

32份小麦种质资源全生育期耐盐综合评价

冯 薇, 孟 然, 陈 悦, 吴 哲, 刘 露, 常 冉, 李明雪, 鲁雪林*

河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北 唐山

收稿日期: 2025年11月25日; 录用日期: 2025年12月23日; 发布日期: 2025年12月30日

摘 要

本研究以32份不同地区来源的小麦(*Triticum aestivum* L.)为试验材料, 通过设置0%、2%、4%三种NaCl浓度浇灌处理, 系统测定小麦亩穗数、千粒重及种子产量等关键农艺性状, 结合多样性分析、差异性分析及相对耐盐力分析方法开展耐盐性鉴定, 旨在筛选适宜唐山盐碱地种植的小麦品种。结果表明, 随着盐浓度升高, 32份小麦材料亩穗数与千粒重的变异系数均呈递增趋势, 且两项指标在4%盐浓度处理下均达到最大值, 表明高盐环境下小麦群体的性状差异更为显著。同一盐浓度处理条件下, 32份供试材料的亩穗数、千粒重与对照(0 NaCl)相比均存在不同程度差异; 而同一材料在不同盐浓度处理下, 绝大多数材料的千粒重呈现显著性差异。值得关注的是, 材料X1、X2、X7、X11、X14在盐处理条件下, 千粒重较对照出现不同程度的增大, 表现出独特的耐盐响应特征。依据小麦耐盐性评价标准进行分级, 筛选出高耐盐(1级)品种13份, 32份材料中高耐盐(1级)品种4份, 分别为X5、X18、X27、X32; 耐盐(2级)品种14份, 分别为X6、X8、X9、X19、X20、X21、X22、X23、X25、X26、X28、X29、X30、X31; 中耐盐(3级)品种9份, 为X1、X2、X7、X10、X13、X15、X16、X17、X24, 上述筛选出的小麦材料具有良好的盐碱环境适应性和耐盐能力, 可为唐山盐碱地小麦产业的优质高效发展提供适宜品种支撑, 具备推广应用价值。

关键词

小麦, 种质资源, 盐胁迫, 差异性分析, 耐盐性评价

Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance during the Whole Growth Period of 32 Wheat Germplasm Resources (*Triticum aestivum* L.)

Wei Feng, Ran Meng, Yue Chen, Zhe Wu, Lu Liu, Ran Chang, Mingxue Li, Xuelin Lu*

Institute of Coastal Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Tangshan Hebei

*通讯作者。

文章引用: 冯薇, 孟然, 陈悦, 吴哲, 刘露, 常冉, 李明雪, 鲁雪林. 32 份小麦种质资源全生育期耐盐综合评价[J]. 农业科学, 2026, 16(1): 1-11. DOI: 10.12677/hjas.2026.161001

Abstract

This study focused on 32 wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm resources from different regions. Under irrigation with different NaCl concentrations (0, 2%, 4%), the number of spikes per mu, thousand-grain weight, and seed yield were investigated. Diversity analysis, difference analysis, and relative salt tolerance analysis were used to identify salt tolerance of wheat and screen varieties suitable for planting in saline-alkali land of Tangshan. The results showed that the variation coefficients of spikes per mu and thousand-grain weight of the 32 wheat varieties increased with increasing salt concentration, with the highest values observed under 4% salt concentration. Compared with the control (0 NaCl), the spikes per mu and thousand-grain weight of the 32 tested materials showed certain differences under the same salt concentration. For the same material under different salt concentrations, the thousand-grain weight of most materials had significant differences. Notably, the thousand-grain weight of materials X1, X2, X7, X11 and X14 increased to varying degrees under salt treatments compared with the control. Based on the wheat salt tolerance evaluation criteria, the salt tolerance of the tested materials was graded. Varieties with grade 1 (high salt tolerance) included X5, X18, X27 and X32; varieties with grade 2 (salt tolerance) included X6, X8, X9, X19, X20, X21, X22, X23, X25, X26, X28, X29, X30 and X31; and variety with grade 3 (moderate salt tolerance) was X1, X2, X7, X10, X13, X15, X16, X17 and X24. These materials have good adaptability and salt tolerance, making them suitable for popularization and planting in saline-alkali land of Tangshan.

Keywords

Wheat, Seed Resources, Salt Stress, Differential Analysis, Salt Tolerance Evaluation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国盐碱地总面积约达 1 亿公顷，占国土总面积的十分之一左右，位居世界第三，其中至少 0.3 亿公顷具备开发利用潜力，是保障粮食安全的重要潜在耕地资源[1]。总书记明确指出：“转变育种观念，由治理盐碱地适应作物向选育耐盐碱植物适应盐碱地转变”，为盐碱地综合利用与耐盐作物育种工作指明了核心方向。小麦(*Triticum aestivum* L.)作为全球最重要的粮食作物之一，其产量稳定直接关系到全球粮食安全格局，但土地盐碱化已成为制约小麦生产的关键瓶颈[2]——盐碱胁迫可导致小麦产量损失高达 60%，尤其当土壤盐分含量超过 $7.00 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 时[3]，作物的穗数、穗粒数及最终产量会随盐分升高呈显著下降趋势。因此，系统解析盐胁迫下小麦的响应机制，筛选培育耐盐碱优良品种，通过生物治理路径推动盐碱地合理开发利用，既是破解耕地资源约束的战略选择，也是保障农业可持续发展的必然要求[4]。

小麦种质资源的耐盐性存在天然差异，这为耐盐品种改良提供了核心物质基础[5]。开展小麦种质资源耐盐性精准鉴定与筛选，不仅能为耐盐新品种培育提供优质亲本材料，更能加速盐碱地从“生态短板”向“粮食增量空间”的转化，对推动旱碱麦等特色产业发展、筑牢国家粮食安全屏障具有重大现实意义。基于此，本研究以大田初步筛选获得的 32 份小麦种质资源为研究对象，在苗期设置梯度 NaCl 浓度胁迫

处理，系统开展耐盐性鉴定，旨在筛选出适配不同盐碱浓度环境的优异种质，为后续盐碱地专用小麦新品种选育、栽培技术优化提供科学支撑，助力“盐碱滩”变身“米粮川”的产业升级目标实现。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

为明确 32 份小麦品种的耐盐性表现，开展本鉴定试验，供试材料由河北省农林科学院旱作农业研究所提供基本信息详见表 1。选取籽粒饱满、无破损的健康种子，均匀播种于河北省唐山市曹妃甸区二农场(河北省农林科学院滨海农业研究所试验基地)盐池内。

2.2. 试验设计

试验采用随机区组设计，于 2024 年 10 月完成播种。小区规格设为行长 3 米、6 行区，实际面积 4.5 平方米，每个处理设置 3 次重复。灌溉用水采用地下咸水与淡水调配，分别设置含盐量 0 (对照)、2%、4%三个盐浓度梯度，按需进行浇灌处理。

Table 1. Tested *Triticum aestivum* L varieties
表 1. 供试小麦品种

序号	品种	序号	品种
X1	JM68	X17	HNМ6425
X2	JM80	X18	SNM086
X3	JM87	X19	MD-66
X4	JM713	X20	YM166
X5	JM6067	X21	TM103
X6	HM26	X22	LXM618
X7	HM29	X23	HM33
X8	HM30	X24	YM791
X9	JM188	X25	TM206
X10	HM32	X26	BNM308
X11	HM33	X27	LM-001
X12	HM36	X28	ZXM998
X13	SM42	X29	JM19
X14	DM198	X30	YM301
X15	ZXM99	X31	JM22
X16	LT808	X32	CM6002

2.3. 测定指标与方法

2.3.1. 农艺性状调查

测定指标包括亩穗数和千粒重。亩穗数采用行长法测定，随机选取 5 个样点，每个样点量取 1 米双行麦行，记录总穗数并换算为亩穗数；千粒重测定时，用电子数粒仪准确数取 1000 粒籽粒，通过天平称量重量。

2.3.2. 小麦产量测定

以小区为取样单位，齐地刈割小区内小麦并装袋，经晾晒至完全干燥后，人工脱粒并清选杂质。参照种子检验规程测定种子含水量，使用 1/100 精度天平称重，计算小区种子产量，单位为 g/小区。

2.4. 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel、SPSS 整理和统计分析调查数据并进行显著性分析，相关性分析，数据用平均值 ± 标准误差表示。根据产量指标计算盐浓度(4%)下 32 份材料高相对耐盐力，计算公式如下：

$$\text{相对耐盐力(STA)} = (\text{Ts/Tn})/(\text{Cs/Cn}) \times 100\%$$

- Ts: 被测品种在盐胁迫下的测定指标。
- Tn: 被测品种在正常条件下的测定指标。
- Cs: 参照品种在盐胁迫下的测定指标。
- Cn: 参照品种在正常条件下的测定指标。

3. 结果与分析

3.1. 不同盐浓度处理下小麦农艺性状多样性分析

不同盐浓度处理下，32 份小麦的亩穗数和千粒重变异系数均呈递增趋势(表 2)，且两个指标的变异系数均在 4%盐浓度处理下达到最大值。对照处理(0 盐浓度)下，32 份小麦的亩穗数范围为 21.50~51.30，千粒重范围为 35.56~47.47，两个指标的变异系数介于 0.013~0.03 之间。这表明供试小麦品种的遗传多样性较为丰富，具有良好的代表性，能够满足本试验的研究需求。2%盐浓度处理下，不同小麦品种上述两项指标的变异系数介于 0.015~0.03 之间；4%盐浓度处理下，变异系数范围为 0.022~0.05 之间。结果表明，盐胁迫处理对小麦的亩穗数和千粒重产生了显著影响，且不同品种间的响应存在明显差异，说明所选测定指标对盐胁迫反应敏感，符合试验设定要求。

Table 2. Diversity analysis of agronomic traits in 32 *Triticum aestivum* L under different salt concentration treatments
表 2. 不同盐浓度处理下 32 份小麦农艺性状多样性分析

盐浓度 Salt concentration	统计量 Statistics	亩穗数(万个/亩) Number of grains per spike	千粒重(g) thousand-grain weight
0	平均值 Mean	35.30	38.88
2%		32.45	37.53
4%		24.09	35.94
0	最大值 Max	51.30	47.47
2%		44.30	40.42
4%		40.50	39.19
0	最小值 Min	21.50	34.56
2%		25.70	24.97
4%		18.10	23.25
0	标准差 SD	1.11	0.54
2%		0.92	0.56
4%		1.31	0.80

续表

0	极差 Range	29.80	12.91
2%		18.60	15.45
4%		2.40	12.94
0	变异系数 CV	0.03	0.013
2%		0.03	0.015
4%		0.05	0.022

3.2. 不同盐浓度处理下小麦亩穗数比较分析

由表 3 可知，同一盐浓度处理下，32 份供试小麦材料的亩穗数与对照(0 盐浓度)相比均存在一定差异。2%盐浓度处理下，32 份材料的亩穗数介于 17.73 万~51.00 万个/亩，平均亩穗数为 32.45 万个/亩；其中 X31 的亩穗数最低，X1 的亩穗数最高，较 X31 高出 59.5%。4%盐浓度处理下，亩穗数范围为 17.73 万~39.53 万个/亩，平均亩穗数为 24.09 万个/亩；X15 的亩穗数最低，X22 的亩穗数最高，较 X15 高出 55.9%。

同一材料在不同盐浓度处理下，绝大多数材料的亩穗数存在显著性差异。其中 X23 的亩穗数表现最为稳定，两个盐浓度处理下的数值差异较小；X15 的亩穗数稳定性最差，耐盐性表现最弱，4%盐浓度处理下其亩穗数较对照下降 43.5%。

Table 3. Comparative analysis of spike number per acre in 32 *Triticum aestivum* L under different salt concentration treatments
表 3. 不同盐浓度处理下 32 份小麦亩穗数比较分析

资源编号 Code	亩穗数(万个/亩) Number of grains per		
	0	2%	4%
X1	46.100 ± 0.400 ^{a**}	43.833 ± 0.568 ^{b**}	32.73 ± 0.351 ^{c*}
X2	39.167 ± 0.404 ^{a*}	27.000 ± 0.200 ^b	20.633 ± 0.472 ^c
X3	21.733 ± 0.252 ^b	31.90 ± 1.562 ^a	19.267 ± 0.666 ^c
X4	25.200 ± 0.964 ^b	33.867 ± 0.321 ^a	22.633 ± 0.115 ^c
X5	30.833 ± 0.702 ^b	51.000 ± 0.361 ^{a**}	30.833 ± 0.513 ^b
X6	39.133 ± 0.451 ^{a*}	38.267 ± 0.208 ^{a*}	34.833 ± 0.611 ^b
X7	38.100 ± 0.964 ^{a*}	36.000 ± 0.458 ^b	24.333 ± 0.451 ^c
X8	28.500 ± 1.400 ^c	34.833 ± 0.777 ^a	31.133 ± 0.667 ^{b*}
X9	24.133 ± 0.929 ^b	26.267 ± 0.814 ^b	23.433 ± 1.012 ^b
X10	33.067 ± 0.666 ^b	38.700 ± 1.353 ^{a*}	30.467 ± 1.779 ^{b*}
X11	39.400 ± 1.587 ^{a*}	35.067 ± 0.850 ^b	35.033 ± 1.185 ^c
X12	36.033 ± 1.450 ^a	37.100 ± 0.819 ^{a*}	35.833 ± 0.802 ^b
X13	34.200 ± 1.352 ^a	35.333 ± 0.586 ^a	25.033 ± 1.002 ^b
X14	38.033 ± 0.603 ^a	30.733 ± 0.569 ^b	26.700 ± 2.357 ^c
X15	28.033 ± 1.379 ^a	25.733 ± 1.464 ^a	20.867 ± 2.483 ^b
X16	49.967 ± 1.222 ^{a**}	38.600 ± 0.917 ^{b*}	35.967 ± 0.850 ^{c*}

续表

X17	37.167 ± 1.050 ^a	29.933 ± 1.250 ^b	24.300 ± 2.261 ^c
X18	35.900 ± 2.606 ^a	28.500 ± 2.847 ^b	22.533 ± 2.098 ^c
X19	31.333 ± 3.073 ^b	38.667 ± 1.617 ^{a*}	18.967 ± 0.777 ^c
X20	45.633 ± 1.222 ^{a**}	21.533 ± 0.777 ^b	22.133 ± 3.785 ^b
X21	32.600 ± 1.212 ^a	28.533 ± 0.814 ^b	23.933 ± 0.874 ^c
X22	43.133 ± 0.493 ^{a**}	40.767 ± 1.331 ^{b**}	39.533 ± 1.266 ^{b**}
X23	31.767 ± 0.808 ^a	31.100 ± 0.264 ^{ab}	30.367 ± 0.551 ^{b*}
X24	28.733 ± 1.102 ^a	23.567 ± 0.611 ^b	22.567 ± 0.651 ^b
X25	34.467 ± 2.401 ^a	23.667 ± 2.401 ^b	22.000 ± 1.819 ^b
X26	33.833 ± 0.862 ^a	23.200 ± 0.946 ^b	23.300 ± 0.361 ^b
X27	34.167 ± 0.702 ^a	24.100 ± 2.358 ^b	22.733 ± 1.358 ^b
X28	38.167 ± 0.874 ^{a*}	35.200 ± 1.044 ^b	35.100 ± 2.088 ^{b*}
X29	31.500 ± 0.557 ^b	38.267 ± 1.159 ^{a*}	25.233 ± 2.641 ^c
X30	36.567 ± 0.667 ^a	28.300 ± 0.400 ^b	24.067 ± 2.601 ^c
X31	41.367 ± 3.100 ^{a*}	17.733 ± 0.850 ^b	12.233 ± 1.823 ^c
X32	42.233 ± 0.321 ^{a*}	41.233 ± 0.351 ^a	24.567 ± 1.404 ^b

注：不同小写字母表示同一材料不同盐浓度处理间差异显著(P < 0.05)，*表示同一处理不同材料间在 0.05 水平上有显著性差异(P < 0.05)，**表示同一材料不同年份间在 0.01 水平上有显著性差异(P < 0.01)。下同。

3.3. 不同盐浓度处理下小麦千粒重比较分析

由表 4 可知，同一盐浓度处理下，32 份供试小麦材料的千粒重与对照(0 盐浓度)相比均存在一定差异。2%盐浓度处理下，32 份材料的千粒重介于 36.08~40.02 g 之间，平均千粒重为 37.53 g；其中 X31 的千粒重最轻，X20 的千粒重最重，较 X31 高出 9.84%。4%盐浓度处理下，千粒重范围为 26.25~47.47 g，平均千粒重为 35.94 g；X22 的千粒重最轻，X11 和 X13 的千粒重最重，较 X22 高出 28.97%。

同一材料在不同盐浓度处理下，绝大多数材料的千粒重存在显著性差异。X15 的千粒重表现最为稳定，两个盐浓度处理下的数值差异较小；X8 的千粒重稳定性最差，耐盐性表现最弱，2%盐浓度处理下其千粒重较对照下降 35.3%。值得注意的是，X1、X2、X4、X7、X11、X14 这 6 份材料在盐胁迫处理下，千粒重较对照均有不同程度的增大。

Table 4. Comparative analysis of thousand-grain weight in 32 *Triticum aestivum* L under different salt concentration treatments

表 4. 不同盐浓度处理下 32 份小麦千粒重比较分析

资源编号 Code	千粒重(g) thousand-grain weight		
	0	2%	4%
X1	37.267 ± 0.252 ^b	40.020 ± 0.596 ^{a**}	38.367 ± 1.182 ^{b*}
X2	38.376 ± 0.340 ^{a*}	37.226 ± 0.764 ^a	37.511 ± 0.894 ^{a*}
X3	37.948 ± 1.505 ^a	37.749 ± 1.505 ^a	36.222 ± 1.111 ^a

续表

X4	34.841 ± 0.244^b	36.500 ± 0.271^a	36.042 ± 0.271^a
X5	$39.415 \pm 0.384^{a*}$	37.634 ± 0.553^b	31.724 ± 0.240^c
X6	37.512 ± 0.309^a	36.188 ± 0.245^b	31.189 ± 0.245^a
X7	35.581 ± 0.774^a	37.071 ± 0.593^a	36.159 ± 0.900^a
X8	$38.581 \pm 0.507^{a*}$	24.964 ± 0.025^c	27.964 ± 1.686^b
X9	$38.584 \pm 0.527^{a*}$	37.758 ± 0.725^a	36.253 ± 0.725^b
X10	$38.248 \pm 0.413^{a*}$	$38.674 \pm 0.612^{a*}$	$37.340 \pm 1.294^{a*}$
X11	$37.975 \pm 0.066^{a*}$	$38.129 \pm 0.918^{a*}$	$38.813 \pm 0.673^{a*}$
X12	$38.343 \pm 0.651^{a*}$	37.658 ± 0.274^{ab}	$37.025 \pm 0.583^{b*}$
X13	$39.742 \pm 0.648^{a*}$	$38.362 \pm 0.631^{b*}$	$38.813 \pm 0.673^{c*}$
X14	$38.685 \pm 0.368^{a*}$	$39.262 \pm 0.458^{a*}$	$37.557 \pm 0.414^{b*}$
X15	37.917 ± 0.871^a	37.825 ± 1.338^a	$37.092 \pm 0.600^{a*}$
X16	38.595 ± 0.578^a	$38.277 \pm 0.578^{a*}$	36.228 ± 2.625^a
X17	37.571 ± 1.870^a	36.733 ± 0.513^a	36.397 ± 1.215^a
X18	40.675 ± 0.426^a	$38.237 \pm 0.833^{b*}$	37.947 ± 1.372^b
X19	$39.913 \pm 0.715^{a*}$	37.570 ± 0.567^b	34.627 ± 1.277^c
X20	37.538 ± 0.492^a	36.087 ± 0.923^a	34.142 ± 0.799^b
X21	$40.668 \pm 0.342^{a*}$	$39.080 \pm 0.341^{b*}$	36.903 ± 0.233^c
X22	$39.185 \pm 1.040^{a*}$	$38.885 \pm 0.518^{a*}$	27.570 ± 0.922^b
X23	$40.113 \pm 0.831^{a*}$	$38.353 \pm 1.152^{ab*}$	37.200 ± 0.683^b
X24	39.852 ± 0.575^a	$39.262 \pm 0.220^{ab*}$	$38.738 \pm 0.555^{b*}$
X25	$46.930 \pm 0.577^{a**}$	$39.068 \pm 0.246^{b*}$	$38.478 \pm 0.544^{b*}$
X26	$40.064 \pm 0.171^{a*}$	$39.034 \pm 0.227^{b*}$	$38.260 \pm 0.450^{c*}$
X27	38.728 ± 0.548^a	37.854 ± 0.699^{ab}	$36.870 \pm 1.122^{b*}$
X28	37.374 ± 0.546^a	36.574 ± 0.263^a	35.570 ± 0.513^b
X29	39.873 ± 0.878^a	37.451 ± 0.526^b	36.586 ± 0.386^c
X30	36.617 ± 0.775^a	37.741 ± 0.307^a	36.460 ± 0.414^b
X31	$40.142 \pm 0.186^{a*}$	$38.181 \pm 0.198^{b*}$	37.430 ± 0.843^b
X32	39.215 ± 0.409^a	37.682 ± 0.380^a	37.872 ± 1.158^c

3.4. 不同小麦产量比较分析

由表 5 可知, 对照处理(CK)下 32 份小麦的种子产量介于 2052.33~3632.00 g 之间, 平均产量为 2739.69 g。其中 X13 的产量最高, 达 3632.00 g; X26 的产量最低, 为 2052.33 g, X13 的产量较 X26 高出 43.50%。

不同盐胁迫处理下同一材料的产量对比显示, 所有供试材料的种子产量均随盐浓度升高呈递减趋势。32 份材料中, X28 的耐盐稳产性表现最佳, 在不同盐浓度处理下种子产量保持相对稳定。

Table 5. Comparative analysis of yield among 32 *Triticum aestivum* L under different salt concentration treatments
表 5. 不同盐浓度处理下 32 份小麦产量比较分析

资源编号 Code	产量(g)		
	0	2%	4%
X1	3114.33 ± 26.577 ^{a*}	2338.33 ± 42.525 ^b	2189.67 ± 18.230 ^c
X2	2434.33 ± 62.963 ^a	2279.33 ± 86.633 ^b	1441.67 ± 59.534 ^c
X3	2310.00 ± 58.275 ^a	2343.33 ± 73.002 ^a	1150.67 ± 53.003 ^b
X4	2235.00 ± 62.650 ^a	1861.33 ± 12.055 ^b	742.67 ± 8.327 ^b
X5	2806.67 ± 34.034 ^a	2601.67 ± 82.209 ^{b*}	2448.33 ± 48.045 ^{c*}
X6	2415.67 ± 101.933 ^a	2353.33 ± 45.092 ^a	1831.67 ± 61.906 ^b
X7	2938.67 ± 54.455 ^a	2719.33 ± 65.501 ^{b*}	2111.33 ± 29.670 ^c
X8	2802.00 ± 93.016 ^a	2449.33 ± 122.680 ^b	2313.33 ± 32.146 ^{b*}
X9	2755.00 ± 124.744 ^a	2379.67 ± 26.274 ^b	2283.33 ± 76.376 ^b
X10	2868.67 ± 145.552 ^a	2246.67 ± 89.629 ^a	1931.33 ± 60.435 ^c
X11	2898.67 ± 90.030 ^a	2446.33 ± 126.057 ^b	1275.00 ± 27.839 ^c
X12	2052.33 ± 59.501 ^b	2283.33 ± 76.376 ^a	1348.33 ± 72.858 ^c
X13	3632.00 ± 50.715 ^{a**}	2933.33 ± 106.927 ^{b**}	2176.67 ± 25.166 ^c
X14	2565.00 ± 47.760 ^a	2466.67 ± 90.185 ^a	1043.67 ± 53.257 ^b
X15	3138.67 ± 55.365 ^{a*}	2503.00 ± 51.449 ^b	1757.67 ± 65.760 ^c
X16	2813.00 ± 50.269 ^a	2136.33 ± 67.678 ^b	2019.67 ± 36.199 ^c
X17	3048.67 ± 63.129 ^{a**}	2967.67 ± 61.273 ^a	2096.33 ± 31.786 ^b
X18	2936.33 ± 40.992 ^a	2483.00 ± 68.462 ^c	2613.00 ± 50.269 ^{b**}
X19	3022.00 ± 50.715 ^{a*}	2837.33 ± 65.987 ^{b**}	2428.33 ± 32.005 ^{c*}
X20	2367.33 ± 64.686 ^a	2092.00 ± 29.816 ^b	1757.67 ± 65.760 ^c
X21	2616.33 ± 38.214 ^a	2356.67 ± 45.092 ^b	2337.33 ± 50.935 ^{b*}
X22	2791.67 ± 85.641 ^a	2575.33 ± 57.143 ^b	2059.67 ± 50.501 ^c
X23	3405.67 ± 17.898 ^a	2599.33 ± 35.105 ^c	2406.33 ± 11.846 ^{b*}
X24	2439.00 ± 61.733 ^a	2363.67 ± 49.217 ^a	1470.00 ± 44.508 ^b
X25	2516.67 ± 22.745 ^a	2243.67 ± 50.540 ^b	2233.33 ± 40.501 ^b
X26	3390.67 ± 19.009 ^{a**}	2858.33 ± 45.742 ^b	2530.33 ± 32.624 ^{c**}
X27	2555.00 ± 49.790 ^a	2483.67 ± 59.652 ^a	2390.67 ± 18.824 ^{b*}
X28	2545.00 ± 36.014 ^a	2369.67 ± 33.561 ^b	2027.33 ± 43.062 ^c
X29	2865.67 ± 77.268 ^a	2772.33 ± 55.139 ^{a*}	2591.33 ± 44.433 ^{b**}
X30	2472.33 ± 75.036 ^a	2202.33 ± 60.003 ^b	1894.00 ± 79.505 ^c
X31	2803.33 ± 35.247 ^a	2382.00 ± 23.643 ^b	2207.00 ± 27.404 ^c
X32	2314.67 ± 72.570 ^a	2141.00 ± 87.069 ^b	1875.33 ± 34.269 ^c

3.5. 小麦耐盐性评价

依据小麦产量数据，统计 4% NaCl 浓度浇灌处理下的胁迫指数，品种 X32 为参照品种计算各盐分级

别对应的相对耐盐力。参照小麦耐盐性评价标准(表 6、表 7)对 32 份材料进行耐盐性分级：高耐盐(1 级)品种 4 份，分别为 X5、X18、X27、X32；耐盐(2 级)品种 14 份，分别为 X6、X8、X9、X19、X20、X21、X22、X23、X25、X26、X28、X29、X30、X31；中耐盐(3 级)品种 9 份，为 X1、X2、X7、X10、X13、X15、X16、X17、X24；敏感(4 级)品种 4 份，为 X3、X11、X12、X14；X4 为高敏品种。

Table 6. Salt tolerance evaluation criteria of *Triticum aestivum* L
表 6. 小麦耐盐性评价标准

耐盐级别	相对耐盐力(STA)	耐盐性
1 级	$1.0 \leq STA$	高耐(HT)
2 级	$0.8 \leq STA < 1.0$	耐盐(T)
3 级	$0.6 \leq STA < 0.8$	中耐(MT)
4 级	$0.4 \leq STA < 0.6$	敏感(S)
5 级	$STA < 0.4$	高敏(HS)

Table 7. Evaluation of *Triticum aestivum* L salt tolerance
表 7. 小麦耐盐性评价

资源编号 Code	盐处理平均	常规种植	耐盐指数	相对耐盐力	耐盐等级	耐盐性
X1	2189.67	3114.33	0.70	0.77	3 级	中耐
X2	1441.67	2434.33	0.59	0.65	3 级	中耐
X3	1150.67	2310.00	0.50	0.54	4 级	敏感
X4	742.67	2235.00	0.33	0.36	5 级	高敏
X5	2448.33	2806.67	0.94	1.02	1 级	高耐
X6	1831.67	2415.67	0.76	0.83	2 级	耐
X7	2111.33	2938.67	0.72	0.78	3 级	中耐
X8	2313.33	2802	0.83	0.90	2 级	耐
X9	2283.50	2755	0.83	0.87	2 级	耐
X10	1931.30	2868.67	0.67	0.73	3 级	中耐
X11	1275.00	2898.67	0.44	0.46	4 级	敏感
X12	1348.83	2052.33	0.47	0.51	4 级	敏感
X13	2176.67	3632	0.60	0.65	3 级	中耐
X14	1043.67	2565	0.41	0.44	4 级	敏感
X15	1757.67	3138.67	0.56	0.61	3 级	中耐
X16	2019.67	2813	0.72	0.75	3 级	中耐
X17	2096.33	3048.67	0.69	0.75	3 级	中耐
X18	2913	2936.33	1.10	1.20	1 级	高耐
X19	2428.33	3022	0.80	0.88	2 级	耐
X20	1757.67	2367.33	0.74	0.81	2 级	耐
X21	2337.33	2616.33	0.89	0.97	2 级	耐
X22	2059.67	2791.67	0.74	0.80	2 级	耐

续表

X23	2599.33	3405.67	0.76	0.83	2 级	耐
X24	1470.00	2439	0.60	0.66	3 级	中耐
X25	2233.33	2516.67	0.89	0.97	2 级	耐
X26	2530.33	3390.67	0.75	0.81	2 级	耐
X27	2390.67	2555	0.94	1.02	1 级	高耐
X28	2027.33	2545	0.80	0.87	2 级	耐
X29	2591.33	2865.67	0.90	0.99	2 级	耐
X30	1894.33	2472.33	0.77	0.83	2 级	耐
X31	2207.00	2803.33	0.79	0.82	2 级	耐
X32	2208.17	2314.67	0.96	1.00	1 级	高耐

4. 讨论

土壤盐害是制约农业可持续发展的重要难题，也是影响粮食作物优质高产的关键环境胁迫因素。土壤盐渍化会干扰作物的盐分吸收与体内分布，引发植物营养失衡，导致生长发育迟缓甚至死亡，进而严重抑制作物生长并降低产量。小麦作为全球种植面积最广、适应性较强的粮食作物之一，鉴定并筛选耐盐性优异的小麦种质资源，不仅能实现耕地资源的扩容与增效，还能为国家粮食安全拓展可利用土地空间。盐渍化土壤种植条件下，小麦不可避免会遭受高盐胁迫，其经济产量往往受到显著影响[6]。因此，筛选耐盐性突出的小麦品种，是提升小麦耐盐能力的重要策略，也是保障小麦品质、提高产量的关键途径之[7]。

4.1. 不同盐处理下小麦材料农艺性状分析

4.1.1. 亩穗数的变化趋势

本研究中，X23 的亩穗数表现最稳定，两个盐浓度下亩穗数差异不大，表明该材料具有较强的耐盐能力。本研究分析了 32 份小麦材料的亩穗数和千粒重两项农艺性状。结果显示，同一盐浓度处理下，所有供试材料的亩穗数与对照(0 盐浓度)相比均存在一定差异；同一材料在不同盐浓度处理下，绝大多数材料的亩穗数呈现显著性差异。这些差异可能与材料自身遗传特性、对土壤微量元素的吸收效率以及盐分耐受能力的不同密切相关[8]。其中，X23 的亩穗数在两个盐浓度处理下表现最为稳定，差异较小，表明该材料具有较强的耐盐潜力。

4.1.2. 千粒重的变化趋势

千粒重是影响小麦产量的核心农艺性状，直接决定籽粒饱满度，也是产量构成的关键要素之一[9]。本研究发现，同一材料在不同盐浓度处理下，大部分材料的千粒重随盐浓度升高呈递减趋势；但 X1、X2、X7、X11、X14 这 5 份材料的千粒重较对照均有不同程度增大，凸显其在盐渍化土壤高产栽培中的重要应用价值。

4.2. 不同盐处理下小麦材料产量分析及耐盐评价

盐碱地的盐分胁迫会抑制小麦产量及其构成因素，进而导致产量下降[10]。但不同耐盐性的小麦品种(系)在盐碱地条件下，产量构成因素存在显著差异[11][12]。小麦种子产量的高低是其能否在盐碱地区推广种植的关键指标，本研究通过产量分析与耐盐评价，筛选出高产耐盐的小麦种质资源。

结果表明, 对照处理(CK)下 32 份小麦的平均种子产量为 2739.69 g; 不同盐胁迫处理下, 同一材料的种子产量均随盐浓度升高呈递减趋势。参照小麦耐盐性评价标准, 将供试材料进行耐盐分级: 高耐盐(1 级)品种 4 份, 分别为 X5、X18、X27、X32; 耐盐(2 级)品种 14 份, 分别为 X6、X8、X9、X19、X20、X21、X22、X23、X25、X26、X28、X29、X30、X31; 中耐盐(3 级)品种 9 份, 为 X1、X2、X7、X10、X13、X15、X16、X17、X24。上述材料兼具显著的高产潜力和耐盐稳定性, 适合作为盐碱地区小麦栽培的优良种质资源加以利用。

5. 结论

不同盐浓度处理下, 32 份小麦的亩穗数和千粒重变异系数均呈递增趋势, 且两个指标的变异系数均在 4%盐浓度处理下达到最大值。同一盐浓度处理下, 所有供试材料的亩穗数、千粒重与对照(0 盐浓度)相比均存在一定差异; 同一材料在不同盐浓度处理下, 绝大多数材料的千粒重表现出显著性差异。依据耐盐性分级标准, 32 份材料中高耐盐(1 级)品种 4 份, 分别为 X5、X18、X27、X32; 耐盐(2 级)品种 14 份, 分别为 X6、X8、X9、X19、X20、X21、X22、X23、X25、X26、X28、X29、X30、X31; 中耐盐(3 级)品种 9 份, 为 X1、X2、X7、X10、X13、X15、X16、X17、X24; 敏感(4 级)品种 4 份, 为 X3、X11、X12、X14; X4 为高敏品种。

基金项目

唐山市科技计划项目(24150203C)。

参考文献

- [1] 胡炎, 杨帆, 杨宁, 贾伟, 崔勇. 盐碱地资源分析及利用研究展望[J]. 土壤通报, 2023, 54(2): 489-494.
- [2] 姚婷, 刘扬, 梁允刚, 等. 盐碱胁迫对小麦幼苗生长和根际细菌群落结构的影响[J]. 微生物学通报, 2023, 50(10): 4472-4484.
- [3] 范守杰, 解鑫, 白如霄, 等. 第九师土壤盐渍化对作物产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2018, 41(11): 9-11.
- [4] 车飞伟. 小麦耐盐机理及耐盐品种培育研究进展[J]. 现代农业科技, 2025(3): 5-11.
- [5] 徐云姬, 姜丽秋, 吴昊, 等. 小麦耐盐种质筛选及栽培调控技术研究进展[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(3): 334-343.
- [6] 刘青, 姚立蓉, 马小乐, 等. 124 份小麦种质资源萌发期耐盐和抗旱性综合评价[J/OL]. 甘肃农业大学学报: 1-15. <https://link.cnki.net/urlid/62.1055.s.20251015.1203.006>, 2025-11-18.
- [7] 胡润慧, 汪军成, 司二静, 等. 小麦苗期耐旱耐盐种质筛选及抗旱耐盐综合评价[J]. 作物学报, 2025, 51(9): 2371-2386.
- [8] 董杰, 陈新新, 杨倩, 张怀渝, 陈洋尔. 高光、水分和盐胁迫下小麦光合特性和抗氧化酶系统的比较[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(3): 315-322.
- [9] 盛雨婷, 生林山, 陆峻一, 赵爱菊, 李夕梅. 基于形态指标和转录组的小麦抗旱与耐盐相关性分析[J]. 山西农业科学, 2021, 49(12): 1426-1432.
- [10] 王映霞. 盐对甜瓜种子萌发的影响[J]. 农业科技与信息, 2021(22): 28-29.
- [11] 李媛媛, 陈博, 姚立蓉, 等. 283 份小麦品种(系)萌发期耐盐碱性评价及种质筛选[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(3): 25-33.
- [12] 李菡, 李云, 任学军, 等. 模拟海水胁迫下小麦幼苗的质量及生理响应机制[J]. 核农学报, 2023, 37(6): 1270-1278.