 DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20250912004

100 份黄麻种质耐盐评价及其综合鉴定方法研究

徐心怡[1]，邓灿辉[1]，程超华[1]，唐蜻[1]，叶武威[2,3]，陈修贵[2,3]，栾明宝[1]，杨继华[4]，李佩娴[1]，李丰宇[1]，曹　娉[1]，陈基权[1]，戴志刚[1]，杨泽茂[1,3,5]

([1]中国农业科学院麻类研究所，长沙 410205；[2]中国农业科学院棉花研究所，河南安阳 455000；[3]国家盐碱地综合利用技术创新中心，山东东营 257345；[4]山东众力棉业科技有限公司，山东东营 257500；[5]湖南农业大学农学院，长沙 410128)

摘要：黄麻是种植面积最大的韧皮纤维作物，其耐盐性强，进一步筛选强耐盐碱黄麻种质对利用和改良我国丰富的盐碱地资源具有重要意义。为系统评价 100 份黄麻种质耐盐性，并筛选适宜盐碱地种植的优良材料，本研究通过室内水培试验，设置 0、200、230 和 250 mmol/L NaCl 处理，于苗期调查盐害指数，并利用混合线性模型分析基因型随机效应，获得各基因型耐盐性的最佳线性无偏预测育种值进行评分和分级。同时，在含盐量约 4‰的盐碱大田中进行种植试验，于工艺成熟期测定株高和茎粗。结果表明，黄麻耐盐性广义遗传力约为 0.299，属中等水平，鉴定出 16 份高耐盐种质；大田试验显示盐胁迫下黄麻生长性状具有丰富的遗传变异，其中茎粗与株高的变异系数分别为 14.14%和 12.50%，相关性分析发现茎粗与耐盐性呈显著正相关（r=0.267, p=0.008）。基于耐盐性、茎粗和株高进行聚类分析，100 份黄麻种质分为 9 类，高耐盐-高产型 11 份、高耐盐-中产型 13 份、中耐盐-矮秆型 9 份、高产-盐敏感型 16 份、中产-中耐盐型 12 份、细茎-中耐盐型 9 份、普通型 16 份、盐敏感型 5 份、矮秆-中耐盐 7 份型，筛选出 11 份兼具耐盐与高产潜力的优良种质。本研究建立了实验室苗期鉴定与大田成熟期性状分析相结合的黄麻耐盐性综合评价体系，为黄麻耐盐品种选育与盐碱地开发利用提供了优良种质资源和理论依据。

关键词:黄麻；盐害指数；种质资源；大田试验；混合线性模型

Evaluation of Salt Tolerance and Comprehensive Identification Methods of 100 Jute (*Corchorus spp.*) Germplasm Accessions

XU Xinyi[1], DENG Canhui[1], CHENG Chaohua[1], TANG Qing[1], YE Wuwei[2,3], CHEN Xiugui[2,3], LUAN Mingbao[1], YANG Jihua[4], LI Peixian[1], LI Fengyu[1], CAO Pin[1], CHEN Jiquan[1], DAI Zhigang[1], YANG Zemao[1,3,5]

([1]Institute of Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410205;[2] Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000,Henan; [3] National Center of Technology Innovation for Comprehensive Utilization of Saline-Alkali Land, Dongying 257345,Shandong; [4] Shandong Zhongli Cotton Industry Technology Co., Ltd, Dongying 257500,Shandong; [5] College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

Abstract: As the most widely cultivated bast fiber crop globally, jute (*Corchorus spp.*) exhibits remarkable salt tolerance characteristics. The screening of salt-alkali tolerant jute germplasms are crucial for the utilization and improvement of China's abundant saline-alkali land resources. This study aimed to systematically evaluate the salt tolerance of 100 jute germplasm accessions

收稿日期：2025-09-12　　**网络出版日期**：
URL：
第一作者研究方向为作物种质资源学、生物信息学，E-mail: 18720339099@163.com
通信作者：杨泽茂，研究方向为作物种质资源学、分子数量遗传学、生物信息学, E-mail: yangzemao@caas.cn
戴志刚，研究方向为作物种质资源学，E-mail: dzgmonkey@126.com
陈基权，研究方向为作物种质资源学，E-mail: chenjiquan@caas.cn
基金项目：山东省重点研发计划（2024SFGC0402）；国家自然科学基金（32472119）
Foundation projects: Key R&D Program of Shandong Province, China(2024SFGC0402); National Natural Science Foundation of China(32472119)

and identify superior materials suitable for cultivation in saline-alkali soils. Through indoor hydroponic experiments, with treatments of 0(control), 200, 230 and 250 mmol/L NaCl, the salt injury index was investigated during the seedling stage. A Linear Mixed Model (LMM) was employed to analyze genotypic random effects, for which the Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) breeding values for salt tolerance were obtained for scoring and grading. Concurrently, field trials were established in natural saline-alkali soil with a salt content of approximately 4‰, where plant height and stem diameter were measured at the technological maturity stage. The results showed that the broad-sense heritability of salt tolerance in jute was approximately 0.299, indicating a moderate level of genetic control. Sixteen highly salt-tolerant accessions were identified. Field phenotypic analysis revealed abundant genetic variation in growth traits under salt stress , with coefficients of variation of 14.14% for stem diameter and 12.50% for plant height. Correlation analysis demonstrated a significant positive relationship between stem diameter and salt tolerance ($r = 0.267$, $p = 0.008$). Cluster analysis based on salt tolerance, stem diameter, and plant height categorized the germplasms into nine groups: high salt tolerance-high yielding type (11 accessions), high salt tolerance-medium yielding type (13 accessions), medium salt tolerance-dwarf type (9 accessions), high yielding-salt sensitive type (16 accessions), medium yielding-medium salt tolerance type (12 accessions), thin stem-medium salt tolerance type (9 accessions), common type (16 accessions), salt sensitive type (5 accessions), and dwarf-medium salt tolerance type (7 accessions). This approach enabled the effective screening of 11 elite germplasm that combine high salt tolerance with high yield potential. This study establishes a comprehensive evaluation system for jute salt tolerance, integrating laboratory-based seedling screening and field-based trait analysis at maturity. It provides valuable germplasm resources and a theoretical foundation for breeding salt-tolerant jute varieties and utilizing saline-alkali lands.

Key words: jute; salt injury index; germplasm resources; field trial; linear mixed model

黄麻为锦葵科一年生天然纤维作物，主要有两个栽培种长果黄麻（*Corchorus olitorius* L.）和圆果黄麻（*Corchorus capsularis* L.）[1]。黄麻纤维具有产量高、质地柔软、吸湿性好、散水快、抗菌抑菌、可降解和环境友好等特性，素有“金色纤维”之称，是麻纺工业的重要原料，为世界上种植面积最大的韧皮纤维作物[2]。近年来，黄麻用途不断扩展，除广泛用于传统的纺织、造纸、板材外，已发展为绿色叶用蔬菜、新生物能源材料、面膜原料、环保材料和中草药等[3]，其需求量不断增加。此外，黄麻还是一种能在沿海滩涂、盐碱地大面积种植的重要耐盐经济作物[4]。目前，我国盐碱耕地面积呈增长趋势，主要分布在我国北方干旱半干旱区以及滨海地区[5]。据第三次全国国土调查，截至 2019 年底，我国盐碱地面积约为 7.67×10^6 hm^2[6]，土壤盐碱化是影响耕地产能的重要障碍因子，会限制植物的发育和生长而降低农业生产力[7]。为了利用和改良我国丰富的盐碱地资源，进一步筛选强耐盐碱黄麻种质对盐碱地地区土地资源的利用有着重要意义。作物种质资源耐盐性鉴定评价，常以种子的发芽势、发芽率、根长、苗高等形态指标作为评价指标[8]。盐害指数是植物在盐胁迫下的综合表现，是植物耐盐性合适的评价指标[9]。前人[4, 10, 11]研究表明，黄麻种质耐盐性鉴定应该以苗期鉴定为主，芽期鉴定为辅，以平均盐害指数作为黄麻苗期耐盐性鉴定指标划分耐盐等级，能够

较好的区分各品种间的耐盐能力，且方法简便、可行。但，目前黄麻耐盐性评价多集中在实验室条件下的分析鉴定，大田盐碱地的耐盐综合评价缺乏，且没有盐碱地耐盐鉴定方法、指标方面的文献报道，导致黄麻大田耐盐评价很难开展。

本研究利用黄麻苗期盐害指数评价黄麻种质耐盐性，使用混合线性模型计算基因型随机效应，获得黄麻种质耐盐性的最佳线性无偏预测值，结合实际盐碱地种植成熟期生长数据，综合筛选黄麻耐盐品种，建立系统的黄麻耐盐高产种质筛选体系，为黄麻耐盐品种的改良和育种提供更丰富的亲本材料数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

100 份黄麻种质资源均来源于国家麻类种质资源中期库（详见 https：//doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250912004，附表 1)，其中中国 50 份、孟加拉 3 份、坦桑尼亚 2 份、印度 2 份、肯尼亚 2 份、俄罗斯 2 份、埃及 1 份、巴基斯坦 1 份、尼泊尔 1 份、泰国 1 份、越南 1 份；栽培品种 52 份、地方品种 19 份、遗传材料 29 份。

1.2 黄麻室内耐盐试验

试验于 2020 年 6-10 月在中国农业科学院麻类研究所温室大棚内进行，大棚温度 25~35℃，自然光。每份种质挑选籽粒饱满、大小均匀的种子用于水培试验(HC，hydroponics)。每个培养盘（长×宽×高为 43cm ×25cm×10 cm，50 孔）播种 5 份种质，培养过程中均使用 30 L 等体积的稀释 500 倍的海珀尼卡营养液。海珀尼卡营养液由 A 液和 B 液组成：A 液含全氮素 1.0%、硝酸性氮素 1.0%、水溶性磷酸 3. 8%、水溶性钾 5.5%；B 液含硝酸性氮素 3.0%、水溶性钾 3.9%。营养液施用顺序为先添加 A 液，后添加 B 液，营养液一次性配制完毕后进行水培。待幼苗长出 2～3 片真叶后，剔除弱势苗，选取植株健壮、长势一致的九叶期黄麻幼苗用于后期盐胁迫处理。于九叶期开始施加 NaCl 盐胁迫处理，设置 0、200、230 和 250 mmol/L 4 个浓度梯度，2 次重复，每次重复 10 株，盐处理为一次性添加。自盐处理后，每日调查每份材料的盐害分级状况并计算盐害指数直至幼苗半数萎蔫枯死。盐害评估以对照组的正常生长发育为参照，根据幼苗受害表现结合苗情盐害分级判定单株盐害等级，进而根据每份种质所有幼苗盐害等级计算盐害指数。苗情盐害分级标准（表 1）参考前人方法[10, 12-14]。

$$\text{盐害指数} = \frac{\sum(0\text{级苗数}\times 0 + 1\text{级苗数}\times 1 + 2\text{级苗数}\times 2 + 3\text{级苗数}\times 3 + 4\text{级苗数}\times 4 + 5\text{级苗数}\times 5)}{(5\times\text{总苗数})}$$

表 1 黄麻苗情盐害分级标准

Table 1 Salt injury grading standard of jute

级别 Grade	分级标准 Grading standard
0	以对照组的正常生长发育为参照，植株健壮，叶片平展，绿色有光泽，无受害症状

1	以对照组的正常生长发育为参照，植株生长基本正常，稍有萎蔫，老叶边缘变黄或轻微失水
2	以对照组的正常生长发育为参照，植株萎蔫，下部老叶下垂、皱缩、变黄、部分叶片长出盐斑或边缘卷曲或脱落，受害与脱落的叶片总面积约占叶片总叶面积的 25%
3	以对照组的正常生长发育为参照，植株严重萎蔫，下部及中部叶片变黄、干枯或脱落，部分叶片长出盐斑，受害与脱落的叶片总面积约占叶片总叶面积的 50%
4	以对照组的正常生长发育为参照，植株生长严重受害，仅有上部 1～2 片绿叶余叶片干枯或脱落，受害与脱落的叶片总面积达到叶片总叶面积的 75%
5	以对照组的正常生长发育为参照，整个植株枯死或接近死亡

1.3 黄麻田间耐盐试验

2024 年在国家盐碱地综合利用技术创新中心的东营综合试验站种植 100 份黄麻种质，试验田块土壤水溶性盐含量约 4‰，试验前反复翻耕使田间土壤均一，试验采取完全随机区组设计，2 个重复，株距 10 cm，行距 35 cm，行长为 2 m，最终定苗 20 株，两边设保护行。按常规种植方法，标准田间管理。当植株出现上花下果（长果种花多果少），表明已达到工艺成熟时期。以试验小区全部麻株为观测对象，记录小区 2/3 以上植株达到工艺成熟的日期为工艺成熟期[15]，并在工艺成熟期测定茎粗和株高，测量使用游标卡尺和卷尺，测量方法参考文献[15]。

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2019 软件进行试验数据整理，利用 R 4.5.0 软件进行统计分析绘图，使用“tidyverse”、“e1071”、“rstatix” 程序包对各数据进行描述性统计分析和正态分布检验，使用“car”、“psych”程序包对数据进行 Pearson 相关性分析并使用“ggplot2”程序包进行可视化，使用“lme4”程序包对黄麻盐害数据进行混合线性模型分析，获得固定效应和随机效应的方差分量，提取各基因型随机效应的最佳线性无偏预测（BLUP，best linear unbiased prediction）值，取其负值作为该基因型的耐盐性育种值，利用 F 检验和似然比检验进行显著性测验。使用“ComplexHeatmap”、 “cluster”程序包对黄麻种质的成熟期株高、茎粗及苗期 BLUP 耐盐性评分进行 Z-score 标准化，消除量纲差异；采用层次聚类算法（欧氏距离 + Ward's linkage）对标准化后的三维性状矩阵进行分组，通过轮廓系数（Silhouette index）确定聚类数，并进行热图-树状图双关联可视化。其中，盐害指数构建混合线性模型如下。

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + M_j + G_k + \epsilon_{ijk}$$

式中，Y_{ijk}为种质 k 在环境 i、方法 j 下的盐害指数，μ为盐害指数总体平均值，E_i为环境固定效应（3 个盐胁迫浓度处理），M_j为计算方法固定效应（当天值/两天均值），G_k是种质基因随机效应，ϵ_{ijk}是误差项。

根据黄麻 BLUP 盐害指数对耐盐性评分，公式如下，并按照表 2 对黄麻耐盐程度分级。

$$S = \frac{-BLUP - min(BLUP)}{max(BLUP) - min(BLUP)} \times 100$$

式中，S 是耐盐性评分，BLUP 是各基因型随机效应的最佳线性无偏预测值。

表 2 黄麻耐盐性评分分级

Table 2 Salt tolerance evaluation standard of jute

级别 Grade	分级标准 Grading standard
高耐盐 Highly tolerant	[80, 100]
中耐盐 Moderately tolerant	[60, 80)
低耐盐 Low tolerant	[40, 60)
中敏感 Moderately sensitive	[20, 40)
高敏感 Highly sensitive	[0, 20)

2 结果与分析

2.1 室内盐害试验分析

对 3 个盐浓度胁迫下的每天的盐害指数进行正态性检验，筛选出符合正态分布（P>0.05）的数据用于种质耐盐性评价分析，结果见表 3。200 mmol/L（HC200）盐胁迫下，第 5 天数据符合正态分布，其偏度和峰度绝对值均小于 1，P 值为 0.5690，远大于 0.05，可用于种质的耐盐性评价；230 mmol/L 盐胁迫下（HC230），第 8 天盐害指数偏度为 0.4685，峰度为﹣0.2001，P 值为 0.0491，接近正态分布；250 mmol/L 盐胁迫下，第 5 天盐害指数最适合用于耐盐性评价，其偏度和峰度分别为 0.2386 和 0.1718，P 值为 0.6526。3 个盐胁迫环境下分别选择盐处理后第 5 天、第 8 天、第 5 天的数据进行分析，发现平均盐害指数随着盐胁迫浓度增加而增大，分别为 0.5855、0.6968 和 0.7276；200 mmol/L 和 230 mmol/L 盐胁迫的变异系数接近，分别为 14.7276%、14.2291%，而 250 mmol/L 胁迫处理的变异系数下降一半，为 7.6889%，说明 200 mmol/L 和 230 mmol/L 盐浓度能更好的区别不同种质间的耐盐性，而 250 mmol/L 虽然能够用于不同黄麻种质耐盐鉴定，但由于浓度太高，可能接近黄麻耐盐能力上限，降低了不同种质间的耐盐性区分度。为消除单天偶然波动数据误差影响，选择 200 mmol/L 盐处理后第 5 天（HC200-5）、230 mmol/L 盐处理后第 8 天（HC230-8）、250 mmol/L 盐处理后第 5 天（HC250-5）3 组数据并与前一天数据取均值后一同用于后续混合线性效应模型分析。

表 3 三组盐胁迫条件下盐害指数的正态性检验

Table 3 Normality test of the salt injury index under three salt stress conditions

环境 Environment	平均值 Mean	标准差 *SD*	变异系数 (%)*CV*	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	*P* 值 *P* value
200 mmol/L 盐处理后第 1 天 HC200-1	0.1519	0.0352	23.1652	-0.2138	-0.4559	0.5028
200 mmol/L 盐处理后第 2 天 HC200-2	0.3603	0.0494	13.7194	0.4702	1.0740	0.0450
200 mmol/L 盐处理后第 3 天 HC200-3	0.4914	0.0832	16.9375	-0.2001	-0.9596	0.0145
200 mmol/L 盐处理后第 4 天 HC200-4	0.5616	0.0728	12.9710	-0.1083	-0.8432	0.1540
200 mmol/L 盐处理后第 5 天 HC200-5	0.5855	0.0862	14.7276	0.0484	-0.6249	0.5690
200 mmol/L 盐处理后第 6 天 HC200-6	0.6421	0.1334	20.7711	0.2132	-1.0356	0.0088
200 mmol/L 盐处理后第 7 天 HC200-7	0.6751	0.1394	20.6541	0.0689	-1.1838	0.0041
200 mmol/L 盐处理后第 8 天 HC200-8	0.6874	0.1417	20.6135	-0.0785	-1.1950	0.0026
200 mmol/L 盐处理后第 9 天 HC200-9	0.7021	0.1472	20.9630	-0.0703	-1.1412	0.0073

200 mmol/L 盐处理后第 10 天 HC200-10	0.7156	0.1544	21.5784	-0.0600	-1.1895	0.0030
200 mmol/L 盐处理后第 11 天 HC200-11	0.7219	0.1559	21.5989	-0.0994	-1.1700	0.0034
200 mmol/L 盐处理后第 12 天 HC200-12	0.7300	0.1572	21.5309	-0.1428	-1.1682	0.0029
230 mmol/L 盐处理后第 1 天 HC230-1	0.2214	0.0491	22.1822	0.8569	1.5586	0.0010
230 mmol/L 盐处理后第 2 天 HC230-2	0.4169	0.0567	13.5942	0.8080	0.8690	0.0007
230 mmol/L 盐处理后第 3 天 HC230-3	0.5387	0.0513	9.5215	1.5861	6.3134	0.0000
230 mmol/L 盐处理后第 4 天 HC230-4	0.5858	0.0643	10.9762	1.0642	1.1436	0.0000
230 mmol/L 盐处理后第 5 天 HC230-5	0.6293	0.0798	12.6880	0.4885	-0.5289	0.0075
230 mmol/L 盐处理后第 6 天 HC230-6	0.6556	0.0867	13.2204	0.2575	-0.9239	0.0209
230 mmol/L 盐处理后第 7 天 HC230-7	0.6744	0.0843	12.5044	0.1445	-1.0027	0.0253
230 mmol/L 盐处理后第 8 天 HC230-8	0.6968	0.0991	14.2291	0.4685	-0.2001	0.0491
250 mmol/L 盐处理后第 1 天 HC250-1	0.3927	0.0688	17.5205	0.1958	0.4309	0.2868
250 mmol/L 盐处理后第 2 天 HC250-2	0.5299	0.0703	13.2717	0.9913	1.4194	0.0001
250 mmol/L 盐处理后第 3 天 HC250-3	0.5911	0.0484	8.1801	0.1549	-0.9360	0.0384
250 mmol/L 盐处理后第 4 天 HC250-4	0.6749	0.0539	7.9904	0.3574	-0.3997	0.2232
250 mmol/L 盐处理后第 5 天 HC250-5	0.7276	0.0559	7.6889	0.2386	0.1718	0.6526
250 mmol/L 盐处理后第 6 天 HC250-6	0.7890	0.0700	8.8728	0.2147	-0.3606	0.6407
250 mmol/L 盐处理后第 7 天 HC250-7	0.8305	0.0748	9.0064	0.2711	0.2024	0.1181

HC+数字代表盐处理浓度，-1~-12 代表盐处理后第几天

HC followed by a number represents the salt treatment concentration, and -1 to -10 indicate the number of days after salt treatment

2.2 混合线性效应模型苗期耐盐性分析

利用上述盐害试验数据，采用混合线性效应模型评估黄麻种质耐盐性，通过似然比检验结论校正环境固定效应，确认环境×测量方法交互作用不显著（$P = 0.47 > 0.05$），最终采用加性模型，该模型考虑了固定效应（环境和计算方法）与基因型随机效应。模型具体表现见表 4，在模型中，200 mmol/L 盐处理组（HC200）、230 mmol/L 盐处理组（HC230）、250 mmol/L 盐处理组（HC250）的盐害指数估计值分别为 0.5877、0.6993 和 0.7219，与基准环境（HC200）相比，HC230 和 HC250 环境的盐害指数极显著升高（$P < 0.001$），估计值分别增加了 0.1116 和 0.1342，盐梯度胁迫设置合理。

基因型随机效应的方差分量（$G_k = 0.001025$）数值虽较小，但通过混合线性模型证实其存在显著性，表明在控制了环境和计算方法的影响后，100 份黄麻种质在耐盐性上存在真实、可遗传的差异。本研究条件下，盐害指数的广义遗传力估计值为 0.299，表明黄麻苗期的耐盐性约 29.9%的变异是由遗传因素决定的，其余约 70.1%的变异来源于环境包括试验误差，属于中等遗传力水平，说明通过表型选择进行耐盐性遗传改良是可行且有效的。

表 4 黄麻种质盐害指数的混合线性模型估计结果

Table 4 Linear mixed model estimates for salt injury index in jute germplasm

固定效应	估计值	标准误	自由度	t 值	p 值
Fixed effects	Estimate	*SE*	df	t value	P value

截距-200 mmol/L 盐处理组 Intercept - HC200	0.5877	0.0065	391.88	90.38	< 2e-16***
比较-230 mmol/L 盐处理组 vs 200 mmol/L 盐处理组 Comparison - HC230 vs HC200	0.1116	0.0069	492.41	16.11	< 2e-16***
比较- 250 mmol/L 盐处理组 vs 200 mmol/L 盐处理组 Comparison - HC250 vs HC200	0.1342	0.0070	494.62	19.26	< 2e-16***
计算方法：两日均值 vs 当天值 Measurement: Two-day average vs. Same-day value	-0.0164	0.0057	492.41	-2.89	0.00397**

随机效应 Random effects	方差分量 Variance	标准差 *SD*
基因型 Genotype	0.001025	0.03201
残差 Residual	0.004799	0.06927

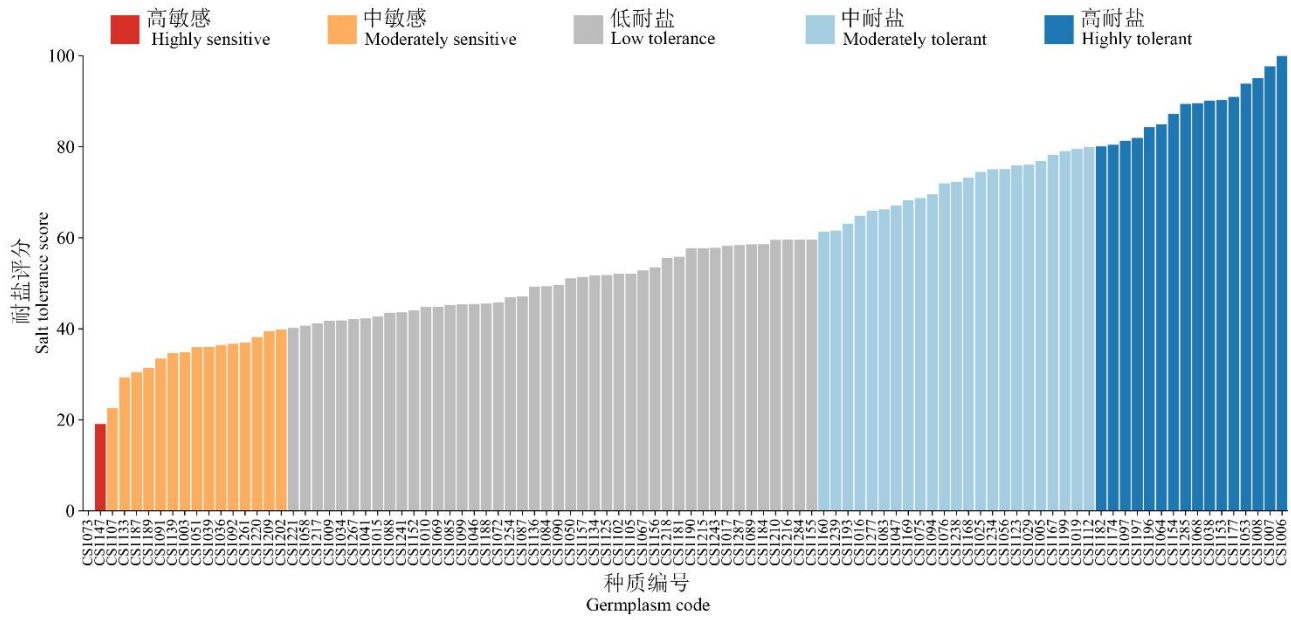
特征 Characteristics	观测数 Observations	遗传变异系数（%） Genetic variation coefficient	REML 准则 REML criterion	遗传力 Heritability
模型特征 Model characteristics	596	4.84	-1378.8	0.299

、*分别表示在 $P < 0.01$、$P < 0.001$ 水平差异显著

, * indicates significant differences at the $P<0.01$ and $P<0.001$ levels, respectively

2.3 苗期耐盐性评分估计

根据拟合模型计算出 100 份黄麻种质基因随机效应的最佳线性无偏预测育种值，对黄麻耐盐性进行评分以及耐盐程度分级，结果表明（图 1），桔西棉湖（CS1006）等 16 份材料为高耐盐种质，O-1（CS1112）等 23 份为中耐盐种质，2002-026（CS1155）等 44 份为低耐盐种质，J1414（CS1202）等 15 份中敏感种质，2002-020（CS1073）和 076-4（CS1147）为高敏感种质，为黄麻强耐盐品种的培育和遗传群体的构建提供了种质资源。



种质编号同附表 1；下同

Germplasm number is the same as appendix 1; The same as below

图 1 基于 BLUP 耐盐性评分的 100 份黄麻种质耐盐等级分布

Fig. 1 Distribution of salt tolerance grades of 100 jute germplasms based on BLUP salt tolerance scores

2.4 大田生长性状描述性分析

对盐碱地种植的 100 份黄麻种质进行株高和茎粗测定，每个种质测 5 个生物学重复，由于种质 Y038（CS1034）和 092-36（CS1091）在苗期未成活无植株，最终获得 98 份黄麻种质生长性状数据。统计结果显示（表 5），茎粗与株高均呈近似正态分布特征（偏度和峰度绝对值均小于 1，Shapiro-Wilk 检验 P>0.05）。茎粗均值为 1.5894 cm，极差达到 1.0286 cm，变异系数为 14.14%；株高均值为 274.08 cm，极差达到 153.2 cm，变异系数为 12.5%。尽管受到盐胁迫，黄麻核心的植株构型性状仍表现出可观的变异，且 2 个性状的变异系数均超过 10%，表明盐胁迫下这 2 个性状仍然呈现了丰富的遗传多样性，有助于选育适合盐碱地种植的高产品种，对利用我国丰富的盐碱地资源、发展黄麻产业和盐碱地改良具有重要意义。

表 5 黄麻生长性状描述性统计

Table 5 Descriptive statistics of jute growth traits

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 *SD*	变异系数 (%)*CV*	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	*P* 值 *P* value
茎粗（cm）Stem diameter	1.0532	2.0818	1.5894	0.2248	14.14	-0.27	-0.23	0.42
株高（cm）Plant height	194.60	347.80	274.08	34.25	12.50	-0.31	-0.68	0.073

2.5 苗期耐盐性与生长性状相关性分析

通过上述混合线性模型分析获得的苗期耐盐性评分与株高、茎粗进行相关性分析（图 2），结果表明株高与苗期耐盐性无显著相关性；茎粗与苗期耐盐性存在显著正相关性，相关系数为 0.267，显著性检验 P 值为 0.00786，表明茎粗可用于黄麻盐碱地耐盐鉴定的参考指标，为黄麻盐碱地耐盐鉴定提供了参考性状。

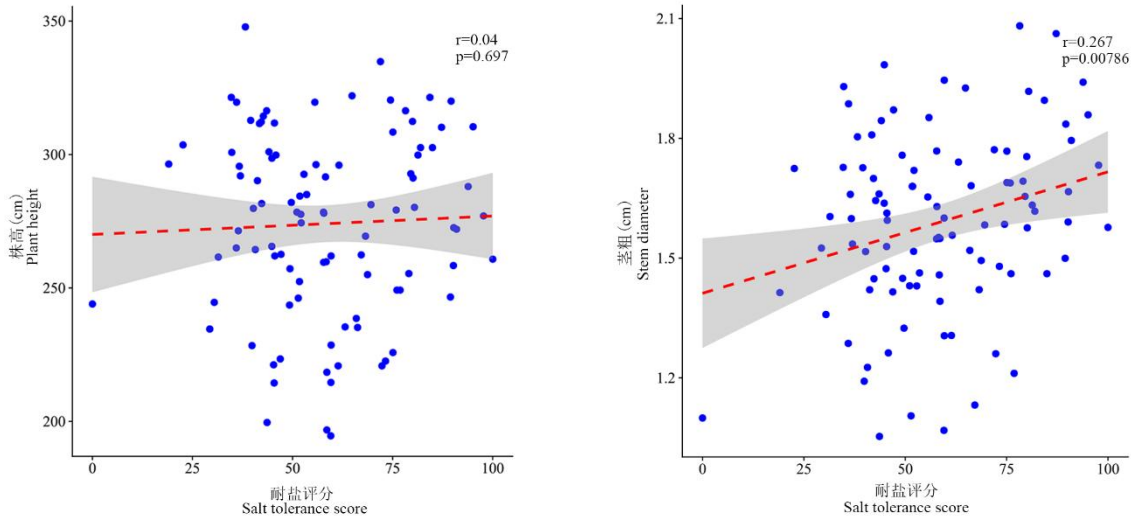


图 2 株高、茎粗与苗期耐盐性相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between plant height, stem diameter and salt tolerance during seedling stage

2.6 基于多维农艺性状的耐盐种质聚类筛选

基于 98 份黄麻种质的成熟期株高、茎粗及 BLUP 苗期耐盐性评分进行聚类分析。通过轮廓系数、Gap Statistic 等多指标综合评估，最终确定聚类数 k=9。该方案在统计合理性与育种应用价值间取得了最佳平衡，成功将种质划分为 9 个类群（图 3，详见 https: //doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250821001，附表 2），第 1 类共 11 份材料，表现为典型的高耐盐-高产型，其平均耐盐性评分（81.90）、茎粗（1.8920 cm）和株高（311.0 cm）均显著优于其他类群，为核心优良种质，包含 31199（CS1008）、29618（CS1053）、浙麻 5 号（CS1068）、J1404（CS1154）、Y037（CS1196）、JRC/558（CS1174）、O-1（CS1112）、2002-024（CS1167）、78-1273（CS1234）、航天长果　湘黄 3 号（CS1076）、2002-034（CS1016）；第 2 类为高耐盐-中产型材料，共 13 份；第 3 类为中耐盐-矮秆型材料，共 9 份；第 4 类为高产-盐敏感型材料，共 16 份；第 5 类为中产-中耐盐型材料，共 12 份；第 6 类为细茎-中耐盐型材料，共 9 份；第 7 类为普通型材料，共 16 份；第 8 类为盐敏感型材料，共 5 份；第 9 类为矮秆-中耐盐型材料，共 7 份。

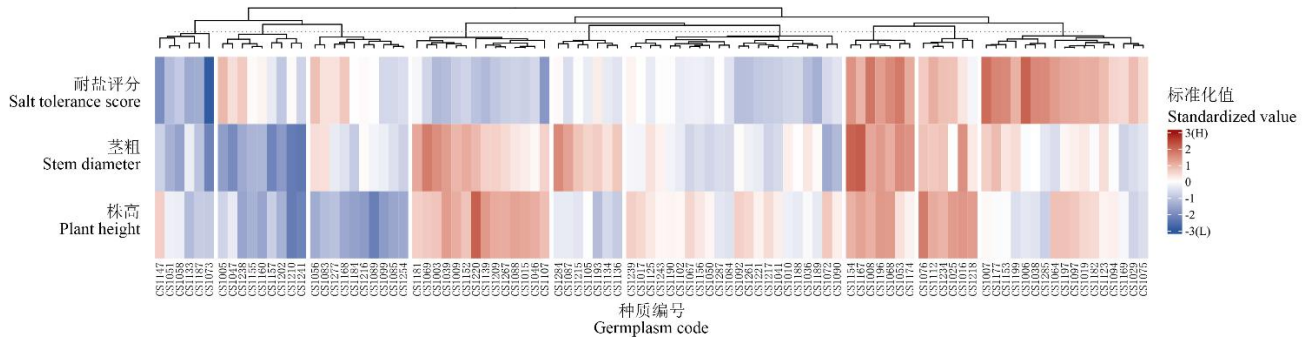


图 3 基于株高、茎粗及耐盐评分的种质聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of germplasm based on plant height, stem diameter, and salt tolerance scores

3 讨论

3.1 耐盐性方法研究

作物抗逆耐性研究中，前人[11, 16-18]多对作物芽期和苗期开展研究，主要测定发芽势、发芽率、芽长，苗高、根长、总重等表型性状，并通过隶属函数分析、主成分分析、系统聚类分析等评估作物耐盐性。牛晋鸿等[19]、殷君华等[20]等使用混合线性模型计算环境固定效应和基因型随机效应，估计遗传力，评价植物抗逆性，以实现植物耐性品种筛选。该方法考虑了环境和方法的固定效应，减少了系统误差，使评价结果更接近植物抗逆性真实水平。本研究创新性地在黄麻耐盐性分析中引入该方法，期望为黄麻耐盐评估带来新的视角与更准确的结果。每日盐害指数处于动态变化的过程中，由于植物受逆境伤害有滞后性，盐胁迫初期难以区分种质间的抗性差异；后期由于超过大多数种质抗逆极限，同样无法区分种质间抗性差异，因此

选择合适时间点的盐害指数进行种质耐盐性评价尤为重要。本研究筛选每日盐害指数中最符合正态分布的数据用于黄麻耐盐性分析，通过广泛的重复和先进的统计模型，最大限度地减少了主观误差，提取出了各种质的遗传效应，确保了分析结果的准确性。

在黄麻的耐盐种质鉴定中，前人[4, 10]多使用苗期耐盐性状数据进行分析，并未考虑黄麻成熟期表现；鉴定环境多集中在实验室，盐碱地大田鉴定较少，所筛选出的耐盐种质具有一定的局限性，难以实际应用。本研究结合黄麻苗期盐害数据和成熟期盐碱地生长表型数据进行综合评估，获得 11 份高产高耐盐黄麻种质，为黄麻盐碱地强耐盐品种和种植推广奠定了材料基础。作物抗逆品种培育，不仅要筛选高抗材料，同时要求高抗材料具有产量高、品质好等综合优良性状。在黄麻耐盐性研究中不仅要考虑耐性更需要考虑其综合性状，在后续黄麻的耐盐性表型鉴定中，建议使用更多的表型鉴定以增加抗性鉴定的准确性和全面性；为了获得在盐碱地下的更多综合性状，同时节约成本和人力，在黄麻大田试验中，建议采用无人机、热感和光谱成像技术开展表型调查[21]。

3.2 盐胁迫响应的遗传基础

本研究发现黄麻盐害指数受可遗传的基因型变异影响（广义遗传力为 0.299），尽管环境效应主导表型变异（残差方差占比约 82.4%），但显著的基因型方差为耐盐育种提供了遗传增益空间。本研究中观测到的黄麻盐害指数遗传变异系数较低，推测可能由以下双重因素导致：其一，试验群体规模有限，且侯文焕等[22]研究表明黄麻整体上耐盐性相对较强；其二，黄麻基因组较小约 350 Mb[1]，据 Yang 等[23]研究表明，黄麻栽培品种的遗传多样性显著低于野生种质（野生品种 1.6×10^{-3} > 地方品种 1.3×10^{-3} > 栽培品种 0.8×10^{-3}），本研究的群体更接近经过人工选择的栽培品种无野生品种，因此群体整体的遗传变异相对有限。

本研究通过相关性分析表明，黄麻成熟期茎粗与苗期耐盐性显著正相关，说明两者可能具备共同的遗传基础。在盐胁迫条件下，细胞壁应答胁迫，发生细胞器变形硬化或重塑[7, 24]，黄麻可能借助发达的维管系统（如增厚的茎秆）优化水分输导效率，从而缓解因 Na^+过度积累引发的渗透胁迫与生理性干旱[23]。从资源分配角度考虑，粗茎型材料可能将更多光合产物投入木质部发育，同步增强机械支撑强度与水分长距离运输能力，进而形成对盐渍环境的适应性优化。在盐胁迫环境下，维持茎秆结构稳定与存活的机制可能被赋予更高的生物学优先级，而非单纯追求生物量的快速积累。本研究结果为黄麻多性状聚合育种提供了重要理论支撑。同时，在育种实践中，可将茎粗作为初筛指标，优先选择茎粗大于群体均值的材料进入后续耐盐性鉴定。苗期耐盐性与株高无显著相关性，该发现支持盐胁迫下黄麻采取“保守生长策略”的假说。盐胁迫会触发植物根系渗透感知与离子信号转导，迅速诱导脱落酸合成[25]，脱落酸的积累和信号增强，往往会抑制生长素、赤霉素等促进生长激素的信号通路[26]。这种拮抗作用使植物在能量分配上做出权衡，抑制生长以减少消耗，将资源集中于胁迫防御。Pan 等[27]研究表明，PP2C 类蛋白磷酸酶参与该过程的调控网络，黄麻中的 *CcPP2C51* 基因在盐胁迫下表达上调，其过表达可提高再生根的耐盐性，并促进根系伸长，进一

步说明耐盐基因型可能优先分配资源至胁迫响应机制而非生物量积累。Li 等[28]的研究进一步揭示，盐胁迫通过下调赤霉素信号转导关键受体蛋白 CoGID1a 的表达，抑制节间细胞伸长相关基因的表达，同时该通路与纤维素生物合成途径存在交叉调控关系，最终导致植株矮化但纤维素合成增强。这一机制为解释盐胁迫下茎粗维持与株高生长受限的表型分化现象提供了分子生物学依据。

4 结论

本研究结合多种方法实现了 100 份黄麻种质耐盐性系统鉴定评价。本研究测定黄麻苗期盐害指数，使用混合线性模型计算获其广义遗传力（H^2 ＝0.299），该遗传力表现为中等遗传力水平，提取各种质最佳线性无偏预测育种值，对 100 份种质进行耐盐性评分，划分为高耐盐、中耐盐、低耐盐、中敏感、高敏感 5 个等级，筛选出 16 份高耐盐种质。综合苗期耐盐性和成熟期茎粗、株高相关性分析，发现茎粗与耐盐性相关性显著，可用作黄麻大田耐盐性评估的参考指标。整合耐盐性、茎粗和株高数据，使用聚类分析分为高耐盐-高产型、高耐盐-中产型、中耐盐-矮秆型、高产-盐敏感型、中产-中耐盐型、细茎-中耐盐型、普通型、盐敏感型、矮秆-中耐盐 9 类，筛选出 11 份优质高产耐盐品种 31199（CS1008）、29618（CS1053）、浙麻 5 号（CS1068）、J1404（CS1154）、Y037（CS1196）、JRC/558（CS1174）、O-1（CS1112）、2002-024（CS1167）、78-1273（CS1234）、航天长果　湘黄 3 号（CS1076）、2002-034（CS1016）。综上所述，本研究建立了黄麻耐盐性鉴定与评价的创新性方法及理论框架，所筛选出的耐盐种质资源为黄麻耐盐品种选育提供了重要的遗传材料和育种基础。

参考文献

[1]Zhang L L, Ma X K, Zhang X T, Xu Y, Kurawa I A, Yao J Y, Huang H X, Chen S, Liao Z Y, Zhang Q, Sylvain N, Yu J X, Liu Y, Xu X M, Wang J J, Tao A F, Xu J T, Chen S Y, Yang X, He Q Y, Lin L H, Fang P P, Zhang L M, Ming R, Qi J M, Zhang L W. Reference genomes of the two cultivated jute species. Plant Biotechnology Journal, 2021, 19 (11): 2235-2248

[2] 熊和平. 麻类作物育种学. 北京: 中国农业科学技术出版社,2008:155-156
Xiong H P. Cotton Crop Breeding. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008:155-156

[3] Islam M K, Alam I, Khanam M S, Lee S Y, Waghmode T R, Huh M R. Accumulation and tolerance characteristics of chromium in nine jute varieties (*Corchorus spp.* and *Hibiscus spp.*). Plant Omics, 2014, 7 (5): 392-402

[4] 马洪雨,王瑞君,王显生,麻浩. 黄麻种质芽期和苗期耐盐性的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2):236-243
Ma H Y, Wang R J, Wang X S, Ma H. Identification and evaluation of salt tolerance of jute germplasm during germination and seedling periods. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(2):236-243

[5] 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(2):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. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(2):489-494

[6] 新华社. 做好这篇“大文章”，田间地头有答卷. (2023-6-8)[2025-9-12].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202306/content_6885154.htm
Xinhua News Agency. To successfully complete this "major undertaking", one can find the answers in the fields. (2023-6-8)[2025-9-12].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202306/content_6885154.htm

[7] Zhu J K. Abiotic stress signaling and responses in plants. Cell, 2016, 167 (2): 313-324

[8] 李磊,赵檀方,胡延吉. 大麦芽期耐盐性鉴定指标初探. 莱阳农学院学报, 2000, 17(1):29-31

Li L, Zhao T F, Hu Y J. Study on identity indicators of salt tolerance at germinated stage in barley. Journal of Laiyang Agricultural College, 2000, 17(1):29-31

[9] 杜中军,翟衡,罗新书,程述汉,潘志勇. 苹果砧木耐盐性鉴定及其指标判定. 果树学报, 2002, 19(1):4-7

Du Z J, Zhai H, Luo X S, Cheng S H, Pan Z Y. Salt-tolerance identification on apple rootstocks. Jounral of Fruit Science, 2002, 19(1):4-7

[10]卢瑞克,杨泽茂,戴志刚,许英,唐蜻,程超华,陈基权,粟建光. 50 份长果黄麻种质资源耐盐性鉴定评价. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6):1055-1066

Lu R K, Yang Z M, Dai Z G, Xu Y, Tang Q, Cheng C H, Chen J Q, Su J G. Evaluation for salt tolerance of 50 jute (*Corchorus olitorius* L.) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(6):1055-1066

[11]李阿蕾,戴志刚,陈基权,邓灿辉,唐蜻,程超华,许英,张小雨,粟建光,杨泽茂. 239 份长果种黄麻种质资源萌发期耐镉性评价及耐镉资源筛选. 作物学报, 2023, 49(10):2677-2699

Li A L, Dai Z G, Chen J Q, Deng C H, Tang Q, Cheng C H, Xu Y, Zhang X Y, Su J G, Yang Z M. Evaluation of cadmium tolerance in germination stage of 239 dark jute (*Corchorus olitorius* L.) germplasm resources and screening of cadmium tolerance resources. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(10):2677-2699

[12]盖如玉. 大豆种质资源的耐盐性鉴定和多样性分析. 北京: 中国农业科学院, 2007

Gai R Y. Salt-talerance evaluation and genetic diversity analysis on soybean germplasm resources. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007

[13]王波. 密山市保护地土壤盐渍化评价及耐盐番茄品种筛选. 北京: 中国农业科学院, 2013

Wang B. Soil salinization evaluation and salt tolerance selection of greenhouse tomato varieties in mishan. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013

[14]Ma H Y, Yang R F, Wang Z K, Yu T, Jia Y Y, Gu H Y, Wang X S, Ma H. Screening of salinity tolerant jute (*Corchorus capsularis* & *C. olitorius*) genotypes via phenotypic and phsiology-assisted procedures. Pakistan Journal of Botany, 2011, 43 (6): 2655-2660

[15]粟建光,龚友才. 黄麻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社,2005:56

Su J G, Gong Y C. Descriptors and Date Standard for Jute(*Corochorous olitorius* L. & *C. capsularis* L.).Beijing: China Agriculture Press, 2005:56

[16]杜若楠,张睿,唐晓东,金慧,杨学,高嫱,周春薇,常单娜. 盐胁迫下国内外 333 份大豆种质资源的种子萌发特性及耐盐性评价. 大豆科学, 2025, 44(4):59-65

Du R N, Zhang R, Tang X D, Jin H, Yang X, Gao Q, Zhou C W, Chang D N. Seed germination characteristics and salt tolerance evaluation of 333 soybean germplasm resources at home and abroad under salt. Soybean Science, 2025, 44(4):59-65

[17]王亮,王睿,朱金成,桑玉伟,史彪,郭嘉帅,焦灰敏,何宗铃,水涌. 50 份花生品种（系）幼苗期耐盐性分析. 作物杂志, 2025 (5):35-41

Wang L, Wang R, Zhu J C, Sang Y W, Shi B, Guo J S, Jiao H M, He Z L, Shui Y. Analysis of salt tolerance in 50 peanut varieties(lines) at seedling stage. Crops, 2025 (5):35-41

[18]胡润慧,汪军成,司二静,张宏,马小乐,孟亚雄,王化俊,刘青,姚立蓉,李葆春. 小麦苗期耐旱耐盐种质筛选及抗旱耐盐综合评价. 作物学报, 2025, 51(9):2371-2386

Hu R H, Wang J C, Si E J, Zhang H, Ma X L, Meng Y X, Wang H J, Liu Q, Yong L R, Li B C. Screening of drought and salt tolerant germplasm during wheat seedling stage and comprehensive evaluation of drought and salt tolerance. Acta Agronomica Sinica, 2025, 51(9):2371-2386

[19]牛晋鸿,王天欣,曹明嵘,周振渊,黄秦军,李金花. 基于 FAI-BLUP 多性状选择指数的耐低氮杨树品种筛选. 林业科学研究, 2025, 38(1):61-72

Niu J H, Wang T X, Cao M R, Zhou Z Y, Huang Q J, Li J H. Screening of poplar varieties with low-nitrogen tolerance based on FAI-BLUP multiple trait selection index. Forest Research, 2025, 38(1):61-72

[20]殷君华,邓丽,郭敏杰,苗建利,胡俊平,李绍伟,任丽. 基于 BLUP 值和 GGE 双标图对小粒花生品种的综合评价. 作物杂志, 2025 (4):118-125

Yin J H, Deng L, Guo M J, Miao J L, Hu J P, Li S W, Ren L. Comprehensive evaluation of small-fruit type peanut based on blup and GGE biplot. Crops, 2025 (4):118-125

[21]Yang Z M, Li A L, Chen J Q, Dai Z G, Su J G, Deng C H, Ye G A, Cheng C H, Tang Q, Zhang X Y, Xu Y, Chen X J, Wu B B, Zhang Z H, Zheng X Y, Yang L, Xiao L. Machine learning phenotyping and GWAS reveal genetic basis of Cd tolerance and absorption in jute. Environmental Pollution , 2024, 362: 124-918

[22] 侯文焕,赵艳红,唐兴富,廖小芳,李初英. 菜用黄麻种质萌发期耐盐性评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20(2):309-320
Hou W H, Zhao Y H, Tang X F, Liao X F, Li C Y. Assessment for salt tolerance in vegetable jute germplasms at the germination stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(2):309-320

[23] Yang Z M, Tian S L, Li X K, Dai Z G, Yan A, Chen Z, Chen J Q, Tang Q, Cheng C H, Xu Y, Deng C H, Liu C, Kang L, Xie D W, Zhao J, Chen X J, Zhang X Y, Wu Y P, Li A L, Su J G. Multi-omics provides new insights into the domestication and improvement of dark jute (*Corchorus olitorius*). The Plant Journal, 2022, 112 (3): 812-829

[24] Tenhaken R. Cell wall remodeling under abiotic stress. Frontiers in Plant Science, 2015, 5: 771

[25] 陈素梅,王新慧,李菲,周李杰,蒋甲福,管志勇,陈发棣. ABA 调控植物盐胁迫应答机制研究进展. 南京农业大学学报, 2022, 45(5):856-863
Chen S M, Wang X H, Li F, Zhou L J, Jiang J F, Guan Z Y, Chen F D. Advances in ABA regulated responses of plant to salt stress. Journal of Nanjing Agricultural University, 2022, 45(5):856-863

[26] Yu Z P, Duan X B, Luo L, Dai S J, Ding Z J, Xia G M. How plant hormones mediate salt stress responses. Trends in Plant Science, 2020, 25 (11): 1117-1130

[27] Pan X Q, Wei H W, Afzal M Z, Gao S R, Yuan S Q, Huang J P, Qi J M, Fang P P, Xu J T, Tao A F, Jia Q, Zhang L W. Genome-wide identification of PP2C gene family and functional analysis of *CcPP2C51* under salt stress in jute (*Corchorus capsularis*). Industrial Crops & Products, 2024, 214: 118491

[28] Li Q, Chen S Y, Chen L, Zhuang L L, Wei H W, Jiang S L, Wang C Y, Qi J M, Fang P P, Xu J T, Tao A F, Zhang L W. Cloning and functional mechanism of the dwarf gene gba affecting stem elongation and cellulose biosynthesis in jute (*Corchorus olitorius*). The Plant Journal, 2024, 118 (6): 2003-2019

附表 1 供试 100 份黄麻种质资源名称及来源

Table S1 Names and sources of 100 jute germplasm resources tested

编号 Code	种质名称 Germplasm name	种质来源 Germplasm source	种质类型 Germplasm type
CS1003	y024	来源不明	栽培品种
CS1005	长果 751	中国浙江	栽培品种
CS1006	桔西棉湖	中国湖南	地方品种
CS1007	Sv/054CO-绿茎	印度	遗传材料
CS1008	31199	中国	遗传材料
CS1009	青抗 3 号	中国湖南	栽培品种
CS1010	y005 单株-1	中国	栽培品种
CS1015	ACC.NO-4159	孟加拉	遗传材料
CS1016	2002-034	来源不明	栽培品种
CS1017	福引 2 号	中国福建	栽培品种
CS1019	0-4I	孟加拉	地方品种
CS1025	粤 1 号	中国广东	栽培品种
CS1029	荚 222	中国	地方品种
CS1034	Y038	国外引进	栽培品种
CS1036	TC008-41	中国湖南	栽培品种
CS1038	0-6	孟加拉	地方品种
CS1039	Y05-03	中国湖南	栽培品种
CS1041	087-19（青）	中国湖南	地方品种
CS1046	Y011 单株-3	国外引进	栽培品种
CS1047	y027-4 单株	来源不明	栽培品种
CS1050	TC008-36	中国湖南	地方品种
CS1051	九堡长果	中国浙江	栽培品种
CS1053	29618	中国湖南	地方品种
CS1056	M101	中国	栽培品种
CS1058	DS/068CR	肯尼亚	遗传材料
CS1064	甜黄麻	中国贵州	地方品种
CS1067	2002-010	来源不明	栽培品种
CS1068	浙麻 5 号	中国浙江	栽培品种
CS1069	Y007 单株-2	国外引进	栽培品种
CS1072	2002-030	来源不明	栽培品种
CS1073	2002-020	来源不明	栽培品种
CS1075	广巴矮	中国湖南	地方品种
CS1076	航天长果　湘黄麻 3 号	中国湖南	地方品种
CS1083	090-6	来源不明	栽培品种
CS1084	2002-049	来源不明	栽培品种
CS1085	095-5	中国湖南	栽培品种
CS1087	翠绿	印度	栽培品种
CS1088	092-37	中国湖南	地方品种
CS1089	麻菜①	中国浙江	栽培品种
CS1090	海口黄麻	中国海南	栽培品种

CS1091	092-36	中国湖南	栽培品种
CS1092	付叶	来源不明	遗传材料
CS1094	河南长果	中国河南	栽培品种
CS1097	越南黄麻	越南	遗传材料
CS1099	SM/056	坦桑尼亚	遗传材料
CS1102	2002-005	中国	栽培品种
CS1105	Y014(单-2）	国外引进	栽培品种
CS1107	090-3	来源不明	栽培品种
CS1112	O-1	来源不明	栽培品种
CS1123	埃及食用	埃及	栽培品种
CS1125	J1410	来源不明	遗传材料
CS1133	沈塘桥长果	中国浙江	地方品种
CS1134	78-386-（1）	来源不明	遗传材料
CS1136	M112	中国	遗传材料
CS1139	y023-3 单株	来源不明	栽培品种
CS1147	076-4	来源不明	遗传材料
CS1152	070-36	来源不明	地方品种
CS1153	JRO/674	尼泊尔	遗传材料
CS1154	J1404	来源不明	遗传材料
CS1155	2002-026	来源不明	栽培品种
CS1156	2002-040II	来源不明	栽培品种
CS1157	田青麻	来源不明	栽培品种
CS1160	088-13	来源不明	遗传材料
CS1167	2002-024	中国	栽培品种
CS1168	093-14	来源不明	栽培品种
CS1169	2002-033	中国	栽培品种
CS1174	JRC/558	中国	遗传材料
CS1177	J12	中国	遗传材料
CS1181	ZC/010C-高大	来源不明	遗传材料
CS1182	缘璋	来源不明	遗传材料
CS1184	J1403	来源不明	遗传材料
CS1187	y029	来源不明	栽培品种
CS1188	X/94C	坦桑尼亚	遗传材料
CS1189	015-2	中国	遗传材料
CS1190	K-116	俄罗斯	地方品种
CS1193	K15	来源不明	遗传材料
CS1196	Y037	泰国	栽培品种
CS1197	青皮大麻	中国	栽培品种
CS1199	K-102	俄罗斯	地方品种
CS1202	J1414	来源不明	遗传材料
CS1209	93F21	中国	遗传材料
CS1210	褐杆黄麻	中国湖南	栽培品种
CS1215	090-7	中国	栽培品种
CS1216	巴翠	巴基斯坦	栽培品种

CS1217	广丰长果	中国江西	栽培品种
CS1218	枫埠黄麻	中国海南	地方品种
CS1220	08cc-20	中国	遗传材料
CS1221	075-22	中国湖南	遗传材料
CS1234	78-1273	来源不明	栽培品种
CS1238	DS/038CJG042(3)	肯尼亚	遗传材料
CS1239	川大 504	中国四川	栽培品种
CS1241	临平长果种	中国浙江	地方品种
CS1243	087-19-8	中国湖南	遗传材料
CS1254	上林 A	来源不明	地方品种
CS1261	上抗 1 号	中国湖南	栽培品种
CS1267	圆红托	中国湖南	栽培品种
CS1277	CJQ001	中国福建	地方品种
CS1284	台南红皮	中国台湾	栽培品种
CS1285	M110	中国	遗传材料

附表 2 供试 100 份黄麻种质性状表现与聚类分组

Table S2 Trait performance and cluster groups of 100 jute germplasm resources tested

编号 Code	茎粗(cm) Stem diameter	株高(cm) Plant height	耐盐性评分 Salt tolerance score	耐盐等级 Salt tolerance level	聚类分组 Cluster group
CS1008	1.8588	310.4	95.09	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1053	1.9406	288.0	93.87	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1068	1.8356	320.0	89.60	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1154	2.0622	310.2	87.21	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1196	1.8952	321.4	84.32	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1174	1.9176	280.2	80.44	高耐盐	高耐盐-高产型
CS1112	1.7542	312.4	79.96	中耐盐	高耐盐-高产型
CS1167	2.0818	316.4	78.23	中耐盐	高耐盐-高产型
CS1234	1.7678	308.4	75.06	中耐盐	高耐盐-高产型
CS1076	1.7714	334.8	71.95	中耐盐	高耐盐-高产型
CS1016	1.9260	322.0	64.86	中耐盐	高耐盐-高产型
CS1006	1.5768	260.8	100.00	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1007	1.7326	277.0	97.69	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1177	1.7946	272.0	90.96	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1153	1.6662	272.6	90.25	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1038	1.5904	258.4	90.17	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1064	1.4608	302.6	84.94	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1197	1.6172	302.6	81.97	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1097	1.6326	299.8	81.32	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1182	1.5758	291.2	80.09	高耐盐	高耐盐-中产型
CS1019	1.6544	292.8	79.54	中耐盐	高耐盐-中产型
CS1123	1.6880	279.2	75.89	中耐盐	高耐盐-中产型
CS1025	1.5846	320.4	74.48	中耐盐	高耐盐-中产型

CS1094	1.5830	281.2	69.60	中耐盐	高耐盐-中产型
CS1284	1.9456	262.0	59.62	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1243	1.6290	278.0	57.81	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1215	1.7682	259.6	57.75	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1105	1.7196	274.4	52.15	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1125	1.6796	284.4	51.83	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1134	1.6796	252.4	51.72	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1136	1.7576	243.6	49.23	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1087	1.8712	262.6	47.11	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1188	1.5946	262.0	45.56	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1010	1.6374	265.6	44.81	低耐盐	中产-中耐盐型
CS1036	1.6596	271.4	36.46	中敏感	中产-中耐盐型
CS1189	1.6040	261.6	31.44	中敏感	中产-中耐盐型
CS1285	1.4994	246.6	89.44	高耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1199	1.6926	255.4	79.04	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1029	1.4608	249.2	76.08	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1056	1.6890	225.8	75.08	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1168	1.4792	222.6	73.22	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1075	1.4938	255.0	68.73	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1083	1.6812	235.2	66.25	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1277	1.5192	238.6	65.93	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1193	1.7404	235.4	63.12	中耐盐	中耐盐-矮秆型
CS1181	1.8520	296.2	55.84	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1218	1.6530	319.6	55.56	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1046	1.6126	311.8	45.47	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1069	1.9842	298.6	44.83	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1152	1.8442	301.0	44.10	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1088	1.6606	316.4	43.53	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1015	1.6440	314.4	42.70	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1267	1.6994	312.2	42.17	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1009	1.8086	311.6	41.74	低耐盐	高产-盐敏感型
CS1209	1.7264	312.8	39.52	中敏感	高产-盐敏感型
CS1220	1.8038	347.8	38.22	中敏感	高产-盐敏感型
CS1092	1.5988	295.6	36.70	中敏感	高产-盐敏感型
CS1039	1.8864	319.6	36.02	中敏感	高产-盐敏感型
CS1003	1.9296	300.8	34.82	中敏感	高产-盐敏感型
CS1139	1.7272	321.4	34.69	中敏感	高产-盐敏感型
CS1107	1.7244	303.6	22.63	中敏感	高产-盐敏感型
CS1005	1.2112	249.2	76.86	中耐盐	细茎-中耐盐型
CS1238	1.2604	220.8	72.33	中耐盐	细茎-中耐盐型
CS1047	1.1318	262.4	67.15	中耐盐	细茎-中耐盐型
CS1160	1.3060	220.8	61.38	中耐盐	细茎-中耐盐型
CS1155	1.3054	228.6	59.63	低耐盐	细茎-中耐盐型
CS1210	1.0684	194.6	59.54	低耐盐	细茎-中耐盐型

CS1157	1.1048	246.2	51.43	低耐盐	细茎-中耐盐型
CS1241	1.0532	199.6	43.64	低耐盐	细茎-中耐盐型
CS1202	1.1914	228.4	39.87	中敏感	细茎-中耐盐型
CS1169	1.4208	269.4	68.23	中耐盐	普通型
CS1239	1.5572	296.0	61.59	中耐盐	普通型
CS1287	1.4578	259.8	58.39	低耐盐	普通型
CS1017	1.5518	291.6	58.23	低耐盐	普通型
CS1190	1.5482	278.4	57.71	低耐盐	普通型
CS1156	1.4628	285.0	53.52	低耐盐	普通型
CS1067	1.4302	292.6	52.84	低耐盐	普通型
CS1102	1.5168	277.6	52.06	低耐盐	普通型
CS1050	1.4306	278.4	51.08	低耐盐	普通型
CS1090	1.3244	282.0	49.68	低耐盐	普通型
CS1084	1.4492	257.2	49.35	低耐盐	普通型
CS1072	1.2624	299.8	45.83	低耐盐	普通型
CS1041	1.4482	281.6	42.28	低耐盐	普通型
CS1217	1.4206	290.2	41.23	低耐盐	普通型
CS1221	1.5162	279.8	40.20	低耐盐	普通型
CS1261	1.5352	292.0	36.97	中敏感	普通型
CS1058	1.2262	264.4	40.69	低耐盐	盐敏感型
CS1051	1.2862	265.0	35.94	中敏感	盐敏感型
CS1187	1.3586	244.6	30.44	中敏感	盐敏感型
CS1147	1.4134	296.4	19.06	高敏感	盐敏感型
CS1073	1.0994	244.0	0.00	高敏感	盐敏感型
CS1216	1.6002	214.6	59.58	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1184	1.3916	218.4	58.57	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1089	1.5490	196.8	58.56	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1254	1.4154	223.4	46.92	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1099	1.5288	214.4	45.40	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1085	1.4734	221.2	45.27	低耐盐	矮秆-中耐盐型
CS1133	1.5250	234.6	29.32	中敏感	矮秆-中耐盐型
CS1034			41.84	低耐盐	
CS1091			33.47	中敏感	