

NaCl 胁迫对小麦种子发芽率的影响 及耐盐性分析

何进尚, 冯伟东, 刘旺清, 白海波, 张维军
(宁夏农林科学院农作物研究所, 宁夏 银川 750000)

摘要: 为了研究 NaCl 胁迫对小麦发芽率的影响, 探明小麦芽期的耐盐能力。以宁夏已审定的 78 个小麦品种和新品系为供试材料, 以纯净水处理为对照, 设置 1、2、3、4、5、6、7 g/kg 的 NaCl 溶液处理, 测定其发芽率。结果表明, 小麦种子发芽率随着盐浓度的增加而降低。当 NaCl 浓度 ≤ 2 g/kg 时, 发芽率均保持在 80% 以上; NaCl 浓度为 3 g/kg 时, 发芽率在 70% 左右; NaCl 浓度为 4 g/kg 时, 发芽率降至 40% 左右; NaCl 浓度为 5 g/kg 时, 发芽率降至 20% 以下; NaCl 浓度为 7 g/kg 时, 发芽率接近于零。说明 NaCl 浓度 3 g/kg 是小麦芽期耐盐临界值。结合聚类分析, 初步筛选出芽期耐中度盐分的小麦品种 6 份, 分别为春小麦品种 HJ437、宁春 8 号、宁春 48 号、宁春 49 号, 灌区冬小麦品种冬宁春 4 号、冬育 10 号。

关键词: NaCl 胁迫; 小麦; 发芽率; 耐盐性

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)03-0229-05

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2023.03.008)

Effects of NaCl Stress on Seed Germination Rate of Wheat Varieties and Their Salt Tolerance Evaluation

HE JinShang, FENG Weidong, LIU Wangqing, BAI Haibo, ZHANG Weijun
(Institute of Crop Research, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan Ningxia 750000, China)

Abstract: To study the effect of NaCl stress on wheat germination rate and to explore salt tolerance of wheat during germination stage. Seeds from 78 Wheat varieties and new lines in Ningxia were used and treated with NaCl solution with concentration gradients of CK (purified water), 1 g/kg, 2 g/kg, 3 g/kg, 4 g/kg, 5 g/kg, 6 g/kg and 7 g/kg, respectively, and the germination rates were determined. Results showed that germination rates of wheat seeds decreased with the increase of salt concentration. Germination rates were above 80% when the salt concentration was ≤ 2 g/kg, germination rates were around 70% when the salt concentration was 3 g/kg, germination rates were around 40% when the salt concentration was 4 g/kg, germination rates were below 20% when the salt concentration was 5 g/kg, and germination rates were nearly 0 when the salt concentration was 7 g/kg, which indicated that the salt concentration of 3 g/kg was the critical threshold for salt tolerance during wheat germination. Combined with cluster analysis, 6 wheat varieties with moderate salt tolerance were screened, namely spring wheat varieties HJ437, Ningchun 8, Ningchun 48 and Ningchun 49, and irrigated winter wheat varieties Dongningchun 4 and Dongyu 10.

Key words: NaCl stress; Wheat; Germination rate; Salt tolerance

盐渍化土壤是由自然或人类活动引起的, 严重影响作物生长发育。河套平原盐碱地面积较大, 由于水资源短缺和效益驱动, 盐碱地种植水稻的面积大幅下降, 旱作条件下如何充分和高效利用盐碱地成为当前迫切需要解决的技术问题。小麦是重要的粮食作物, 也是盐碱地轮作倒茬的首选作物, 研究筛选耐盐小麦品种对提高盐碱地利用

率, 确保粮食持续增产增收意义重大。近年来国内外研究人员进行了大量的耐盐性选育鉴定试验, 丰富了小麦耐盐种质资源^[1-3], 为提高小麦品种耐盐能力提供了技术储备^[4], 明确了耐盐小麦光合作用、蛋白质等生理指标变化^[5-6], 以及盐胁迫下小麦抗氧化系统、渗透性调节等^[7-9]。关于耐盐小麦发展, 应该加强种质资源鉴定评价和育种

收稿日期: 2022-11-29

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1900603)。

作者简介: 何进尚(1982—), 男, 宁夏西吉人, 助理研究员, 硕士, 主要从事小麦育种及栽培技术研究工作。Email: He.jinshang@163.com。

作者简介: 冯伟东(1971—), 男, 宁夏灵武人, 研究员, 主要从事水稻栽培技术研究工作。Email: fwd71@163.com。

创新^[10], 改变政策导向, 加大支持力度, 加强耕作栽培管理^[11]。宁夏小麦在耐盐性鉴定筛选方面的研究较少, 可研究利用的潜力较大。我们通过研究 NaCl 胁迫对宁夏小麦发芽率的影响, 探明芽期耐盐能力, 以了解和掌握宁夏小麦品种的芽期耐盐能力, 为强化耐盐小麦新品种选育推广提供种质资源支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

参试材料共计 78 份, 其中春小麦品种(系)62 份, 分别为宁春 1 号至宁春 62 号(宁春 25 号、宁春 28 号除外)、宁 3015、HJ437, 以宁春 4 号为对照(CK1); 冬小麦品种(系)16 份, 分别为宁夏灌区的冬育 5 号至冬育 17 号、宁冬 10 号、宁冬 11 号、冬宁春 4 号, 以宁冬 11 号为对照(CK2)。以上材料为宁夏国审和区审冬春小麦品种以及新育成的高代新品系, 均由宁夏农林科学院农作物研究所品种资源研究室种质资源库提供。

1.2 试验方法

每份参试材料选取 100 粒均匀一致、饱满度好的籽粒, 置于培养皿中, 先用过氧化氢浸泡 30 min。然后采用不同梯度的 NaCl 溶液浸泡(纯净水溶解), 分别为 CK、1、2、3、4、5、6、7 g/kg 共 8 个处理, 以纯净水为对照(CK), 3 次重复。每处理加相对应浓度的 NaCl 溶液 30 mL。各处理每隔 2 d 加入相应的浓度 NaCl 溶液 10 mL, 持续培养 7~10 d, 调查发芽率。

1.3 数据处理

采用 Excel 和 DPS7.05 对统计数据进行分析和作图

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对小麦发芽率的影响

2.1.1 发芽率趋势分析 发芽率表征种子在适宜条件下发芽的能力, 用 NaCl 胁迫下种子的发芽率可评价品种芽期耐盐能力。由图 1 可知, 小麦种子发芽率随着 NaCl 浓度的增加而降低, 总体呈现缓慢下降、快速下降、缓慢下降 3 个阶段。当 NaCl 浓度 ≤ 2 g/kg 时, 发芽率均保持在 80%以上; NaCl 浓度为 3 g/kg 时, 种子发芽率保持在 70%左右; NaCl 浓度为 4 g/kg 时, 发芽率降至 40%左右; NaCl 浓度为 5 g/kg 时, 发芽率降至 20%以下; NaCl

浓度为 7 g/kg 时, 小麦芽率接近于零。说明宁夏小麦耐盐品种耐最大 NaCl 浓度为 7 g/kg, NaCl 浓度大于 3 g/kg 时发芽率急剧下降, 说明小麦芽期 NaCl 浓度 3 g/kg 是耐盐临界值。当 NaCl 浓度为 1~2 g/kg 时冬小麦发芽率高于春小麦, NaCl 浓度大于 3 g/kg 时春小麦发芽率高于冬小麦, 说明冬小麦芽期对 NaCl 浓度的敏感性强于春小麦。

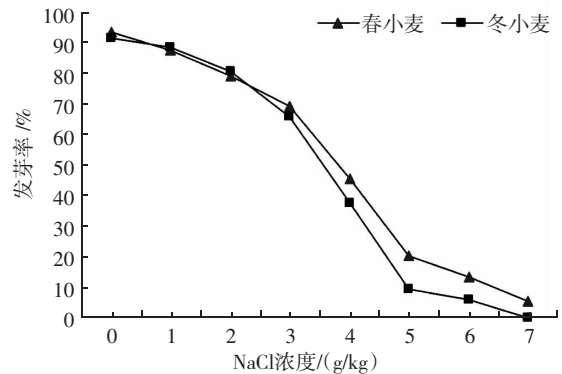


图 1 NaCl 浓度对宁夏小麦发芽率的影响

2.1.2 芽期耐盐春小麦筛选 NaCl 浓度为 1、2、3、4、5、6、7 g/kg 处理的参试春小麦品种(系)的平均发芽率分别为 87.8%、79.3%、69.4%、45.4%、20.4%、13.2%、5.7%, CK 为 93.7%。表明春小麦品种(系)的发芽率随着 NaCl 浓度的增高而降低。从 62 份春小麦材料中选取 NaCl 浓度 4 g/kg 以下时平均发芽率 80%以上的 14 个品种(表 1), 研究发现, 不同品种在相同 NaCl 浓度下发芽率差异较大, 说明不同品种芽期对盐分的敏感性不同, 耐盐程度各不相同。对 NaCl 浓度下各品种发芽率排序发现, HJ437 的发芽率在 NaCl 浓度为 1 g/kg 时排第 1, NaCl 浓度为 4 g/kg 时排第 2, NaCl 浓度为 2、3 g/kg 时排第 3。宁春 8 号的发芽率在 NaCl 浓度为 2、3、4 g/kg 时均排第 1, NaCl 浓度为 5 g/kg 时排第 2, NaCl 浓度为 7 g/kg 发芽率排第 3。综合评价, HJ437 耐盐能力最强, 宁春 8 号、宁春 48 号、宁春 49 号较强。

2.1.3 春小麦发芽率分析 对不同 NaCl 浓度下参试春小麦品种发芽率进行分析(表 2)表明, 当 NaCl 浓度为 1 g/kg 时, 发芽率 $>80\%$ 的品种有 57 个, 占比 91.9%。当 NaCl 浓度为 2 g/kg 时, 发芽率 $>80\%$ 的品种有 38 个, 占比 61.3%; 发芽率 70%~79%的品种有 11 个, 占比 17.7%。当 NaCl 浓度为 3 g/kg 时, 发芽率 $>80\%$ 的品种有 17 个, 占比

表1 NaCl浓度4 g/kg以下时平均发芽率在80%以上的春小麦品种发芽率

%

品种(系)	不同盐浓度处理的种子发芽率									4 g/kg以下 平均发芽率
	CK	1 g/kg	2 g/kg	3 g/kg	4 g/kg	5 g/kg	6 g/kg	7 g/kg	平均	
HJ437	97.7	98.3	95.0	90.7	86.3	35.0	13.3	7.7	65.5	93.6
宁春8号	96.3	90.0	96.0	93.7	89.0	41.3	19.0	8.7	66.8	93.0
宁春9号	94.3	95.7	95.3	93.3	54.7	43.7	20.3	15.7	64.1	86.7
宁春21号	93.7	93.0	73.7	75.3	66.3	33.7	19.7	7.7	57.9	80.4
宁春37号	96.0	95.0	92.7	81.0	43.3	17.3	21.0	14.3	57.6	81.6
宁春40号	94.3	96.0	91.3	86.0	39.7	20.7	13.0	3.0	55.5	81.5
宁春45号	97.0	96.7	94.0	82.3	62.3	27.0	7.7	5.3	59.0	86.5
宁春46号	91.7	89.0	85.7	81.3	64.3	15.0	5.7	0.7	54.2	82.4
宁春47号	95.0	91.7	90.3	70.3	53.3	16.3	10.7	2.7	53.8	80.1
宁春48号	95.0	92.7	93.7	89.7	85.0	41.3	32.0	8.7	67.3	91.2
宁春49号	95.0	96.7	92.7	89.7	60.7	8.7	6.3	0	56.2	87.0
宁春50号	96.0	95.0	87.7	82.7	65.3	13.0	3.0	0	55.3	85.3
宁春52号	94.3	92.3	92.7	85.3	68.7	12.0	11.3	0	57.1	86.7
宁春54号	94.7	91.3	90.0	83.3	43.0	8.7	2.3	0	51.7	80.5

表2 不同NaCl浓度下参试春小麦品种的发芽率

发芽率 /%	盐浓度处理/(g/kg)						
	1	2	3	4	5	6	7
≥80	57	38	17	3	0	0	0
70~79	0	11	26	0	0	0	0
60~69	1	7	4	6	0	0	0
50~59	3	2	2	14	0	0	0
40~49	1	3	10	11	5	0	0
30~39	0	1	2	22	9	2	0
<30	0	0	1	6	48	60	62

27.4%；发芽率70%~79%的品种有26个，占比41.9%。当NaCl浓度为4 g/kg时，发芽率>80%的品种有3个，占比4.8%；发芽率60%~69%的品种有6个，占比9.7%；50%~59%的品种有14个，占比22.6%；发芽率30%~39%的品种有22个，占比35.5%。即NaCl浓度为1、2 g/kg时，60%的品种发芽率≥80%；当NaCl浓度为3 g/kg时，有近

30%的品种发芽率达到80%以上；当NaCl浓度为4 g/kg时，仅有不到5%的品种发芽率达到80%，有60%以上的品种发芽率急剧下降至50%以下；当NaCl浓度为5 g/kg以上时，所有品种发芽率均下降至50%以下。分析认为，宁夏春小麦品种芽期耐盐程度主要以轻度(≤3 g/kg)为主，能耐盐4 g/kg的品种，这部分品种是重要的耐盐种质资源，也是耐盐品种筛选的目标对象。

2.1.4 芽期耐盐冬小麦筛选 NaCl浓度为1~7 g/kg处理的参试冬小麦品种平均发芽率分别为88.4%、80.8%、65.8%、37.6%、9.2%、6.1%、0.2%，CK为91.5%。选取NaCl浓度4 g/kg以下时平均发芽率80%以上的5个品种(表3)，对其在不同NaCl浓度处理下的发芽率进行分析表明，冬宁春4号表现最好，冬育10号、冬育7号较好；这5个品种在NaCl浓度1、2、3 g/kg发芽率均能达

表3 NaCl浓度4 g/kg以下时平均发芽率在80%以上的冬小麦品种发芽率

%

品种	不同盐浓度处理的种子发芽率/(g/kg)									4 g/kg以下 平均发芽率
	CK	1	2	3	4	5	6	7	平均	
冬宁春4号	96.7	98.7	98.0	97.0	56.7	28.3	10.7	0	55.6	89.4
冬育7号	97.7	97.7	91.0	90.0	48.7	12.7	9.7	0	55.9	85.0
冬育8号	96.0	91.7	90.7	91.0	48.7	3.7	0.0	0	52.7	83.6
冬育10号	95.3	94.0	90.0	86.0	59.3	8.7	4.0	0	54.7	84.9
冬育11号	93.0	92.3	92.0	91.7	45.3	5.3	2.7	0	52.8	82.9

到 80%以上, 在 NaCl 浓度 4 g/kg 下发芽率下降至 50%左右。

2.1.5 冬小麦发芽率分析 不同 NaCl 浓度处理下参试冬小麦品种发芽率统计结果(表 4)表明, 冬小麦品种(系)平均发芽率随着 NaCl 浓度的增高而降低。NaCl 浓度为 1、2 g/kg 时, 有近 70%的品种发芽率能达到 80%以上; NaCl 浓度为 3 g/kg 时, 仅有不到 40%的品种发芽率达到 80%; NaCl 浓度为 4 g/kg 时, 所有品种发芽率均降到 60%以下。说明宁夏灌区冬小麦品种(系)芽期耐盐程度以轻度为主。

表 4 不同 NaCl 浓度下参试冬小麦品种的发芽率统计 个

发芽率 /%	盐浓度处理/(g/kg)						
	1	2	3	4	5	6	7
≥80	15	11	6	0	0	0	0
70~79	1	3	1	0	0	0	0
60~69	0	0	1	0	0	0	0
50~59	0	1	4	2	0	0	0
40~49	0	1	1	4	0	0	0
30~39	0	0	2	6	0	0	0
<30	0	0	1	3	16	16	16

2.2 聚类分析

2.2.1 春小麦品种(系)聚类分析 根据不同 NaCl 浓度下春小麦发芽率指标进行聚类分析, 按照距离进行分类(图2)。距离 41.20 分为 2 大类, 即宁春 10 号和其他品种。进一步分析表明, 随着距离的缩短表现出多个类型, 距离为 16.48 时, 宁春 2 号、宁春 27 号等 9 个品种为 I 类, 宁春 17 号、宁春 38 号等 21 个品种为 II 类, 宁春 26 号、宁春 29 号、宁 3015、宁春 30 号为 III 类(发芽率较高), 宁春 8 号、HJ437 为 IV 类(发芽率高), 宁春 58 号、59 号、60 号、61 号为 V 类(发芽率低), 宁春 4 号、宁春 9 号、宁春 48 号单独成为 VI 类。

2.2.2 冬小麦品种(系)聚类分析 根据不同 NaCl 浓度下冬小麦发芽率指标进行聚类分析, 按照距离进行分类(图3)。距离 24.35 分为两大类, 距离为 19.48 可分为四类, 冬宁春 4 号、冬育 7 号、冬育 8 号、冬育 9 号、冬育 10 号、冬育 11 号、冬育 12 号为 I 类(发芽率高), 宁冬 11 号、冬育 5 号为 II 类(发芽率低), 冬育 6 号、冬育 14 号、冬育 15 号、冬育 16 号、冬育 17 号为 III 类(发芽率

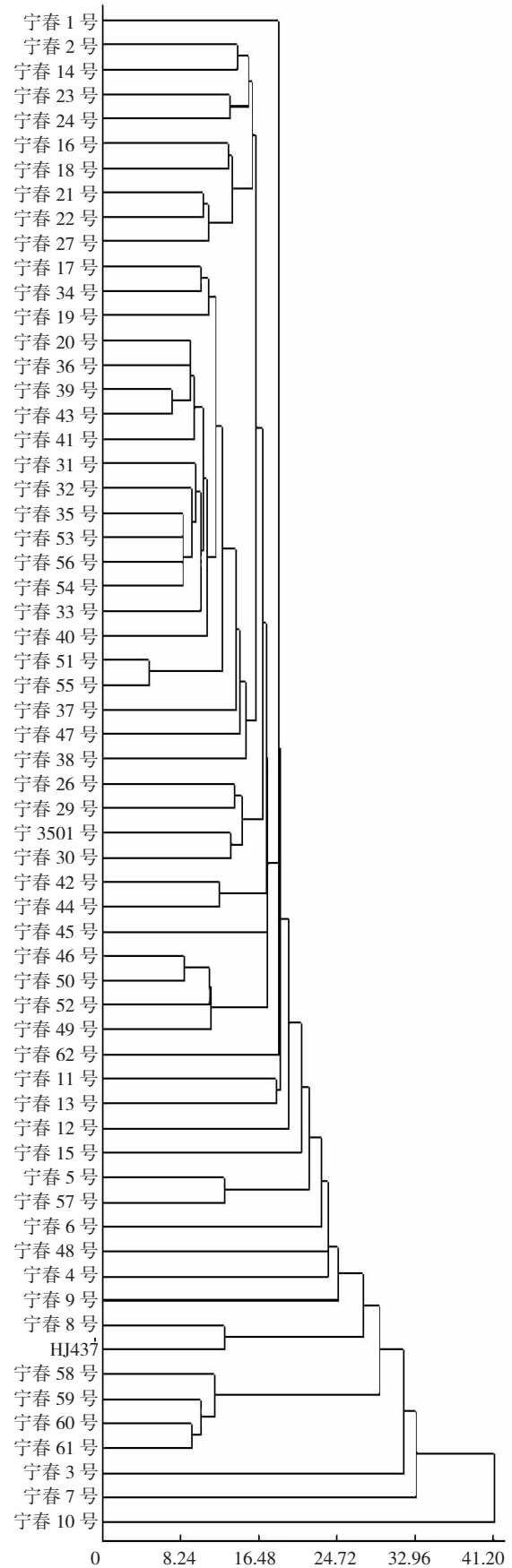


图 2 不同 NaCl 浓度下春小麦发芽率聚类分析

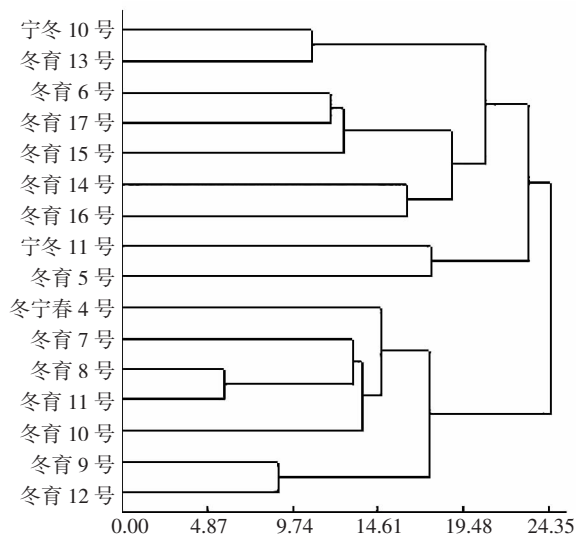


图 3 不同 NaCl 浓度下冬小麦发芽率聚类分析

较高), 宁冬 10 号、冬育 13 号为 IV 类 (发芽率较低)。随着距离的缩短表现出多个类型。

3 讨论与结论

研究表明, 宁夏小麦种子的发芽率随着 NaCl 浓度的增加而下降, 说明种子的发芽率对 NaCl 的胁迫浓度具有较强的敏感性。种子萌发期耐盐性是品种耐盐早期选择的基础, 决定其后期正常生长发育的关键。当 NaCl 浓度为 3 g/kg 时种子发芽率保持在 70% 左右, 即在轻度盐分 (≤ 3 g/kg) 条件下保持了较高的发芽率, 说明宁夏小麦品种芽期具有耐轻度盐分的能力。早期育成小麦品种的芽期耐盐性较近年育成的品种差, 说明近年来在亲本选择上注重了品种的耐盐性, 如新品系 HJ437 具有很强的耐盐性。当 NaCl 浓度为 5~6 g/kg 时, 部分品种种子发芽率降至 20% 以下, 说明部分小麦品种芽期具有耐中度盐分的能力, 如 HJ437、宁春 8 号。当 NaCl 浓度达 7 g/kg 时种子芽率接近于零, 表明宁夏小麦芽期最大耐 NaCl 浓度为 6、7 g/kg。

本研究发现, 当 NaCl 浓度为 1、2 g/kg 时, 参试春小麦品种 60% 的品种发芽率 $\geq 80\%$; NaCl 浓度为 3 g/kg 时, 有近 30% 的品种发芽率能达到 80% 以上; NaCl 浓度为 4 g/kg 时, 仅有不到 5% 的品种发芽率达到 80%, 有近 1/2 品种发芽率急剧下降至 40% 以下; NaCl 浓度至 5 g/kg 以上时, 发芽率均下降至 50% 以下。由此说明, 在轻度盐分

条件下春小麦品种均能保持较高的发芽率, 说明宁夏 60% 的春小麦品种芽期具有耐轻度盐分的能力, 且 NaCl 浓度 3 g/kg 是临界值。NaCl 浓度为 4 g/kg 时, 发芽率仍然能够达到 80% 的品种是重要的小麦耐盐种质资源, 也是品种筛选的目标对象, 利用潜力较大。通过不同 NaCl 浓度对宁夏小麦品种的芽期耐盐性分析, 筛选出芽期耐中度盐分的小麦品种 6 份, 其中春小麦品种为 HJ437、宁春 8 号、宁春 48 号、宁春 49 号, 灌区冬小麦品种为冬宁春 4 号、冬育 10 号。

参考文献:

- [1] 刘旭, 史娟, 张学勇, 等. 小麦耐盐种质的筛选鉴定和耐盐基因的标记[J]. 植物学报, 2001, 43(9): 948-954.
- [2] 郭宝生, 杨凯, 宋景芝, 等. 西藏小麦耐盐性鉴定及分析[J]. 植物遗传资源科学, 2001, 2(2): 36-39.
- [3] 李建疆, 梁晓东, 金平. 新疆主要春小麦品种耐盐性鉴定[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(8): 78-80.
- [4] 刘丹, 王建贺, 王从磊, 等. 不同浓度盐胁迫对小麦萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(24): 49-54.
- [5] 刘建巍, 朱宏. 盐胁迫下小麦种子萌发及生理指标的测定[J]. 哈尔滨师范大学学报(自然科学版), 2014, 30(8): 133-136.
- [6] 杨国会, 石德成. NaCl 和 Na_2CO_3 胁迫对甘草幼苗膜质过氧化作用的影响[J]. 湖北农业科学, 2009(48): 11-13.
- [7] 冯巩俐, 徐玉玲, 蒋晓煜, 等. 两种春小麦幼苗光合特性对盐胁迫的响应比较[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(1): 45-55.
- [8] 李琼, 高晓霞, 杨颖丽, 等. 盐胁迫下内源 POS 与 NO 的产生及其对小麦幼苗生理特性的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2018, 44(2): 54-64.
- [9] 靖姣姣, 张颖, 白志英, 等. 盐胁迫对小麦代换系渗透调节物质的影响及染色体效应[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(4): 743-750.
- [10] 王兴荣, 张彦军, 李玥, 等. 加强种质资源保护利用推进甘肃种业振兴[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(6): 19-21.
- [11] 刘忠元, 何瑞, 郭莹, 等. 河西走廊冬小麦种植的问题及发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(8): 1-5.