

张莹莹, 赵明辉, 孟祥海, 等. 55份衡麦系列种质资源萌发期耐盐性筛选与鉴定[J]. 山西农业科学, 2025, 53(2): 92-100.

ZHANG Y Y, ZHAO M H, MENG X H, et al. Screening and identification of salt tolerance of 55 hengmai wheat accessions of germ-plasms at germination stage[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(2): 92-100.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.02.12

55份衡麦系列种质资源萌发期耐盐性筛选与鉴定

张莹莹^{1,2}, 赵明辉², 孟祥海², 周淑梅¹, 于国红²

(1. 山东农业大学 生命科学院/小麦育种全国重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 河北省农林科学院 旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究重点实验室, 河北 衡水 053000)

摘要: 盐害是影响小麦产量的重要因素之一, 在小麦种质资源萌发期进行耐盐性鉴定和评价对筛选耐盐小麦新品种具有重要意义。试验采用200 mmol/L NaCl溶液模拟盐胁迫, 对55份衡麦系列品种(系)进行胁迫处理, 通过测定发芽率、发芽势、发芽指数、种子萌发指数、根长、芽长等10个形态指标, 并进行相关性分析、主成分分析、隶属函数分析、聚类分析, 对小麦种质资源进行耐盐性筛选。结果表明, 小麦盐胁迫后的形态指标与对照相比均在不同程度上受到抑制, 各个形态指标间的相关性存在差异; 通过主成分分析将10个形态指标值划分成3个综合指标, 累计贡献率达80.287%; 隶属函数综合分析结果表明, 师栾02-1、衡麦L214286的耐盐性最强, 衡麦Z215351的耐盐性最弱; 利用隶属函数综合值进行聚类分析, 将55份衡麦品种(系)分成了5个类群, 其中, 极强耐盐种质14份、较强耐盐种质22份、一般耐盐种质15份、盐敏感种质3份、盐极敏感种质1份。

关键词: 小麦; 萌发期; 耐盐性; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2025)02-0092-09

Screening and Identification of Salt Tolerance of 55 Hengmai Wheat Accessions of Germplasms at Germination Stage

ZHANG Yingying^{1,2}, ZHAO Minghui², MENG Xianghai², ZHOU Shumei¹, YU Guohong²

(1. College of Life Sciences, Shandong Agricultural University/National Key Laboratory of Wheat Breeding,

Tai'an 271018, China; 2. Institute of Dry Farming, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/

Key Lab of Crop Drought Tolerance Research of Hebei Province, Hengshui 053000, China)

Abstract: Salt damage is a critical factor affecting wheat yield. Identifying and evaluating salt tolerance of wheat germplasm resources during germination stage is essential for screening new varieties of salt tolerant wheat. In this study, 55 Hengmai wheat varieties(lines) were treated with 200 mmol/L of NaCl solution to simulate salt stress. 10 morphological indexes, including germination rate, germination potential, germination index, seed germination index, root length, and bud length, the correlation analysis, principal component analysis, membership function analysis, and cluster analysis were carried out to screen the salt tolerance of wheat germplasm resources. The results showed that the morphological indexes of wheat after salt stress were inhibited to varying degrees compared with the control, and there were differences in the correlation among the morphological indexes. The 10 morphological index values were divided into 3 comprehensive indexes by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 80.287%. The results of membership function analysis showed that Shiluan 02-1 and Hengmai L214286 had the strongest salt tolerance, and Hengmai Z215351 had the weakest salt tolerance. The 55 wheat varieties(lines) were categorized into five groups by cluster analysis using membership function values, among which were 14 with extremely strong salt tolerance, 22 with strong salt tolerance, 15 with general salt tolerance, 3 with salt sensitivity, and 1 with extreme salt sensitivity.

收稿日期: 2024-12-25

基金项目: 河北省农林科学院科技创新专项(2023KJCXZX-HZS-11); 山东省自然科学基金(ZR2023MC058)

作者简介: 张莹莹, 在读硕士, 研究方向: 小麦抗逆机理解析, E-mail: 1730078763@qq.com

通信作者: 于国红, 副研究员, 博士, 主要从事作物育种与抗逆机理解析研究, E-mail: guangwen19840104@163.com

周淑梅, 副教授, 博士, 主要从事作物抗逆机理解析研究, E-mail: zhousm@sdau.edu.cn

Keywords: wheat; germination stage; salt tolerance; principal component analysis; cluster analysis

土壤盐碱化是影响作物生长主要的非生物胁迫之一,严重制约着农业生产和发展^[1]。据统计,受自然因素和人为因素影响^[2],土壤盐碱化日益加重,全球约有 10 亿 hm^2 土地受到盐碱化的影响,其中约有 20% 的耕地遭受不同程度的盐碱化^[3-4],并且还在不断地扩大。我国盐碱地面积大,分布广,约有 1 亿 hm^2 盐碱地,其中 670 万 hm^2 分布在耕地区,主要分布在西北、华北、东北及沿海地区。土壤盐渍化因其特殊的理化性质对作物的生长发育产生影响,进而造成产量减少^[5-6]。盐胁迫会造成植物生长发育迟缓,对植物产生多种影响,土壤中的盐过高,会导致土壤中水势降低,进而影响植物根细胞吸水性,植物根系不能正常吸收水分,会导致作物叶片发黄,植株坏死^[7];土壤中高浓度盐分会导致植物中 Na^+ 和 Cl^- 等离子浓度失衡,产生毒性,影响植物生理功能^[8];盐胁迫通过植物高渗透胁迫和氧化胁迫抑制植物生长发育,导致植物死亡,进而导致农作物产量下降,制约农业生产^[9]。目前,应对土壤盐渍化的主要措施有改良土壤和培育耐盐品种^[10]。

小麦 (*Triticum aestivum* L.) 是最重要粮食作物之一,我国又是世界上最大的小麦生产国家,约占全球 18%^[11],因此,小麦产量对于稳定国家粮食安全极为重要。有研究表明,小麦是盐碱地改良先锋作物之一,是盐碱地主要的种植作物^[12],同时小麦秸秆还田^[13-14]能够促进土壤理化性质改变,提高农作物产量,在盐碱地上种植耐盐碱作物是改良盐碱地最经济有效且可持续的方法。一直以来,国家对于盐碱地改良非常重视,由于不同品种小麦之间耐盐性大小不同^[15],因此,筛选与培育鉴定耐盐新品种,对于盐碱地开发和利用以及农业生产具有重大意义。

目前,对小麦种质资源耐盐性鉴定已有相关研究。郭超等^[15]通过隶属函数法对小麦芽期耐盐性进行综合性评价,相对发芽率、相对根长和相对芽长可作为小麦芽期耐盐性评价指标,在一定程度上可反映小麦品种的耐盐能力。赵燕等^[16]对 5 份小麦品种进行梯度浓度盐胁迫试验,结果表明,低浓度盐可以提高发芽率,高浓度盐则抑制种子萌发;通过相关性分析发现,发芽率、发芽势、发芽指数、最大根长、最大芽长等 7 个指标与盐浓度呈负相关,

表明这些性状均可作为小麦耐盐性鉴定的指标,并筛选出 150~200 mmol/L NaCl 为最适浓度,这些结果为筛选耐盐性小麦品种提供了依据。

小麦响应盐胁迫的研究主要是在苗期,萌发期的耐盐性鉴定与评价相关研究相对较少,本研究采用 200 mmol/L NaCl 对 55 份小麦品种(系)进行盐胁迫,测定其相关的农艺性状,并采用主成分分析、隶属函数分析等多元统计方法对小麦种质资源耐盐性进行评价,旨在筛选与鉴定不同小麦材料的耐盐性,为盐碱地上小麦种植提供借鉴和参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为 2010—2022 年选育并保存在河北省农林科学院旱作农业研究所的 55 份小麦品种(系),这些小麦品种(系)抗病性、抗倒伏性以及抗寒性均中等偏上。

1.2 试验设计

本试验设 2 个处理:无菌水对照、200 mmol/L NaCl 模拟盐胁迫,每个处理 6 个重复,每个重复 25 个平行。挑选大小一致、籽粒饱满的种子,用 200 mmol/L NaCl 溶液浸泡 4 h,对照采用无菌水浸泡,后用无菌水冲洗 2 遍,1% NaClO 溶液浸泡 20 min,浸泡过程中时不时地晃动种子,最后用无菌水冲洗 3 遍。将浸种完毕的种子腹沟向下均匀摆放在含有不同溶液且铺有双层滤纸的培养皿(直径为 9 cm)中。供试小麦种质材料放置于组培间内进行培养,培养条件光照/黑暗为 14 h/10 h,温度为 26 $^{\circ}\text{C}$ /21 $^{\circ}\text{C}$,每天观察并统计发芽数,培养第 4 天开始补充 200 mmol/L NaCl ,对照补充等量蒸馏水,保持滤纸湿润。以胚芽生长长度超过种子长度的 1/3 或胚根超过种子长度的 1/2 为发芽,连续统计 8 d。8 d 后测定根长、芽长等指标。

1.3 测定指标及方法

发芽势 = 第 4 天发芽种子数 / 供试种子数 \times 100% (1)

发芽率 = 第 8 天发芽种子数 / 供试种子数 \times 100% (2)

发芽指数 (GI) = $\sum(Gt/Dt)$ (3)

式中, Gt 表示第 t 天的发芽数, Dt 表示对应的发芽天数。

$$\text{种子萌发指数} = 1.00 \times \text{nd}2 + 0.75 \times \text{nd}4 + 0.50 \times \text{nd}6 + 0.25 \times \text{nd}8 \quad (4)$$

式中,nd2、nd4、nd6、nd8分别为第2、4、6、8天的种子萌发率。

在盐胁迫处理8 d后,每个处理随机选取5株小麦幼苗,测定根长和芽长。每个处理取9株幼苗,用滤纸擦干植株上的水分,使用精度为0.001 g的电子天平分别测定芽鲜质量和根鲜质量后,将植株地上部和地下部放于80 °C烘箱中烘干至恒质量,再分别测定芽干质量和根干质量。

1.4 数据处理

用Microsoft Excel 2019对试验数据进行整理与处理,用SPSS 19.0软件进行相关性分析和主成分分析,用Origin进行聚类分析。

$$U(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中, $U(X_j)$ 表示第 j 个综合指标的隶属函数值, X_j 为第 j 个综合指标值, X_{\max} 、 X_{\min} 分别为第 j 个综合指标的最大值、最小值^[17]。

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中, W_j 表示第 j 个综合指标的权重; P_j 为第 j 个综合指标的贡献率^[18]。

$$D = \sum_{j=1}^n (U(X_j) \cdot W_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中, D 为小麦种质耐盐性综合评价值^[19]。

$$\text{指标相对值} = \text{胁迫指标值} / \text{对照指标值} \quad (8)$$

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下不同小麦材料萌发期各指标差异分析

从表1可以看出,盐胁迫下,发芽势、发芽率、发芽指数、种子萌发指数、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量、根干质量、芽长、根长等都受到一定程度的影响。其中,相对发芽率的变化范围最大,为8.22%~94.67%,相对根长的变化范围最小,为8.54%~37.29%。55份小麦种质资源各指标的变异系数在17.81%~42.81%,相对根干质量变异系数最小,为17.81%,相对芽鲜质量的变异系数最大,为42.81%,说明在各项指标中相对芽鲜质量对小麦响应盐胁迫的影响最大。其中,相对芽长的均值最小,为18.03%,表明200 mmol/L NaCl处理下对小麦相对芽长影响最大;相对发芽率均值最大,为69.37%,表明盐胁迫对于发芽率的影响最小。55份小麦种质资源萌发期评价指标在品种间的变化范围较大,其中相对芽鲜质量、相对发芽势、相对芽长的变异系数较大,分别为42.81%、38.61%、34.50%,其他评价指标的变异系数也较高,说明这些评价指标对盐胁迫较为敏感。

表1 盐胁迫下55份小麦种质萌发期评价指标相对值

Tab.1 Relative values of evaluation indexes at germination stage of 55 wheat germplasm under saline stress

指标	Index	最大值/%	Max	最小值/%	Min	平均值/%	Mean	标准差	SD	变异系数/%	CV
相对发芽势	RGP	84.59		4.11		58.09		22.43		38.61	
相对发芽率	RGR	94.67		8.22		69.37		2.72		32.76	
相对发芽指数	RGI	68.27		3.64		44.48		15.32		34.44	
相对种子萌发指数	RSGI	60.46		4.18		40.56		13.53		33.36	
相对根长	RRL	37.29		8.54		21.38		5.40		25.28	
相对芽长	RBL	37.12		1.95		18.03		6.22		34.50	
相对芽鲜质量	RBFW	57.74		6.83		22.22		9.51		42.81	
相对根鲜质量	RRFW	66.78		21.19		44.85		10.52		23.45	
相对芽干质量	RBDW	63.16		7.17		31.73		10.36		32.64	
相对根干质量	RRDW	62.90		27.59		45.84		8.16		17.81	

2.2 盐胁迫下小麦种质资源萌发期各评价指标相关性分析

由表2可知,不同评价指标间的相关性不同,相对发芽势与相对发芽率、相对发芽指数、相对种

子萌发指数、相对根长、相对芽长、相对芽鲜质量、相对根鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈正相关;相对发芽率与相对发芽指数、相对种子萌发指数、相对根长、相对芽长、相对芽鲜质量、相对根

鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈正相关；相对发芽指数与相对种子萌发指数、相对根长、相对芽长、相对芽鲜质量、相对根鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈正相关；相对种子萌发指数与相对根长、相对芽长、相对芽鲜质量、相对根鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈正相关；相对根长与相对芽长、相对芽鲜质量、相对根鲜质量呈正相关，与相对芽干质量、相对根干质量呈负相

关；相对芽长与相对芽鲜质量、相对根鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈正相关；相对芽鲜质量与相对根鲜质量、相对芽干质量、相对根干质量呈极显著正相关($P < 0.01$)；相对根鲜质量与相对芽干质量、相对根干质量呈极显著正相关($P < 0.01$)；相对芽干质量与相对根干质量呈极显著正相关($P < 0.01$)。萌发期小麦 10 个性状指标都有一定的相关性，综合影响小麦耐盐性评价。

表 2 盐胁迫下小麦种质资源各评价指标相对值的相关性

Tab.2 Correlation of relative values of evaluation indexes of wheat germplasms under salt stress

指标 Index	相对发芽势 RGP	相对发芽率 RGR	相对发芽指数 RGI	相对种子萌发指数 RSGI	相对根长 RRL	相对芽长 RBL	相对芽鲜质量 RBFW	相对根鲜质量 RRFW	相对芽干质量 RBDW	相对根干质量 RRDW
相对发芽势 RGP	1									
相对发芽率 RGR	0.928**	1								
相对发芽指数 RGI	0.965**	0.964**	1							
相对种子萌发指数 RSGI	0.956**	0.958**	0.994**	1						
相对根长 RRL	0.198	0.166	0.164	0.157	1					
相对芽长 RBL	0.268**	0.363**	0.317*	0.359**	0.069	1				
相对芽鲜质量 RBFW	0.036	0.097	0.098	0.127	0.001	0.339*	1			
相对根鲜质量 RRFW	0.282*	0.345**	0.349**	0.353**	0.092	0.455**	0.583**	1		
相对芽干质量 RBDW	0.010	0.132	0.093	0.144	-0.087	0.652**	0.639**	0.460**	1	
相对根干质量 RRDW	0.212	0.344*	0.322*	0.346**	-0.030	0.502**	0.403**	0.649**	0.549**	1

注：**表示在 0.01 水平下极显著相关，*表示在 0.05 水平下显著相关。

Note: ** indicated extremely significant correlation at the 0.01 level and * indicated significant correlation at the 0.05 level.

2.3 盐胁迫下不同小麦材料萌发期性状的主成分分析

对小麦资源 10 个性状指标进行主成分分析(表 3)，并以特征值大于 1，累计贡献率大于 80% 为阈值提取主成分，从中选出了 3 个主成分，特

征值分别为 4.847、2.128、1.054，贡献率分别为 48.468%、21.277%、10.543%，累计贡献率达到 80.287%。说明这 3 个综合指标可以反映盐胁迫下小麦萌发期 10 个性状指标的大多数信息，可用于进行萌发期小麦耐盐性评价。

表 3 盐胁迫下 10 个性状指标主成分分析

Tab.3 Principal component analysis of 10 trait indexes under salt stress

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Extract the sum of squares of the load		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
1	4.847	48.468	48.468	4.847	48.468	48.468
2	2.128	21.277	69.745	2.128	21.277	69.745
3	1.054	10.543	80.287	1.054	10.543	80.287
4	0.930	9.298	89.585			
5	0.478	4.783	94.368			
6	0.294	2.938	97.306			
7	0.200	2.003	99.309			
8	0.049	0.492	99.801			
9	0.017	0.166	99.967			
10	0.003	0.033	100.000			

由表4可知,在主成分1中发芽率贡献最大,其次是种子萌发指数、发芽指数、发芽势;主成分2中芽干质量贡献率最大,其次是芽鲜质量、根鲜质量、根干质量;主成分3中根长贡献率最大,其次是

根干质量、芽长、根鲜质量。综上所述,发芽率、发芽势、种子萌发指数、发芽指数、芽干质量、根长、芽长、芽鲜质量、根鲜质量、根干质量可作为萌发期小麦耐盐性评价指标。

表4 盐胁迫下小麦种质资源耐盐指标的得分系数

Tab.4 Scoring coefficients of salt tolerance index of wheat germplasms under salt stress

指标 Index	主成分 Principal component			指标 Index	主成分 Principal component		
	1	2	3		1	2	3
发芽势 GP	0.875	-0.433	-0.130	芽长 BL	0.538	0.472	0.291
发芽率 GR	0.933	-0.284	-0.092	芽鲜质量 BFW	0.341	0.596	-0.552
发芽指数 GI	0.910	-0.381	-0.141	根鲜质量 RFW	0.646	0.474	0.200
种子萌发指数 SGI	0.922	-0.356	-0.130	芽干质量 BDW	0.416	0.755	-0.311
根长 RL	0.539	0.020	0.615	根干质量 RDW	0.498	0.463	0.296

2.4 盐胁迫下小麦种质资源的耐盐性综合评价

2.4.1 综合指标隶属函数分析 通过公式(5)计算得到隶属函数值(表5),在U(1)中衡麦L214286这一品种小麦的隶属函数值最大,为1.000,表明衡麦L214286在U(1)评价指标中的耐盐性最强,衡麦L215105这一品种小麦的隶属函数值最小,为0,说明衡麦L215105在U(1)评价指标中的耐盐性最弱;在U(2)中衡麦L215105这一品种小麦的隶属函数值最大,为1.000,表明衡麦L215105在U(2)评价指标中的耐盐性最强,衡麦L214286这一品种小麦的隶属函数值最小,为0,说明衡麦L214286在U(2)评价指标中的耐盐性最弱;在U(3)中衡麦L215105这一品种小麦的隶属函数值

最大,为1.000,表明衡麦L215105在U(3)评价指标中的耐盐性最强,衡麦H224233这一品种小麦的隶属函数值最小,为0,说明衡麦H224233在U(3)评价指标中的耐盐性最弱。

2.4.2 综合指标权重 将主成分分析中得到的各个主成分的贡献率带入到公式(6)中,计算出相应的综合指标权重为0.604、0.265、0.131。

2.4.3 盐胁迫下不同小麦品种(系)耐盐性综合性评价 将得出的综合指标隶属函数值和综合指标权重带入公式(7),计算出不同小麦品种(系)耐盐性强弱综合指标值,即D值,根据D值的大小对小麦品种(系)进行耐盐性排序(表5)。

表5 不同小麦品种耐盐性隶属函数值、D值及耐盐性排序

Tab.5 Rankings of membership function values, D values, and salt tolerance of different wheat varieties

品种 Variety	隶属函数值 Membership function value			D值 D value	排序 Ranking
	U(1)	U(2)	U(3)		
衡麦 S29 Hengmai S29	0.715	0.288	0.287	0.546	24
济麦 22 Jimai 22	0.318	0.716	0.750	0.480	44
石麦 22 Shimai 22	0.618	0.428	0.558	0.560	17
洛早 7号 Luohan 7	0.557	0.553	0.903	0.601	3
中麦 175 Zhongmai 175	0.591	0.493	0.581	0.564	15
师栾 02-1 Shiluan 02-1	0.751	0.378	0.532	0.623	1
衡麦 H20 观 128 Hengmai H20 guan 128	0.779	0.185	0.126	0.536	29
衡麦 H215025 Hengmai H215025	0.697	0.251	0.170	0.510	38
衡麦 H224006 Hengmai H224006	0.258	0.764	0.888	0.475	46
衡麦 Z225136 Hengmai Z225136	0.700	0.298	0.184	0.526	33
衡麦 Z225088 Hengmai Z225088	0.884	0.063	0.079	0.561	16
衡麦 Z226157 Hengmai Z226157	0.660	0.225	0.037	0.463	48

续表 5 不同小麦品种耐盐性隶属函数值、D 值及耐盐性排序

Tab.5(Continued) Rankings of membership function values, D values, and salt tolerance of different wheat varieties

品种 Variety	隶属函数值 Membership function value			D 值 D value	排序 Ranking
	U(1)	U(2)	U(3)		
衡麦 T215157 Hengmai T215157	0.820	0.191	0.219	0.574	13
衡麦 Y204169 Hengmai Y204169	0.808	0.160	0.116	0.546	25
衡麦 L215132 Hengmai L215132	0.706	0.320	0.361	0.559	18
衡麦 L214286 Hengmai L214286	1.000	0.000	0.087	0.615	2
衡麦 Z227029 Hengmai Z227029	0.813	0.231	0.309	0.593	5
衡麦 L226149 Hengmai L226149	0.076	0.916	0.869	0.402	53
衡麦 T226390 Hengmai T226390	0.710	0.275	0.249	0.534	31
衡麦 L226195 Hengmai L226195	0.161	0.873	0.898	0.446	51
衡麦 H224233 Hengmai H224233	0.936	0.034	0.000	0.574	14
衡麦 H226046 Hengmai H226046	0.842	0.186	0.222	0.587	6
衡麦 T224294 Hengmai T224294	0.904	0.107	0.180	0.598	4
衡麦 Z224012 Hengmai Z224012	0.314	0.790	0.862	0.512	37
衡麦 Z226133 Hengmai Z226133	0.706	0.288	0.315	0.544	26
衡麦 T215114 Hengmai T215114	0.849	0.125	0.069	0.555	21
衡麦 T224172 Hengmai T224172	0.758	0.270	0.434	0.586	7
衡麦 T225398 Hengmai T225398	0.756	0.215	0.181	0.537	28
衡麦 T225507 Hengmai T225507	0.637	0.399	0.668	0.578	11
衡观 35 Hengguan 35	0.796	0.228	0.290	0.579	10
衡麦 32 Hengmai 32	0.926	0.048	0.020	0.575	12
衡麦 36 Hengmai 36	0.857	0.103	0.012	0.547	23
衡麦 37 Hengmai 37	0.761	0.199	0.068	0.521	35
衡麦 Z215220 Hengmai Z215220	0.644	0.326	0.225	0.505	39
衡麦 H20 观 37 Hengmai H20 guan 37	0.615	0.411	0.422	0.535	30
衡麦 H194008 Hengmai H194008	0.851	0.134	0.050	0.556	20
衡麦 Z204184 Hengmai Z204184	0.621	0.405	0.438	0.540	27
衡麦 164435 Hengmai 164435	0.646	0.406	0.464	0.558	19
衡麦 Z204195 Hengmai Z204195	0.508	0.498	0.451	0.498	41
衡麦 T193209 Hengmai T193209	0.828	0.179	0.247	0.580	9
衡麦 Y194194 Hengmai Y194194	0.400	0.601	0.558	0.474	47
衡麦 Z215320 Hengmai Z215320	0.713	0.320	0.293	0.554	22
衡麦 Z1033 Hengmai Z103	0.588	0.422	0.416	0.522	34
衡麦 T204002 Hengmai T204002	0.607	0.416	0.433	0.534	32
衡麦 H204017 Hengmai H204017	0.529	0.446	0.295	0.477	45
衡麦 T215419 Hengmai T215419	0.535	0.443	0.323	0.483	43
衡麦 T203239 Hengmai T203239	0.418	0.620	0.589	0.494	42
衡麦 L215121 Hengmai L215121	0.563	0.586	0.653	0.581	8
衡麦 T215603 Hengmai T215603	0.608	0.409	0.344	0.521	36
衡麦 J215603 Hengmai J215603	0.498	0.508	0.498	0.500	40
衡麦 L214332 Hengmai L214332	0.248	0.734	0.599	0.423	52
衡麦 T215649 Hengmai T215649	0.314	0.676	0.601	0.448	50
衡麦 Z215351 Hengmai Z215351	0.054	0.862	0.606	0.341	55
衡麦 L215105 Hengmai L215105	0.000	1.000	1.000	0.396	54
衡麦 Y204169 Hengmai Y204169	0.246	0.785	0.775	0.458	49

国主要的粮食作物之一,种植面积较大,筛选耐盐小麦种质资源对保障粮食安全有重大意义。

在植物生长的各个阶段中,种子萌发是植物生长发育的关键时期,萌发期对盐的胁迫最为敏感^[21]。盐浓度越高对小麦种子的萌发和生长抑制性越大,对小麦的产量和品质影响越大^[22-23]。小麦响应盐胁迫的研究主要是在苗期,萌发期的耐盐性鉴定与评价相关研究相对较少。单一指标不能全面的反映小麦耐盐性,应采用多种指标综合评价小麦资源的耐盐性,作物响应盐胁迫评价方法有很多,例如,主成分分析、相关性分析、隶属函数分析等,彭智等^[23]以 1.2% NaCl 溶液和 0.8% NaCl 溶液对 321 份小麦进行芽期和苗期试验,芽期测定了 7 个耐盐相关评价指标,与本研究一样,均通过相关性分析、主成分分析和隶属函数分析,筛选出 21 份高耐盐小麦材料。王宏凯等^[24]研究认为,单一指标不能准确反映小麦耐盐情况,与本研究一致,将多个评价指标作为主要依据,采用了相同的分析方法研究不同浓度对小麦性状的影响,发现不同小麦种子均受到不同程度的抑制,说明种子之间耐盐性不同,共筛选出 4 个耐盐小麦品种,为南疆小麦耐盐品质选育提供了材料。钮力亚等^[25]研究表明,盐胁迫后小麦芽期的发芽率、芽长、根长、根数、芽鲜质量、根鲜质量均下降,与本研究一致,说明盐胁迫对小麦发芽率、芽长、根长等的影响较大。刘彤彤等^[26]对山西当地小麦进行筛选,研究发现,小麦芽期各个指标均受到盐胁迫的影响,不同指标对盐胁迫的敏感度不同。在本研究中 10 个指标的相对值变化均不同,说明植物的不同部位应对盐胁迫的响应不同。

本研究用 200 mmol/L NaCl 溶液对 55 份小麦品种(系)进行盐胁迫处理,结果表明,发芽率、发芽势、发芽指数、种子萌发指数、根长、芽长等 10 个性状指标均受到不同程度抑制,说明各个部位应对盐胁迫的响应不同,本试验采用了综合评价指标来评估小麦耐盐性,可以更好地避免单一指标带来的局限性。通过主成分分析对发芽率、发芽势等 10 个指标进行分析,从中筛选出 3 个主成分作为萌发期小麦耐盐性综合评价指标。本研究结合隶属函数分析和聚类分析,将 55 份小麦品种(系)耐盐性分成 5 类,其中,14 份极耐盐品种、22 份强耐盐品种、15 份耐盐品种、3 份盐敏感品种、1 份极敏感品种。

参考文献:

- [1] LUO D, ZHOU Q, WU Y G, et al. Full-length transcript sequencing and comparative transcriptomic analysis to evaluate the contribution of osmotic and ionic stress components towards salinity tolerance in the roots of cultivated alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 32.
- [2] 刘庚炜,高雅琪,邵泽璇,等. 土壤盐渍化修复技术研究进展 [J]. 黑龙江农业科学, 2024(1): 99-107.
LIU G W, GAO Y Q, SHAO Z X, et al. Research progress of soil salinization-alkalization remediation technology [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2024(1): 99-107.
- [3] 王拯,张胜全,姜鸿耀,等. 滨海盐碱地秸秆还田对小麦生长及产量的影响 [J]. 农业科技通讯, 2023(9): 92-94, 156.
WANG Z, ZHANG S Q, LOU H Y, et al. Effects of straw returning on wheat growth and yield in coastal saline-alkali land [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023(9): 92-94, 156.
- [4] 陆宝金,田生昌,左忠,等. 盐渍化土地可持续利用研究综述及展望 [J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2023, 44(1): 79-88.
LU B J, TIAN S C, ZUO Z, et al. Review and prospect on sustainable utilization of salinized land [J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 2023, 44(1): 79-88.
- [5] 陈春舟,马占军,孟亚雄,等. 小麦种质资源抗旱耐盐性评价及种质筛选 [J]. 分子植物育种, 2021, 19(14): 4820-4835.
CHEN C Z, MA Z J, MENG Y X, et al. Evaluation and screening of wheat germplasm resources for drought and salt tolerance [J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(14): 4820-4835.
- [6] 韩笑,马文东,王桂玲,等. 水稻耐盐碱生理与遗传机制研究进展 [J]. 黑龙江农业科学, 2022(8): 62-67.
HAN X, MA W D, WANG G L, et al. Research progress on physiological and genetic mechanism of saline-alkali tolerance in rice [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022(8): 62-67.
- [7] 李啟萌,宗宪春. 盐胁迫对红黄两种秋葵种子萌发的影响 [J]. 中国林副特产, 2021(2): 4-6, 8.
LI Q M, ZONG X C. Effect of salt stress on seed germination of red and yellow okra [J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2021(2): 4-6, 8.
- [8] TONON G, KEVERS C, FAIVRE-RAMPANT O, et al. Effect of NaCl and mannitol *Iso*-osmotic stresses on proline and free polyamine levels in embryogenic *Fraxinus angustifolia* callus [J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161(6): 701-708.
- [9] 朱蕾,田松,黄金侠,等. 植物对盐胁迫的响应及调控研究进展 [J/OL]. 分子植物育种, 2022: 1-12. (2022-11-17). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW20221116000&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
ZHU L, TIAN S, HUANG J X, et al. Research progress on plant response to salt stress and its regulation [J/OL]. China Industrial Economics, 2022: 1-12. (2022-11-17). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW20221116000&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [10] 王宁,赵振勇,张心怡,等. 几种藜科盐生植物吸盐能力及生态学意义 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(6): 1104-1112.
WANG N, ZHAO Z Y, ZHANG X Y, et al. Salt absorption capacity and ecological significance of selected Chenopodia-

- ceae halophytes[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(6):1104-1112.
- [11] XIAO J, LIU B, YAO Y Y, et al. Wheat genomic study for genetic improvement of traits in China[J]. Science China. Life Sciences, 2022, 65(9):1718-1775.
- [12] ZHU J K. Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis*[J]. Plant Physiology, 2000, 124(3):941-948.
- [13] 张婧, 陈庆锋, 刘伟, 等. 秸秆还田对盐碱地土壤及作物生长的影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11):13-22.
ZHANG J, CHEN Q F, LIU W, et al. Research progress on effects of straw returning on saline-alkali soil quality and crop growth [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(11):13-22.
- [14] 朱志华, 胡荣海, 宋景芝, 等. 盐胁迫对不同小麦品种种子萌发的影响[J]. 作物品种资源, 1996(4):27-31.
ZHU Z H, HU R H, SONG J Z, et al. Effects of salt stress on seed germination of different wheat cultivars[J]. China Seed Industry, 1996(4):27-31.
- [15] 郭超, 胡思远, 郑青焕, 等. 部分美国小麦种质资源的耐盐性鉴定[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(8):1076-1084.
GUO C, HU S Y, ZHENG Q H, et al. Identification of salinity tolerance of some American wheat germplasm[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(8):1076-1084.
- [16] 赵燕, 石大川, 王文娇, 等. 不同盐分胁迫对小麦种子萌发的影响[J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(14):25-30.
ZHAO Y, SHI D C, WANG W J, et al. Effects of different salinity stresses on seed germination in wheat[J]. Journal of Smart Agriculture, 2024, 4(14):25-30.
- [17] 荆瑞勇, 王丽艳, 郑桂萍, 等. 水稻萌发期和幼苗期耐盐性鉴定指标筛选及综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(6):1-6, 19.
JING R Y, WANG L Y, ZHENG G P, et al. Comprehensive assessment and selection of identification index of rice salt tolerance at germination stage and seedling stage[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2019, 31(6):1-6, 19.
- [18] 刘宏岩. 旱直播水稻在不同水分管理下高产高效的生理基础研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2017.
LIU H Y. Study on physiological basis of high yield and high efficiency of dry direct seeding rice under different water management[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [19] 魏嘉, 蔡勤安, 李源, 等. 植物对盐碱胁迫响应机制的研究进展[J]. 山东农业科学, 2022, 54(4):156-164.
WEI J, CAI Q A, LI Y, et al. Research progress on response mechanism of the plant to saline-alkali stress[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(4):156-164.
- [20] 张军, 刘英, 杨生鹏, 等. 商洛主栽小麦品种苗期的耐盐性评价[J]. 西北农业学报, 2017, 26(8):1148-1155.
ZHANG J, LIU Y, YANG S P, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance at seedling stage in wheat cultivars dominated in Shangluo, Shaanxi[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(8):1148-1155.
- [21] 孙君艳, 程琴, 李淑梅. 盐胁迫对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种, 2017, 15(6):2348-2352.
SUN J Y, CHENG Q, LI S M. Effect of salt stress on seed germination and seedling growth of wheat[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(6):2348-2352.
- [22] 肖冬宇, 吴端阳, 文雪, 等. 两种小麦在盐胁迫下早期幼苗生长及生理生化指标变化规律[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(15):29-33.
XIAO D Y, WU D Y, WEN X, et al. Changes of early seedling growth and physiological and biochemical indexes of two wheat species under salt stress[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(15):29-33.
- [23] 彭智, 李龙, 柳玉平, 等. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4):638-645.
PENG Z, LI L, LIU Y P, et al. Evaluation of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) genotypes at germination and seedling stages[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4):638-645.
- [24] 王宏凯, 赵靖怡, 郭宏娜, 等. 小麦种质资源耐盐性鉴定[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(2):253-260.
WANG H K, ZHAO J Y, GUO H N, et al. Identification of salt tolerance of wheat germplasm resources[J]. Journal of Triticeae Crops, 2024, 44(2):253-260.
- [25] 钮力亚, 邹景伟, 王伟伟, 等. 小麦耐盐基因 *TaHKT1* 的新单倍型及其耐盐性评价[J]. 种子, 2024, 43(4):51-63.
NIU L Y, ZOU J W, WANG W W, et al. New haplotype of salt tolerance gene *TaHKT1* and evaluation of salt tolerance in wheat[J]. Seed, 2024, 43(4):51-63.
- [26] 刘彤彤, 李宁, 魏良迪, 等. 山西省主推小麦品种芽期及苗期耐盐性的综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(2):22-33.
LIU T T, LI N, WEI L D, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance of wheat varieties in Shanxi Province during germination and seedling stage[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(2):22-33.