

文章编号: 1674-7054(2021)03-0296-09



# NaCl 胁迫对不同来源木豆种子发芽及幼苗生长的影响

李拴林<sup>1,2</sup>, 罗小燕<sup>2</sup>, 陈志祥<sup>1,2</sup>, 吴如月<sup>3</sup>, 廖丽<sup>1</sup>, 丁西朋<sup>2</sup>

(1. 海南大学 热带作物学院, 海口 570288; 2. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海口 571101;  
3. 南京农业大学 草业学院, 南京 210095)

**摘要:** 为研究 NaCl 胁迫对木豆种子发芽及幼苗生长的影响, 采用不同质量分数 NaCl 溶液对 5 份分别来源于印度(YD1)、缅甸(MD1)、云南(YN1)、广西(GX1)和广东(GD1)的木豆种子和幼苗进行胁迫处理。分别采用培养皿发芽法和水培法, 设置不同质量分数的 NaCl 处理, 通过观测木豆种子萌发特性和幼苗生长状况, 分析 NaCl 胁迫对木豆种子萌发和幼苗生长的影响, 并通过隶属函数分析对木豆耐盐性进行综合评价, 计算木豆 NaCl 胁迫的临界值。结果表明: 在萌发期, NaCl 胁迫抑制种子萌发及生长, 5 份木豆种质资源耐盐能力强弱次序为 MD1>GX1>YD1>GD1>YN1。幼苗期, 随 NaCl 质量分数增大, 木豆幼苗地上及地下部生长均被显著抑制, 5 份木豆耐盐能力强弱次序为 MD1>GX1>GD1>YD1>YN1。在种子萌发期和幼苗期, 5 份不同木豆耐盐能力强弱次序并不完全一致, MD1 和 GX1 为耐盐种质, YN1 为盐敏感种质。萌发期和幼苗期, 5 份木豆 NaCl 胁迫临界值范围分别为 0.377%~0.748% 和 0.275%~0.510%。

**关键词:** 木豆; 种子萌发; NaCl 胁迫; 临界浓度; 耐盐性评价

**中图分类号:** Q 945.78      **文献标志码:** A

**引用格式:** 李拴林, 罗小燕, 陈志祥, 等. NaCl 胁迫对不同来源木豆种子发芽及幼苗生长的影响 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(3): 296-304. DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.2021.03.004

土地盐渍化是当今世界环境的严重问题之一<sup>[1]</sup>。目前, 全世界有超过 10 亿  $\text{hm}^2$  的土地因盐碱度过高而不能被有效利用, 且日益加剧, 严重制约了全球农业生产和生态环境的可持续发展<sup>[2-3]</sup>。随着经济的发展和耕地的减少, 人们越来越重视对盐碱地的开发和利用。培育耐盐品种是利用和改良盐碱地的有效途径之一, 耐盐作物种质资源的筛选、鉴定与评价是开展作物耐盐机理研究和作物耐盐新品种培育的基础<sup>[4]</sup>。在水稻<sup>[5]</sup>、大豆<sup>[6]</sup>、谷子<sup>[7]</sup>、辣椒<sup>[8]</sup>、海雀稗<sup>[9]</sup>和牧草<sup>[10]</sup>等作物中已开展了大量的种质资源耐盐评价工作, 并培育出了盐丰 47 水稻、鲁苜 1 号苜蓿等多个耐盐作物新品种, 且已进行了大面积的推广示范<sup>[11-12]</sup>。木豆(*Cajanus cajan*)起源于印度, 非洲、澳大利亚、西印度群岛等热带、亚热带地区均有栽培, 在全世界的种植面积约 464 万  $\text{hm}^2$ <sup>[13]</sup>。在我国云南、广西、海南、江西和贵州等南方省(区)均有栽培, 现有栽培面积约 2 万  $\text{hm}^2$ <sup>[14]</sup>。木豆籽含有人体必需的 8 种氨基酸, 是世界六大食用豆类之一; 木豆叶片富含蛋白, 是优质的蛋白饲料; 木豆根系发达、固氮能力强, 是理想的植被恢复和土壤改良树种; 木豆还具很高的药用价值, 如有清热解毒、治疗水痘、疟疾和股骨头坏死等疾病的功效<sup>[15]</sup>。木豆兼具生态效益、经济效益和社会效益, 其开发利用前景很大<sup>[16]</sup>。在木豆主产区, 盐胁迫是制约其种植的重要环境因素之一<sup>[17-18]</sup>, 且不同木豆种质资源间的耐盐性存在较大差异, 为此不同木豆种质资源间的耐盐性研究是木豆耐盐机理研究和耐盐新品种培育的重要基础<sup>[19-20]</sup>。本实验探究木豆发芽期与幼苗期的耐盐性差异, 旨在建立木豆种质资

收稿日期: 2021-03-22

修回日期: 2021-05-21

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金项目(1630032020033 和 1630032017031); 海南省自然科学基金项目资助(320RC729); 财政部与农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目

第一作者: 李拴林(1995-), 男, 海南大学热带作物学院 2018 级硕士研究生. E-mail: 783736303@qq.com

通信作者: 廖丽(1981-), 女, 副教授. 研究方向: 药用植物资源评价与利用. E-mail: liaoli@hainanu.edu.cn; 丁西朋(1982-), 男, 副研究员. 研究方向: 热带牧草遗传育种. E-mail: xipding@163.com

源耐盐筛选评价体系, 为开展木豆种质资源耐盐评价提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

1.1 材料 通过前期田间植物学性状观察, 选择植物学性状差异较大且来源不同的 5 份木豆种质资源作为供试材料(表 1)。挑选当年收获的健康、均一、饱满的木豆种子开展耐盐胁迫实验。

表 1 供试木豆材料基本情况  
Tab. 1 Pigeonpea accessions for test

编号 Code	来源地 Origins	主要性状特征 Main traits	来源地气候特点 Climatic characteristics of origins
YD1	印度	种子小, 叶片小, 枝叶密集, 晚熟	热带季风气候, 年均气温 22 ℃ 以上, 干湿季节分明
YN1	中国云南	种子小, 叶片大, 枝叶密集, 晚熟	亚热带高原季风型, 年均温度 5 ~ 24 ℃, 干湿季节分明
MD1	缅甸	种子大, 叶片小, 枝叶稀疏, 早熟	热带季风气候, 年均气温 22 ~ 32 ℃, 干湿季节分明
GX1	中国广西	种子大, 叶片超大, 枝叶密集, 早熟	亚热带季风气候, 年均气温 17 ~ 22 ℃, 干湿季节分明
GD1	中国广东	种子大, 叶片小, 枝叶稀疏, 早熟	亚热带季风气候, 年均气温 19 ~ 24 ℃, 干湿季节分明

1.2 方法 萌发期实验采用培养皿发芽法, 每皿放 50 粒种子, 共设 6 个 NaCl 胁迫处理(0.15%、0.30%、0.60%、0.90%、1.20%、1.50%NaCl)和 1 个对照(CK, 清水), 每处理 4 次重复, 种子均匀摆放在 2 层滤纸上, 加入 10 mL 不同质量分数的 NaCl, 置于光照培养箱中。培养条件: 25 ℃ 光照 18 h, 16 ℃ 黑暗 6 h, 湿度 85%。每天定时更换 NaCl 溶液。从第 2 天起每日定时调查 1 次发芽率, 萌芽时间为 6 d。实验结束时记录胚根和胚芽的长度。计算发芽率( $GR$ )和发芽指数( $GI$ )。

$$GR = (n/N) \times 100\%,$$

式中  $GR$  为发芽率;  $n$  代表正常发芽粒数;  $N$  代表供试种子数。

$$GI = \sum G_t / D_t,$$

式中  $GI$  为发芽指数;  $G_t$  为处理后  $t$  日的发芽数;  $D_t$  为相应的发芽日数。

苗期试验采用水培法<sup>[21]</sup>。先用沙培法进行育苗, 具体为木豆种子事先用 1% $HgCl_2$  进行消毒, 随后将木豆种子用纯净水清洗 5 ~ 6 次, 再将木豆种子用 70 ℃ 水浸种 5 min, 静置 8 h 后将木豆种子播种于用无菌水洗涤干净且装好沙子的育苗盘中, 在室温条件下培养。待子叶展开后, 选择生长状况一致的木豆幼苗, 移入 1/5 强度的霍格兰营养液中培养 2 d, 再进行 NaCl 胁迫处理。试验设 5 个 NaCl 质量分数处理(0.20%、0.40%、0.60%、0.80% 和 1.00%NaCl)和 1 个对照(CK, 清水), 4 次重复, 每重复 10 株。实验期间, 每天下午 16:00 补充清水至实验初始体积, 确保培养液中 NaCl 质量分数相对稳定。NaCl 胁迫培养 15 d 后, 采用直接测量法测定株高、单株根鲜质量, 单株根干质量和存活株数, 计算株高相对生长量( $H$ )和存活率。用模糊数学中的隶属函数值法对木豆资源的耐盐性进行综合评价。

$$H = H_t - H_0,$$

式中,  $H$  为株高相对生长量;  $H_t$  为处理后的株高;  $H_0$  为处理前的株高。

$$Xu = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}),$$

式中,  $Xu$  为隶属函数; 隶属函数  $X$  表示所有参试材料某一指标的测量值,  $X_{min}$  和  $X_{max}$  分别为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

1.3 数据分析 利用 IBM SPSS 22.0 软件和 Microsoft Excel 2019 软件对实验数据进行统计分析, 确定不同来源木豆种质资源的耐盐能力。以不同 NaCl 处理的木豆种子发芽率和幼苗存活率为自变量, NaCl 处理的质量分数为因变量建立一元二次回归方程, 参考文献 [22] 的方法, 以木豆种子 50% 发芽率和幼苗 50% 存活率为标准分别计算萌发期和幼苗期木豆 NaCl 胁迫临界值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆种子发芽的影响

**2.1.1 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆种子发芽率的影响** 发芽率实验结果见表 2, 由表 2 可见, 5 份木豆种子的发芽率随着 NaCl 质量分数的增加均呈显著下降趋势, 但不同来源的木豆种子间的发芽率下降幅度不同。在 NaCl 质量分数为 0.15% 时, 除 MD1 的发芽率和对照没有显著差异外, GD1、YN1、YD1 和 GX1 的发芽率均显著低于对照。当 NaCl 质量分数为 0.60% 时, GD1、MD1 和 GX1 的发芽率高于 50%, YD1 的发芽率低于 50%, 而 YN1 的发芽率低于 30%。NaCl 质量分数为 0.90% 时, 5 份木豆种子的发芽率均低于 50%, YD1 的发芽率降至 25.23%, YN1 的发芽率低至 10.77%。NaCl 质量分数为 1.50% 时, 仅 GX1 和 MD1 的发芽率大于 10%, GD1 和 YD1 的发芽率仅为 8.73% 和 8.03%, 而 YN1 则完全不发芽。

表 2 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆种子发芽率的影响

Tab. 2 The effect of NaCl solution with different concentrations on the germination rate of pigeonpea seeds

NaCl/%	发芽率 Germination rate/%				
	GD1	MD1	YN1	YD1	GX1
(CK)	84.97±0.95a	87.50±0.35a	75.80±0.46a	82.07±0.26a	91.67±0.95a
0.15	75.80±0.46b	83.60±0.23a	68.30±0.98b	65.80±2.42b	77.47±2.40b
0.30	57.47±0.49c	74.17±0.49b	54.17±0.50c	55.53±1.47c	63.20±1.85c
0.60	50.30±0.58d	54.50±2.46c	27.47±0.49d	46.80±1.07d	52.20±1.59d
0.90	43.30±0.98e	42.13±1.37d	10.77±0.43e	25.23±0.80e	44.10±1.22e
1.20	19.70±0.91f	26.97±1.97e	4.43±0.44f	14.00±0.87f	32.63±0.96f
1.50	8.73±0.46g	11.60±0.84f	0.00±0.00g	8.03±0.73g	18.03±0.91g

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) (LSD)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at  $P<0.05$  (LSD).

**2.1.2 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆种子发芽指数的影响** 发芽指数分析结果见表 3, 由表 3 可见, 随着 NaCl 质量分数的提高, 5 份木豆种子的发芽指数总体呈下降趋势, 不同来源的木豆种子间发芽指数的下降幅度不同。NaCl 质量分数为 0.15% 时, GD1、MD1、GX1 的发芽指数与对照相比有所下降, 但差异不显著, YN1 和 YD1 的发芽指数则显著低于对照。NaCl 质量分数为 0.30% 时, 5 份木豆种子的发芽

表 3 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆种子发芽指数的影响

Tab. 3 The effect of NaCl solution with different concentrations on the germination index of pigeonpea seeds

NaCl/%	发芽指数 Germination Index				
	GD1	MD1	YN1	YD1	GX1
(CK)	20.60±2.43a	35.80±1.77a	17.99±0.70a	28.53±1.07a	29.50±0.60a
0.15	18.90±1.13a	34.63±2.15a	14.03±0.99b	23.64±1.29b	27.23±0.49a
0.30	13.87±0.81b	27.60±0.57b	9.63±0.49c	15.95±1.47c	13.13±2.46b
0.60	9.70±0.84c	22.90±1.62c	5.69±1.37d	10.25±0.56d	8.97±1.71c
0.90	6.17±0.35d	15.83±2.11d	2.13±0.20e	7.13±0.23e	7.67±0.69cd
1.20	4.87±0.18d	12.53±0.35d	0.74±0.08e	3.83±0.43f	4.53±0.54de
1.50	3.17±0.26d	7.83±0.90e	0.00±0.00g	2.20±0.21f	2.93±0.12e

指数均显著低于对照, MD1 的发芽指数为 27.60, 明显高于其他 4 份木豆, YN1 的发芽指数低于 10。NaCl 质量分数为 0.60% 时, MD1 的发芽指数为 22.90, YD1 的发芽指数分别为 10.25, GD1、GX1 和 YN1 的发芽指数均低于 10。NaCl 质量分数为 0.90%~1.20% 时, 仅 MD1 的发芽指数为 15.83~12.53, 其余 4 份木豆种子的发芽指数均低于 10, YN1 的发芽指数最低, 降至 2.13~0.74。当 NaCl 质量分数为 1.50% 时, MD1 发芽指数为 7.83, YD1、GD1 和 GX1 的发芽指数均降至 5.0 以下, 而 YN1 因不能发芽, 所以发芽指数为零。

**2.1.3 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆胚根生长的影响** 在不同 NaCl 质量分数条件下对不同木豆种子的胚根长度进行测量, 结果表明: 木豆种子胚根生长受 NaCl 质量分数抑制明显, 不同木豆胚根生长受抑制程度不同(表 4)。当 NaCl 质量分数为 0.15% 时, GX1 和 GD1 的胚根长度略大于对照, 但差异不显著, 而 MD1、YN1 和 YD1 的胚根长度均显著小于对照; NaCl 质量分数为 0.30% 时, 除 GX1 的胚根长度和对照相当外, 其他 4 份木豆种子的胚根长度均显著小于对照; 当 NaCl 质量分数达到 0.60% 时, 5 份木豆的胚根长度均显著小于对照, 木豆种子胚根的生长受到明显抑制, 其中 YN1 的胚根长度仅为 2.20 mm; 当 NaCl 质量分数高于 0.90% 时, 木豆种子胚根受到严重抑制, 生长缓慢。

表 4 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆胚根生长的影响

Tab. 4 The effect of NaCl solution with different concentrations on the growth of pigeonpea radicle

NaCl/%	胚根长度 Radicle length/mm				
	GD1	MD1	YN1	YD1	GX1
(CK)	12.50±1.21a	13.30±0.66a	8.43±0.67a	11.13±0.22a	9.87±0.47a
0.15	12.80±1.45a	9.97±0.78b	5.63±0.32b	9.13±0.15b	10.63±2.70a
0.30	8.43±1.07b	7.37±0.07c	4.37±0.18c	8.23±0.09c	9.30±0.20a
0.60	4.33±0.66c	5.30±0.06d	2.20±0.11d	5.53±0.12d	4.47±0.52b
0.90	3.00±0.15cd	3.23±0.38e	1.13±0.03e	4.07±0.14e	3.23±0.18b
1.20	2.00±0.06cd	2.10±0.12ef	0.93±0.04e	2.90±0.12f	2.27±0.09b
1.50	1.27±0.09d	1.27±0.27f	0.00±0.00f	2.10±0.12g	1.67±0.09b

**2.1.4 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆胚芽生长的影响** 在不同 NaCl 质量分数条件下对不同木豆种子的胚芽长度进行测量, 结果表明: 木豆种子胚芽生长受 NaCl 质量分数抑制作用明显, 不同木豆胚芽生长受抑制程度不同(表 5)。当 NaCl 质量分数为 0.15% 时, GD1 和 YD1 的胚芽略长于对照, GX1 的胚芽略短于对照, 但差异均不显著, 而 MD1 和 YN1 的胚芽则显著短于对照, 其中 YN1 胚芽长度仅为对照的

表 5 不同质量分数 NaCl 溶液对木豆胚芽生长的影响

Tab. 5 The effect of NaCl solution with different concentrations on the growth of pigeonpea plumule

NaCl/%	胚芽长度 Plumule length/mm				
	GD1	MD1	YN1	YD1	GX1
(CK)	9.53±0.67a	16.57±2.17a	6.23±0.61a	9.67±0.81a	12.10±1.06a
0.15	10.20±1.22a	10.77±1.77b	3.11±0.35b	10.33±0.23a	11.23±0.37a
0.30	3.97±0.72b	7.03±1.02c	1.57±0.12c	7.20±0.15b	8.30±0.21b
0.60	1.93±0.09c	3.27±0.97d	1.20±0.06c	1.93±0.09cd	6.73±0.23c
0.90	1.37±0.09c	1.80±0.15d	0.80±0.06cd	1.63±0.03cd	5.83±0.32c
1.20	0.90±0.06c	1.30±0.06d	0.70±0.06cd	1.20±0.06d	4.37±0.12d
1.50	0.53±0.09d	0.87±0.12d	0.00±0.00e	0.80±0.06d	2.90±0.11e



50%; 当 NaCl 质量分数为 0.30% 时, 5 份木豆的胚芽长度都显著短于对照, 木豆种子胚芽的生长受到明显抑制; NaCl 质量分数为 0.60% ~ 1.20% 时, 5 份木豆的胚芽生长进一步被抑制, 胚芽长度在不同 NaCl 质量分数之间没有显著差异; 当 NaCl 质量分数为 1.50% 时, 木豆种子胚芽受到严重抑制, 生长缓慢。

## 2.2 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆幼苗生长的影响

### 2.2.1 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆幼苗根生长的影响

通过水培试验, 在不同 NaCl 质量分数条件下测定木豆幼苗根的鲜质量和干质量, 结果表明, NaCl 胁迫对木豆幼苗根生长显著抑制, 根鲜质量和干质量均随着 NaCl 质量分数的增加不断减小 (表 6)。当 NaCl 质量分数为 0.20% 时, GX1 和 MD1 木豆单株根鲜干质量均有所下降, 但和对照相比差异不显著, GD1、YD1 和 YN1 的单株根鲜、干质量均显著低于对照; 当 NaCl 质量分数为 0.40% 时, 5 份木豆单株根鲜质量均显著低于对照, 除 MD1 单株根干质量与对照差异不显著, 其他 4 份单株根干质量均显著低于对照。当 NaCl 质量分数大于 0.60% 时, 5 份木豆单株根鲜、干质量均显著低于对照, 根生长严重受抑制。

### 2.2.2 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆幼苗株高相对生长量的影响

木豆幼苗株高相对生长量分析结果 (表 7) 表明, NaCl 胁迫对木豆幼苗地上部生长显著抑制, 株高相对生长量随着 NaCl 质量分数增加显著降低。当 NaCl 质量分数为 0.20% ~ 0.40% 时, 5 份木豆幼苗地上部生长缓慢, 其株高相对生长量均显著低于对照; 当 NaCl 质量分数为 0.60% 时, MD1、GX1 和 GD1 幼苗地上部缓慢生长, YD1 和 YN1 幼苗地上部生长完全被抑制, 株高相对生长量为零; 当 NaCl 质量分数为 0.80% 时, MD1 和 GX1 幼苗地上部仍缓慢生长, 而 GD1、YD1 和 YN1 幼苗地上部生长完全被抑制, 株高相对生长量为零; 当 NaCl 质量分数为 0.80% 时, 5 份木豆幼苗株高相对生长量均为零, 地上部生长完全被抑制。

### 2.2.3 不同质量分数的 NaCl 溶液对木豆幼苗存活率的影响

木豆幼苗存活率分析结果 (表 8) 表明, 随 NaCl 质量分数增加木豆幼苗存活率显著降低, 不同木豆成活率下降幅度差异较大。当 NaCl 质量分数为 0.20% 时, 5 份木豆幼苗的存活率均显著下降, 但 MD1 和 GX1 的存活率下降相对较小, YD1 的存活率下降最大, 降至 50.33% 左右; 当 NaCl 质量分数为 0.40% 时, 5 份木豆幼苗的存活率均进一步下降, YD1 和 YN1 幼苗的存活率分别降至 25.20% 和 35.53%,

表 6 NaCl 胁迫对木豆幼苗根生长的影响

Tab. 6 The effect of NaCl stress on the root growth of pigeonpea seedlings

NaCl/%	编号 Code	单株根鲜质量 Root fresh mass per plant/g	单株根干质量 Root dry mass per plant/g
(CK)	MD1	0.515±0.083a	0.057±0.004a
	YD1	0.670±0.048a	0.050±0.002a
	GX1	0.050±0.002a	0.056±0.005a
	YN1	0.553±0.077a	0.053±0.003a
	GD1	0.533±0.028a	0.051±0.003a
	MD1	0.522±0.074a	0.052±0.003a
0.20	YD1	0.455±0.084b	0.044±0.031b
	GX1	0.521±0.074a	0.053±0.004a
	YN1	0.388±0.043b	0.037±0.003b
	GD1	0.477±0.065b	0.046±0.005b
	MD1	0.481±0.081b	0.050±0.004a
	YD1	0.425±0.072b	0.042±0.003c
0.40	GX1	0.474±0.053b	0.046±0.005b
	YN1	0.285±0.062c	0.027±0.003c
	GD1	0.413±0.063c	0.040±0.003c
	MD1	0.388±0.092c	0.038±0.003b
	YD1	0.321±0.083c	0.030±0.003d
	GX1	0.385±0.062c	0.040±0.004c
0.60	YN1	0.194±0.062d	0.019±0.004d
	GD1	0.377±0.044d	0.038±0.003d
	MD1	0.378±0.062c	0.037±0.004b
	YD1	0.223±0.062d	0.021±0.003e
	GX1	0.252±0.074d	0.026±0.003d
	YN1	0.132±0.035e	0.013±0.004e
0.80	GD1	0.277±0.052e	0.027±0.003e
	MD1	0.292±0.051d	0.031±0.003e
	YD1	0.124±0.072e	0.010±0.003f
	GX1	0.177±0.061e	0.019±0.004e
	YN1	0.112±0.032e	0.011±0.003e
	GD1	0.205±0.050f	0.020±0.002f

表 7 NaCl 胁迫对木豆幼苗株高相对生长量的影响

Tab. 7 The effects of NaCl stress on relative growth of plant height of pigeonpea seedlings

NaCl/%	株高相对生长量 Relative growth of plant height/cm				
	MD1	YD1	GX1	YN1	GD1
(CK)	4.98±0.11a	3.75±0.32a	6.55±0.54a	3.58±0.34a	6.55±0.43a
0.20	2.45±0.08b	2.05±0.21b	2.10±0.43b	0.57±0.043b	2.28±0.37b
0.40	1.58±0.15c	0.13±0.02c	1.10±0.21c	0.30±0.02c	1.23±0.21c
0.60	1.25±0.04c	0.00±0.00d	0.55±0.07d	0.00±0.00d	0.65±0.09d
0.80	0.35±0.01d	0.00±0.00d	0.28±0.03e	0.00±0.00d	0.00±0.00e
1.00	0.00±0.00e	0.00±0.00d	0.00±0.00f	0.00±0.00d	0.00±0.00e

表 8 NaCl 胁迫对木豆幼苗成活率的影响

Tab. 8 The effect of NaCl stress on the survival rate of pigeonpea seedlings

NaCl/%	成活率 Survival rate/%				
	MD1	YD1	GX1	YN1	GD1
(CK)	99.47±0.35a	96.93±0.35a	99.33±0.35a	99.13±0.18a	97.60±0.42a
0.20	90.33±0.44b	50.33±0.47b	85.87±0.24b	76.47±0.41b	78.80±0.23b
0.40	65.50±0.41c	25.20±0.50c	59.87±0.29c	35.53±0.53c	58.80±0.23c
0.60	35.53±0.55d	0.00±0.00d	35.73±0.73d	5.07±0.33d	35.53±0.48d
0.80	15.73±0.64e	0.00±0.00d	6.93±0.24e	0.00±0.00e	5.73±0.90e
1.00	0.00±0.00f	0.00±0.00d	0.00±0.00f	0.00±0.00e	0.00±0.00f

其他幼苗的存活率在 58% 以上; 当 NaCl 质量分数为 0.60% 时, MD1、GX1 和 GD1 幼苗存活率均降至 35% 左右, YN1 的存活率仅为 5.07% 左右, 而 YD1 则全部死亡; 当 NaCl 质量分数为 0.80% 时, MD1 幼苗存活率降至 15.73%, GX1 和 GD1 的存活率分别仅为 6.93% 和 5.73%, YD1 和 YN1 幼苗则全部死亡; 当 NaCl 质量分数为 1.00% 时, 5 份木豆幼苗均全部死亡。

**2.3 木豆耐盐性综合评价** 对种子萌发期的发芽率、发芽指数、胚根长度和胚芽长度及幼苗期的单株根鲜质量、单株根干质量、株高相对生长量和成活率进行隶属函数分析(表 9, 表 10)。通过对隶属均值的比较可以得出在萌发期 5 份不同来源木豆种子的耐盐能力依次为 MD1>GX1>YD1>GD1>YN1, 幼苗期的耐盐能力依次为 MD1>GX1>GD1>YD1>YN1, MD1 和 GX1 为耐盐种质, YD1 和 YN1 为盐敏感种质。

表 9 木豆种子萌发期耐盐性综合评价

Tab. 9 Comprehensive evaluation of salt tolerance of pigeonpea seeds at the germination stage

编号 Code	萌发期耐盐隶属值 Salt tolerance value during germination stage				
	发芽率/%	发芽指数	胚根长度/cm	胚芽长度/cm	隶属值均值
	Germination rate/%	Germination Index	Radicle length/cm	Plumule length/cm	Mean membership value
GD1	0.847	0.233	0.640	0.132	0.463
MD1	1.000	1.000	0.931	0.493	0.856
YN1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
YD1	0.715	0.264	1.000	0.132	0.528
GX1	0.915	0.191	0.682	1.000	0.697

表 10 木豆幼苗期耐盐性综合评价

Tab. 10 Comprehensive evaluation of salt tolerance of pigeonpea at the seedling stage

编号 Code	幼苗期耐盐隶属值 Salt tolerance membership value at seedling stage				
	单株根鲜质量/g Root fresh mass per plant/g	单株根干质量/g Root dry mass per plant/g	株高相对生长量/cm Relative growth of plant height/cm	成活率/% Survival rate/%	隶属值均值 Mean membership value
	MD1	1.000	1.000	1.000	1.000
YD1	0.714	0.652	0.000	0.000	0.342
GX1	0.964	0.826	0.669	0.860	0.830
YN1	0.000	0.000	0.117	0.256	0.093
GD1	0.648	0.565	0.759	0.834	0.702

2.4 木豆 NaCl 溶液胁迫临界值 通过建立一元二次回归方程计算木豆萌发期及幼苗期 NaCl 胁迫临界值(表 11)。萌发期以 50% 发芽率为标准, 确定 5 份木豆种子 NaCl 胁迫临界质量分数范围为 0.377% ~ 0.748%, 平均为 0.605%。不同木豆种子的 NaCl 胁迫临界值不同, 其中 GX1 和 MD1 种子的临界值较大, 分别为 0.748% 和 0.744%, YN1 种子的临界值最小。幼苗期以 50% 存活率为标准, 确定 5 份木豆幼苗 NaCl 胁迫临界值为 0.275% ~ 0.510%, 平均为 0.420%。不同木豆幼苗的 NaCl 胁迫临界值差异较大, 其中 MD1 和 GX1 幼苗的临界值较大, 分别为 0.510% 和 0.481%, YD1 和 YN1 幼苗的临界值较小, 分别为 0.275% 和 0.371%。

表 11 木豆 NaCl 胁迫临界质量分数的确定

Tab. 11 Determination of critical concentration of NaCl stress for pigeonpea accessions

编号 Code	萌发期临界质量分数/% Critical concentration at the germination stage/%	幼苗期临界质量分数/% Critical concentration at the seedling stage/%
GD1	0.636	0.462
MD1	0.744	0.510
YN1	0.377	0.371
YD1	0.510	0.275
GX1	0.748	0.481
平均	0.605	0.420

### 3 讨 论

植物的耐盐性是随发育时期而变化的, 其中种子萌发期和幼苗期是对盐分最敏感时期, 因此, 在种质资源耐盐性筛选评价时一般选择在这 2 个时期进行<sup>[23]</sup>。本研究结果显示, 5 份不同来源木豆种质资源在萌发期不同质量分数 NaCl 处理下的发芽率、发芽指数、胚根长度和胚芽长度均随 NaCl 质量分数的增大而减小, 这与相关研究结果<sup>[20]</sup>基本一致。当 NaCl 质量分数为 0.60% 时, 木豆种子萌发相关的各项指标均急剧下降, 且在不同木豆种质间表现出显著差异。以 50% 发芽率为标准, 通过回归方程计算出 5 份木豆种子萌发期的 NaCl 胁迫临界质量分数值为 0.605%, 而在幼苗期, 5 份不同来源木豆种质资源在不同 NaCl 质量分数处理下的单株根鲜/干质量、株高相对生长量和存活率均随 NaCl 质量分数的增大而减小。当 NaCl 质量分数为 0.40% ~ 0.60% 时, 木豆幼苗的各项指标均急剧下降, 且在不同木豆种质间表现出显著差异。以 50% 存活率为标准, 通过回归方程计算出木豆幼苗 NaCl 胁迫临界质量分数值 0.420%。因此, 0.605%、0.420% NaCl 分别为种子萌发期和幼苗期开展木豆耐盐性评价的适宜质量分数。

植物的耐盐性状为多基因控制的数量性状, 不同耐盐基因的表达时期存在差异, 所以不同发育时期植物的耐盐性也存在差异<sup>[24]</sup>。本研究通过观测不同 NaCl 胁迫处理对 5 份不同来源木豆种子发芽及幼苗生长的影响, 采用隶属函数法对木豆种质资源进行耐盐性综合评价发现, 在不同时期 5 份木豆种质资源的耐盐能力强弱顺序并不完全一致, 这可能是由于木豆不同生长发育阶段的耐盐性受不同的耐盐基因调控。这与小麦<sup>[25]</sup>、番茄<sup>[26]</sup>、黄瓜<sup>[27]</sup>、豇豆<sup>[28]</sup>等多种作物种质资源在种子萌发期和幼苗期耐盐性存在差别

的结果类似。如董志刚等<sup>[26]</sup>发现在芽苗期和幼苗期耐盐和中等耐盐番茄材料相同率为 53.85%;方先文等<sup>[29]</sup>发现芽期耐盐水稻品种在苗期耐盐性较差,而筛选出的苗期极端耐盐水稻品种在芽期受到高质量分数盐溶液的极显著抑制。所以,在进行作物种质资源耐盐性评价筛选时,要以多个生长发育阶段鉴定结果作为耐盐依据才能真实反映其耐盐能力。

本研究的 5 份木豆种质资源在不同质量分数 NaCl 溶液处理下的种子萌发特性和幼苗生长状况,采用隶属函数法鉴定出耐盐木豆种质 MD1 和 GX1,盐敏感种质 YN1。确定不同来源木豆种子萌发期和幼苗期 NaCl 胁迫临界值分别为 0.377%~0.748% 和 0.275%~0.510%。

## 参考文献:

- [1] 买买提·阿扎提,艾力克木·卡德尔,吐尔逊·哈斯木. 土壤盐渍化及其治理措施研究综述[J]. *环境科学与管理*, 2008, 33(5): 29-33.
- [2] IVUSHKIN K, BARTHOLOMEUS H, BREGT A K, et al. Global mapping of soil salinity change [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111260.
- [3] SOLTABAYEVA A, ONGALTAY A, OMONDI J O, et al. Morphological, physiological and molecular markers for salt-stressed plants [J]. *Plants*, 2021, 10: 243.
- [4] 武玉清. 小麦耐盐相关性状的 QTL 分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 1.
- [5] 顾骁, 吴孚桂, 刘慧芳, 等. 30 份水稻材料的耐盐性鉴定与评价[J]. *热带生物学报*, 2020, 11(3): 314-323.
- [6] 姜奇彦, 胡正, 张辉, 等. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(5): 726-732.
- [7] 张笛, 苗兴芬, 王雨婷. 100 份谷子品种资源萌发期耐盐性评价及耐盐品种筛选[J]. *作物杂志*, 2019, 193(6): 43-49.
- [8] 张涛, 刘勇鹏, 韩娅楠, 等. 100 份辣椒种质资源的耐盐综合评价及耐盐品种筛选[J]. *山东农业科学*, 2020(5): 7-15.
- [9] 申晴, 韦海燕, 卞华, 等. 海雀稗种质资源的耐盐性评价[J]. *热带生物学报*, 2020, 11(1): 11-19.
- [10] 李春燕. 牧草耐盐性研究进展[J]. *现代农村科技*, 2014(1): 55-57.
- [11] 江苏沿海滩涂耐盐优质高产水稻新品种选育及其配套技术的集成创新研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(8): 243.
- [12] 安静, 许邵建. 我省选育出耐盐高产牧草新品种[J]. *科技致富向导*, 2012(4): 41.
- [13] VARSHNEY R K, PENMETSA R V, DUTTA S, et al. Pigeonpea genomics initiative (PGI): an international effort to improve crop productivity of pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) [J]. *Molecular Breeding*, 2010, 26(3): 393-408.
- [14] 李正红, 周朝鸿, 谷勇, 等. 中国木豆研究利用现状及开发前景[J]. *林业科学研究*, 2001, 14(6): 674-681.
- [15] WU N, FU K, FU Y J, et al. Antioxidant activities of extracts and main components of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves [J]. *Molecules*, 2009, 14(3): 1032-1043.
- [16] 向锦, 庞雯, 王建红. 木豆在中国的应用前景[J]. *草业与畜牧*, 2003(4): 38-40.
- [17] SUBBARAO G V, JOHANSEN C, JANA M K, et al. Comparative salinity responses among pigeonpea genotypes and their wild relatives[J]. *Crop Science*, 1991, 31: 415-418.
- [18] CHOUDHARY A K, SULTANA R, PRATAP A, et al. Breeding for abiotic stresses in pigeonpea[J]. *Journal of Food Legumes*, 2011, 24: 165-174.
- [19] SINGH S, GROVER P, KAUR J, et al. Genetic variability of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] for water logging and salinity tolerance under *in vitro* and *in vivo* conditions [J]. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2016, 12(1): 1-13.
- [20] 梁佳勇, 陈平, 刘永霞. 盐胁迫对木豆种子萌发与幼苗生长的影响[J]. *农业与技术*, 2003, 23(6): 71-75.
- [21] 黎晓峰, 秦丽凤, 李耀燕, 等. 不同木豆品种耐铝性的基因型差异及其机理研究[J]. *生态环境*, 2005, 14(5): 690-694.
- [22] 张振铭, 胡化广. 大穗结缕草对盐胁迫响应及临界盐浓度的研究[J]. *北方园艺*, 2010, 3(3): 80-83.
- [23] 杨凤军, 李天来, 臧忠婧, 等. 不同基因型番茄种子萌发期和幼苗期耐盐性评价[J]. *中国蔬菜*, 2009, 22: 44-49.
- [24] 邵秋玲, 刘玉新, 于德花, 等. 耐盐品种东科 1 号和东科 2 号的选育[J]. *中国蔬菜*, 2005(5): 24-26.
- [25] 刘丹, 王建贺, 王从磊, 等. 不同浓度盐胁迫对小麦萌发和幼苗生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(24): 49-54.
- [26] 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.
- [27] 董志刚, 孟焕文, 程智慧. 黄瓜品种资源芽苗期和幼苗期耐盐性及其评价指标研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 156-162.
- [28] 曾文静, 汪李平, 杨静, 等. 42 份豇豆种质资源芽期及苗期耐盐性评价[J]. *长江蔬菜*, 2017, 8(693): 29-33.
- [29] 方先文, 汤陵华, 王艳平. 耐盐水稻种质资源的筛选[J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(3): 295-298.



# Effects of NaCl Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Pigeonpea Accessions from Different Origins

LI Shuanlin<sup>1,2</sup>, LUO Xiaoyan<sup>2</sup>, CHEN Zhixiang<sup>1,2</sup>, WU Ruyue<sup>3</sup>, LIAO Li<sup>1</sup>, DING Xipeng<sup>2</sup>

(1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570288; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, CATAS, Haikou, Hainan 571101; 3. College of Agro-grassland Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** An attempt was made to analyze the effect of salt stress on seed germination and seedling growth of pigeonpea (*Cajanus cajan*). Seeds and seedlings of 5 pigeonpea accessions collected from India (YD1), Myanmar (MD1), Yunnan (YN1), Guangxi (GX1) and Guangdong (GD1) were treated with NaCl solution at different concentrations to observe their seed germination and seedling growth, and their salt tolerance was evaluated by membership function method. The critical concentrations of NaCl stress for different pigeonpea accessions were determined at the germination and seedling stages. The seed germination and growth were found to be inhibited by NaCl stress at the germination stage, and the salt tolerance of 5 different pigeonpea accessions at the germination stage was in the order of MD1 > GX1 > YD1 > GD1 > YN1. The aboveground and underground growth of pigeonpea seedlings were significantly inhibited with the increase of NaCl concentration at the seedling stage, and the salt tolerance of 5 different pigeonpea accessions at the seedling stage was in the order of MD1 > GX1 > GD1 > YD1 > YN1. The salt tolerance of different pigeonpea accessions at the seed germination stage was not completely consistent with that at the seedling stage. The results showed that MD1 and GX1 were salt-tolerant while YN1 was salt-sensitive. The critical NaCl concentrations for the 5 pigeonpea accessions at the germination and seedling stages were 0.377%–0.748% and 0.275 %–0.510%, respectively. This might provide an important information for screening and evaluation of pigeonpea germplasm and breeding of new salt-tolerant pigeonpea varieties.

**Keywords:** pigeonpea; seed germination; salt stress; critical concentration; salt tolerance evaluation

(责任编辑: 刘文杰 责任编辑: 叶 静)