

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.06.014

引用格式:路璐,李陈建,王玉祥,等.100份无芒雀麦种质资源苗期耐碱性综合评价[J].草地学报,2026,34(6):2109–2117
LU Lu, LI Chen-jian, WANG Yu-xiang, et al. Comprehensive Evaluation of Seedling Alkali Tolerance of 100 *Bromus inermis* Germplasm Accessions[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(6):2109–2117

100份无芒雀麦种质资源苗期耐碱性综合评价

路璐,李陈建*,王玉祥*,黄梦琪,王清屿,靳瑰丽

(西部干旱荒漠区草地资源与生态教育部重点实验室,新疆草地资源与生态重点实验室,
新疆农业大学草业学院,新疆乌鲁木齐830052)

摘要:盐碱地在全球范围内广泛分布,筛选耐盐碱无芒雀麦(*Bromus inermis*)种质资源对于改良盐碱地具有重要意义。本研究以100份无芒雀麦种质资源为研究对象,在苗期采用200 mmol·L⁻¹NaHCO₃溶液进行胁迫处理,测定株高、根长、苗鲜重/干重、根鲜重/干重等14个性状,结合相关性分析、主成分分析、隶属函数分析和聚类分析等多元统计方法对不同无芒雀麦种质资源的耐碱性进行综合评价。结果表明:14个性状指标的耐碱系数存在不同程度变异,变异系数介于39.52%~74.83%之间;相对电导率与株高、根长、苗鲜重等13个指标呈负相关;利用主成分分析将14个性状归纳为3个成分,累计贡献率达73.719%,株高、茎粗、地上部分鲜重、地上部分干重、存活率、根表面积、根体积和相对电导率可作为无芒雀麦苗期的耐碱主要评价指标;聚类分析将100份无芒雀麦种质聚为3类,其中碱耐受型材料16份,中抗型材料63份,碱敏感型材料22份。研究结果为无芒雀麦耐碱指标筛选及新品种选育提供了优异的种质材料。

关键词:无芒雀麦;苗期;耐碱性;聚类分析;综合评价

中图分类号:S543.9

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)06-2109-09

Comprehensive Evaluation of Seedling Alkali Tolerance of 100 *Bromus inermis* Germplasm Accessions

LU Lu, LI Chen-jian*, WANG Yu-xiang*, HUANG Meng-qi, WANG Qing-yu, JIN Gui-li

(Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Western Arid Region Ministry of Education, Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, College of Grassland Science Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Saline-alkali land is widely distributed worldwide, and it is of great significance to screen for germplasm resources of saline-alkali resistant *Bromus inermis* for improving saline-alkali land. In this study, 100 *Bromus inermis* germplasm resources were selected as the research objects. During the seedling stage, 200 mmol·L⁻¹ NaHCO₃ solution was used for stress treatment, and 14 traits including plant height, root length, seedling fresh weight/dry weight, root fresh weight/dry weight were measured. Multiple statistical methods such as correlation analysis, principal component analysis, membership function analysis, and cluster analysis were used to comprehensively evaluate the alkali tolerance of different smooth brome germplasm resources. The results showed that there were varying degrees of variation in the alkali tolerance coefficients of 14 personality traits, ranging from 39.52% to 74.83%. Relative conductivity was negatively correlated with 13 indicators including plant height, root length, and seedling fresh weight. Using principal component analysis, 14 traits were classified into 3 components, with a cumulative contribution rate of 73.719%. Plant height, stem thickness, fresh weight of aboveground parts, dry weight of aboveground parts, survival rate, root surface area, root volume, and relative conductivity can be used as the main evaluation indicators for alkali tolerance at the seedling stage of smooth brome. Cluster analysis grouped 100 rootless barley seeds into three categories, including 16 alkali tolerant materials, 63

收稿日期:2025-10-10;修回日期:2025-12-22

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系牧草产业技术体系(CARS-34);新疆维吾尔自治区饲草产业技术体系(XJARS-13-04);第九师草原野生优良牧草选育研究项目(2023JS006)共同资助

作者简介:路璐(2001-),女,汉族,新疆维吾尔自治区呼图壁县人,硕士研究生,主要从事草种质资源研究与育种相关的研究, E-mail: 1749902334@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail: 378952250@qq.com; wyx9868@163.com

medium resistant materials, and 22 alkali sensitive materials. The results provide excellent germplasm materials for the screening of alkali tolerance indicators and the breeding of new varieties of smooth brome.

Key words: *Bromus inermis*; Seedling stage; Alkali tolerance; Cluster analysis; Comprehensive evaluation

我国盐碱土地具有面积大、分布广和类型多等特点,总面积达到 9913.3 万 hm^2 ^[1]。全国盐碱化最为严重的地区是新疆,其盐渍化耕地面积占总灌区耕地面积的 37.72%^[2]。盐碱化土壤可分为盐化土壤(主要含中性盐)、碱化土壤(主要含碱性盐)以及混合盐碱化土壤(两者兼有)^[3]。若要解决土壤碱化问题,就要将碱胁迫和盐胁迫真正区分开,因为碱化土壤对生态环境和农业生产的危害更加严重。有效开发盐碱地这类土地资源,是推动农业绿色发展的重要途径^[4]。合理地开发利用盐渍土,可以极大地缓解生态环境危机^[5]。

无芒雀麦(*Bromus inermis*)为禾本科雀麦属多年生草本植物,其适应性广,对土壤条件要求较低,具有良好的耐寒、耐旱性,既是优良的牧草,又是重要的生态草,常用于土壤改良和护坡植被建设^[6-7]。然而,在盐碱地应用无芒雀麦,还存在很多难点问题亟待解决^[8]。目前对无芒雀麦耐盐性的研究较多(如田小霞等^[9]、宋家兴等^[10]和李瑞强等^[11]开展盐胁迫下无芒雀麦种子萌发和幼苗的研究),而在耐碱性方面的研究较少。因此,提高耐碱能力,选择抗

碱草种,对于促进我国盐碱地治理和畜牧业发展具有重要意义。同时,也为开发利用具有重要经济意义的植物资源奠定基础。研究表明,萌发期和幼苗期是植物耐盐碱胁迫的关键时期^[12],萌发期耐盐碱能力决定了作物在盐碱胁迫下的出苗率,而幼苗期耐盐碱能力决定了作物是否可以在盐碱胁迫下正常生长^[13]。因此,研究无芒雀麦苗期耐碱性、筛选耐碱种质资源十分重要。

本研究以 100 份无芒雀麦种质资源为材料,在苗期采用 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液进行胁迫处理,测定 14 个相关指标,利用相关性分析、主成分分析法、隶属函数分析法和聚类分析等多元统计方法进行苗期碱性综合评价,寻找苗期耐碱评价指标,以期筛选无芒雀麦耐碱新种质提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料共 100 份,均由新疆农业大学草业学院草种质研究与育种团队提供,见表 1。

表 1 供试材料信息
Table 1 Information of test materials

编号 Code	采集地 Collection location	经纬度 Longitude and latitude
W1Z590, W1Z621, W1Z633, W1Z672, W1Z680, W1Z757	巴楚县 Bachu County	39°78'60"N, 78°47'77"E
W1Z608, W1Z624, W1Z631, W1Z634, W1Z651	巴里坤县 Barkol County	43°35'04"N, 93°40'13"E
W1Z688, W1Z732, W1Z733, W1Z734, W1Z753, W1Z756	拜城县 Baicheng County	41°80'16"N, 81°69'44"E
W1Z575	察布查尔县 Chabuchar County	43°85'88"N, 81°15'80"E
W1Z589, W1Z620, W1Z671, W1Z674, W1Z749	额敏县 Emin County	46°68'21"N, 83°88'14"E
W1Z668, W1Z689	伽师县 Jiashi County	39°52'19"N, 76°77'45"E
W1Z571, W1Z581, W1Z626, W1Z676, W1Z679	和静县 Hejing County	42°47'74"N, 86°37'65"E
W1Z569, W1Z591, W1Z592, W1Z597, W1Z605, W1Z625, W1Z635, W1Z639, W1Z648, W1Z657, W1Z660, W1Z667, W1Z743	呼图壁县 Hutubi County	44°08'34"N, 84°30'38"E
W1Z585, W1Z628, W1Z735, W1Z737, W1Z738, W1Z739, W1Z681	霍城县 Huocheng County	44°02'47"N, 80°85'76"E
W1Z570, W1Z594, W1Z623, W1Z650, W1Z664, W1Z745	吉木萨尔县 Jimusar County	43°46'23"N, 89°09'17"E
W1Z663, W1Z677	库车县 Kuche County	41°72'16"N, 83°11'85"E
W1Z678, W1Z748, W1Z755	民丰县 Minfeng County	37°07'43"N, 83°21'22"E
W1Z600, W1Z747, W1Z563, W1Z587, W1Z603, W1Z683	青河县 Qinghe County	46°75'02"N, 90°15'20"E
W1Z576, W1Z658, W1Z669	疏勒县 Shule County	39°47'09"N, 76°03'67"E
W1Z582, W1Z583, W1Z595, W1Z598, W1Z602, W1Z619, W1Z630, W1Z637, W1Z649, W1Z655, W1Z661, W1Z690, W1Z746	乌鲁木齐县 Urumqi County	43°27'24"N, 87°17'47"E
W1Z629, W1Z736	新源县 Xinyuan County	43°47'75"N, 84°97'04"E
W1Z584, W1Z632, W1Z640, W1Z670, W1Z673, W1Z675	伊宁县 Yining County	43°84'35"N, 81°28'76"E
W1Z596, W1Z599, W1Z622, W1Z659, W1Z691, W1Z642, W1Z666, W1Z682	昭苏县 Zhaosu County	43°06'42"N, 81°02'52"E
乌苏 1 号	乌苏县 Wusui County	44°31'32"N, 85°87'87"E

1.2 试验方法

1.2.1 苗期适宜碱胁迫浓度筛选 随机选取3份无芒雀麦种质,在培养皿内萌发5~6 d后,挑选长势一致的幼苗播种在水培盒中培养,每2 d换一次1/4 Hoagland 营养液,培养条件为温度16℃/25℃(黑暗8 h/光照16 h)。待幼苗长至两叶一心期,用含有不同浓度的 NaHCO_3 (50, 100, 150, 200, 250, 300 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)的1/4 Hoagland 营养液进行单碱胁迫处理,对照组一直浇1/4 Hoagland 营养液,3次重复,处理7 d后,通过测定相关指标,观察不同种质间的生长差异,最终确定苗期耐碱筛选的浓度。

1.2.2 无芒雀麦苗期耐碱性鉴定与评价 根据前期预试验,设置对照(0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHCO_3)和适宜碱胁迫(200 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHCO_3)2个处理,3次重复,对100份无芒雀麦进行苗期耐碱性评价,试验条件及方法同预试验。在碱胁迫第7 d每个重复挑选5株测定其相关指标。

1.2.3 指标测定 株高(Plant height, PH)和根长(Root length, RL)使用卷尺测量,求均值,茎粗(Stem thickness, ST)使用游标卡尺测量^[14];清水清洗后擦干,用万分之一天平称量地上部鲜重(Aboveground part fresh weight, APFW)和地下部鲜重(Underground fresh weight, UFW),使用根系扫描仪测量植物根表面积(Root surface, RS)、根体积(Root volume, RV)和根平均直径(Average root diameter, ARD),最后将样品置于80℃烘箱中烘干并用万分之一天平称量地上部干重(Aboveground part dry weight, APDW)和地下部干重(Underground dry weight, UDW)^[15];叶绿素含量(Soil and plant analyzer development, SPAD)使用便携式叶绿素仪测定^[16];存活率(Survival rate, SR)认定中叶子枯萎、皱缩,全株卷曲、枯黄的幼苗就被认为已死亡^[17]。

相对电导率(Relative electrical conductivity, REC):剪取植物叶片0.1 g左右,放入15 mL离心管中加蒸馏水10 mL,放入振荡仪器中振荡12 h后,测量电导率(R_1);测完后放入100℃中煮沸20 min待冷却后测量电导率(R_2)^[18]。计算公式为:

$$REC = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \times 100\%$$

相对含水量(Relative water content, RWC):剪取同一功能叶片,用万分之一天平称量其鲜重值,将植物叶片完全浸泡在蒸馏水中24小时,取出后轻轻吸去叶片表面的水分,使用万分之一天平称取其

饱和重量;然后将样品105℃杀青30 min,80℃烘至恒重,称取其干重^[19]。计算公式为:

$$\left(\frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{饱和鲜重} - \text{干重}} \right) \times 100\%$$

1.3 数据分析

利用Excel 2021和SPSS 21软件进行数据统计整理与分析,Origin 2025制图。采用隶属函数法、主成分分析法和相关性分析法及系统聚类分析法对无芒雀麦材料进行耐碱性综合评价。

单项指标耐碱系数:

$$\omega = \frac{\text{不同浓度处理下的平均测定值}}{\text{对照测定值}}$$

各综合指标的隶属函数值:

$$\mu(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中: $\mu(X_i)$ 表示第*i*个综合指标的隶属函数值; X_i 表示第*i*个综合指标值; $X_{\min}$ 表示第*i*个指标的最小值; $X_{\max}$ 表示第*i*个指标最大值。

各综合指标的权重:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中: W_i 表示第*i*个综合指标在所有综合指标中的重要程度,即权重; V_i 表示经主成分分析所得各试验材料第*i*个综合指标的贡献率。

耐碱综合评价:

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times W_i] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中: D 值为无芒雀麦种质材料在碱胁迫下综合指标评价所得的耐碱性综合评价,并根据 D 值进行聚类分析划分耐碱级别。

2 结果与分析

2.1 最适宜碱胁迫浓度的筛选

由表2可以看出,低浓度的 NaHCO_3 溶液对无芒雀麦苗期生长具有一定的促进作用,但随着碱浓度的升高各指标的相对值呈下降趋势(表2),在100 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和150 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碱浓度下,部分性状(鲜重、干重、相对电导率等)显著下降,但整体生长未受到严重的抑制;250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和300 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度下,各指标均表现出显著降低,幼苗出现死亡,因此不适合作为碱胁迫处理的最适浓度。而在200 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,各指标下降趋势显著,株高、根长和生

物量等指标明显低于对照,但多数指标仍能维持一定的水平。因此,本研究选择 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

NaHCO_3 浓度作为最适宜处理浓度,对 100 份无芒雀麦种质进行综合评价。

表 2 不同浓度碱胁迫对无芒雀麦苗期指标的影响

Table 2 Average values of *Bromus inermis* germplasms under different treatments for the same index at seedling stage

性状 Trait	NaHCO_3 浓度 NaHCO_3 concentration/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)					
	50	100	150	200	250	300
株高 PH/cm	0.94 ± 0.03^a	0.82 ± 0.01^b	0.74 ± 0.04^{bc}	0.71 ± 0.05^c	0.69 ± 0.06^c	0.65 ± 0.11^c
根长 RL/cm	1.07 ± 0.10^a	0.78 ± 0.04^b	0.77 ± 0.04^b	0.72 ± 0.01^b	0.69 ± 0.03^{bc}	0.59 ± 0.10^c
茎粗 ST/mm	0.98 ± 0.14^a	0.88 ± 0.07^{ab}	0.71 ± 0.14^{bc}	0.66 ± 0.17^{bc}	0.62 ± 0.13^c	0.58 ± 0.09^c
叶绿素 SPAD	1.09 ± 0.21^a	0.94 ± 0.17^a	0.77 ± 0.23^{ab}	0.50 ± 0.20^{bc}	0.38 ± 0.21^c	0.20 ± 0.14^c
地上部鲜重 APFW/g	0.98 ± 0.09^a	0.55 ± 0.20^a	0.40 ± 0.10^{ab}	0.33 ± 0.05^{bc}	0.15 ± 0.03^{cd}	0.13 ± 0.02^d
地上部干重 APDW/g	1.23 ± 0.28^a	0.98 ± 0.15^{ab}	0.73 ± 0.13^{bc}	0.58 ± 0.14^c	0.53 ± 0.18^c	0.44 ± 0.17^c
地下部鲜重 UFW/g	1.41 ± 0.04^a	0.81 ± 0.16^b	0.63 ± 0.14^b	0.56 ± 0.14^b	0.57 ± 0.04^b	0.70 ± 0.57^b
地下部干重 UDW/g	1.31 ± 0.39^a	0.85 ± 0.06^b	0.82 ± 0.06^b	0.78 ± 0.02^b	0.66 ± 0.12^b	0.51 ± 0.21^b
相对电导率 REC/g	1.84 ± 1.52^c	3.81 ± 1.66^{bc}	4.64 ± 1.63^{ab}	5.36 ± 1.27^{ab}	6.25 ± 0.94^{ab}	6.65 ± 1.14^a
相对含水量 RWC/g	0.97 ± 0.10^a	0.85 ± 0.13^a	0.75 ± 0.27^{ab}	0.72 ± 0.31^{ab}	0.47 ± 0.09^{bc}	0.36 ± 0.10^c

注:同行不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。PH表示株高;RL表示根长;ST表示茎粗;SPAD表示叶绿素含量;APFW表示地上部鲜重;APDW表示地上部干重;UFW表示地下部鲜重;UDW表示地下部干重;REC表示相对电导率;RWC表示相对含水量。下同

Note: Values with different letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$). PH represents plant height; RL represents root length; ST represents stem thickness; SPAD represents chlorophyll content; APFW represents aboveground part fresh weight; APDW represents aboveground part dry weight; UFW represents underground fresh weight; UDW represents underground dry weight; REC represents relative electrolyte conductivity; RWC represents relative water content. The same as below

2.2 碱胁迫下无芒雀麦苗期各指标耐碱系数的变异分析

在 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫下,100 份无芒雀麦在苗期表现出明显的差异(表 2)。碱胁迫下 14 个指标的变异系数在 39.52%~74.83% 之间,表明 100 份无芒雀麦的耐碱性存在丰富的变异性。其中,地下部干重的变异系数最大,为 74.83%,说明碱胁迫对无芒雀麦的根抑制较其他指标大;其次是地上部干重、根直径、叶绿素、地上部鲜重、根表面积、地下部鲜重、存活率、茎粗、根长、根体积、相对含水量和株高,其变异系数为 42.75%~73.77%;而相对电导率的变异系数最小,为 39.52%,说明相对电导率受碱胁迫的影响相对较小。

2.3 碱胁迫下无芒雀麦苗期各指标的相关性分析

对苗期的 14 个指标进行相关性分析,其结果如表 4 所示。大多数指标间呈极显著正相关($P < 0.01$),其中根体积与根表面积的相关系数最大,为 0.942;而相对电导率与其余 13 个指标之间存在负相关关系,与相对含水量、地上部鲜重、地上部干重之间存在极显著负相关关系($P < 0.01$),其与地上部分鲜重间的相关系数最大,为 -0.295。各单项指标间表现出不同程度的相关性,表明各生物量指标间的耐碱系数信息可能存在重叠,通过单一指标进行耐碱性评价存在局限性,综合各项指标能更有效地筛选耐碱种质。

表 3 供试材料耐碱系数的变异分析

Table 3 Variation analysis of alkali resistance coefficient of test materials

性状 Trait	变化范围 Variation range	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高 PH	0~0.99	0.63	0.27	42.75
根长 RL	0~1.31	0.62	0.31	50.61
茎粗 ST	0~1.02	0.50	0.29	56.90
叶绿素 SPAD	0~0.82	0.29	0.21	71.86
根表面积 RS	0~2.22	0.59	0.40	67.74
根平均直径 ARD	0~2.79	0.69	0.50	72.00
根体积 RV	0~1.79	0.98	0.45	45.72
相对电导率 REC	1.25~6.88	3.36	1.33	39.52
相对含水量 RWC	0.16~0.98	0.49	0.22	44.79
地上部鲜重 APFW	0~0.95	0.27	0.20	69.56
地上部干重 APDW	0~3.35	0.54	0.40	73.77
地下部鲜重 UFW	0~2.07	0.73	0.44	59.91
地下部干重 UDW	0~3.69	0.64	0.48	74.83
存活率 SR	0~1.00	0.54	0.31	57.84

注:RS表示根表面积;ARD表示根平均直径;RV表示根体积;SR表示存活率。下同

Note: RS represents root surface; ARD represents average root diameter; RV represents root volume; SR represents survival rate. The same as below

2.4 碱胁迫下无芒雀麦苗期各指标的主成分分析

通过对碱胁迫下供试无芒雀麦苗期的 14 个指标进行主成分分析,选择初始特征值大于 1 的成分,提取到 3 个主成分(表 5),特征值分别为 7.829,

表 4 供试材料各指标间的相关性
Table 4 Correlation among indexes of tested materials

项目 Item	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
X ₁	1.000													
X ₂	0.757**	1.000												
X ₃	0.706**	0.669**	1.000											
X ₄	0.563**	0.555**	0.736**	1.000										
X ₅	0.524**	0.584**	0.497**	0.442**	1.000									
X ₆	0.497**	0.524**	0.486**	0.437**	0.942**	1.000								
X ₇	0.821**	0.629**	0.712**	0.555**	0.487**	0.553**	1.000							
X ₈	-0.235*	-0.106	-0.197*	-0.180	-0.152	-0.206*	-0.102	1.000						
X ₉	0.362**	0.210*	0.401**	0.363**	0.314**	0.302**	0.317**	-0.294**	1.000					
X ₁₀	0.655**	0.575**	0.641**	0.614**	0.630**	0.639**	0.530**	-0.295**	0.444**	1.000				
X ₁₁	0.572**	0.517**	0.416**	0.366**	0.633**	0.632**	0.447**	-0.235*	0.247*	0.599**	1.000			
X ₁₂	0.702**	0.674**	0.636**	0.622**	0.697**	0.724**	0.560**	-0.293**	0.290**	0.889**	0.704**	1.000		
X ₁₃	0.436**	0.404**	0.327**	0.291**	0.588**	0.632**	0.443**	-0.199*	0.362**	0.523**	0.492**	0.561**	1.000	
X ₁₄	0.792**	0.574**	0.716**	0.565**	0.509**	0.540**	0.785**	-0.224*	0.656**	0.686**	0.481**	0.621**	0.525**	1.000

注: X₁表示株高; X₂表示根长; X₃表示茎粗; X₄表示叶绿素; X₅表示根表面积; X₆表示根平均直径; X₇表示根体积; X₈表示相对电导率; X₉表示相对含水量; X₁₀表示地上部鲜重; X₁₁表示地上部干重; X₁₂表示地下部鲜重; X₁₃表示地下部干重; X₁₄表示存活率。*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 的显著水平

Note: X₁ represents plant height; X₂ represents root length; X₃ represents stem thickness; X₄ represents chlorophyll content; X₅ represents root surface; X₆ represents average root diameter; X₇ represents root volume; X₈ represents relative electrolyte conductivity; X₉ represents relative water content; X₁₀ represents aboveground part fresh weight; X₁₁ represents aboveground part dry weight; X₁₂ represents underground fresh weight; X₁₃ represents underground dry weight; X₁₄ represents survival rate. * and ** indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

1.337 和 1.155, 贡献率为 55.918%, 9.550% 和 8.252%, 累积贡献率达 73.720%。主成分分析结果表明, 提取的 3 个主成分能够综合反映碱胁迫下供试无芒雀麦苗期 14 个指标的绝大部分信息, 可作

为无芒雀麦苗期耐碱性评价的综合指标。从表 5 可以看出, 株高、茎粗、地上部分鲜重、地上部分干重和存活率在第一个主成分中占有较高负荷; 根表面积和根体积在第二个主成分中占有较高负荷; 相对

表 5 碱胁迫下无芒雀麦苗期 14 个指标的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of 14 indicators at the seedling stage of *Bromus inermis* under alkali stress

因子 Factor	载荷值 Load value		
	主成分 I Principal component I	主成分 II Principal component II	主成分 III Principal component III
株高 PH	0.849	0.267	0.120
根长 RL	0.773	0.116	0.336
茎粗 ST	0.800	0.392	0.093
叶绿素 SPAD	0.712	0.329	0.058
根表面积 RS	0.785	-0.456	0.111
根平均直径 ARD	0.793	-0.471	0.063
根体积 RV	0.787	0.309	0.199
相对电导率 REC	-0.304	0.069	0.709
相对含水量 RWC	0.509	0.229	-0.627
地上部鲜重 APFW	0.852	-0.065	-0.101
地上部干重 APDW	0.715	-0.364	0.047
地下部鲜重 UFW	0.881	-0.182	0.057
地下部干重 UDW	0.650	-0.384	-0.149
存活率 SR	0.843	0.301	-0.164
特征值 Eigenvalue	7.829	1.337	1.155
贡献率 Contribution ratio/%	55.918	9.550	8.252
累计贡献率 Cumulative contribution ratio/%	55.918	65.468	73.720
权重 Weight/%	75.852	12.954	11.194

电导率在第三个主成分中占有较高负荷。由此可知,株高、茎粗、地上部分鲜重、地上部分干重、存活率、根表面积、根体积和相对电导率这 8 项指标与无芒雀麦苗期的耐碱能力密切相关,可作为无芒雀麦苗期耐碱性鉴定的重要指标。

2.5 无芒雀麦种质苗期的耐碱性综合评价

根据各主成分的贡献率,计算其权重,3 个综合指标(主成分)的权重分别为 75.852%,12.954% 和 11.194%。根据公式计算隶属函数值和耐碱性综合评价值(D 值)并排序。由表 6 可知,100 份无芒雀麦

种质的 D 值范围在 0.110~0.811 之间。 D 值越大表示耐碱性越强,反之越弱。其中,材料 W1Z655, W1Z667 和 W1Z630 的 D 值较大,耐碱性较强,而 W1Z733, W1Z676 和 W1Z570 的 D 值较小,耐碱性较弱。为了更好地对 100 份无芒雀麦耐碱性进行综合分级评价,基于 D 值采用欧氏距离法进行系统聚类分析。由图 1 可知,100 份无芒雀麦种质可分为 3 个大类:第 I 类为高度碱耐受品种 16 个($D \geq 0.641$),占供试材料的 16%;第 II 类为中度碱耐受品种 62 个(0.628~0.399),占供试材料的 62%;第 III 类为碱敏感品种 22 个(0.362~0.110),占供试材料的 22%。

表 6 各材料的 D 值和排序

Table 6 D values and rankings of various materials

编号 Code	D 值 D value	排序 Rank	编号 Code	D 值 D value	排序 Rank	编号 Code	D 值 D value	排序 Rank
W1Z592	0.399	78	W1Z584	0.608	21	W1Z743	0.221	89
W1Z594	0.531	49	W1Z587	0.501	60	W1Z563	0.240	86
W1Z595	0.451	73	W1Z672	0.476	67	W1Z569	0.217	90
W1Z599	0.521	54	W1Z624	0.464	70	W1Z629	0.128	97
W1Z600	0.420	77	W1Z632	0.486	65	W1Z597	0.145	96
W1Z631	0.599	23	W1Z596	0.622	18	W1Z733	0.119	98
W1Z648	0.452	72	W1Z622	0.587	30	W1Z676	0.119	99
W1Z649	0.211	91	W1Z678	0.545	43	W1Z748	0.753	4
W1Z650	0.506	59	W1Z749	0.564	34	W1Z667	0.776	2
W1Z651	0.487	64	W1Z688	0.592	25	W1Z639	0.581	31
W1Z681	0.523	52	W1Z757	0.496	62	W1Z635	0.221	88
W1Z590	0.538	45	W1Z734	0.478	66	W1Z608	0.649	14
W1Z621	0.561	37	W1Z576	0.641	16	W1Z603	0.271	82
W1Z677	0.695	7	W1Z691	0.472	69	W1Z575	0.362	79
W1Z756	0.588	27	W1Z753	0.647	15	W1Z657	0.250	85
W1Z655	0.811	1	W1Z690	0.692	8	W1Z669	0.628	17
W1Z673	0.546	42	W1Z732	0.690	9	W1Z620	0.510	57
W1Z671	0.613	20	W1Z679	0.673	12	W1Z602	0.678	11
W1Z670	0.563	35	W1Z628	0.599	24	W1Z666	0.552	40
W1Z680	0.521	53	W1Z581	0.749	5	W1Z605	0.463	71
W1Z675	0.553	39	W1Z630	0.765	3	W1Z658	0.534	48
W1Z619	0.587	29	W1Z582	0.567	33	W1Z746	0.512	55
W1Z663	0.250	84	W1Z660	0.537	46	W1Z642	0.608	22
W1Z633	0.110	100	W1Z668	0.528	50	W1Z637	0.308	81
W1Z570	0.169	94	W1Z739	0.545	44	W1Z626	0.426	76
W1Z661	0.169	93	W1Z737	0.569	32	W1Z755	0.508	58
W1Z583	0.168	95	W1Z747	0.614	19	W1Z634	0.431	75
W1Z689	0.492	63	W1Z571	0.474	68	W1Z659	0.443	74
W1Z589	0.563	36	W1Z598	0.500	61	W1Z745	0.322	80
W1Z625	0.535	47	W1Z735	0.527	51	W1Z682	0.670	13
W1Z623	0.588	28	W1Z738	0.557	38	W1Z683	0.591	26
W1Z674	0.682	10	W1Z640	0.267	83	乌苏一号	0.512	56
W1Z591	0.712	6	W1Z736	0.239	87			
W1Z585	0.549	41	W1Z664	0.201	92			

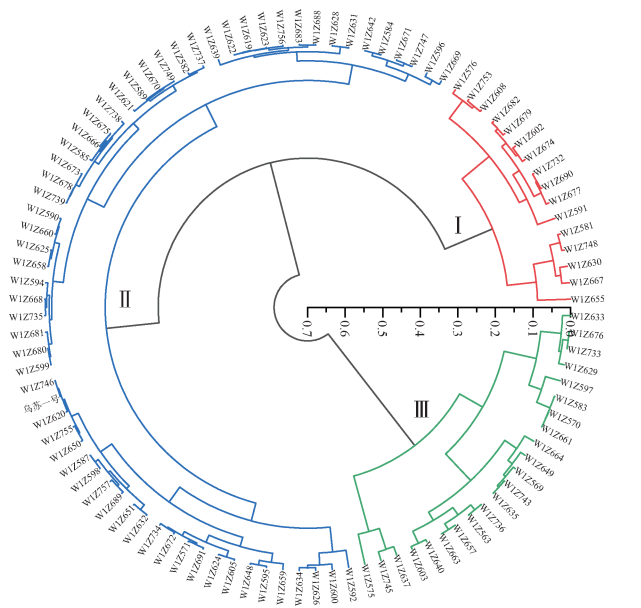


图1 碱胁迫下无芒雀麦种质D值系统聚类

Fig. 1 Systematic clustering of D values of *Bromus inermis* germplasm under NaHCO_3 stress

3 讨论

碱土在全球范围内广泛存在,已成为制约农牧业生产发展的一大环境因素。为了治理碱化土地,种植高抗碱性的植物已成为一种重要手段^[20]。因此,抗碱植物被视为研究植物耐碱机制的理想材料。不同植物或者同一植物的不同生育时期对碱胁迫响应程度不一样^[21]。无芒雀麦苗期耐碱性是盐碱地无芒雀麦生产、管理及耐盐碱新品种选育的关键。目前对无芒雀麦耐盐碱方面的研究主要集中在盐胁迫上^[18],对碱胁迫的关注较少。因此,鉴定和筛选耐碱种质资源对无芒雀麦种质耐碱性的改良具有重要意义。

3.1 碱胁迫对无芒雀麦苗期生长的影响

研究表明,不同植物在各生育期遭受逆境胁迫之后自身会表现出生长特性的不同程度变化^[22]。其中,植物苗期耐盐碱能力是决定其是否能够在盐碱土上建植成功的重要因子,而幼苗对盐碱胁迫的反应最为直接^[23]。张丹婷等^[24]对 25 份小黑麦(*Triticale* Wittmack)的幼苗进行不同浓度的碱胁迫处理,结果发现,低浓度的碱能够提高小黑麦的株高,随着碱浓度的升高,小黑麦幼苗株高明显受到抑制。本研究结果表明,低浓度的 NaHCO_3 溶液对无芒雀麦种子具有一定的促进作用,具体表现为幼苗根长、叶绿素、地上部分干重和地下部分鲜重均

显著提高,随着碱浓度的升高,各参试指标均受到碱胁迫的抑制。这与前人研究结果相符。生物量是反映逆境胁迫下植物适应性的指标,可以反映逆境胁迫是否得到缓解和缓解程度^[25],李建波等^[26]在大麦(*Hordeum vulgare* L.)苗期碱胁迫下的处理中,地下部鲜重和干重的相对值均小于1,印证了碱胁迫对植物的营养生长有抑制作用。在植物耐碱性评价中,相对电导率通常作为表征细胞膜伤害程度的关键指标^[27]。Golldack等^[28]研究表明,叶绿素含量因其与光合作用强度密切相关,常被用作评估耐盐碱性的重要生理指标。生物量则是另一项核心鉴定指标,其积累状况对盐碱胁迫尤为敏感,通常随盐碱的浓度增加而显著下降^[29]。

3.2 无芒雀麦苗期耐碱性的综合评价

由于单一指标难以全面表征作物的综合抗碱性,采用多指标对种质资源耐碱性进行综合评价,但需对多指标进行简化处理,以增强研究结果的科学性和可靠性^[30]。韩笑等^[31]以 24 份寒地粳稻(*Oryza sativa* L.)为材料,在碱处理下测定苗期株高、根长、存活率等 13 个性状,筛选出相对根长、相对存活率、相对死叶率等 8 个可作为不同粳稻资源苗期耐碱性鉴定的指标。曹帅等^[32]以 18 份大豆(*Glycine max*(L.)Merr.)品种为材料,主成分分析结果表明,株高、主根长和净光合速率可作为衡量大豆耐盐碱性与品种筛选的主要指标。本研究通过主成分分析把 14 个独立指标转化为 3 个主成分,筛选出 8 个可作为无芒雀麦种质资源苗期耐碱性鉴定的指标,分别为株高、茎粗、地上部分鲜重、地上部分干重、存活率、根表面积、根体积和相对电导率。结果与前人筛选出的耐碱指标具有相似性^[33]。前人使用模糊隶属函数法对不同基因型燕麦(*Avena sativa* L.)苗期耐碱性^[34]、芸豆(*Phaseolus vulgaris* L.)苗期耐碱性^[35]以及菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)苗期耐盐碱性^[36]等进行了综合评价。本研究通过 D 值及聚类分析将 100 份无芒雀麦种质资源苗期耐碱性划分为三大类,其中耐碱性较强的材料为 W1Z597, W1Z683 和 W1Z628,可作为耐碱新品种选育的材料。这些研究表明,碱胁迫环境下无芒雀麦的反应是多种综合因素产生的结果,培养方式和植物生长阶段等因素都会对无芒雀麦耐碱能力表现产生影响,所以无芒雀麦耐碱性研究和评价标准体系的建立还需要不断探索。

综上所述,本研究通过对无芒雀麦苗期的表型指标进行观测,初步评价了无芒雀麦苗期的耐碱能力。但作物耐碱性是一个复杂的生理过程,仅凭苗期表型指标难以全面揭示其内在机制。因此,在后续研究中,有必要增加对脯氨酸、抗氧化酶活性等关键生理生化指标的测定,从而将表型响应与生理适应机制相结合,使研究结论更具说服力。这为进一步阐明无芒雀麦的耐碱机理及选育耐碱新品种奠定了坚实基础。

4 结论

本研究在 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 浓度处理下测定了100份无芒雀麦种质材料苗期耐碱的相关形态指标,利用相关性、主成分分析、隶属函数分析、聚类分析等对参试材料的耐碱性进行综合评价,筛选出株高、茎粗、地上部分鲜重、地上部分干重、存活率、根表面积、根体积和相对电导率等8项指标,这些指标与无芒雀麦苗期的耐碱能力密切相关,可作为无芒雀麦苗期耐碱性鉴定的重要指标。通过聚类分析,将无芒雀麦种质资源划分为碱耐受型、中抗型、碱敏感型3种类型,并筛选出碱耐受型材料16份,中抗型材料63份,碱敏感型材料22份。其中,W1Z655和W1Z570分别为耐碱性最强和最弱的材料。本研究结果为无芒雀麦种质苗期的耐碱性评价以及无芒雀麦耐碱育种提供了有力的参考依据。

参考文献

- [1] 张龙. 近二十年新疆灌区盐碱地变化情况分析和对策研究[J]. 水资源开发与管理, 2020, 6(6): 72-76
ZHANG L. Analysis and countermeasure research on saline-alkali land change in Xinjiang irrigation area in recent 20 years[J]. Water Resources Development and Management, 2020, 6(6): 72-76
- [2] 海霞, 刘景辉, 杨彦明, 等. 盐胁迫对燕麦幼苗 Na^+ 、 K^+ 吸收和离子积累的影响[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(5): 613-620
HAI X, LIU J H, YANG Y M, et al. Na^+ and K^+ uptake and ion accumulation in oat seedlings under salt stress[J]. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(5): 613-620
- [3] 马前. 糜子耐碱生理响应与适应机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023: 1-2
MA Q. Study on the physiological response and adaptive mechanism to alkali tolerance in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2023: 1-2
- [4] 郭瑞, 周际, 杨帆, 等. 小麦根系在碱胁迫下的生理代谢反应[J]. 植物生态学报, 2017, 41(6): 683-692
GUO R, ZHOU J, YANG F, et al. Metabolic responses of wheat roots to alkaline stress[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(6): 683-692
- [5] 万书勤, 孙甲霞, 董世德, 等. 低洼重度盐碱地滴灌水盐调控的环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 1-10
WAN S Q, SUN J X, DONG S D, et al. Environmental effects of soil water and salinity regulation under drip irrigation in low-lying severe saline-sodic soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(1): 1-10
- [6] 陈威, 王超, 潘成南, 等. 准噶尔盆地南部农区野生饲用植物资源研究[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(6): 1-7
CHEN W, WANG C, PAN C N, et al. Study on wild forage plant resources in the southern agricultural area of the Junggar Basin[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2023, 41(6): 1-7
- [7] 吴雨涵, 刘文辉, 刘凯强, 等. 13份无芒雀麦种质资源生产性能的综合评价及筛选[J]. 草地学报, 2023, 31(11): 3472-3483
WU Y H, LIU W H, LIU K Q, et al. Comprehensive evaluation and screening on the productive performance of 13 *Bromus inermis* Leyss. germplasm resources[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(11): 3472-3483
- [8] 孙雪. 盐胁迫下无芒雀麦的生理响应及其bHLH家族基因的表达分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2023: 1
SUN X. Physiological response and expression analysis of bHLH family genes in *Bromus inermis* under salt stress[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023: 1
- [9] 田小霞, 毛培春, 孟林, 等. 无芒雀麦苗期耐盐指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 156-161
TIAN X X, MAO P C, MENG L, et al. Determination of indicators for salt-tolerant evaluation and comprehensive evaluation of salt-tolerant at the seedlings of *Bromus inermis*[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(10): 156-161
- [10] 宋家兴, 李倩, 罗金, 等. 37份新疆无芒雀麦萌发期耐盐性评价[J]. 种子, 2020, 39(4): 85-90
SONG J X, LI Q, LUO J, et al. Evaluation of salt tolerance at germination stage of 37 *Bromus inermis* varieties in Xinjiang[J]. Seed, 2020, 39(4): 85-90
- [11] 李瑞强, 王玉祥, 孙玉兰, 等. 盐胁迫对5份无芒雀麦苗期生长和生理生化影响及综合性评价[J]. 草业学报, 2023, 32(1): 99-111
LI R Q, WANG Y X, SUN Y L, et al. Effects of salt stress on the growth, physiology, and biochemistry of five *Bromus inermis* varieties[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(1): 99-111
- [12] 高建明, 夏卜贤, 袁庆华, 等. 高粱种质材料幼苗耐盐碱性评价[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1303-1310
GAO J M, XIA B X, YUAN Q H, et al. Salt-alkaline tolerance of sorghum germplasm at seedling stage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1303-1310
- [13] 韩毅强, 高亚梅, 杜艳丽, 等. 大豆耐盐碱种质资源鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(6): 1016-1024
HAN Y Q, GAO Y M, DU Y L, et al. Identification of saline-alkali tolerant germplasm resources of soybean during the whole growth stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(6): 1016-1024
- [14] 任星远. 外源褪黑素对紫花苜蓿干旱胁迫的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2023: 15
REN X Y. Effects of exogenous melatonin on drought stress of alfalfa[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2023: 15
- [15] 巴图. NaCl胁迫下大麦幼苗的生理响应与根系转录组测序分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022: 8-9
BA T. Physiological response and transcriptome sequencing analysis of barley seedlings under NaCl stress[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022: 8-9
- [16] 万泽华, 华之梦, 王敏, 等. 黑芝麻种质资源苗期耐渍性鉴定

- 及评价[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(1): 13-24
- WAN Z H, HUA Z M, WANG M, et al. Identification and evaluation of waterlogging tolerance of black sesame germplasm resources at seedling stage[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2024, 46(1): 13-24
- [17] 冯钟慧. 水稻幼苗对碱胁迫的响应及脱落酸的调控机制研究[D]. 哈尔滨: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2024: 23
- FENG Z H. Study on the response of rice seedlings to alkaline stress and regulation mechanism of abscisic acid[D]. Harbin: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2024: 23
- [18] 宋家兴. NaCl胁迫下无芒雀麦苗期耐盐生理响应及转录组分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020: 12-13
- SONG J X. Physiological responses and transcriptome analysis of salt-tolerant *Bromus inermis* L. under NaCl stress at seedling stage[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020: 12-13
- [19] 李嘉文, 麻冬梅, 苏立娜, 等. 外源褪黑素对盐胁迫下燕麦幼苗生长及抗氧化系统的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(2): 396-403
- LI J W, MA D M, SU L N, et al. Effects of exogenous melatonin on oat seedling growth and antioxidant system under salt stress[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(2): 396-403
- [20] 王沛, 崔彦农, 高丽, 等. 盐生植物小花碱茅CYP86A基因的RNAi载体构建[J]. 草业学报, 2017, 26(6): 105-110
- WANG P, CUI Y N, GAO L, et al. Construction of RNAi expression vector of CYP86A gene in halophyte *Puccinellia tenuiflora* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(6): 105-110
- [21] 范惠玲, 白生文, 路妍, 等. 155份蚕豆种质资源全生育期耐盐碱性鉴定与综合评价[J]. 作物学报, 2024, 50(12): 3035-3045
- FAN H L, BAI S W, LU Y, et al. Identification and comprehensive evaluation of salt-alkali tolerance throughout the growth period of 155 faba bean germplasms [J]. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(12): 3035-3045
- [22] 段辉国, 赵涛, 付伟丽, 等. NaCl胁迫对青稞幼苗部分生理指标的影响[J]. 内江师范学院学报, 2012, 27(6): 42-44
- DUAN H G, ZHAO T, FU W L, et al. Effects of NaCl stress on some physiological indices in hulless barley seedlings [J]. Journal of Neijiang Teachers College, 2012, 27(6): 42-44
- [23] 钱娇娇, 张丹婷, 王蕊, 等. 29份小黑麦种质资源苗期耐盐性评价与筛选[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(8): 200-209
- QIAN J J, ZHANG D T, WANG R, et al. Evaluation and screening of salt tolerance of 29 *Triticale* germplasms at seedling stage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2025, 53(8): 200-209
- [24] 张丹婷, 钱娇娇, 王蕊, 等. 25份小黑麦种质资源苗期耐碱性评价与筛选[J]. 种子, 2024, 43(12): 78-84, 93
- ZHANG D T, QIAN J J, WANG R, et al. Evaluation and screening of alkaline tolerance of 25 *Triticale* germplasm resources at the seedling stage[J]. Seed, 2024, 43(12): 78-84, 93
- [25] 许基磊. 三种外源添加剂对野大豆盐胁迫损伤的缓解效应及机理研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2020: 49
- XU J L. Mitigation effect and regulation mechanism of three exogenous substances on *Glycine soja* under salt stress [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2020: 49
- [26] 李建波, 刘志萍, 郭呈宇, 等. 大麦种质资源苗期耐碱性鉴定与综合评价[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2021, 36(2): 120-127
- LI J B, LIU Z P, GUO C Y, et al. Identification and comprehensive evaluation of alkaline tolerance of barley germplasm resources at seedling stage [J]. Journal of Inner Mongolia
- Minzu University (Natural Sciences), 2021, 36(2): 120-127
- [27] 汤丽斯. 碱性盐胁迫下新疆狗牙根形态、生理及分子响应机制研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2024: 31
- TANG L S. Morphological, physiological, and molecular response mechanism of *Cynodon dactylon* in Xinjiang under alkaline salt stress[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2024: 31
- [28] GOLLDACK D, LÜKING I, YANG O. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network[J]. Plant Cell Reports, 2011, 30(8): 1383-1391
- [29] 春宇, 李向颖, 元元, 等. 盐碱胁迫对藜麦生理生化及代谢水平的影响综述[J]. 农业科学研究, 2024, 45(4): 67-77
- CHUN Y, LI X Y, YUAN Y, et al. Overview of the impact of salinity-alkali stress on quinoa's physiological, biochemical, and metabolic levels[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2024, 45(4): 67-77
- [30] 尹泽群. 耐碱性谷子品种筛选及碱胁迫对谷子生长的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2024: 3
- YIN Z Q. Screening of alkaline tolerant millet varieties and analysis of physiological and biochemical regulation [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2024: 3
- [31] 韩笑, 陆文静, 王桂玲, 等. 寒地梗稻苗期耐碱性综合评价[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(14): 80-86
- HAN X, LU W J, WANG G L, et al. Comprehensive evaluation of alkali tolerance of Japonica rice seedling in cold region [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(14): 80-86
- [32] 曹帅, 杜仲阳, 向殿军, 等. 18份大豆品种耐盐碱性筛选与综合鉴定[J]. 大豆科学, 2019, 38(3): 344-352
- CAO S, DU Z Y, XIANG D J, et al. Salt and alkaline tolerance screening and comprehensive identification of eighteen soybean varieties[J]. Soybean Science, 2019, 38(3): 344-352
- [33] 于崧, 梁海芸, 郭潇潇, 等. 不同基因型绿豆苗期耐盐碱性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 223-232
- YU S, LIANG H Y, GUO X X, et al. Analysis of saline-alkaline tolerance and determination of saline-alkaline tolerance evaluation indicators in seedling stage of different mung bean genotypes[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(4): 223-232
- [34] 付鸾鸿, 于崧, 于立河, 等. 不同基因型燕麦苗期耐盐碱性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 23-30
- FU L H, YU S, YU L H, et al. Analysis of saline-alkaline tolerance in seedling stage and screening of identification indexes of different oat genotypes [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(3): 23-30
- [35] 李琳, 于崧, 蒋永超, 等. 芸豆苗期耐盐碱性鉴定及品种筛选研究[J]. 植物生理学报, 2016, 52(1): 62-72
- LI L, YU S, JIANG Y C, et al. Identification and screening of different kidney bean cultivars for saline-alkaline tolerance during seedling stage [J]. Plant Physiology Journal, 2016, 52(1): 62-72
- [36] 赵俊香, 任翠梅, 吴凤芝, 等. 16份菊芋种质苗期耐盐碱性筛选与综合鉴定[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 620-627
- ZHAO J X, REN C M, WU F Z, et al. Comprehensive identification of saline-alkaline tolerance of 16 *Jerusalem artichoke* accessions at seedling stage [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(5): 620-627