

# NaCl 胁迫对春小麦苗期叶绿素及 保护性酶活性的影响

王 婵<sup>1</sup>, 侯格平<sup>1</sup>, 朱妍钰<sup>2</sup>, 马君君<sup>2</sup>, 王万鹏<sup>1</sup>, 李元昊<sup>2</sup>,  
吴海燕<sup>1</sup>, 惠永芳<sup>2</sup>, 刘鹏伟<sup>2</sup>, 张文宇<sup>2</sup>, 马小乐<sup>2</sup>  
(1. 张掖市农业科学研究院, 甘肃 张掖 734000;  
2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为了探究春小麦苗期的耐盐状况及其生理特性, 为耐盐品种的筛选提供理论依据, 以 6 个春小麦品种(系)为材料, 研究其在不同浓度 NaCl 胁迫下的生理特性及耐盐状况。结果表明, NaCl 浓度为 0.9、1.2 mol/L 的高盐胁迫后第 20、30 天, 所有供试材料均枯萎死亡, 说明春小麦对 NaCl 胁迫的耐受浓度不能高于 0.9 mol/L。随着 NaCl 胁迫强度增强和时间延长, 叶绿素含量逐渐下降, 但在 NaCl 浓度为 0.3、0.6 mol/L 的盐胁迫处理下各供试材料差异不显著, 说明小麦苗期可耐受 0.6 mol/L NaCl 胁迫。CAT 活性均表现为先升后降的趋势, 而 MDA 和 Pro 含量呈现上升趋势, 说明 NaCl 胁迫可诱导小麦苗期保护性酶的活性。综合分析, 甘春 28 号和品系 H-5 的耐盐性较强, 可在盐碱地进一步试验种植。

**关键词:** 春小麦; NaCl 胁迫; 耐盐性; 保护酶活性

**中图分类号:** S512.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2024)06-0555-05

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.06.013

## Effects of NaCl Stress on Chlorophyll Contents and Protective Enzyme Activities of Spring Wheat at Seedling Stage

WANG Chan<sup>1</sup>, HOU Geping<sup>1</sup>, ZHU Yanyu<sup>2</sup>, MA Junjun<sup>2</sup>, WANG Wanpeng<sup>1</sup>, LI Yuanhao<sup>2</sup>, WU Haiyan<sup>1</sup>,  
HUI Yongfang<sup>2</sup>, LIU Pengwei<sup>2</sup>, ZHANG Wenyu<sup>2</sup>, MA Xiaole<sup>2</sup>

(1. Zhangye Academy of Agricultural Sciences, Zhangye Gansu 734000, China; 2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** In order to study the salt tolerance and physiological characteristics of spring wheat at seedling stage, aiming to provide theoretical basis for the screening of salt-tolerant varieties, this experiment took 6 spring wheat varieties as materials to study their physiological characteristics and salt tolerance under different NaCl concentrations. The results showed that under high salt stress of 0.9 mol/L and 1.2 mol/L, all varieties withered and died after 20 days or 30 days of stress treatment, indicating that the tolerance concentration of spring wheat to NaCl stress could not be higher than 0.9 mol/L. With the increase of NaCl stress intensity and the extension of NaCl stress time, chlorophyll content decreased gradually, but the difference between 0.3 mol/L and 0.6 mol/L treatment was not significant, indicating that wheat could tolerate 0.6 mol/L NaCl stress at seedling stage. The activity of CAT increased first and then decreased, while the content of MDA and Pro increased, indicating that NaCl stress could induce the activity of protective enzymes in wheat seedling stage. By analyzing the difference of varieties tested, it was found that Ganchun 28 and strain H-5 had strong salt tolerance and could be planted in saline-alkali soil for further experiment.

**Key words:** Spring wheat; NaCl stress; Salt tolerance; Protective enzyme activity

小麦是最重要的粮食作物之一, 全球 40% 的人口以其为主要食粮<sup>[1]</sup>。小麦也是我国第三大粮食作物, 在国民经济发展中具有举足轻重的重要地位。高温、低温、干旱和盐碱是影响农作物生

长的主要胁迫因素, 其中土壤盐渍化对农作物产量影响巨大<sup>[2]</sup>。据统计, 世界上约有 10 亿 hm<sup>2</sup> 的农业土地发生了盐渍化, 土壤次生盐渍化日趋严重。我国盐碱化耕地约有 3 330 万 hm<sup>2</sup>, 约占耕地

收稿日期: 2023-12-17; 修订日期: 2024-04-03

基金项目: 张掖市重大技术攻关揭榜挂帅制项目(ZY2022JBS08); 甘肃省教育厅产业支撑计划项目(2021CYZC-12); 甘肃省农业科技支撑项目(KJZC-2023-2); 甘肃农业大学2024年SIETP项目(202401039、202401038)。

作者简介: 王 婵(1984—), 女, 甘肃平凉人, 高级农艺师, 硕士, 主要从事小麦育种与栽培工作。Email: lele840823@163.com。

总面积的 1/4<sup>[3]</sup>。高盐会破坏植物组织和细胞的结构功能,抑制植物生长发育,干扰植物组织和细胞的离子平衡、降低叶绿素含量、抑制植物光合作用等<sup>[4]</sup>。小麦受到盐胁迫时生长发育缓慢,繁殖能力降低,产量下降,甚至造成绝收,因此,小麦耐盐机理及筛选耐盐品种成为学者们关注的焦点。裴自友等<sup>[4]</sup>研究发现,小麦的耐盐机理主要是渗透调节作用来完成,渗透剂主要包括合成脯氨酸、甜菜碱、羟脯氨酸、糖蛋白等有机物在液泡中积累无机盐等方式;叶梅荣等<sup>[5]</sup>研究表明,在低盐情况下,发芽率受到影响不明显,但发芽速率显著低于对照,且芽和根对盐胁迫有不同的敏感性;王芳等<sup>[6]</sup>的研究结果显示,盐胁迫下种子萌发及生长均受到不同程度抑制,并且随盐分含量的提高抑制作用增强。我们以 6 个春小麦品种(系)为试验材料,研究 NaCl 浓度胁迫对小麦幼苗的叶绿素含量、丙二醛(MDA)、过氧化氢酶(CAT)活性、脯氨酸(Pro)的变化,以期研究盐胁迫条件下小麦的生理机理变化提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

供试春小麦品种(系)共 6 个,分别为 H-14、甘春 28 号、H-5、H-6、2014 鉴 -027、甘春 26 号,均由甘肃农业大学提供。

#### 1.2 试验设计

试验共设 5 个 NaCl 溶液浓度处理,分别为 0 (CK)、0.3、0.6、0.9、1.2 mol/L。试验采用盆栽法,于播后第 13 天,各处理用相同体积的 NaCl

溶液(对照为相同体积自来水),按试验设计每隔 3 d 浇不同浓度 NaCl 溶液 1 次。分别于胁迫后第 10、20、30 天取长势一致的叶片,测定叶绿素含量、丙二醛(MDA)和脯氨酸(Pro)的含量以及过氧化氢酶(CAT)活性。

#### 1.3 测定指标与方法

采用 80%的丙酮浸提法测定叶绿素含量<sup>[7]</sup>,参照刘萍<sup>[8]</sup>的硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量,参照徐晓峰等<sup>[9]</sup>的茚三酮法测定 Pro 含量,参照史书德等<sup>[10]</sup>的紫外分光光度法测定 CAT 活性。

#### 1.4 数据分析

采用 Origin 2022 Pro 绘图,用 Excel 和 SPSS 24.0 软件进行数据处理和方差分析,采用 Duncan 法进行显著性( $P < 0.05$ )分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对春小麦叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出,随着 NaCl 浓度的增加,参试品种(系)叶片的叶绿素含量整体呈下降趋势。胁迫后第 10 天,NaCl 浓度为 0.3、0.6 mol/L 处理下的各品种(系)叶绿素含量下降不显著,NaCl 浓度为 0.9、1.2 mol/L 时显著下降。胁迫后第 20 天,各品种(系)的叶绿素含量整体呈显著性下降,NaCl 浓度为 0.3、0.6 mol/L 时 H-5 下降幅度最小,叶绿素含量分别为 0.95、0.75 mg/g,NaCl 浓度为 0.9 mol/L 时叶绿素含量大幅下降。胁迫后第 30 天,NaCl 浓度为 1.2 mol/L 和 0.9 mol/L 处理的各品种(系)均枯萎死亡,可见,春小麦的 NaCl 胁迫极限浓度低于 0.9 mol/L。胁迫后第 10、20、30 天,NaCl

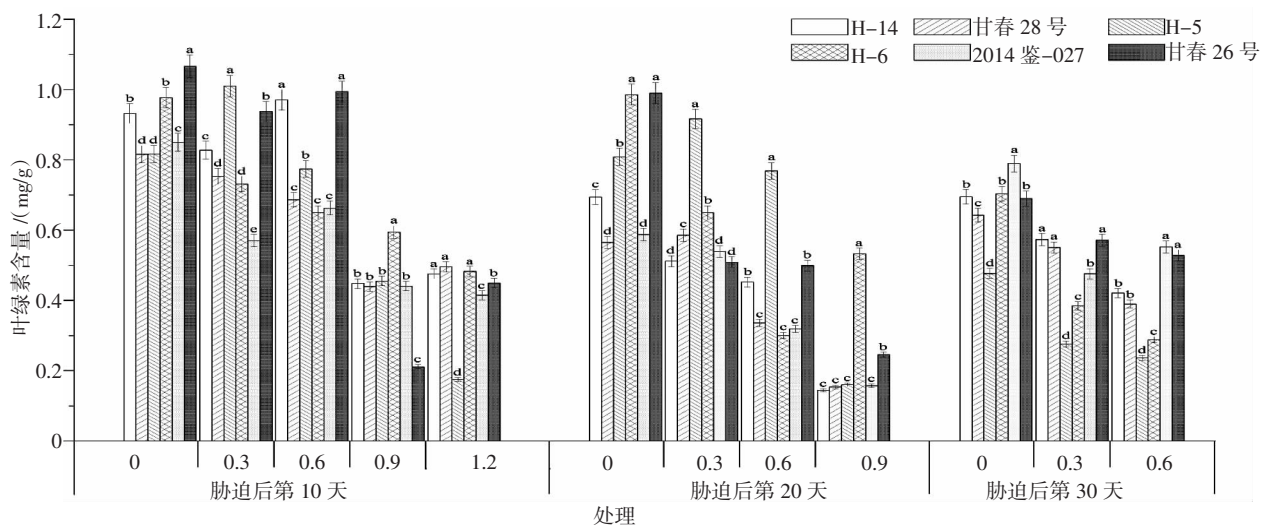


图 1 不同浓度 NaCl 胁迫下叶绿素含量

浓度 0.6 mol/L 的处理下, 叶绿素含量下降幅度最大, 其中 H-6 较 CK 分别下降 33.4 %、69.5%、59.0%, 2014 鉴-027 较 CK 分别下降 22.0%、45.7%、30.0%。在相同盐胁迫浓度下, 2014 鉴-027 的叶绿素含量高于 H-6, 说明 2014 鉴-027 受盐胁迫伤害程度较轻, 耐盐性较强。

### 2.2 NaCl 胁迫对春小麦 MDA 含量的影响

由图 2 可以看出, 春小麦苗期 MDA 含量随着 NaCl 浓度的加大和胁迫时间的延长而呈升高趋势。胁迫后第 10 天, NaCl 浓度 1.2 mol/L 处理下的春小麦幼苗 MDA 含量最高, 其中 2014 鉴-027 高达 2.88 mmol/g, 较 CK 增加 91.0%。胁迫后第 20 天和第 30 天, NaCl 浓度为 1.2 mol/L 和 0.9 mol/L 时所有供试春小麦品种枯萎死亡。2014 鉴-027 分别

在胁迫第 20 天、浓度为 0.9 mol/L 时 MDA 含量最高, 为 3.84 mmol/g, 较 CK 增长 60.9%, 表现出较大变化; H-5 和甘春 28 号在同一测定时期不同浓度 NaCl 胁迫处理下, MDA 含量增加幅度不明显。胁迫后第 10、20、30 天, NaCl 浓度 0.6 mol/L 处理下, 甘春 28 号 MDA 含量较 CK 分别增加 25.2%、28.8%、52.6%; 2014 鉴-027 较 CK 分别增加 81.9%、42.1%、66.9%, 可见, 甘春 28 号在 3 个时间段的 MDA 含量均小于 2014 鉴-027, 表明甘春 28 号的耐盐性强于 2014 鉴-027。

### 2.3 NaCl 胁迫对保护性酶活性的影响

2.3.1 过氧化氢酶(CAT)活性 由图 3 可知, 在胁迫强度不断加大与时间不断延长的情况下, 春小麦的 CAT 总体呈先升后降的趋势。胁迫后第

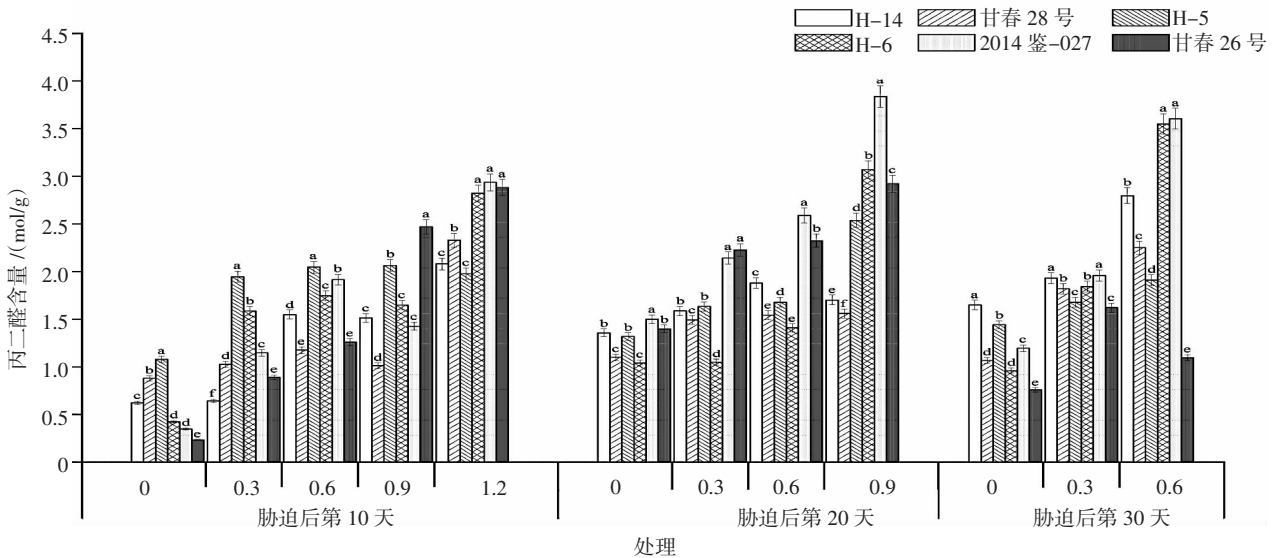


图 2 不同浓度 NaCl 胁迫下 MDA 含量

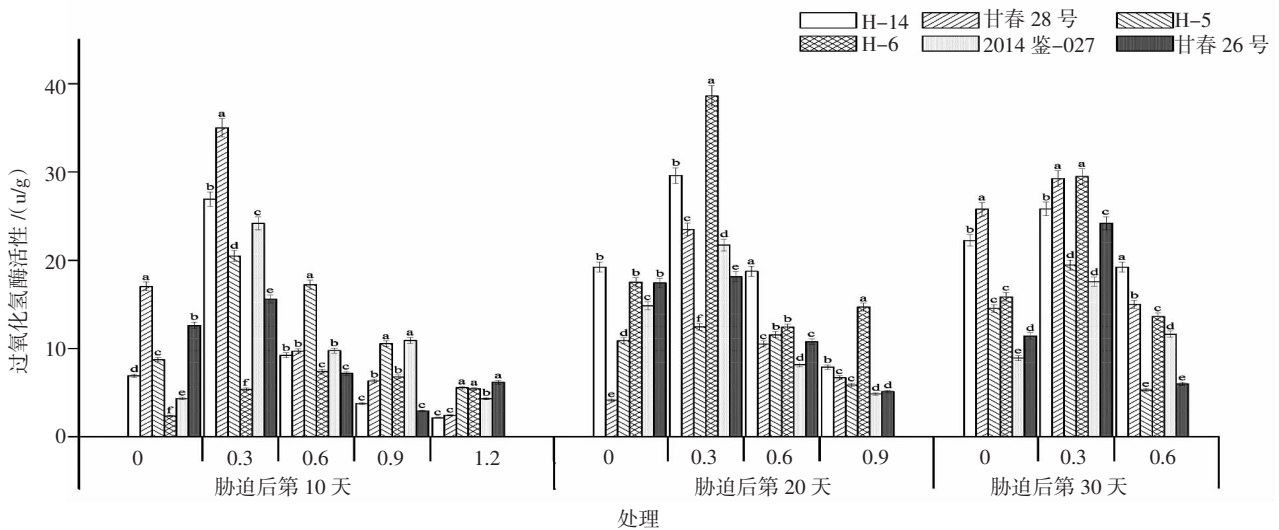


图 3 不同浓度 NaCl 胁迫下 CAT 含量

10 天, NaCl 浓度为 0.6 mol/L 时, H-6 的 CAT 活性最大, 为 7.43 u/g; 其他品种(系)均在 NaCl 浓度为 0.3 mol/L 时出现最大值。胁迫后第 20 天, NaCl 浓度为 0.3 mol/L 时各供试材料的 CAT 值均达到峰值, 其中 H-6 最高, 为 38.63 u/g, 较 CK 上升 54.7%。胁迫后第 30 天, CAT 值上升幅度最大的是甘春 26 号, 最小的是甘春 28 号, 上升幅度分别为 52.8%、12.0%。NaCl 浓度为 1.2、0.9 mol/L 时, 各品种(系)分别于胁迫后第 30 天死亡。在胁迫后第 10、20、30 天, 2014 鉴-027 的 CAT 较 CK 的分别上升 82.1%、31.7%、49.1%, H-5 分别上升 57.3%、12.6%、25.3%, H-5 的 CAT 变化幅度小于 2014 鉴-027。可见 H-5 的耐盐性高于 2014 鉴-027。

2.3.2 脯氨酸(Pro)含量 由图 4 可知, 在盐胁迫浓度不断增加和时间不断延长的情况下, 各品种(系)的 Pro 含量总体呈显著上升趋势。胁迫后第 10 天, NaCl 浓度为 0.6 mol/L, H-6 和 2014 鉴-027 的 Pro 含量较 CK 上升幅度较明显, 之后则表现不明显。NaCl 浓度为 0.9 mol/L 时, H-5 和甘春 26 号的 Pro 含量上升幅度平缓; 浓度达到 1.2 mol/L 时, Pro 含量上升幅度较明显。胁迫后第 20 天, NaCl 浓度 1.2 mol/L 处理下的各品种(系)均已枯萎, NaCl 浓度 0.9 mol/L 处理下的各品种(系)Pro 含量均达到最大值, 此时, 甘春 28 号的 Pro 含量为 192.3 ug/g。胁迫后第 30 天, H-6 在 NaCl 浓度 0.3、0.6 mol/L 处理下 Pro 含量较 CK 分别提高 66.0%、

33.55%。NaCl 浓度 0.6 mol/L 时, H-5 在胁迫后的第 10、20、30 天 Pro 含量较 CK 的增长幅度分别为 73.7%、56.6%、70.8%, 高于品种甘春 28 号, 其耐盐性较好。

### 3 讨论与结论

小麦耐盐性是由多基因控制的数量遗传性状, 涉及诸多基因和多种耐盐机制的协调作用 [11-12], 并且不同品种间存在耐盐性差异。叶绿素是植物进行光合作用的物质基础, 其含量的多少直接影响植物干物质的积累 [9]。盐分能增加细胞膜透性, 加强脂质过氧化作用, 最终导致膜系统的破坏。CAT 是在生物进化过程中建立起来的生物防御系统的关键酶, 也是一种抗氧化剂, 催化细胞内过氧化氢发生歧化反应, 是生物体酶保护系统的一个重要因素 [10]。Pro 作为胞质渗透剂、酶和细胞结构的保护剂及自由基清除剂而起保护作用, 植物细胞内 Pro 的积累能够提高植物的抗盐性 [13-14], 并且 Pro 的积累量与其抗盐能力成正比。

本试验显示, 在 NaCl 浓度提高和胁迫时间延长时, 供试春小麦品种的叶绿素含量呈现下降趋势, MDA 含量上升, CAT 含量表现先升后降, Pro 含量增加。叶绿素含量在盐胁迫下降低, 有可能与植物吸收不到足够的水分和矿质营养有关, 也有可能是由于受盐胁迫致使植株体内的叶绿素降解酶活性增强, 促进了叶绿素的降解 [15-16]。植物器官衰老时或在逆境条件下, 往往发生膜脂过氧化作用, 其产物 MDA 会严重损伤生物膜。供试材

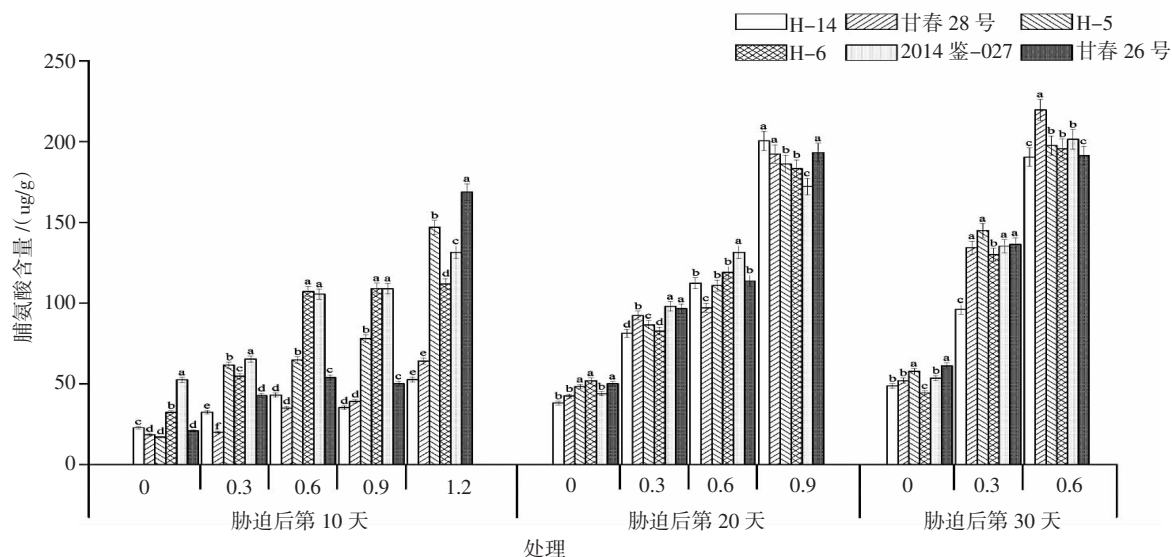


图 4 不同浓度 NaCl 胁迫下 Pro 含量

料的 MDA 含量随着盐胁迫的增加而变大, 间接地反映了春小麦品种受盐胁迫伤害的程度<sup>[17-19]</sup>。CAT 活性随着 NaCl 浓度和时间增加均呈现先升后降的趋势, 说明春小麦所含 CAT 作为保护酶在遇到盐胁迫时有抵御胁迫的作用。正常状态下小麦的 Pro 含量较低, 当受到 0.3 mol/L 和 0.6 mol/L NaCl 溶液盐胁迫后, Pro 含量有大幅度的升高, 说明 Pro 可以作为衡量小麦抗盐能力的一项重要生理生化指标<sup>[20-21]</sup>。供试的 6 个春小麦品种(系), 在 NaCl 浓度 0.9 mol/L 和 1.2 mol/L 的高盐条件分别胁迫第 20、30 天后小麦苗枯萎死亡, 可见其正常生长的 NaCl 浓度应在 0.9 mol/L 以下。随着 NaCl 胁迫强度增强和时间延长, 叶绿素含量逐渐下降, 但 NaCl 浓度为 0.3、0.6 mol/L 处理的盐胁迫处理间差异不显著, 说明小麦苗期可耐受 0.6 mol/L NaCl 胁迫; CAT 活性均表现为先上升后下降的趋势, 而 MDA 和 Pro 含量呈现上升趋势, 说明 NaCl 胁迫可诱导小麦苗期保护性酶的活性。综合分析, 品种 H-5 和甘春 28 号的耐盐性较强, 可进一步在盐碱地试验种植。

#### 参考文献:

- [1] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [2] 刘广才, 赵贵宾, 李博文, 等. 甘肃省小麦产业现状及发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2020(1): 70-75.
- [3] 豆昕桐, 王英杰, 王华忠, 等. 耐盐和盐敏感型小麦品种对 NaCl 胁迫的生理响应及耐盐性差异[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4976-4992.
- [4] 裴自友, 温辉芹, 任永康, 等. 小麦的耐盐性及其改良研究进展[J]. 作物研究, 2012, 6(1): 93-98.
- [5] 叶梅荣, 刘玉霞. NaCl 对吸胀后小麦种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业技术师范学院学报, 2000, 14(2): 35-36.
- [6] 王 芳, 朱 军, 布如力, 等. 盐胁迫对新疆两个小麦品种种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(1): 1-5.
- [7] 陈毓荃. 生物化学实验方法和技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 刘 萍. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [9] 徐晓峰, 朱 才. 小麦叶中脯氨酸测定方法的研究[J]. 生物技术, 1997(1): 40-42.
- [10] 史书德, 孙亚卿, 魏 磊, 等. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [11] 李士磊, 霍 鹏, 高欢欢, 等. 复合盐胁迫对小麦萌发的影响及耐盐阈值的筛选[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(2): 260-264.
- [12] 刘贯园, 李晓斌, 肖玉梅, 等. 五种脱落酸功能类似物对提高小麦抗盐胁迫的效应和机理[J]. 农药学报, 2022, 24(5): 1196-1205.
- [13] 肖 雯, 贾恢先, 蒲陆梅. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J]. 西北植物学报, 2000(5): 818-825.
- [14] 陈 军, 高贵珍, 方雪梅, 等. 干旱胁迫对小麦萌发期 POD、CAT 活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(17): 5360-5361.
- [15] 许 卉, 赵丽萍. 盐胁迫对金银花生理生化的影响[J]. 湖北林业科技, 2007(1): 9-12.
- [16] 杨利艳, 韩 榕. Ca<sup>2+</sup>对小麦萌发及幼苗抗盐性的效应[J]. 植物学报, 2011, 46(2): 155-161.
- [17] 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义[J]. 植物生理学报, 1984(1): 15-21.
- [18] 何进尚, 冯伟东, 刘旺清, 等. NaCl 胁迫对小麦种子发芽率的影响及耐盐性分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(3): 229-233.
- [19] 刘广才. 小麦宽幅匀播高产栽培技术规程[J]. 甘肃农业科技, 2022(7): 76-79.
- [20] 刘国花. 植物抗盐机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(23): 6111-6112.
- [21] 李艳春, 吴 兵, 刘宏胜, 等. 旱地春小麦新品系比较试验初报[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(12): 231-234.