

腐植酸钾盐对盐碱胁迫下小麦种子萌发和幼苗生长的影响

陈宏¹ 许娜丽¹ 朱保磊¹ 周国勤¹ 刘晓宇¹ 曹艳² 石守设^{1*}

1 信阳市农业科学院 信阳 464000

2 河南心连心化学工业集团股份有限公司 新乡 453731

摘要: 在模拟盐碱胁迫环境下,使用腐植酸钾和棕黄腐植酸钾2种腐植酸钾盐进行小麦水培试验,探究其对小麦种子萌发至苗期阶段盐碱胁迫的缓解作用。结果表明,随着盐碱浓度的升高,小麦发芽势及发芽率呈下降趋势,株高及根长受到的抑制作用增大,相对含水量持续下降,茎叶丙二醛(MDA)含量则不断上升。在相同盐碱条件下,添加2种腐植酸钾盐处理的小麦发芽势和发芽率均高于未添加腐植酸钾盐处理。在轻度盐碱条件下,2种腐植酸钾盐处理对小麦株高、鲜重有显著促进作用。在轻度和中度盐碱条件下,添加棕黄腐植酸钾处理的小麦茎叶MDA含量最低,表明其缓解细胞膜盐碱危害效果更好;而在重度盐碱条件下,腐植酸钾处理的小麦茎叶MDA含量最低,表明其缓解细胞膜盐碱危害效果更好。综合来看,2种腐植酸钾盐在一定程度上能够缓解盐碱胁迫对小麦种子萌发和幼苗生长的影响,以棕黄腐植酸钾综合效果更佳。

关键词: 腐植酸钾;棕黄腐植酸钾;小麦;盐碱胁迫;种子萌发;幼苗生长

中图分类号: TQ444.6⁺3, S512.1 **文章编号:** 1671-9212(2025)03-0028-07

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.03.004

Effects of Potassium Humate Salts on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat under Saline-alkali Stress

Chen Hong¹, Xu Nali¹, Zhu Baolei¹, Zhou Guoqin¹, Liu Xiaoyu¹, Cao Yan², Shi Shoushe^{1*}

1 Xinyang City Academy of Agricultural Sciences, Xinyang, 464000

2 Henan Xinlianxin Chemical Industry Group Co. Ltd., Xinxiang, 453731

Abstract: Under the simulated saline-alkali stress environment, two kinds of potassium humate salts (potassium humate and brown potassium fulvate) were used in wheat hydroponic experiments to investigate their mitigation effects on saline-alkali stress from wheat seed germination to seedling stage. The results showed that with the increase of saline-alkali concentration, the germination potential and germination rate of wheat decreased, the inhibition of plant height and root length increased, the relative water content continued to decrease, and the content of malondialdehyde (MDA) in stems and leaves continued to increase. Under the same saline-alkali conditions, the germination potential and germination rate of wheat treated with two kinds of potassium humate salts were higher than those without potassium humates. Under mild saline-alkali conditions, the two kinds of potassium humate salts treatment significantly promoted plant height and fresh weight of wheat. Under mild and moderate saline-alkali conditions, the MDA content

[基金项目] 国家小麦产业技术体系项目(项目编号 CARS-03-01A); 河南省小麦产业技术体系项目(项目编号 Z2010-01-01)。

[收稿日期] 2025-01-20

[作者简介] 陈宏,男,1993年生,助理研究员,主要从事小麦高效栽培与遗传育种研究,E-mail: 1775749783@qq.com。

* 通讯作者: 石守设,男,研究员,E-mail: shiss68@163.com。



of wheat stems and leaves treated with brown potassium fulvate was the lowest, indicating that it had a better effect on alleviating the saline-alkali damage of cell membrane. Under severe saline-alkali conditions, the MDA content of wheat stems and leaves treated with potassium humate was the lowest, indicating that it was more effective in alleviating the saline-alkali damage of cell membrane. On the whole, the two kinds of potassium humate salts could alleviate the effect of saline-alkali stress on wheat seed germination and seedling growth to a certain extent, and the comprehensive effect of brown potassium fulvate was better.

Key words: potassium humate; brown potassium fulvate; wheat; saline-alkali stress; seed germination; seedling growth

盐碱土问题已经成为全球农业发展的重大挑战, 其对作物生长的负面影响贯穿整个生育周期, 从抑制种子萌发、幼苗生长迟缓到成熟期发展障碍, 最终导致作物大幅减产, 严重制约农业生产效益与可持续发展^[1, 2]。我国新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等地区存在大面积盐碱化耕地, 如何高效利用和改良盐碱土及预防土壤盐碱化已成为我国农业生产亟须攻克的一个关键课题。盐碱胁迫主要分为盐胁迫和碱胁迫2种类型, 前者以NaCl、Na₂SO₄等中性盐为主要成分, 后者以Na₂CO₃、NaHCO₃等碱性盐为主要成分^[3, 4]。值得关注的是, 我国盐碱地多为两者同时存在的混合型盐碱地, 比单一盐胁迫、碱胁迫具有更大的危害性^[5]。已有研究表明, 腐植酸作为土壤有机质中重要的组成部分, 具有独特的生理功能, 不仅可以改良土壤, 还可以增强植物抗逆性^[6~11]。在盐碱胁迫研究领域, 腐植酸对小麦生长缓解效应已经得到验证。但是, 目前关于腐植酸钾盐对盐碱地小麦生长影响的系统性研究相对较少。本试验通过水培模拟不同浓度的盐碱胁迫环境, 选用腐植酸钾与棕黄腐植酸钾2种钾盐, 探究其在小麦种子萌发、幼苗生长过程中对盐碱胁迫的响应机制及调控作用, 以期腐植酸钾盐在盐碱地改良及盐碱农业中推广应用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

试验于2024年8月—11月在河南省信阳市农业科学院实验室内进行。

1.2 试验材料

供试作物: 小麦, 品种为“信麦163”, 由信阳市农业科学院提供。

供试腐植酸钾盐: 腐植酸钾(总腐植酸含量 \geq 60.0%, 氧化钾含量 \geq 12.0%, pH 8.0~11.0)、棕黄腐植酸钾(总腐植酸含量 \geq 60.0%, 黄腐酸含量 \geq 30.0%, 氧化钾含量 \geq 12.0%, 22°DH以下硬水中不絮凝, pH 7.0~11.0), 均由河南黑色生态科技有限公司提供, 均为固体粉末状矿源腐植酸钾盐。

1.3 试验设计

模拟盐胁迫水培试验选用2.2 L容量的培养容器(口径135 mm, 高175 mm)进行小麦生根发芽试验, 每瓶倒入1.65 L培养溶液, 盐碱溶液由NaCl : Na₂SO₄ : NaHCO₃ : Na₂CO₃(摩尔比)=1 : 1 : 1 : 1加去离子水配制而成, 摩尔质量为97.62 g/mol, 腐植酸钾及棕黄腐植酸钾处理在水培溶液中的质量比均为万分之一, 添加量0.165 g/瓶。试验前, 对小麦种子用75%酒精消毒1 min, 以降低微生物污染风险。试验共设置10个处理(表1), 每个处理设置3个重复, 每个重复50粒小麦种子。培养时间为24天, 于每天18:00以恒重法补充水分, 以维持盐溶液浓度的稳定。试验期间观察并记录小麦种子发芽和幼苗的生长情况。

1.4 指标测定及方法

株高与根长: 分别于水培试验开始后第12、18、24天使用直尺对小麦幼苗的株高、根长进行测量。株高为从茎基部至幼苗顶部最长叶尖的长度, 以cm计; 根长为从根尖至幼苗茎基部的长度,

以 cm 计。

鲜重与干重：试验结束后，从每个处理的 3 个重复中各选出 10 株长势一致的幼苗共 30 株，去掉种皮并清洗干净，分离根、茎叶。用吸水纸吸干表面水分，使用电子天平分别称量根鲜重与茎叶鲜重，以 g 计。随后，将样品放入烘箱中在 105 °C 温度下杀青 30 min，然后在 80 °C 温度下烘干至恒重，测定根、茎叶及整株干重，以 g 计。

丙二醛 (MDA)：试验结束后，采用硫代巴比妥酸 (TBA) 比色法^[12]，对所有处理的新鲜小麦茎叶中的 MDA 含量进行测定。

发芽率 (%) = (试验结束时供试种子发芽数 / 供试种子总粒数) × 100%。

发芽势 (%) = (7 天内供试种子发芽数 / 供试种子总粒数) × 100%。

相对盐害率 (%) = (对照发芽率 - 胁迫发芽率) / 对照发芽率 × 100%。

相对含水量 (%) = (植株鲜重 - 植株干重) / 植株鲜重 × 100%。

表 1 试验设计方案

Tab.1 Experimental design schedule

处理	水培溶液及处理浓度
CK	去离子水
T1	50 mmol/L 轻度盐碱溶液
T2	100 mmol/L 中度盐碱溶液
T3	150 mmol/L 重度盐碱溶液
T4	50 mmol/L 轻度盐碱溶液 + 腐植酸钾
T5	50 mmol/L 轻度盐碱溶液 + 棕黄腐植酸钾
T6	100 mmol/L 中度盐碱溶液 + 腐植酸钾
T7	100 mmol/L 中度盐碱溶液 + 棕黄腐植酸钾
T8	150 mmol/L 重度盐碱溶液 + 腐植酸钾
T9	150 mmol/L 重度盐碱溶液 + 棕黄腐植酸钾

1.5 数据处理

数据经过 Excel 2010 整理后，运用 SPSS 20.0 进行统计分析，采用 Duncan’s 新复极差法进行差异显著性分析 (P < 0.05) 和多重比较，图表均采用 Excel 2010 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理对盐碱胁迫下小麦发芽指标的影响

由表 2 可知，CK ~ T3 处理的小麦发芽势及发芽率呈现依次降低趋势，说明随着盐碱浓度的升高，盐碱胁迫越强，发芽势和发芽率越低。其中，在重度盐碱条件下，与 CK 相比，T3 处理小麦发芽势和发芽率分别降低了 26.92%、19.00%，差异均达到显著水平。在中度和重度盐碱条件下，T6 和 T8 处理均在一定程度上提高了小麦种子的发芽势和发芽率，与 T2 和 T3 处理相比，差异均未达到显著水平。在轻度和重度盐碱条件下，添加腐植酸钾处理 (T4 和 T8) 小麦发芽势均高于棕黄腐植酸钾处理 (T5 和 T9)，分别提高了 11.07%、9.26%；在轻度、中度和重度盐碱条件下，添加腐植酸钾处理 (T4、T6 和 T8) 的发芽率均高于棕黄腐植酸钾处理 (T5、T7 和 T9)。在相对盐害率方面，随着盐碱浓度的升高，相对盐害率也随之升高，T1 ~ T3 处理分别较 CK 升高了 1.67%、8.67%、19.33%；在重度盐碱条件下，3 个处理的相对盐害率由高到低排序为：T3 > T9 > T8，但处理间差异不显著。上述结果初步表明，腐植酸钾盐在一定程度上能够缓解盐碱胁迫对小麦种子萌发的负面影响，且腐植酸钾在提升小麦种子发芽势和发芽率方面相较于棕黄腐植酸钾表现出一定的优势，但差异不显著。

2.2 不同处理对盐碱胁迫下小麦株高的影响

由表 3 可知，在 3 个测量时间，CK ~ T3 处理的小麦株高均以 CK 的株高最高，具体排序为 CK > T1 > T2 > T3，且各处理间均存在显著差异，说明随着盐碱浓度的增加，小麦株高生长受到抑制的程度也在不断加深。在相同盐碱条件下，添加 2 种腐植酸钾盐的处理较未添加腐植酸钾盐的处理小麦株高均有增长；其中，轻度和中度盐碱条件下，这种促进作用尤为明显，达到显著差异，说明在轻度和中度盐碱条件下，腐植酸钾盐可有效缓解盐碱胁迫对小麦株高生长的抑制，显著促进小麦株高的增长；进一步比较添加 2 种不同腐植酸钾盐的处理组，以添加棕黄腐植酸钾的处理更好，但 2 种



不同腐植酸钾盐之间均无显著差异。在试验第 24 天时,轻度盐碱条件下,T5 处理小麦株高表现最好,T4 处理次之,且 2 个处理间无显著差异,但较 CK 分别显著增加了 17.02%、11.92%。这一结果证实,

在轻度盐碱环境中,添加腐植酸钾盐能够显著提升小麦在盐碱胁迫下的生长势,甚至优于未受盐碱胁迫的处理,为后续植株的光合作用、物质积累及产量形成奠定良好基础。

表 2 不同处理对小麦发芽指标的影响
Tab.2 Effects of different treatments on germination indexes of wheat %

处理	发芽势	发芽率	相对盐害率
CK	95.33a	100.00a	—
T1	89.33ab	98.33ab	1.67bc
T2	81.67abcd	92.00ab	8.67abc
T3	69.67d	81.00c	19.33a
T4	93.67a	99.33a	1.00c
T5	84.33abc	97.00ab	3.67bc
T6	82.00abcd	92.67ab	7.67bc
T7	85.00abc	89.33abc	11.00abc
T8	78.67bcd	89.33abc	11.00abc
T9	72.00cd	88.00bc	13.00ab

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同。

表 3 不同处理对小麦株高的影响
Tab.3 Effects of different treatments on plant height of wheat cm

处理	第 12 天	第 18 天	第 24 天
CK	12.16a	15.91a	19.04b
T1	7.48c	12.70c	15.95c
T2	2.79e	6.28e	8.74e
T3	1.79f	5.00f	6.55f
T4	8.79b	15.05b	21.31a
T5	9.20b	14.51b	22.28a
T6	3.93d	8.52d	11.22d
T7	3.79d	8.53d	11.31d
T8	2.19ef	5.29f	7.27ef
T9	2.45ef	5.23f	8.15ef

2.3 不同处理对盐碱胁迫下小麦根长的影响

由表 4 可知,在 3 个测量时间,CK ~ T3 处理的小麦根长变化趋势与株高一致,呈现为 CK > T1 > T2 > T3,以 CK 的根长发育最好,显著优于 T1、T2、T3 处理,说明随着盐碱浓度的增加,

小麦根系生长受到的抑制作用呈加剧趋势。在相同盐碱条件下,添加 2 种腐植酸钾盐的处理一定程度上缓解了盐碱胁迫影响;在第 18 天和第 24 天时,轻度盐碱条件下,2 种腐植酸钾盐处理缓解盐碱胁迫效果显著;小麦根长表现为: T5 > T4 > T2,但 T5 和 T4 处理之间差异未达到显著水平。说明轻度盐碱条件下,腐植酸钾和棕黄腐植酸钾均能有效抵消盐碱对小麦根系的胁迫压力,显著促进小麦根系生长。

2.4 不同处理对盐碱胁迫下小麦植株鲜重的影响

由表 5 可知,随着盐碱浓度的增加,小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重均呈现显著下降趋势,且各处理间的总鲜重和茎叶鲜重差异均达到显著水平。在相同盐碱条件下,添加 2 种腐植酸钾盐处理的小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重均高于未添加腐植酸钾盐的处理。在轻度盐碱条件下,T4 和 T5 处理较 T1 处理小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重分别增加了 46.58%、41.53%、60.47%,60.24%、41.52%、95.34%,且差异均达到显著水平,说明 2 种腐植酸钾盐都可以有效缓解轻度盐碱

胁迫；在中度盐碱条件下，添加 2 种腐植酸钾盐处理的小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重虽有所增加，但仅 T7 处理小麦根鲜重较 T2 处理差异显著；在重度盐碱条件下，添加 2 种腐植酸钾盐处理（T8 和 T9）小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重虽有所增加，但差异均不显著，可能是高盐环境超出其调节阈值。总体来看，在相同盐碱条件下，棕黄腐植酸钾处理的小麦植株总鲜重、茎叶鲜重、根鲜重高于腐植酸钾处理，除轻度盐碱条件下根鲜重差异显著外，其他处理间差异均不显著。

表 4 不同处理对小麦根长的影响
Tab.4 Effects of different treatments on root length of wheat

处理	root length of wheat			cm
	第 12 天	第 18 天	第 24 天	
CK	15.01a	26.05a	29.49a	
T1	0.45bc	0.73c	2.55c	
T2	0.13bc	0.19c	0.24d	
T3	0.07c	0.11c	0.11d	
T4	0.76b	1.43b	3.47b	
T5	0.78bc	1.64b	4.04b	
T6	0.27bc	0.30c	0.33d	
T7	0.34bc	0.39c	0.45d	
T8	0.14bc	0.15c	0.16d	
T9	0.17bc	0.19c	0.22d	

表 5 不同处理对小麦植株鲜重的影响
Tab.5 Effects of different treatments on fresh weight of wheat plants

处理	fresh weight of wheat plants			g
	植株总鲜重	茎叶鲜重	根鲜重	
CK	0.351a	0.179a	0.172a	
T1	0.161c	0.118b	0.043d	
T2	0.106de	0.086cde	0.019fg	
T3	0.075f	0.065f	0.009g	
T4	0.236b	0.167a	0.069c	
T5	0.258b	0.174a	0.084b	
T6	0.116d	0.091cd	0.025ef	
T7	0.125d	0.094c	0.031e	
T8	0.080f	0.070ef	0.010g	
T9	0.090ef	0.075def	0.015fg	

2.5 不同处理对盐碱胁迫下小麦植株相对含水量的影响

植物组织含水量是衡量植株受胁迫程度的重要指标之一，对植物生长、气孔开闭、光合功能甚至最终作物产量都有着至关重要的直接影响。当植物组织含水量降低到一定程度时，将会产生不可逆的永久性伤害，严重影响植株的正常生理活动。由图 1 可知，随着盐碱浓度的升高，小麦植株相对含水量呈下降趋势。在重度盐碱条件下，T3 处理植株相对含水量最低，较 CK、T1、T2 处理分别降低了 15.75%、8.37%、1.75%，与 CK、T1 处理存在显著性差异，与 T2 差异不显著，说明随着盐碱浓度的升高，植物受盐碱胁迫加重，导致其相对含水量降低。在中度盐碱条件下与重度盐碱条件下差异不大。在相同盐碱条件下，3 组处理小麦植株相对含水量均表现为：棕黄腐植酸钾处理 > 腐植酸钾处理 > 未添加腐植酸钾盐处理，但各处理组内处理间差异不显著，说明腐植酸钾和棕黄腐植酸钾在调节盐碱胁迫下小麦植株相对含水量方面的作用效果相近。

2.6 不同处理对盐碱胁迫下小麦茎叶 MDA 含量的影响

植物在受到逆境胁迫时，体内活性氧平衡被打破，引发膜脂过氧化反应，进而造成细胞膜系统的损伤。MDA 是植物细胞膜脂过氧化的主要终产物，其含量越高，说明植物细胞膜脂过氧化程度越严重，细胞膜受到的损伤越大。由图 2 可知，随着盐碱处理浓度的升高，小麦茎叶中 MDA 的含量呈现上升趋势。在重度盐碱条件下，T3 处理小麦茎叶中 MDA 含量达到最大，较 CK、T1、T2 处理分别显著增加了 797.29%、165.6%、30.71%，说明高浓度盐碱显著加剧了细胞膜脂过氧化进程，导致小麦细胞膜严重受损。在轻度和中度盐碱条件下，小麦茎叶 MDA 含量表现为：棕黄腐植酸钾处理 < 腐植酸钾处理 < 未添加腐植酸钾盐处理，且各处理之间差异显著，说明添加棕黄腐植酸钾处理对细胞膜的保护作用更为突出。而在重度盐碱条件下，小麦茎叶 MDA 含量则表现为：腐植酸钾处理 < 棕黄腐植酸钾处理 < 未添加腐植酸钾盐处理，且 3 个处理



之间差异显著,说明腐植酸钾处理在极端盐碱条件下对细胞膜的保护作用更具优势。

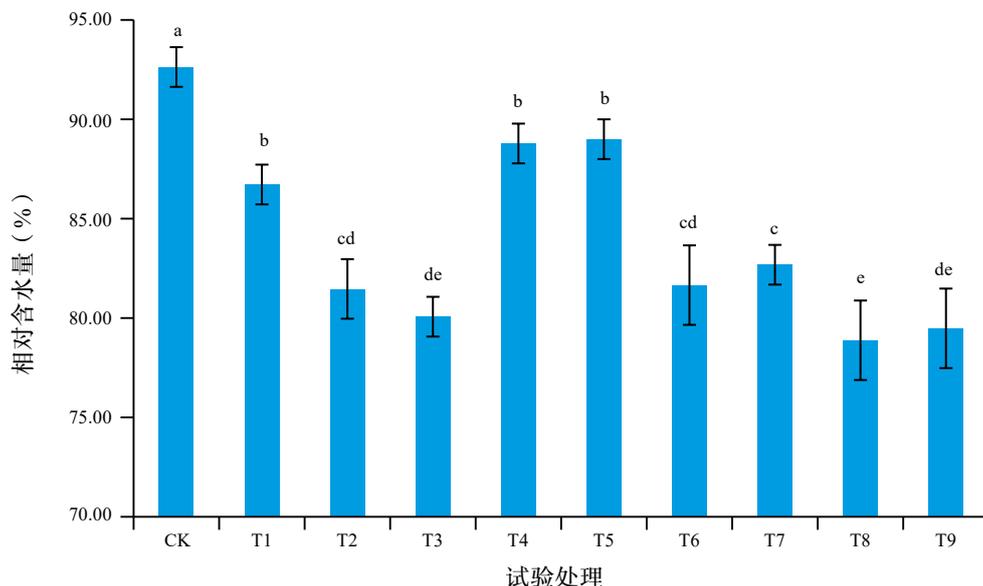


图1 不同处理对小麦植株相对含水量的影响

Fig.1 Effects of different treatments on relative water content of wheat plants

注: 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

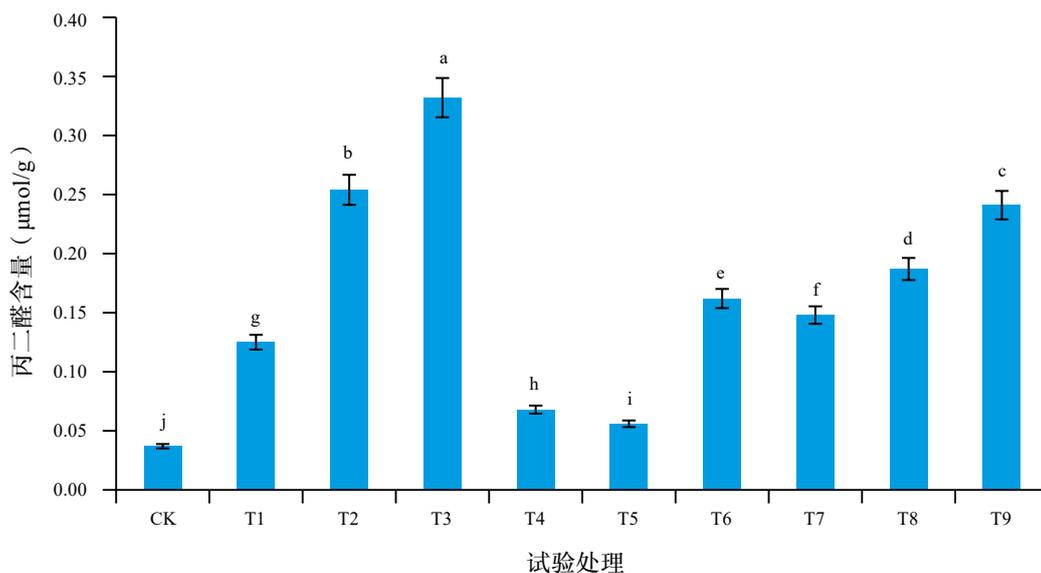


图2 不同处理对小麦茎叶MDA含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on MDA content of wheat stems and leaves

3 结论与讨论

本研究表明,盐碱胁迫对小麦种子萌发和生长发育都有所抑制,盐碱浓度越高,抑制程度越强。这与郭伟^[13]、盛彦敏等^[14]研究结果一致。有

研究表明,通过添加腐植酸可有效改善胁迫效应,如包秀英^[15]研究发现300 kg/hm²腐植酸钾能增强作物控盐能力,郭伟^[13]研究发现腐植酸浸种强化了小麦的耐盐机制;与本研究中添加腐植酸钾盐处理对缓解盐碱胁迫下小麦种子萌发、幼苗生长具

有显著作用的结果一致。本研究还发现,小麦茎叶的MDA含量随着盐碱浓度的升高而升高,说明膜系统的结构和功能损伤也越来越严重,而相同程度盐碱条件下添加腐植酸钾盐的处理可以明显降低小麦茎叶的MDA含量,缓解了膜系统的结构和功能损伤。张子怡等^[16]研究发现,在150 mmol/L NaCl胁迫下,腐植酸可以降低小麦叶片MDA含量,与本研究结果一致。

本研究在小麦幼苗生长阶段,与相同盐碱条件处理相比,腐植酸钾和棕黄腐植酸钾均能促进植株生长;其中,添加棕黄腐植酸钾处理效果好于腐植酸钾处理,但两者之间差异不显著。在轻度和中度盐碱条件下,添加棕黄腐植酸钾处理对细胞膜的保护作用更突出,能有效减轻盐碱胁迫对细胞膜脂过氧化损伤;而在重度盐碱条件下,腐植酸钾处理则表现出更强的细胞膜保护能力。这一差异可能归因于两者成分特性:棕黄腐植酸钾中的高含量黄腐酸在中低浓度盐碱环境下,更易通过螯合离子、调节渗透平衡发挥作用;腐植酸钾则在高浓度盐碱下,凭借其较强的离子交换与吸附性能,维持细胞膜稳定性。

综上,根据本试验研究结果,在盐碱地种植小麦实践中,推荐播种前施用腐植酸钾或棕黄腐植酸钾,两者均有利于提高种子发芽率、促进根系和地上部的生长发育,其中棕黄腐植酸钾效果更佳,或可作为盐碱地小麦种植的优先选择。鉴于本研究采用水培试验,与实际土壤环境存在差异,后续需要以盐碱土壤为对象,进一步探究腐植酸钾盐在改善土壤结构、调节pH、提升微生物活性等方面的作用机制,同时验证其对小麦生长及产量的实际效应,为盐碱地生态修复与农业可持续发展提供更具实践价值的理论依据与技术支持。

参考文献

- [1] 陆宝金, 田生吕, 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.
- [2] 王佳丽, 黄贤金, 钟太洋, 等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673 ~ 684.
- [3] 穆永光. 盐碱胁迫对紫穗槐生长和生理的影响[D]. 东北师范大学博士学位论文, 2016.
- [4] 金梦野, 李小华, 李昉泽, 等. 盐碱复合胁迫对水稻种子发芽的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 566 ~ 574.
- [5] 张会慧, 张秀丽, 李鑫, 等. NaCl和Na₂CO₃胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 625 ~ 631.
- [6] 黄占斌, 张博伦, 田原宇, 等. 腐植酸在土壤改良中的研究与应用[J]. 腐植酸, 2017(5): 1 ~ 4, 25.
- [7] 张敏, 胡兆平, 李新柱, 等. 腐植酸肥料的研究进展及前景展望[J]. 磷肥与复肥, 2014, 29(1): 38 ~ 40.
- [8] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 天然煤炭腐植酸对盐碱土改良效果的研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9): 57 ~ 61.
- [9] 高亮, 潘修强, 孟宪东, 等. 活化腐植酸改良苏打盐碱地及对水稻生长发育的影响[J]. 腐植酸, 2023(2): 34 ~ 37.
- [10] 王相平, 杨劲松, 张胜江, 等. 改良剂施用对干旱盐碱区棉花生长及土壤性质的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(4): 757 ~ 762.
- [11] 郭伟, 王庆祥. 腐植酸浸种对盐碱胁迫下小麦幼苗抗氧化系统的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2539 ~ 2545.
- [12] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994(3): 207 ~ 210.
- [13] 郭伟. 盐碱胁迫对小麦生长的影响及腐植酸调控效应[D]. 沈阳农业大学博士学位论文, 2011.
- [14] 盛彦敏, 石德成, 尚洪兴, 等. 不同程度中碱性复合盐对向日葵生长的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1999(4): 65 ~ 69.
- [15] 包秀英. 腐植酸肥对黄河三角洲小麦玉米生长和土壤肥力的影响[D]. 山东农业大学硕士学位论文, 2023.
- [16] 张子怡, 王学虎, 苑莹, 等. 不同工艺制备的腐植酸对NaCl胁迫下小麦生长的影响[J]. 腐植酸, 2024(6): 65 ~ 70.