

董向向, 缪百灵, 王燕娜, 等. 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(13): 197-203.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.13.025

外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生长的影响

董向向¹, 缪百灵¹, 王燕娜¹, 陈娟娟¹, 岳建华¹, 朱庆松¹, 龚守富¹, 周厚成², 李亮杰¹

(1. 信阳农林学院园艺学院, 河南信阳 464000; 2. 中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009)

摘要:为明确外源施加不同浓度甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生长状况的缓解效果,并筛选出适宜的甜菜碱浓度,为缓解盐碱胁迫对草莓的伤害提供理论依据。以天仙醉草莓为试材,采用盆栽试验,设置对照组(CK)、盐碱胁迫组(75 mmol/L 混合盐碱溶液,T1)以及盐碱胁迫+不同浓度甜菜碱处理组(10、20、40、60 mmol/L GB,T2~T5),通过测定盐碱胁迫处理后1、5、10 d 草莓的相关生长和生理指标,综合分析甜菜碱对草莓盐碱胁迫的缓解效果。结果表明,10、20、40 mmol/L 外源甜菜碱可以促进盐碱胁迫下草莓的株高、茎粗、叶面积、根长和根体积的生长,且随着甜菜碱浓度的增加表现出先增强后减弱的趋势,其中20 mmol/L 甜菜碱的处理效果最显著。此外,外源甜菜碱能够通过提高草莓叶绿素含量、脯氨酸含量、根系活力、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性,同时降低丙二醛含量和叶片相对电导率,来增强草莓对盐碱胁迫的抵抗能力。对不同浓度的外源甜菜碱处理进行综合评价,缓解效果由高到低依次为20 mmol/L > 10 mmol/L > 40 mmol/L > 60 mmol/L,表明20 mmol/L 甜菜碱对天仙醉草莓盐碱胁迫的缓解效果最佳。

关键词:草莓;甜菜碱;盐碱胁迫;生长;生理指标

中图分类号:S668.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)13-0197-06

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)属于蔷薇科草莓属多年生草本植物,因其具有周期短、经济效益高、适合设施栽培等优势,已成为设施农业与休闲观光农业的首选栽培作物^[1-2]。随着全球工业化的快速发展,土壤盐碱化问题日益严峻,而草莓不耐盐碱,其生长发育极易受到土壤盐碱化的影响^[3]。尤其在设施栽培模式下,由于地质条件受限,加之长期灌溉和过量施肥等因素,导致土壤次生盐碱化日益严重^[4]。盐碱胁迫对草莓的伤害主要通过破坏其生理机能实现。首先,盐碱胁迫打破了细胞内存在的离子稳态平衡,引起离子毒害和代谢紊乱;其次,盐碱胁迫还引发草莓体内大量活性

氧积累,破坏氧化还原系统,抑制多余自由基的清除,从而损伤细胞膜结构,增大膜透性,导致渗透压失衡^[5-7]。这些损害使草莓吸水受阻,体内水分外渗,严重影响其生长发育,对草莓产业的可持续发展构成威胁。近年来,如何减轻或消除土壤盐碱化对草莓生产的负面影响,实现在盐碱化条件下的草莓种植,已成为研究焦点^[8]。

甜菜碱(glycine betaine,GB)是大多数植物在遭受不良环境胁迫时产生的一种重要渗透调节物质,具有调节细胞渗透压,保持细胞膜、酶及蛋白质结构与功能完整性等生理作用,能有效抵抗逆境胁迫的危害而促使植物正常生长^[9]。相关研究报道,0.05%和0.10%甜菜碱浸种可显著促进盐胁迫下小麦的生长^[10];3 g/L甜菜碱可缓解盐胁迫对马鞭草种子萌发和幼苗生长的抑制作用^[11];外源甜菜碱可以通过调节细胞渗透压和抗氧化酶活性来缓解盐胁迫对大麦种子萌发的效应^[12];叶面喷施甜菜碱能有效缓解盐胁迫下龙胆^[13]、桔梗^[14]、千屈菜^[15]幼苗的生长。此外,10 mmol/L甜菜碱浸种可以增强水稻的耐盐碱能力^[16]。然而,甜菜碱在草莓中的应用仍鲜见报道。

本研究对天仙醉草莓叶片喷施不同浓度的外源甜菜碱,再用混合盐碱处理草莓植株,探索甜菜

收稿日期:2024-12-17

基金项目:农业农村部园艺作物(果树)基因资源评价利用重点实验室开放课题(编号:NYBY-202501-03);河南省高等学校重点科研项目计划(编号:24B210011);信阳农林学院园艺植物资源与利用科技创新团队项目(编号:XNKJTD-012)。

作者简介:董向向(1990—),男,河南商丘人,博士,讲师,主要从事草莓遗传育种和分子生物学研究。E-mail:dong_xiangx@163.com。
通信作者:周厚成,博士,研究员,研究方向为草莓遗传育种和分子生物学,E-mail:zhouhoucheng@caas.cn;李亮杰,硕士,讲师,研究方向为草莓遗传育种和分子生物学,E-mail:liliangjie10000@126.com。

碱对盐碱胁迫下草莓生长的缓解效果,旨在为提升草莓耐盐碱胁迫提供理论基础,也为推动我国盐碱化土壤区域及设施栽培条件下的草莓产业健康发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用天仙醉草莓作为试验材料,取自信阳农林学院草莓种质资源圃。甜菜碱购自上海源叶生物科技有限公司。

1.2 试验方法

试验于 2024 年 3—5 月在信阳农林学院智慧园艺试验基地进行。选取生长健壮、长势一致(4~6 张叶)的盆栽天仙醉草莓植株,叶面喷施不同浓度的甜菜碱溶液(处理浓度见表 1),每隔 2 d 喷施 1 次,共 4 次。末次处理后的第 2 天,采用 75 mmol/L 混合盐碱溶液($\text{NaCl} : \text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaHCO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3$ 摩尔比为 1 : 9 : 9 : 1, pH 值为 7.0~8.96)进行灌根处理,每隔 3 d 浇灌 1 次,连续处理 3 次。在盐碱胁迫结束后的 1、5、10 d 分别取样,测定相关生长指标与生理指标,每个处理设 3 次生物学重复。

表 1 试验设计

处理	试剂种类与浓度
CK	清水
T1	75 mmol/L 盐碱溶液
T2	75 mmol/L 盐碱溶液 + 10 mmol/L GB
T3	75 mmol/L 盐碱溶液 + 20 mmol/L GB
T4	75 mmol/L 盐碱溶液 + 40 mmol/L GB
T5	75 mmol/L 盐碱溶液 + 60 mmol/L GB

1.3 项目测定

草莓株高、茎粗、叶面积、根长和根体积的测定参考李亮杰等的方法^[17]。使用电导仪测量相对电导率;叶绿素含量采用丙酮-乙醇混合液萃取法^[18]测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法^[19]测定;脯氨酸(Pro)含量采用酸性茚三酮显色法^[19]测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光还原法^[20]测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法^[21]测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用高锰酸钾滴定法^[22]测定;根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法^[23]测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 绘制图表,用 SPSS 27 软件进行数据分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显

著性比较。

2 结果与分析

2.1 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生长指标的影响

由表 2 可知,盐碱胁迫后,草莓株高、茎粗、叶面积、根长和根体积均显著低于 CK。在甜菜碱处理下,随着浓度的增加,草莓株高、茎粗、叶面积、根长和根体积均呈现先升高后降低的趋势。T2、T3、T4 处理的株高在处理 1、5、10 d 均显著高于 T1 处理,其中 T3 处理最显著,分别比 T1 增加 14.08%、11.26%、9.96%;T5 处理的株高在处理 1、5 d 与 T1 处理间无显著差异,在 10 d 显著低于 T1 处理。T2、T3 处理的茎粗在处理 1、5、10 d 均显著高于 T1 处理,其中 T3 处理最显著,分别比 T1 处理增加 12.21%、13.90%、13.35%;T4 处理的茎粗在处理 1、5 d 均显著高于 T1、T5 处理的茎粗,与 T1 处理无显著差异。T2、T3、T4 处理的叶面积在处理 1、5、10 d 均显著高于 T1 处理,其中 T3 处理最显著,分别比 T1 处理增加 18.32%、20.19%、20.93%;T5 处理的叶面积在处理 1、5 d 与 T1 处理间无显著差异,而在处理后 10 d 显著高于 T1 处理。T2、T3、T4 处理的根长在处理 1、5、10 d 均显著高于 T1 处理,其中 T3 处理最显著,分别比 T1 处理增加 15.07%、15.07%、15.84%;T5 处理的根长在处理 1 d 显著低于 T1 处理,在处理 5、10 d 与 T1 处理间无显著差异。T2、T3 处理的根体积在处理 1、5、10 d 均显著高于 T1 处理,其中 T3 处理最显著,分别比 T1 处理增加 14.01%、17.33%、20.10%;T4 处理的根体积在处理 1 d 与 T1 处理无显著差异,在处理 5、10 d 均显著大于 T1 处理;T5 处理的根体积与 T1 处理相比,表现出先降低后升高的趋势。由此可见,适当浓度的甜菜碱可以缓解 75 mmol/L 混合盐碱胁迫对草莓生长的伤害,其中 20 mmol/L GB 处理浓度效果最为显著。

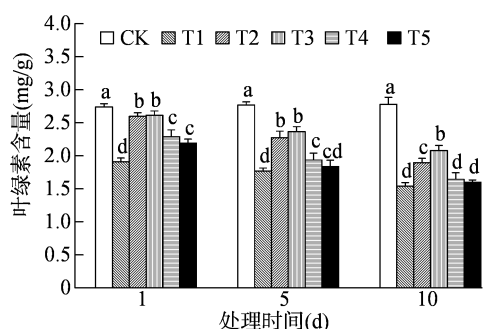
2.2 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生理特性的影响

2.2.1 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓叶绿素含量的影响 由图 1 可知,与 CK 相比,T1 处理后草莓的叶绿素含量呈逐渐下降的趋势,处理后 10 d 的下降幅度最大,为 44.65%。喷施不同浓度的甜菜碱均能提高叶片的叶绿素含量,其中 T2、T3 处理的上升幅度最大。在处理 1、5、10 d, T2 处理较 T1 处理

表 2 喷施不同浓度甜菜碱对盐碱胁迫下草莓生长情况的影响

处理时间	处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	叶面积 (cm ²)	根长 (cm)	根体积 (mL)
1 d	CK	18.70 ± 0.75a	10.77 ± 0.26a	44.25 ± 1.19a	35.17 ± 0.76a	17.47 ± 0.35a
	T1	14.70 ± 0.36d	7.78 ± 0.15c	34.06 ± 0.63e	26.27 ± 0.25d	12.63 ± 0.45d
	T2	16.07 ± 0.12bc	8.43 ± 0.10b	37.83 ± 0.97c	28.40 ± 0.44c	13.40 ± 0.40c
	T3	16.77 ± 0.21b	8.73 ± 0.43b	40.30 ± 0.30b	30.23 ± 0.35b	14.40 ± 0.36b
	T4	15.87 ± 0.40c	8.26 ± 0.35b	36.15 ± 0.49d	27.83 ± 0.29c	12.80 ± 0.30cd
	T5	14.00 ± 0.36d	7.55 ± 0.18c	33.99 ± 0.77e	25.27 ± 0.25e	11.30 ± 0.26e
5 d	CK	19.53 ± 0.49a	11.13 ± 0.21a	45.72 ± 0.57a	36.70 ± 0.46a	18.17 ± 0.25a
	T1	15.37 ± 0.38c	8.13 ± 0.22d	34.87 ± 0.19e	27.00 ± 0.44d	13.27 ± 0.38e
	T2	16.60 ± 0.62b	9.02 ± 0.23b	39.86 ± 0.68c	29.23 ± 0.57c	14.93 ± 0.12c
	T3	17.10 ± 0.20b	9.26 ± 0.29b	41.91 ± 0.70b	31.07 ± 0.49b	15.57 ± 0.38b
	T4	16.43 ± 0.21b	8.76 ± 0.26bc	37.19 ± 0.62d	28.77 ± 0.21c	14.10 ± 0.17d
	T5	14.73 ± 0.32c	8.40 ± 0.40cd	34.57 ± 0.41e	26.50 ± 0.30d	13.33 ± 0.31e
10 d	CK	21.67 ± 0.31a	12.25 ± 0.33a	47.25 ± 0.46a	37.43 ± 0.40a	18.70 ± 0.26a
	T1	16.07 ± 0.51d	8.54 ± 0.03d	35.16 ± 0.89f	27.77 ± 0.31e	13.43 ± 0.40e
	T2	17.03 ± 0.25c	9.17 ± 0.12c	40.97 ± 0.24c	30.63 ± 0.55c	15.70 ± 0.36bc
	T3	17.67 ± 0.29b	9.68 ± 0.27b	42.52 ± 0.53b	32.17 ± 0.35b	16.13 ± 0.47b
	T4	16.87 ± 0.40c	8.90 ± 0.19cd	39.66 ± 0.60d	29.87 ± 0.21d	15.40 ± 0.26c
	T5	15.43 ± 0.25e	8.88 ± 0.17cd	36.97 ± 0.51e	28.33 ± 0.55e	14.67 ± 0.32d

注:不同小写字母表示不同处理间存在显著差异($P < 0.05$)。



柱上不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同

图1 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓叶绿素含量的影响

分别提高 36.08%、28.62%、23.24%，T3 处理较 T1 处理分别提高 36.92%、33.83%、35.24%。在处理 10 d，T3 处理的叶绿素含量显著高于其他处理，T4、T5 处理的叶绿素含量与 T1 处理相比无显著差异。上述结果表明，外施甜菜碱可以缓解盐碱胁迫对草莓叶片叶绿素含量的影响，以 T3 (20 mmol/L GB) 处理的效果最佳，T2 (10 mmol/L GB) 表现次之。

2.2.2 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓丙二醛含量和相对电导率的影响 MDA 是膜脂氧化的产物，其含量的高低代表着细胞损坏的程度，细胞损坏程度越大，相对电导率就越大。由图 2 可知，T1 处理下草莓 MDA 含量相较 CK 均显著上升。与 T1 处理相比，T2、T3、T4、T5 处理的 MDA 含量均有不同程度

的降低，且与 T1 处理差异显著。其中，T3 处理的 MDA 含量最低，在处理 1、5、10 d 比 T1 处理分别降低 21.33%、22.20%、18.20%。由图 3 可知，草莓遭受盐碱胁迫后，叶片的相对电导率较 CK 显著增加。T2、T3、T4、T5 处理与 T1 处理相比，叶片相对电导率均显著降低，其中 T3 处理的相对电导率最低，较 T1 处理分别降低 23.27%、24.69%、24.19%。上述结果表明，甜菜碱通过维持细胞膜的完整性来降低盐碱胁迫对草莓细胞的破坏。

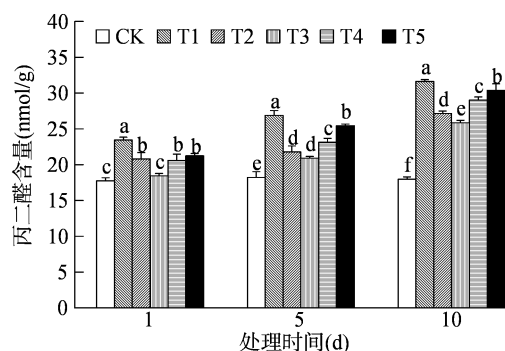


图2 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓丙二醛含量的影响

2.2.3 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓脯氨酸含量的影响 由图 4 可知，在不同浓度的甜菜碱处理下，草莓的 Pro 含量较 T1 处理均呈不同程度的上升趋势。其中，T3 处理的 Pro 含量最高，在处理 1、5、10 d 比 T1 处理分别增加 47.54%、51.66%、52.73%，

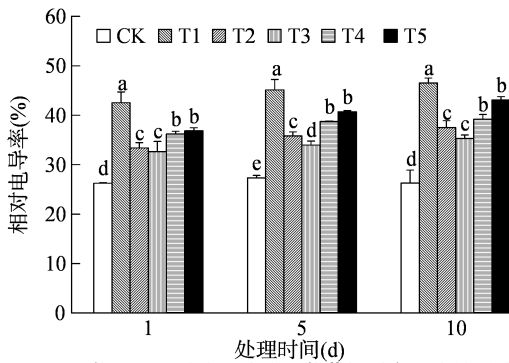


图3 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓相对电导率的影响

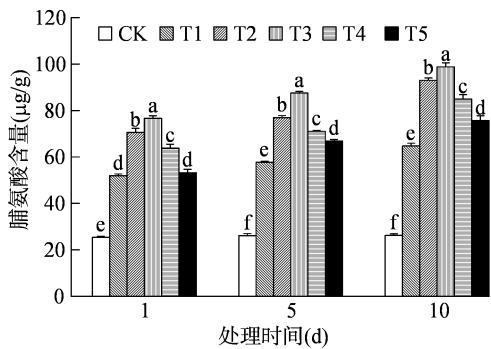


图4 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓脯氨酸含量的影响

且均存在显著差异。此外,在处理后 5、10 d, T3 处理与 T2、T4、T5 处理相比,也达到显著差异水平。这表明,甜菜碱通过调节脯氨酸含量来维持渗透平衡,以缓解盐碱胁迫对草莓的伤害。

2.2.4 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓抗氧化酶活性的影响 植物通过抗氧化酶系统清除体内多余的活性氧,避免或降低在逆境胁迫下的伤害。由图 5 至图 7 可知,随着甜菜碱处理浓度的升高,草莓体内 SOD、POD、CAT 活性呈现先增加后降低的趋势。由图 5 可知,草莓 SOD 活性在 T3 处理后 1、5、10 d 均达到最高值,较 T1 处理分别增加 34.99%、46.74%、58.53%,且在处理后 5、10 d 均显著高于其他处理。由图 6 可知,T2、T3、T4、T5 处理的 POD 活性均比 T1 处理高,在处理后 1 d 达到最高值,分别较 T1 处理增加 92.77%、111.22%、62.72% 和 36.21%。在处理后 5、10 d, T3 处理较 T1 处理分别增加 118.27%、116.51%, T2 处理较 T1 处理分别增加 98.86%、84.36%。由图 7 可知,盐碱胁迫显著提高草莓 CAT 活性, T2、T3、T4、T5 处理的 CAT 活性均显著高于 T1 处理,其中 T2、T3 处理的 CAT 活性最高。在处理后 1、5、10 d, T3 处理较 T1 处理分别增加 104.05%、102.86%、86.02%, T2 处理较 T1 处理分别增加 93.24%、75.71%、61.06%。上述结果

表明,喷施甜菜碱可以提高草莓的抗氧化酶活性,增加清除活性氧的能力,增强对盐碱胁迫的抗性,以 20 mmol/L 甜菜碱浓度的效果最佳,10 mmol/L 次之。

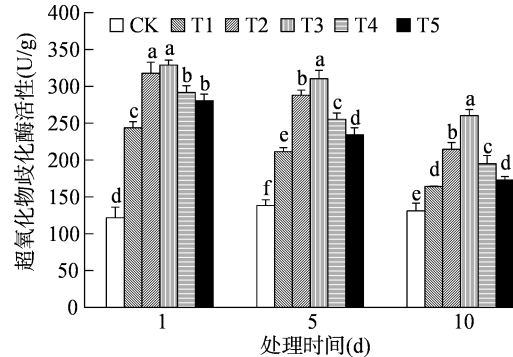


图5 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓 SOD 活性的影响

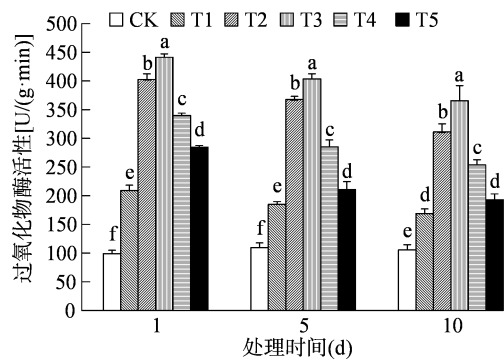


图6 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓 POD 活性的影响

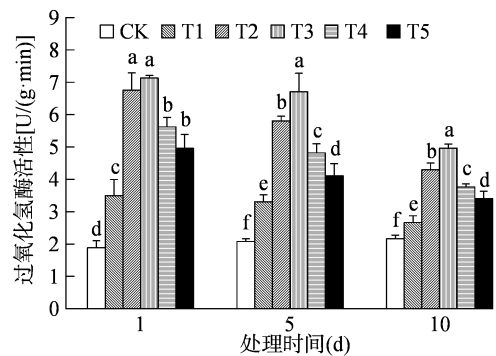


图7 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓 CAT 活性的影响

2.2.5 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓根系活力的影响 由图 8 可知,当草莓遭受盐碱胁迫后,根系活力会显著降低,与 CK 相比, T1 处理在 1、5、10 d 分别下降 37.58%、44.28%、51.87%。T2、T3、T4、T5 处理草莓根系活力均有不同程度的提高; T3 处理的增幅最大,在处理后 1、5、10 d 较 T1 处理分别增加 46.10%、62.26%、60.96%,但在处理后 1、10 d, T3 处理与 T2 处理间无显著差异。T5 处理的增幅最低,且与 T4 处理差异不显著。说明甜菜碱减轻了盐碱胁迫下草莓根系活力的下降程度。

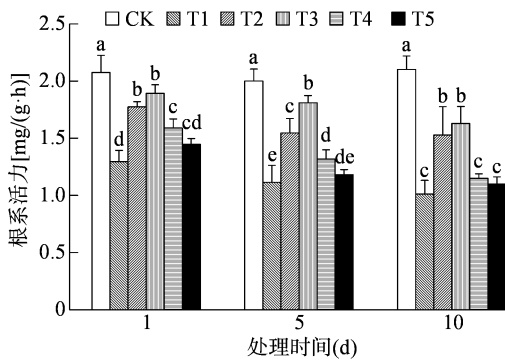


图8 甜菜碱处理对盐碱胁迫下草莓根系活力的影响

2.3 外源甜菜碱对盐碱胁迫下草莓缓解能力的综合评价

对各处理中草莓缓解相关的 13 个指标进行主成分分析,结果如表 3 所示。共有 2 个主成分初始特征值大于 1,其中第 1 主成分贡献率为 72.474%,第 2 主成分贡献率为 26.204%,两者的累计贡献率达 98.678%。因此,选取前 2 个主成分作为综合指标评价依据,基于成分矩阵,进一步计算各主成分的得分系数,并据此对各处理的得分情况进行分析和比较。得分情况如下:

表 3 主成分分析载荷矩阵

指标	载荷值	
	第 1 主成分	第 2 主成分
株高	0.987	0.024
茎粗	0.998	-0.013
叶面积	0.929	0.359
根长	0.985	0.168
根体积	0.957	0.239
叶绿素含量	0.981	0.141
丙二醛含量	-0.990	-0.142
脯氨酸含量	-0.713	0.696
相对电导率	-0.946	-0.300
SOD 活性	-0.396	0.906
POD 活性	-0.399	0.914
CAT 活性	-0.407	0.910
根系活力	0.935	0.308
特征值	9.422	3.407
方差贡献率(%)	72.474	26.204
累计贡献率(%)	72.474	98.678

$$y_1 = 0.322x_1 + 0.325x_2 + 0.303x_3 + 0.321x_4 + 0.312x_5 + 0.320x_6 - 0.323x_7 - 0.232x_8 - 0.308x_9 - 0.129x_{10} - 0.130x_{11} - 0.133x_{12} + 0.305x_{13};$$

$$y_2 = 0.013x_1 - 0.007x_2 + 0.194x_3 + 0.091x_4 + 0.129x_5 + 0.076x_6 - 0.077x_7 + 0.377x_8 - 0.163x_9 +$$

$$0.491x_{10} + 0.495x_{11} + 0.493x_{12} + 0.167x_{13}。$$

式中: y_1 、 y_2 分别代表第 1 主成分和第 2 主成分的得分; $x_1 \sim x_{13}$ 分别代表株高、茎粗、叶面积、根长、根体积、叶绿素含量、MDA 含量、Pro 含量、相对电导率、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、根系活力。各处理综合评价排名见表 4,综合评价由高到低依次为 CK > T3 > T2 > T4 > T5 > T1。

表 4 综合成分分析及排序

处理	y_1	y_2	综合主成分	排名
CK	5.99	-1.11	4.05	1
T1	-2.43	-2.15	-2.32	6
T2	-0.53	1.37	-0.02	3
T3	0.06	2.85	0.79	2
T4	-1.16	0.13	-0.81	4
T5	-1.93	-1.09	-1.69	5

3 讨论

草莓作为一种典型的浅根系作物,极易受到土壤盐碱化的影响。本研究中,天仙醉草莓在 75 mmol/L 混合盐碱胁迫下,其株高、茎粗、叶面积、根长、根体积等生长指标均呈现不同程度的降低,与熊超明等的研究结果^[5]一致。刘丽苹等的研究表明,施加外源甜菜碱可以明显缓解盐胁迫对大麦幼苗生长的抑制作用^[12]。本研究发现,叶面喷施 20 mmol/L 甜菜碱对盐碱胁迫下草莓相关生长表型的缓解作用最为明显,进一步验证了甜菜碱在调节植物抗逆性方面的功能。

叶片是植物光合作用的主要器官,叶绿素含量是反映植物光合作用强度的重要生理指标,叶片相对电导率反映细胞膜受损伤的程度。有研究报道,施用甜菜碱可以显著提高盐胁迫下杜梨幼苗的叶绿素含量^[24],10 mmol/L 甜菜碱浸种可以降低苏打盐碱胁迫下水稻的相对电导率^[16]。在本研究中受盐碱胁迫时天仙醉草莓的叶绿素含量显著降低,叶片的相对电导率显著增大。然而,在叶面喷施 10、20 mmol/L 甜菜碱后,其叶绿素含量均显著提高,相对电导率显著降低。根系作为植物执行吸收功能的主要器官,有研究表明,外施 5~10 mmol/L 甜菜碱可提高 NaCl 胁迫下甜瓜幼苗的根系活力^[25]。本研究也发现,叶面喷施 10、20 mmol/L 甜菜碱均显著提高盐碱胁迫下天仙醉草莓的根系活力。这些结果表明,外源甜菜碱可以通过维持叶片和根系的正常功能来降低盐碱胁迫的伤害,这也为草莓高产栽

培提供了参考依据。

逆境胁迫下,植物的生理代谢会发生改变,造成体内相关物质含量的变化。MDA 是膜脂氧化的最终分解产物,其含量可以反映膜脂过氧化速率和强度;Pro 是植物体内主要的渗透调节物质之一,在维持细胞的渗透平衡中发挥关键作用。韩爱平等的研究表明,甜菜碱浸种可以降低盐碱胁迫下水稻的 MDA 含量^[16]。本研究结果表明,20 mmol/L 外源甜菜碱能显著降低盐碱胁迫下天仙醉草莓的 MDA 含量。有研究指出,棉花幼苗可以通过增加脯氨酸含量来抵御 NaCl 胁迫^[26]。本研究也发现,20 mmol/L 甜菜碱能显著提高盐碱胁迫下草莓的 Pro 含量,且与其他处理组相比均存在显著差异,这与徐婷关于叶面喷施 5 mmol/L 甜菜碱可有效增加盐胁迫下薄皮甜瓜体内 Pro 含量的研究^[27]一致。这些结果说明,甜菜碱通过增加渗透调节物质含量、降低膜脂过氧化作用,来改善盐碱胁迫下草莓的生长状况。

盐碱胁迫下,植物体内会产生大量抗氧化酶来清除细胞内的超氧阴离子自由基,避免植物因活性氧过多积累产生毒害作用^[28-29]。在甜菜碱处理下,天仙醉草莓中 SOD、POD、CAT 活性均有不同程度的提高,其中 20 mmol/L 甜菜碱的处理效果最为显著,这与 Min 等对甘蓝的研究结果^[30]一致,表明外源甜菜碱可以通过提高草莓抗氧化酶活性来缓解盐碱胁迫的伤害。

4 结论

本研究通过叶面喷施不同浓度的甜菜碱发现,甜菜碱可以缓解混合盐碱对天仙醉草莓生长的抑制作用,提高草莓的株高、茎粗、叶面积、根长、根体积、叶绿素含量、Pro 含量、根系活力以及 SOD、POD、CAT 活性,同时降低 MDA 含量和相对电导率。通过对各处理的综合评价分析,表明 20 mmol/L 甜菜碱的缓解效果最佳。

参考文献:

- [1] 王卫成,汤玲,潘艳花,等. 甘肃草莓种业现状及发展对策[J]. 寒旱农业科学,2023,2(11):1009-1012.
- [2] 朱丽,殷敏,任荣荣,等. 3种微生物菌剂对基质栽培草莓生长发育、果实产量品质和病害的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):155-160.
- [3] 李明,颜嘉丽,石铭福,等. 外源 2,4-表油菜素内酯对碱性盐胁迫下马铃薯根系生长、生理特性及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,40(3):394-402.
- [4] 于田利,潘文杰,郎文培,等. 设施栽培土壤质量问题危害及解决对策[J]. 农业与技术,2018,38(6):35.
- [5] 熊超明,杨婉莹,王文晓,等. 不同盐碱胁迫对草莓生长与生理的影响[J]. 北方园艺,2023(11):38-44.
- [6] 张伟,陈毓蔚,牛亚菲,等. 红花草莓‘托斯卡纳’盐胁迫下的生长发育及生理响应[J]. 北方园艺,2023(13):28-35.
- [7] Malekzadeh M R, Roosta H R, Kalaji H M. GO nanoparticles mitigate the negative effects of salt and alkalinity stress by enhancing gas exchange and photosynthetic efficiency of strawberry plants [J]. Scientific Reports,2023,13(1):8457.
- [8] 马媛媛,孙军利,赵宝龙,等. 外源亚精胺对草莓 NaCl 胁迫的缓解效应[J]. 江苏农业科学,2023,51(4):139-145.
- [9] 杨志杰,陈艳,戴陶宇,等. 外源甜菜碱对高温胁迫下生菜种子萌发的影响[J]. 种子,2024,43(5):99-104.
- [10] 章可奕,李文鑫,杜锦,等. 甜菜碱对盐胁迫下小麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 天津农学院学报,2024,31(4):8-11.
- [11] 崔行,华智锐. 甜菜碱对盐胁迫下马鞭草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江西农业学报,2023,35(6):88-93,100.
- [12] 刘丽苹,汪军成,司二静,等. 外源甜菜碱和脯氨酸对盐胁迫下大麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(6):766-774.
- [13] 华智锐,崔行,李小玲. 外源甜菜碱对盐胁迫下龙胆幼苗生理特性的影响[J]. 江西农业学报,2022,34(5):81-87.
- [14] 华智锐,刘芳,李小玲. 外源甜菜碱对盐胁迫下桔梗幼苗生理特性的影响[J]. 江西农业学报,2022,34(6):67-72.
- [15] 华智锐. 外源甜菜碱对盐胁迫下千屈菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(9):119-126.
- [16] 韩爱平,张佰毅,李博文,等. 甜菜碱浸种对苏打盐碱胁迫下水稻种子萌发和生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):79-85.
- [17] 李亮杰,侯绪明,陈娟娟,等. 不同草莓品种扦插苗根系性状差异分析[J]. 安徽农学通报,2022,28(7):50-51,57.
- [18] 兰文斐,丁红,徐扬,等. 盐胁迫时期对花生农艺性状及产量的影响[J]. 花生学报,2024,53(3):28-33.
- [19] 杨旭珍,颜建明,张婧,等. 叶面喷施 Fe₂O₃ NPs 对娃娃菜 NaCl 胁迫的缓解效应[J]. 江西农业大学学报,2024,46(4):856-866.
- [20] 虎淘淘,王玲玲,张黎,等. 外源赤霉素对盐碱胁迫下园林小菊生长、生理及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(18):169-176.
- [21] 马媛媛,王智,曹金萍,等. 2,4-表油菜素内酯对盐碱胁迫下芸豆幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2024,44(8):1181-1189.
- [22] 王成龙,王子然,杨婧怡,等. 硝普钠浸种对复合盐碱胁迫下红芸豆种子萌发和内源激素含量的影响[J]. 核农学报,2024,38(7):1398-1407.
- [23] 刘松虎,孙浩爽,张玉雪,等. 外源 EBR 对 NaCl 胁迫下西瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2024(10):39-47.
- [24] 刘霞,曹涛,姚新刚,等. 外源甜菜碱对盐胁迫杜梨种子的

王晓龙,牛晓磊. 灰黄青霉 CF3 对盐胁迫下樱桃番茄生长及生理生化的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(13):203-209.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.13.026

灰黄青霉 CF3 对盐胁迫下樱桃番茄生长及生理生化的影响

王晓龙¹,牛晓磊²

(1. 海南大学热带农林学院,海南海口 570228; 2. 海南大学三亚南繁研究院,海南三亚 572024)

摘要:通过盆栽试验,研究灰黄青霉(*Penicillium griseofulvum*) CF3 对 200 mmol/L NaCl 处理下樱桃番茄植株生物量、叶绿素含量、光合参数以及抗氧化酶活性的影响,探究灰黄青霉 CF3 菌剂对盐胁迫下樱桃番茄生长发育及生理生化的缓解效应。结果表明,在盐胁迫下施加灰黄青霉 CF3 后,樱桃番茄幼苗的株高、根长、地上部干鲜重等生物量显著高于不添加 CF3 的植株。与单独盐处理相比,盐胁迫下施加灰黄青霉 CF3 后,樱桃番茄的叶绿素 a 含量增加了 25.88%,叶绿素 b 含量增加了 21.98%,叶绿素总含量增加了 24.73%,可溶性糖含量提高了 12.82%、可溶性蛋白含量提高了 11.34%、脯氨酸含量提高了 17.03%,MDA 含量降低了 23.33%。与单独盐处理相比,盐胁迫下施加灰黄青霉 CF3 后,盐胁迫下的叶片 H₂O₂ 含量降低了 8.76%,O₂⁻ 含量降低了 15.25%。此外,盐胁迫下施加灰黄青霉 CF3 也能显著提高樱桃番茄幼苗中过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化相关酶的活性,其中 POD 活性上升了 18.21%,SOD 活性上升了 50.20%,CAT 活性上升了 20.57%。综上所述,施用灰黄青霉 CF3 可缓解盐胁迫对樱桃番茄生长的抑制作用,增强樱桃番茄的光合作用,还提高其抗氧化能力,从而缓解盐胁迫对樱桃番茄造成的氧化损伤,具有改善盐胁迫对植物生长抑制的能力,有较好的应用潜力。

关键词:灰黄青霉;樱桃番茄;促生作用;盐胁迫;光合作用;抗氧化酶

中图分类号:S641.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)13-0203-07

樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) 属于茄科番茄属,常见于热带、亚热带地区,是以成熟多汁鲜果为产品的一年生草本植物^[1-2]。樱桃番茄在我国最早记载出现于 17 世纪,经过历代的培育和改良,樱桃番茄如今已在广西、山

东、海南、广东等地广泛种植,成为了我国重要的农作物之一。樱桃番茄营养价值高,富含多种矿物质、微量元素硒以及多种维生素^[3-4]。其中维生素 C 含量达西瓜的 10 倍^[5]。

土壤盐渍化是一种主要的非生物胁迫,全球的盐碱地面积达 9.54 亿 hm²,约占世界土地总面积的 7%。中国约有盐渍化土壤 0.1 亿 hm²,且约有 20% 的农业用地盐渍化程度不断加重,势必会制约农林业的健康稳定以及全球环境的可持续发展^[6-7]。盐胁迫会对植物产生包括土壤养分对植物的渗透、毒害以及氧化胁迫等很多不利的影 响,导致植物的生长受到抑制以及代谢紊乱,一旦含盐量超过植物所

收稿日期:2024-06-28

基金项目:海南省高等学校教育教学改革研究项目(编号: Hnjg2019ZD-2)。

作者简介:王晓龙(1998—),女,内蒙古巴彦淖尔人,硕士研究生,主要从事热带作物与微生物互作研究。E-mail: wangxl981021@163.com。

通信作者:牛晓磊,博士,副教授,主要从事热带作物与微生物互作研究。E-mail: ninterxl@hainanu.edu.cn。

萌发及生理特性研究[J]. 落叶果树,2024,56(5):37-40.

[25] 蒋 艳,古丽孜叶·哈力克,秦 倩,等. 根施甜菜碱对甜瓜幼苗在 NaCl 胁迫下的缓解效应[J]. 中国农业大学学报,2024,29(3):99-112.

[26] 肖陈耀东,刘 涛,刘仕志,等. 外源 H₂O₂ 对盐胁迫下棉花幼苗生理特性的影响[J]. 华北农学报,2024,39(5):93-101.

[27] 徐 婷. 不同浓度甜菜碱对盐胁迫下薄皮甜瓜幼苗抗氧化系统的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(14):48-49,53.

[28] 胡莹冰,何金松,金晓玲,等. 中性盐、碱性盐及复合盐碱胁迫对

华中冬青幼苗生长和生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报,2024,52(12):32-39,66.

[29] Zhang Z, Zhang H J, Yao T T, et al. The homeostasis of ions and reactive oxygen species in root and shoot play crucial roles in the tolerance of alfalfa to salt alkali stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2024,216:109175.

[30] Min K, Cho Y, Kim E, et al. Exogenous glycine betaine application improves freezing tolerance of cabbage (*Brassica oleracea* L.) leaves [J]. Plants,2021,10(12):2821.