培养基质蛭石的盐含量缓慢上升, 1 周后第 2 次盐处理时, 处理 1 蛭石盐含量继续上升至 11 mS cm^{-1} 左右趋于稳定, 而处理 2 蛭石含盐量在一周内基本维持在 13 mS cm^{-1} 左右, 第 2 次盐处理对处理 2 蛭石含盐量几乎没有影响。在整个盐处理过程中, 处理 2 蛭石的盐含量始终高于处理 1, 可能与大豆幼苗根系吸收水分有关。处理 3 淡水条件下, 整个取样过程中培养基质蛭石的盐含量维持在 0.5 mS cm^{-1} 左右。

3 讨论

3.1 利用建立的大豆苗期耐盐性评价技术体系提高鉴定效率

盐碱地是粮食增产的“潜在粮仓”, 建立高通量的大豆耐盐性鉴定评价体系对筛选耐盐种质、研究耐盐机理和提升盐碱地潜能具有重要的现实意义。作物苗期是同化产物积累的关键时期, 大豆苗期耐盐性显著影响大豆生长发育及产量^[18]。国内外对大豆耐盐性鉴定评价研究较多, 通常在大田或室内进行。邵桂花等^[4]将淡水和咸水调配混合后, 通过田间漫灌方式对大豆进行耐盐性鉴定, 但此方法容易

表 3 回归方程的估计精度分析
Table 3 Analysis of evaluation accuracy of regression equation

土壤含盐量 Salt content of soil (%)	电导率 Electric conductivity (mS cm^{-1})	预测值 Predicted value (%)	差值 Difference	预测精度 Evaluation accuracy (%)
0.0	0.30	0.02	0.02	97.87
0.1	0.69	0.13	0.03	97.08
0.2	0.89	0.19	-0.01	98.59
0.3	1.42	0.33	0.03	96.76
0.4	1.79	0.44	0.04	96.45
0.5	2.13	0.53	0.03	97.08
0.6	2.42	0.61	0.01	99.02
0.7	2.77	0.71	0.01	99.31
0.8	3.23	0.84	0.04	96.33
0.9	3.49	0.91	0.01	99.24
1.0	3.84	1.01	0.01	99.43
1.1	4.20	1.11	0.01	99.42
1.2	4.52	1.20	0.00	99.56
1.3	4.86	1.29	-0.01	99.04
1.4	5.24	1.39	-0.01	99.49
1.5	5.45	1.45	-0.05	95.30

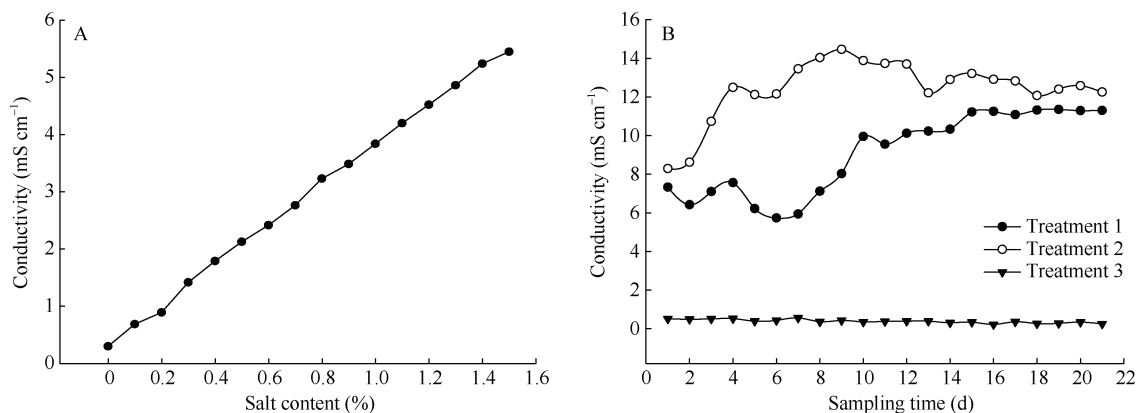


图 2 土壤与蛭石电导率测定

Fig. 2 Determination of conductivity of soil and vermiculite

A: 上清液电导率与土壤含盐量; B: 培养基质电导率测定。

A: conductivity of supernatant and salt content of soil; B: measurement of conductivity of culture substrate.

导致试验田进水处和和其他区域土壤盐碱含量不均匀^[19]。鉴于此,本研究团队在天然盐碱地区域通过铺设滴灌设施进行大豆耐盐碱鉴定评价,先滴灌淡水压盐,制造微盐出苗环境,然后再进行盐胁迫处理。为能在实验室内最大程度的模拟田间实际生长条件,采用盐吸收均匀的蛭石为培养基质,待对生真叶出现时进行胁迫处理,通过连续统计分析一系列盐胁迫梯度下不同大豆材料的盐害等级,确立了大豆苗期盐胁迫最适浓度和最佳调查时期。

高效快速的大豆苗期耐盐性鉴定评价技术体系优势: (1) 培养基质: 选择以蛭石为培养基质,克服了营养液水培法存在水淹条件的影响。蛭石吸水性强、通透性好,相比水培法更接近大豆实际生长条件。(2) 鉴定装置: 每大盒内放置 28 个小培养盒,培养盒内装等量蛭石,从盒底部加入盐处理液,使每份材料处于统一的生长环境。每大盒内设置对照材料,减少不同批次间大豆耐盐鉴定评价的误差。不同大豆材料间出苗期可能不同,盐处理前可通过调换小培养盒的位置,使出苗期相对一致的材料置于同一大盒内。(3) 处理方式: 培养 1 周时,真叶始现,开始盐处理。大豆的生长速度与需水量成正比,盐胁迫影响大豆的生长发育,且盐浓度越大,抑制作用越明显。盐处理下,大豆的需水量大大降低,故选择每隔 1 周加入处理液逐渐减少的方式进行,避免造成水淹环境。而淡水条件下,若采用与盐处理相同的处理方式,鉴定材料会出现旱胁迫表型,故后期补入淡水量比盐处理多。(4) 调查指标: 主要依据大豆苗情、整株枯死程度判定,实现规模化大豆苗期耐盐鉴定评价。

3.2 检测土壤盐碱含量对降低作物受害率提供预警信息

耐盐碱农作物种质筛选、新品种培育及创制是开展盐碱地综合利用的重要举措之一。采用水盐智能精准调控技术、构建土壤绿色调理、培育地力等盐碱地改良体系也是提升盐碱地生产潜能的有效途径^[20]。通过测定土壤的盐碱含量,能够提示种植者预先采取淡水压盐、添加有益微生物等措施降低盐碱对作物的伤害^[21]。经典的土壤盐碱含量测定方法是 5:1 水土溶解法,通过测定析出的上清液电导率预测土壤盐碱度,但采用的计算公式存在差异。为明确析出上清液电导率与土壤盐含量的关系,精准配置了 NaCl 含量为 0~1.5% 的土壤待测样,获得了土壤含盐量与析出上清液电导率的回归方程,计算精准度达 95% 以上。

大豆苗期耐盐性鉴定评价以蛭石为培养基质,通过连续测定培养基质的含盐量发现,刚开始加入盐溶液时,蛭石含盐量急剧升高,待蛭石持水量达到饱和后,随着盐处理时间的延长,培养基质的含盐量变化不明显,基本维持在某一稳定含盐量水平。同等盐处理下,有大豆生长的培养基质盐含量高于无苗生长的蛭石盐含量,可能跟植物根系从底部吸收水分有直接关系。

4 结论

本研究建立了大豆种质资源苗期耐盐鉴定评价体系,提高了鉴定效率。通过连续统计分析一系列盐胁迫梯度下不同大豆材料的盐害等级,确定了在 1.2% 盐浓度下,胁迫处理 16 d 时调查供试材料耐盐

等级是大豆苗期耐盐鉴定评价的适宜条件。利用此技术体系,从504份大豆资源中筛选出46份苗期1级的耐盐种质,分子标记表明,苗期1级耐盐大豆资源可能通过不同的耐盐机制发挥作用。此外,还确定了土壤盐含量与浸提法上清液电导率的回归方程,精准度在95%以上。

附表 请见网络版:1) 本刊网站 <http://zwxb.chinacrops.org/>; 2) 中国知网 <http://www.cnki.net/>; 3) 万方数据 <http://c.wanfangdata.com.cn/Periodical-zuowxb.aspx>。

References

- [1] 胡炎, 杨帆, 杨宁, 贾伟, 崔勇. 盐碱地资源分析及利用研究展望. *土壤通报*, 2023, 54: 489–494.
Hu Y, Yang F, Yang N, Jia W, Cui Y. Analysis and prospects of saline-alkali land in China from the perspective of utilization. *Chin J Soil Sci*, 2023, 54: 489–494 (in Chinese with English abstract).
- [2] Ashraf M, Wu L. Breeding for salinity tolerance in plants. *Crit Rev Plant Sci*, 1994, 13: 17–42.
- [3] 邵桂花, 常汝镇, 陈一舞. 大豆耐盐性研究进展. *大豆科学*, 1993, 12: 244–248.
Shao G H, Chang R Z, Chen Y W. A review of salt tolerance in soybean. *Soybean Sci*, 1993, 12: 244–248 (in Chinese with English abstract).
- [4] 邵桂花. 大豆种质资源耐盐性田间鉴定方法. *作物杂志*, 1986, (3): 36–37.
Shao G H. Method for identification of salt tolerance of soybean germplasm resources in field. *Crops*, 1986, (3): 36–37 (in Chinese with English abstract).
- [5] 姜奇彦, 胡正, 张辉, 王萌萌, 唐俊源, 倪志勇, 姜锋. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究. *植物遗传资源学报*, 2012, 13: 726–732.
Jiang Q Y, Hu Z, Zhang H, Wang M M, Tang J Y, Ni Z Y, Jiang F. Evaluation for salt tolerance in soybean cultivars (*Glycine max* (L.) Merr.). *J Plant Genet Resour*, 2012, 13: 726–732 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张彦威, 张礼凤, 李伟, 王彩洁, 张军, 徐冉. 大豆发芽期和苗期耐盐性的隶属函数分析. *山东农业科学*, 2016, 48(1): 21–25.
Zhang Y W, Zhang L F, Li W, Wang C J, Zhang J, Xu R. Evaluation on salt tolerance of soybean at germination and seedling stages using membership function. *Shandong Agric Sci*, 2016, 48(1): 21–25 (in Chinese with English abstract).
- [7] 周秀文, 张晓蕊, 孙贺祥, 赵翔, 张娜, 姚兴东, 谢甫缙. 大豆种质萌发期和苗期耐盐性评价. *沈阳农业大学学报*, 2022, 53: 257–264.
Zhou X W, Zhang X R, Sun H X, Zhao X, Zhang N, Yao X D, Xie F T. Evaluation of salt tolerance of soybean germplasms at germination and seedling stages. *J Shenyang Agric Univ*, 2022, 53: 257–264 (in Chinese with English abstract).
- [8] 严勇亮, 张金波, 路子峰, 赵晓玲, 刘海军, 赵康, 丛花. 大豆种质资源耐盐性鉴定与评价. *新疆农业科学*, 2021, 58: 65–71.
Yan Y L, Zhang J B, Lu Z F, Zhao X L, Liu H J, Zhao K, Cong H. Salt tolerance evaluation of soybean germplasm. *Xinjiang Agric Sci*, 2021, 58: 65–71 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘光宇, 关荣霞, 常汝镇, 邱丽娟. 大豆不同器官 Na^+ 含量与苗期耐盐性的相关分析. *作物学报*, 2011, 37: 1266–1273.
Liu G Y, Guan R X, Chang R Z, Qiu L J. Correlation between Na^+ contents in different organs of soybean and salt tolerance at the seedling stage. *Acta Agron Sin*, 2011, 37: 1266–1273 (in Chinese with English abstract).
- [10] Valencia R, Chen P, Ishibashi T, Conatser M. A rapid and effective method for screening salt tolerance in soybean. *Crop Sci*, 2008, 48: 1773–1779.
- [11] 孔令功. 大豆种质资源苗期耐盐性鉴定与耐盐材料筛选. *大豆科技*, 2019, (5): 4–9.
Kong L G. Identification of salt tolerance in seedling stage of soybean germplasm resources and screening of salt tolerant materials. *Soybean Sci Technol*, 2019, (5): 4–9 (in Chinese with English abstract).
- [12] 柏锡, 吴芳芳, 林凡敏, 赵晓雯, 狄少康, 朱延明, 李勇, 才华, 纪巍. 大豆耐盐性鉴定体系的建立. *东北农业大学学报*, 2013, 44(4): 8–13.
Bai X, Wu F F, Lin F M, Zhao X W, Di S K, Zhu Y M, Li Y, Cai H, Ji W. Establishment of salt tolerance identification system for soybean. *J Northeast Agric Univ*, 2013, 44(4): 8–13 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘谢香, 常汝镇, 关荣霞, 邱丽娟. 大豆出苗期耐盐性鉴定方法建立及耐盐种质筛选. *作物学报*, 2020, 46: 1–8.
Liu X X, Chang R Z, Guan R X, Qiu L J. Establishment of screening method for salt tolerant soybean at emergence stage and screening of tolerant germplasm. *Acta Agron Sin*, 2020, 46: 1–8 (in Chinese with English abstract).
- [14] 石广成, 杨万明, 杜俊俊, 王敏. 大豆耐盐种质的筛选及其耐盐生理特性分析. *生物技术通报*, 2022, 38(4): 174–183.
Shi G C, Yang W M, Du W J, Wang M. Screening of salt-tolerant soybean germplasm and physiological characteristics analysis of its salt tolerance. *Biotechnol Bull*, 2022, 38(4): 174–183 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王艳, 王正祥, 廉晓娟, 肖辉, 王立艳, 贺宏达. 天津滨海地区土壤电导率的测定及其与含盐量的关系. *天津农业科学*, 2011, 17(2): 18–21.
Wang Y, Wang Z X, Lian X J, Xiao H, Wang L Y, He H D. Measurement of soil electric conductivity and relationship between soluble salt content and electrical conductivity in Tianjin coastal area. *Tianjin Agric Sci*, 2011, 17(2): 18–21 (in Chinese with English abstract).
- [16] Jeevan K S P, Susmita C, Sripathy K V, Agarwal D K, Pal G, Singh A N, Kumar S, Rai A K, Gandara J S. Molecular characterization and genetic diversity studies of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars using SSR markers. *Mol Biol Rep*, 2022, 49: 2129–2140.
- [17] Guan R, Qu Y, Guo Y, Yu L, Liu Y, Jiang J, Chen J, Ren Y, Liu G, Tian L, Jin L, Liu Z, Hong H, Chang R, Gilliam M, Qiu L. Salinity tolerance in soybean is modulated by natural variation in GmSALT3. *Plant J*, 2014, 80: 937–950.
- [18] 吴春芳, 姜永平, 蒋振欣, 宗建林, 冯成玉. 土壤不同盐分含

- 量对大豆产量及主要产量因子影响的研究. 大豆通报, 2000, (4): 8–9.
- Wu C F, Jiang Y P, Jiang Z X, Zong J L, Feng C Y. Study on the effect of soil salt content on soybean yield and the major yield factors. *Soybean Bull*, 2000, (4): 8–9 (in Chinese).
- [19] Wang D, Shannon M C. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant Soil*, 1999, 214: 117–124.
- [20] 李丹丹, 沈晖, 田军仓, 郭洋, 刘嘉斌. 盐碱地改良综述. 现代农业科技, 2023, (24): 153–159.
- Li D D, Shen H, Tian J C, Guo Y, Liu J B. Review of saline-alkali land improvement. *Mod Agric Sci Technol*, 2023, (24): 153–159 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王世平, 陈月, 潘大伟, 薛文多, 周雷, 赵娜, 巩宗强, 张晓蓉. 盐碱地治理研究综述: 现状、问题与对策. 化工矿物与加工, 2023, 52(11): 59–68.
- Wang S P, Chen Y, Pan D W, Xue W D, Zhou L, Zhao N, Gong Z Q, Zhang X R. Review on salt marshes management: status, problems and countermeasures. *Ind Miner Proc*, 2023, 52(11): 59–68 (in Chinese with English abstract).