

孙绍营,王健鸿,王静文,等. 盐碱胁迫对细叶百合种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(24):106-112.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.24.015

盐碱胁迫对细叶百合种子萌发和幼苗生长的影响

孙绍营,王健鸿,王静文,谭萌萌,张彦妮

(东北林业大学园林学院,黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:以细叶百合种子和幼苗为试验材料,采用 30、60、90、120、150、200 mmol/L 的 NaCl、NaHCO₃ 溶液对种子和幼苗进行胁迫处理,同时用 5、10、15、20、30 mmol/L Na₂CO₃ 溶液处理种子,10、20、30、40、60 mmol/L Na₂CO₃ 溶液处理幼苗,研究不同盐碱胁迫对细叶百合种子萌发特性和幼苗生长、生理指标的影响。结果表明,NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 对细叶百合种子的半致死浓度分别在 60、30、20 mmol/L 左右。随着盐溶液浓度升高,细叶百合种子发芽率、发芽势、发芽指数逐渐降低,相对盐害率持续增加;幼苗中叶绿素含量降低,MDA 含量增加,SOD 活性先增加后降低,在 NaCl 溶液浓度为 60 mmol/L、NaHCO₃ 溶液浓度为 60 mmol/L、Na₂CO₃ 溶液浓度为 10 mmol/L 时达到最大值;高浓度的 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液对细叶百合幼苗根系伸长和鳞茎膨大具有明显的抑制作用,但低浓度时影响较小。3 种盐溶液对细叶百合种子萌发和幼苗生长的抑制作用强度表现为 Na₂CO₃ > NaHCO₃ > NaCl,在 NaCl 溶液浓度为 60 mmol/L、NaHCO₃ 溶液浓度为 30 mmol/L、Na₂CO₃ 溶液浓度为 20 mmol/L 处理下,种子的发芽率分别降为对照的 57.83%、53.17%、51.79%;在 NaCl 溶液浓度为 150 mmol/L、NaHCO₃ 溶液浓度为 120 mmol/L、Na₂CO₃ 溶液浓度为 60 mmol/L 处理下,幼苗的根长分别降为对照的 47.23%、46.74%、58.63%;细叶百合种子和幼苗对 3 种盐溶液的耐受阈值在这些浓度左右。细叶百合种子和幼苗均具有一定的耐盐碱能力,但随盐碱浓度的增加,种子的萌发受到抑制,幼苗生长不良。

关键词:细叶百合;盐碱胁迫;种子萌发;幼苗生长;耐盐碱能力;生理指标

中图分类号:S682.2⁺65.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)24-0106-06

盐碱胁迫是植物面临的最主要的非生物胁迫之一,对植物生长发育有着严重影响,在种子萌发和幼苗生长阶段,植物对盐碱胁迫更加敏感。目前,世界上盐碱地的面积已经超过 10 亿 hm²^[1],土壤盐碱化严重制约了园艺作物种植生产^[2-3];同时,由于城市绿地土壤条件恶劣,观赏植物的生长和景观效果也面临着威胁,发掘和使用抗逆性更强的野生花卉和乡土植物成为城市园林绿化的趋势^[4]。细叶百合(*Lilium pumilum* DC.)别称山丹,是一种广泛分布于我国北方的野生花卉,花色鲜艳且具有较强的非生物胁迫耐受性^[5-6],是百合抗性育种的重要种质资源,也可以直接应用于园林景观中,具有较高的经济价值和观赏价值^[7]。然而,目前细叶百合在盐碱地绿化中并未得到广泛应用,主要原因是

其能够耐受何种程度的盐碱胁迫缺乏明确的依据,不同成分的盐、碱胁迫对细叶百合种子萌发及幼苗生长的影响也鲜有报道。盐碱地包括盐化土和碱化土,中性盐 NaCl 是盐化土的主要成分;弱碱性盐 NaHCO₃、强碱性盐 Na₂CO₃ 是碱化土的主要成分。本研究以 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液模拟不同成分的盐、碱环境,探究不同程度盐、碱胁迫对细叶百合种子萌发、幼苗形态和生理指标的影响,从而得出细叶百合能够耐受的盐、碱浓度范围,以期为细叶百合的规模化种植和在城市绿地、盐碱地中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用细叶百合种子于 2020 年采自东北林业大学百合种质资源圃,挑选饱满的种子使用 1% 次氯酸钠溶液浸泡 20 min,无菌水冲洗 3 次后进行试验。

1.2 试验方法

试验于 2021 年 3—6 月在东北林业大学园林学院综合实验室进行,根据前期预试验结果,分别配

收稿日期:2022-01-18

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(编号:2572019BK04);黑龙江省自然科学基金(编号:LH2019C004)。

作者简介:孙绍营(1997—),男,山东阳谷人,硕士研究生,主要从事园林植物繁殖栽培及育种研究。E-mail:ssy2022@foxmail.com。

通信作者:张彦妮,博士,副教授,主要从事园林植物繁殖栽培及育种研究。E-mail:ynzhang808@126.com。

制浓度为 30(T_{11})、60(T_{12})、90(T_{13})、120(T_{14})、150(T_{15})、200(T_{16}) mmol/L 的 NaCl 溶液,30(T_{21})、60(T_{22})、90(T_{23})、120(T_{24})、150(T_{25})、200(T_{26}) mmol/L 的 NaHCO_3 溶液和浓度为 5(T_{31})、10(T_{32})、15(T_{33})、20(T_{34})、30(T_{35})及 10(T_{41})、20(T_{42})、30(T_{43})、40(T_{44})、60(T_{45}) mmol/L 的 Na_2CO_3 溶液(其中 $T_{31} \sim T_{35}$ 用于处理种子, $T_{41} \sim T_{45}$ 用于处理幼苗,为了区分两者和更好地表现结果,所以分别编号),以蒸馏水作为对照(CK),进行细叶百合的盐碱胁迫试验。

1.2.1 种子处理 在培养皿内铺 2 层滤纸,高温高压灭菌后,将消毒的种子均匀摆放在滤纸上,每个培养皿 30 粒种子,加入相应胁迫溶液至滤纸完全吸收,每个处理设置 3 次重复。培养皿放置在 25 °C 恒温培养箱中,黑暗条件下进行培养,每 3 d 浇入 2 mL 相应胁迫溶液,保证滤纸始终处于湿润状态。当胚根突破种皮达到 1~2 mm 时视为发芽,发芽数连续 3 d 不发生变化视为发芽结束。

1.2.2 幼苗处理 野生型的细叶百合种子在培养皿中萌发后种植到穴盘中,将蛭石、泥炭按照 1:3 的体积比配制基质,每孔 3~4 株,置于植物培养室进行培养,室温 25 °C,光照时长 12 h/d,当幼苗真叶达到 2~3 张时,选取生长一致、健壮的幼苗,移植到 10 cm 口径的花盆中,每盆 10 棵,每个处理设置 3 次重复。待幼苗恢复生长后进行胁迫处理,每 3 d 浇灌 200 mL 盐溶液;处理 7 d 后,采集植株图片,并将叶片用液氮速冻后保存在 -80 °C 冰箱,用于生理指标测定。

1.3 指标测定方法

1.3.1 生长指标测定 发芽率 = 发芽的种子数/测试的种子总数 $\times 100\%$; 发芽势 = 日发芽数最高时发芽种子数/测试种子总数 $\times 100\%$; 发芽指数 = $\sum G_t/D_t$ 。式中: G_t 表示第 t 天的发芽种子数; D_t 为对应的天数。

相对盐害率 = (对照发芽率 - 处理组发芽率)/对照发芽率 $\times 100\%$ 。

1.3.2 形态和生理指标测定 采用氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量^[8];使用 SPAD-502 便携式叶绿素测定仪测定叶绿素相对含量;利用扫描仪(Epson 6500, Japan, 分辨率为 400 bpi)对根系进行扫描分析。

1.4 数据分析

本次试验所得数据采用 Excel 2016 进行折线图

绘制,通过 SPSS 22.0 进行单因素方差(ANOVA)分析,多重比较检验在满足方差齐性的情况下采用最小显著差法(LSD 法),若方差不具有齐性,则采用 Games-Howell 法。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对细叶百合种子萌发的影响

2.1.1 盐碱胁迫对种子发芽率的影响 由图 1 可知,NaCl 对细叶百合种子萌发具有明显影响,随着 NaCl 浓度的升高,细叶百合种子的发芽率逐渐下降,起始发芽时间推迟。CK 处理在第 5 天开始发芽,在第 11 天达到最大发芽率; T_{11} 、 T_{12} 处理种子均在第 5 天开始发芽,在第 11 天发芽率达到最大值; T_{13} 、 T_{14} 处理种子分别在第 7、第 8 天开始发芽,分别第 12、第 11 天发芽率达到最大值;而 NaCl 浓度超过 150 mmol/L (T_{15} 、 T_{16} 处理)后,种子未萌发。

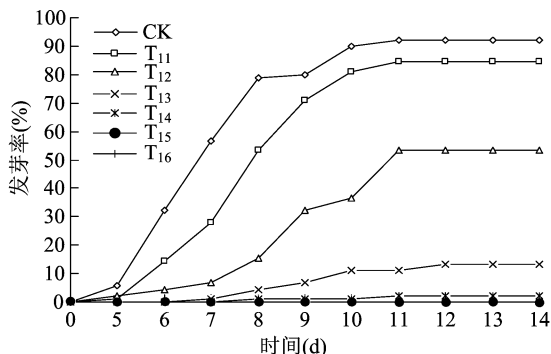


图1 NaCl 胁迫下细叶百合种子的发芽率

由图 2 可知,随着 NaHCO_3 溶液浓度的升高,细叶百合种子的发芽率逐渐下降,均低于 CK,同时随着 NaHCO_3 溶液浓度的升高,种子起始发芽的时间推迟。CK 处理在第 5 天开始发芽,在第 11 天达到最大发芽率; T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 处理分别于第 5、第 7、第 9 天开始发芽,分别于第 11、第 11、第 9 天达到最大发芽率;浓度超过 120 mmol/L (T_{24} 、 T_{25} 、 T_{26} 处理)后,种子均不发芽。

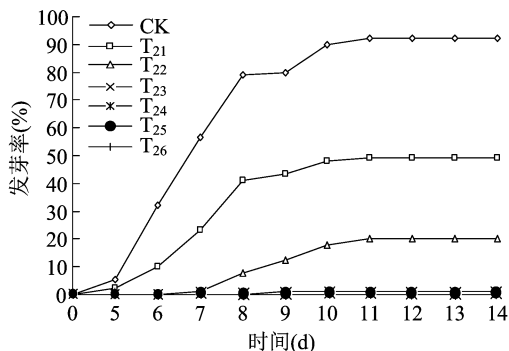


图2 NaHCO_3 胁迫下细叶百合种子的发芽率

由图 3 可知,随着 Na_2CO_3 溶液浓度升高,细叶百合种子的发芽率逐渐下降,同时种子的起始发芽时间推迟。CK 处理在第 5 天开始发芽,在第 10 天达到最大发芽率; T_{31} 、 T_{32} 处理均在第 5 天开始发芽,分别于第 11、第 12 天达到最大发芽率; T_{33} 、 T_{34} 处理均于第 6 天开始发芽,分别于第 12、第 11 天达到最大发芽率; T_{35} 处理种子不萌发。表明随着 Na_2CO_3 溶液浓度的升高,种子的发芽速度减慢、发芽时间推迟,种子的活力减弱。

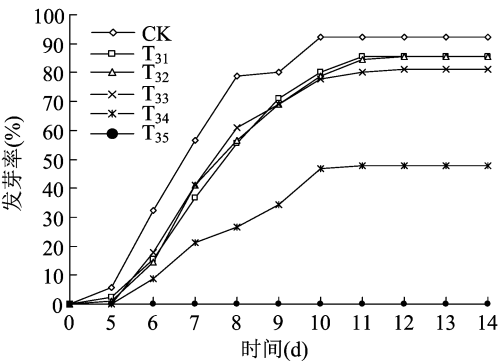


图3 Na_2CO_3 胁迫下细叶百合种子的发芽率

2.1.2 盐碱胁迫对种子萌发特性的影响 由表 1 可知,在 NaCl 胁迫下,细叶百合种子的发芽势、发芽指数均随溶液浓度的升高逐渐降低,胁迫后的种子发芽势、发芽指数均与 CK 差异显著。随着 NaCl 溶液浓度的升高,相对盐害率持续增加,胁迫处理与 CK 有显著差异,NaCl 浓度超过 150 mmol/L (T_{15} 、 T_{16} 处理)后,种子发芽势、发芽指数均降为 0,相对盐害率均达到 100.00%。在 NaHCO_3 胁迫下,随着溶液浓度的升高,细叶百合种子的发芽势、发芽指数均呈现下降的趋势,胁迫处理与 CK 有显著差异; NaHCO_3 浓度超过 120 mmol/L (T_{24} 、 T_{25} 、 T_{26} 处理)后,种子发芽势、发芽指数均为 0,相对盐害率均达到 100.00%,表明 NaHCO_3 对细叶百合种子萌发的影响高于 Na_2CO_3 。 Na_2CO_3 胁迫处理后的细叶百合种子的发芽势、发芽指数随 Na_2CO_3 浓度的升高而下降,相对盐害率呈现逐渐上升的趋势,与 CK 相比差异显著。 T_{35} 处理种子的发芽势、发芽指数均为 0,相对盐害率达到 100.00%。说明在 Na_2CO_3 浓度为 30 mmol/L 时种子无法发芽。

2.2 盐碱胁迫对细叶百合幼苗生长的影响

由图 4 可知,在盐碱胁迫下,植株高度和鳞茎、叶片形态均发生显著变化。中性盐 NaCl 溶液浓度 ≥ 120 mmol/L 时,出现植株变矮、倒伏、叶片发黄的现象。 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 处理,鳞茎与 CK 相比稍有变化,

表 1 盐碱胁迫对细叶百合种子萌发特性的影响

胁迫物质	处理	发芽势 (%)	发芽指数	相对盐害率 (%)
NaCl	CK	92.22 ± 1.47a	75.08 ± 0.81a	0.00 ± 0.00e
	T_{11}	84.44 ± 4.84b	54.22 ± 5.31b	30.31 ± 2.12d
	T_{12}	52.10 ± 3.06c	43.38 ± 3.59c	73.30 ± 3.65d
	T_{13}	19.33 ± 0.67d	17.17 ± 1.75d	92.49 ± 5.64c
	T_{14}	2.22 ± 1.11e	10.75 ± 1.89de	98.05 ± 3.34b
	T_{15}	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00ef	100.00 ± 0.00a
	T_{16}	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00f	100.00 ± 0.00a
NaHCO_3	CK	92.22 ± 1.47a	75.08 ± 0.81a	0.00 ± 0.00e
	T_{21}	49.03 ± 13.52b	47.47 ± 11.51b	52.74 ± 5.12d
	T_{22}	20.00 ± 5.09c	20.11 ± 2.54c	87.38 ± 3.35d
	T_{23}	1.11 ± 1.11d	11.11 ± 0.64d	99.31 ± 3.31c
	T_{24}	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	100.00 ± 0.00a
	T_{25}	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	100.00 ± 0.00a
	T_{26}	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	100.00 ± 0.00a
Na_2CO_3	CK	92.22 ± 1.47a	75.08 ± 0.81a	0.00 ± 0.00d
	T_{31}	57.78 ± 4.01b	64.77 ± 6.86b	7.28 ± 1.80c
	T_{32}	53.33 ± 5.09b	63.24 ± 9.07b	10.59 ± 1.06c
	T_{33}	50.00 ± 1.92b	60.28 ± 4.87b	12.64 ± 1.66c
	T_{34}	24.44 ± 1.17c	44.26 ± 7.17c	48.21 ± 4.11b
	T_{35}	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	100.00 ± 0.00a

注:表中数值为“平均值 ± 标准误”,同列数据后不同小写字母表示同一胁迫物质下不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 2 同。

但差异不大; T_{14} 、 T_{15} 、 T_{16} 处理,鳞茎与 CK 相比明显变小。碱性盐 NaHCO_3 溶液浓度 ≥ 90 mmol/L 时,株高明显降低、叶片枯黄萎蔫,叶片数量明显减少。在 NaHCO_3 溶液胁迫下,幼苗鳞茎随溶液浓度的升高而逐渐变小; T_{21} 处理,与 CK 相比无明显变化; $T_{22} \sim T_{26}$ 处理,鳞茎开始随 NaHCO_3 溶液浓度升高而变小,与 CK 差异明显, T_{26} 处理幼苗几乎没有鳞茎。碱性盐 Na_2CO_3 溶液浓度 ≥ 40 mmol/L 时,株高明显降低,叶片出现萎蔫、变黄现象,叶片数量和鳞茎体积均明显降低,此时幼苗的状态与 NaCl、 NaHCO_3 溶液胁迫浓度大于 150 mmol/L 时接近,表明 Na_2CO_3 胁迫对细叶百合生长发育的影响更严重。

由表 2 可知,在不同浓度 NaCl 溶液胁迫下,细叶百合根系的总长度、平均表面积、平均投影面积均有不同程度的下降,在高浓度溶液处理后与 CK 差异显著。 T_{16} 处理的根系总长度、平均表面积、平均投影面积均达到最小值,与 CK 相比分别下降了 3.36 cm、2.10 cm² 和 3.09 cm²。在 NaHCO_3 胁迫下,细叶百合幼苗根系总长度、平均表面积、平均投

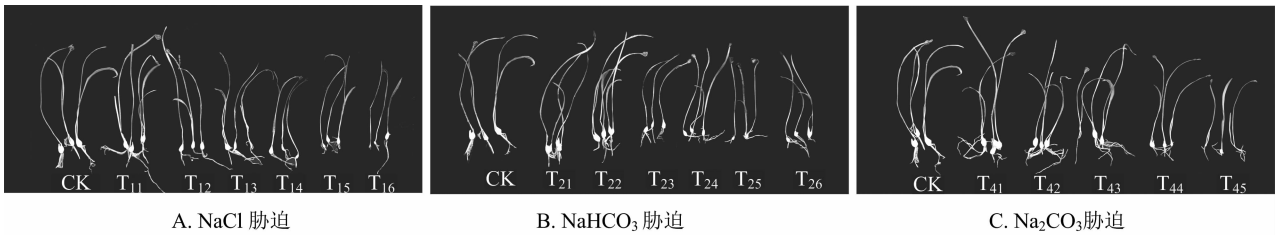


图4 盐碱胁迫下细叶百合幼苗形态变化

表 2 盐碱胁迫对细叶百合幼苗根系生长的影响

胁迫物质	处理	根系总长度 (cm)	平均表面积 (cm ²)	平均投影面积 (cm ²)
NaCl	CK	6.14 ± 0.84a	4.18 ± 0.41a	4.84 ± 0.81a
	T ₁₁	4.69 ± 1.78ab	3.62 ± 0.90ab	3.61 ± 0.90ab
	T ₁₂	4.66 ± 0.61ab	3.44 ± 0.08ab	3.04 ± 0.12ab
	T ₁₃	4.63 ± 0.45ab	3.02 ± 1.57ab	2.58 ± 1.24b
	T ₁₄	3.75 ± 0.89b	2.71 ± 0.51ab	2.44 ± 0.88b
	T ₁₅	2.90 ± 0.97b	2.28 ± 0.34ab	1.95 ± 0.96b
	T ₁₆	2.78 ± 1.42b	2.08 ± 0.48b	1.75 ± 1.03b
NaHCO ₃	CK	6.14 ± 0.84a	4.18 ± 0.41a	4.84 ± 0.81a
	T ₂₁	5.83 ± 0.83ab	3.42 ± 0.64ab	3.59 ± 0.37ab
	T ₂₂	4.63 ± 1.01bc	3.41 ± 0.34ab	3.56 ± 0.51ab
	T ₂₃	3.96 ± 0.74cd	3.12 ± 0.44ab	3.46 ± 0.30ab
	T ₂₄	2.87 ± 0.60de	3.05 ± 0.60ab	2.54 ± 0.19b
	T ₂₅	2.83 ± 0.61de	2.54 ± 0.19b	2.38 ± 0.20b
	T ₂₆	2.16 ± 0.16e	2.37 ± 0.20b	2.39 ± 0.34b
Na ₂ CO ₃	CK	6.14 ± 0.48a	4.18 ± 1.41a	4.84 ± 0.81a
	T ₄₁	6.13 ± 0.84a	4.08 ± 0.33a	4.65 ± 0.56a
	T ₄₂	5.86 ± 0.24a	3.62 ± 0.42a	3.91 ± 0.32a
	T ₄₃	5.81 ± 0.77a	3.38 ± 0.38ab	3.82 ± 0.83a
	T ₄₄	5.68 ± 0.35a	3.27 ± 1.01ab	3.59 ± 0.66a
	T ₄₅	3.60 ± 0.84b	2.18 ± 0.72b	2.75 ± 0.72a

2.3 盐碱胁迫对细叶百合幼苗生理指标的影响

2.3.1 盐碱胁迫下细叶百合叶绿素含量的变化

由表 3 可知,细叶百合幼苗叶绿素含量均随着 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液浓度的升高而逐渐降低,与 CK 差异显著。未处理条件下的叶绿素含量分别为 0.948、0.979、1.130 mg/g;在最低的盐浓度(T₁₁、T₂₁、T₄₁)处理下,叶绿素含量分别为 0.906、0.948、0.997 mg/g;而在最高盐碱浓度(T₁₆、T₂₆、T₄₅)处理下,细叶百合叶绿素含量分别降低到 0.455、0.602、0.407 mg/g,表明盐碱胁迫会通过影响叶绿素含量使细叶百合无法正常生长。

表 3 盐碱胁迫对细叶百合幼苗叶绿素含量的影响

处理	叶绿素含量 (mg/g)	处理	叶绿素含量 (mg/g)	处理	叶绿素含量 (mg/g)
CK	0.948a	CK	0.979a	CK	1.130b
T ₁₁	0.906b	T ₂₁	0.948b	T ₄₁	0.997c
T ₁₂	0.757c	T ₂₂	0.718c	T ₄₂	0.871d
T ₁₃	0.765c	T ₂₃	0.712d	T ₄₃	0.856a
T ₁₄	0.726d	T ₂₄	0.635e	T ₄₄	0.814e
T ₁₅	0.517e	T ₂₅	0.609f	T ₄₅	0.407f
T ₁₆	0.455f	T ₂₆	0.602g		

注:表中数值为 3 次重复的平均值;同列数据后不同小写字母表示同一胁迫下不同处理间差异显著(P<0.05)。下表同。

2.3.2 盐碱胁迫下细叶百合 MDA 含量的变化

由表 4 可知,细叶百合 MDA 含量均随着 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液浓度的升高逐渐增加。在低浓度的 NaCl、NaHCO₃ 溶液胁迫(T₁₁、T₂₁、T₂₂)下,MDA 含量并没有迅速增加,与 CK 差异不显著;而在 T₁₆、T₂₆ 处理下,MDA 含量最大,分别为 0.003 232、0.002 349 μmol/g,与 CK 差异显著。T₄₅ 处理时 MDA 含量最大,为 0.002 659 μmol/g,与 CK 差异显著,且此时 MDA 含量与 T₁₆、T₂₆ 处理相近,表明相同浓度下,Na₂CO₃ 比其他 2 种盐对植物造成的伤害更严重。

2.3.3 盐碱胁迫下细叶百合 SOD 活性的变化

由表 5 可知,细叶百合的 SOD 活性均随着 NaCl、NaHCO₃、

影面积均随胁迫浓度升高而减小,均低于 CK,其中 NaHCO₃ 溶液浓度≥60 mmol/L 时的根系总长度与 CK 有显著差异。在最高 NaHCO₃ 溶液浓度(T₂₆)处理下,根系总长度、平均表面积、平均投影面积与 CK 均具有显著差异,三者均达到最小值,相对 CK 分别下降了 3.98 cm、1.81 cm² 和 2.45 cm²。在 Na₂CO₃ 溶液胁迫下,细叶百合幼苗的根系总长度、平均表面积、平均投影面积均随溶液浓度的升高呈现逐渐下降的趋势,且均低于 CK。在 Na₂CO₃ 溶液浓度为 60 mmol/L 时,三者均达到最小值,相对 CK 下降了 2.54 cm、2.00 cm² 和 2.09 cm²,根系总长度、平均表面积与 CK 差异显著,而处理后的平均投影面积与 CK 相比没有显著差异。

表 4 盐碱胁迫对细叶百合幼苗 MDA 含量的影响

处理	MDA 含量 ($\mu\text{mol/g}$)	处理	MDA 含量 ($\mu\text{mol/g}$)	处理	MDA 含量 ($\mu\text{mol/g}$)
CK	0.001 463d	CK	0.001 426c	CK	0.001 463d
T ₁₁	0.001 573d	T ₂₁	0.001 429c	T ₄₁	0.001 861c
T ₁₂	0.002 171c	T ₂₂	0.001 494c	T ₄₂	0.002 277b
T ₁₃	0.002 663b	T ₂₃	0.002 05b	T ₄₃	0.002 401b
T ₁₄	0.003 086a	T ₂₄	0.002 253a	T ₄₄	0.002 566a
T ₁₅	0.003 071a	T ₂₅	0.002 343a	T ₄₅	0.002 659a
T ₁₆	0.003 232a	T ₂₆	0.002 349a		

Na₂CO₃ 溶液浓度的升高先升高后降低。在 T₁₂、T₂₂ 处理时 SOD 活性最高,分别为 184.346、189.742 U/g;而当 NaCl、NaHCO₃ 溶液浓度大于 60 mmol/L 后,SOD 活性随胁迫溶液浓度的升高开始降低,在 T₁₆、T₂₆处理时 SOD 活性最弱。T₄₁ 处理时 SOD 活性最高,为 195.852 U/g,而 Na₂CO₃ 溶液浓度大于 10 mmol/L 后,SOD 活性随溶液浓度的升高开始减弱。

表 5 盐碱胁迫对细叶百合幼苗 SOD 活性的影响

处理	SOD 活性 (U/g)	处理	SOD 活性 (U/g)	处理	SOD 活性 (U/g)
CK	149.538c	CK	149.538e	CK	149.538f
T ₁₁	157.791b	T ₂₁	166.334d	T ₄₁	195.852a
T ₁₂	184.346a	T ₂₂	189.742a	T ₄₂	176.837b
T ₁₃	138.153d	T ₂₃	186.290b	T ₄₃	175.165c
T ₁₄	135.477e	T ₂₄	169.662c	T ₄₄	168.021d
T ₁₅	124.549f	T ₂₅	143.169f	T ₄₅	157.062e
T ₁₆	94.460g	T ₂₆	106.476g		

3 讨论

3.1 盐碱胁迫对细叶百合种子萌发的影响

种子的发芽率、发芽势和发芽指数是反映种子质量和活力的重要指标,发芽率、发芽指数越高,表明种子的质量和活力越高;发芽势越高,发芽速度越快^[9]。以往研究表明,盐碱胁迫主要通过 2 种途径抑制种子萌发,一种是 Na⁺ 等离子积累造成的离子毒害;一种是由于渗透胁迫使种子吸水量下降^[10],因此胁迫处理后的种子发芽时间延迟,是由于吸水困难导致的。盐碱胁迫后的种子在发芽率、发芽势、发芽指数等方面都要低于 CK,且均随溶液浓度的升高呈现逐渐下降的趋势,说明盐碱胁迫会抑制细叶百合种子萌发,而且胁迫溶液浓度越高,这种抑制作用越明显,甚至会导致种子死亡。NaCl

溶液浓度不超过 30 mmol/L、Na₂CO₃ 溶液浓度不超过 15 mmol/L 时种子发芽率达到 80% 以上,说明低浓度的盐碱胁迫下细叶百合可以正常萌发。以往关于盐生植物耐盐性的研究发现,低浓度的盐胁迫不会显著影响耐盐植物的种子萌发^[11],这表明细叶百合具有较好的耐盐性。

3.2 盐碱胁迫对细叶百合幼苗生长的影响

植物遭受盐碱胁迫后生长状态受到影响,并且出现表型变化,根系是植物最先感受到盐碱胁迫信号的器官^[12-13]。胁迫处理后的幼苗根系生长受到抑制,根系总长度、平均表面积、平均投影面积均低于 CK。叶片形态变化能够反映细叶百合受胁迫影响的程度,在 NaCl 溶液浓度 ≥ 120 mmol/L 时,鳞茎体积、株高显著减小,叶色发黄。在 NaHCO₃ 溶液胁迫下,溶液浓度为 60 mmol/L 时,鳞茎体积、叶片数量、植株高度显著减小,NaHCO₃ 溶液浓度 ≥ 90 mmol/L 时叶色发黄,植株开始枯萎。在 Na₂CO₃ 溶液浓度 ≥ 40 mmol/L 时,幼苗几乎没有鳞茎,虽然根系最先感受到盐碱胁迫,但叶片的表型变化更加明显,或许根系中存在一系列包括离子转运、信号转导等在内的响应机制,以增加根系在高渗透压环境下的水分吸收,细叶百合响应盐碱胁迫的分子机制有待进一步研究。

叶绿素是植物进行光合作用的重要催化剂,叶绿素含量的变化会影响植物的光合速率,在盐碱胁迫下,植物的叶绿素含量随着胁迫溶液的升高呈现逐渐下降的趋势^[14-15]。Khavari - Nejad 等研究发现,盐胁迫处理后,番茄叶片中叶绿素和胡萝卜含量下降^[16];赵蔚等在翅碱蓬色素积累的研究中发现,不同程度的盐胁迫均会使叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量下降^[17];刘彧对环境因子调控色素积累的机制研究中发现,高浓度的 Na⁺ 破坏了叶绿体的光合膜系统,阻碍了叶绿素的合成^[18],本研究结果与之一致。盐碱胁迫下细叶百合叶片的叶绿素含量下降,这可能是由于叶绿体结构和叶绿素合成相关的酶受到影响导致的,最终造成光合速率下降,甚至植株死亡。

植物遭受逆境胁迫时,会发生膜脂过氧化作用,MDA 是最终分解产物,MDA 的积累会使细胞膜结构和功能受到损伤,改变膜的通透性,MDA 从膜上产生的位置释放后,可与蛋白质、核酸发生反应,使之丧失功能,从而影响植物体内一系列生化反应的进行^[19-20]。MDA 含量可以反映植物细胞受

到胁迫影响的程度,间接评价植物的抗逆性。细叶百合叶片中 MDA 含量随 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液浓度的升高逐渐增加,且均高于 CK,表明几种盐碱胁迫使细叶百合细胞膜受损,从而释放大量的 MDA,这与尤佳等对黄花补血草在盐胁迫下的反应研究结果^[21]一致。

SOD 是一种广泛分布于生物体内的抗氧化金属酶,它能够催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢,调节机体氧化与抗氧化平衡。植物遭受非生物胁迫后,体内的活性氧含量迅速增加,造成细胞膜脂过氧化、蛋白质失活、DNA 损伤,严重时导致细胞功能紊乱甚至凋亡。SOD 作为清除活性氧的第一道防线,能够催化超氧化物的歧化反应,增强植物在逆境胁迫下的耐受能力^[22-23]。细叶百合幼苗的 SOD 活性随 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液浓度的升高先升高后降低,表明低浓度的盐碱胁迫下植物产生的活性氧能够被 SOD 清除并没有造成 MDA 迅速增加;而 NaCl、NaHCO₃ 浓度超过 60 mmol/L 后,SOD 系统达到极限调节能力,细胞内活性氧含量增加,细胞膜受损,MDA 含量迅速增加。黄勇等在石竹的盐胁迫研究中发现,盐胁迫能显著抑制 SOD 活性,而且 SOD 调节能力有限,高浓度的盐胁迫使抗氧化酶系统崩溃^[24]。杨佳鑫等在对梅花和山桃的研究中发现,高浓度的 NaCl 会导致种子 SOD 活性下降^[25],本研究结果与之一致。

4 结论

3 种盐溶液对细叶百合种子萌发和幼苗生长的抑制作用强度表现为 Na₂CO₃ > NaHCO₃ > NaCl。NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 对种子的半致死浓度分别在 60、30、20 mmol/L 左右。高浓度的 NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 溶液对细叶百合幼苗根系伸长和鳞茎膨大具有明显的抑制作用,但低浓度时影响较小。在 NaCl (60 mmol/L)、NaHCO₃ (30 mmol/L)、Na₂CO₃ (20 mmol/L) 处理下,种子发芽率分别降为对照的 57.83%、53.17%、51.79%;在 NaCl (150 mmol/L)、NaHCO₃ (120 mmol/L)、Na₂CO₃ (60 mmol/L) 处理下,幼苗的根长分别降为对照的 47.23%、46.74%、58.63%;细叶百合种子和幼苗对这 3 种盐溶液的耐受阈值在这些浓度左右。细叶百合种子和幼苗均具有一定耐盐碱的能力,但种子的耐受性相对较弱,随着盐碱浓度的增加,种子的萌发受到抑制,幼苗生长不良。

参考文献:

- [1] FAO. Salt-affected soils are a global issue[EB/OL]. (2021-05-03)[2022-01-18]. <http://www.fao.org/3/cb4809en/cb4809en.pdf>.
- [2] 张航,战金雨,杨柳,等. NaCl 胁迫对榆树种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(9):127-131.
- [3] 刘志洋,刘岩. 不同盐碱胁迫对桔梗种子萌发和幼苗生理特征的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):144-147.
- [4] 郑西平,张启翔. 北京城市园林绿化植物应用现状与展望[J]. 中国园林,2011,27(5):81-85.
- [5] 刘彬,曹尚杰,王营,等. 过表达细叶百合 *LpNAC6* 基因增强烟草的耐盐性[J]. 北京林业大学学报,2020,42(4):69-79.
- [6] 王营,关春景,崔颖,等. 细叶百合 *LpNAC13* 基因的克隆及其表达[J]. 东北林业大学学报,2020,48(4):29-35.
- [7] 杨利平,孙晓玉. 细叶百合的生殖特性和繁育规律研究[J]. 园艺学报,2005,32(5):918-921.
- [8] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2015.
- [9] 陈雅琦,苏楷淇,陈泰祥,等. 混合盐碱胁迫对醉马草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报,2021,30(3):137-157.
- [10] 朱健康,倪建平. 植物非生物胁迫信号转导及应答[J]. 中国稻米,2016,22(6):52-60.
- [11] 伊丽米努尔,艾力江·麦麦提,卓热木·塔西,等. NaCl 胁迫下不同种源胡杨种子萌发特性[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):88-94.
- [12] 刘莹,盖钧镒,吕慧能. 作物根系形态与非生物胁迫耐性关系的研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(3):265-269.
- [13] McCormack M L, Dickie I A, Eissenstat D M, et al. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes[J]. New Phytologist, 2015, 207(3): 505-518.
- [14] 窦沛彤,刘方炎,高成杰,等. 红河干热河谷不同植物光合作用及抗逆生理特性[J]. 东北林业大学学报,2021,49(7):56-60,65.
- [15] 杨少辉,季静,王罡. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理[J]. 世界科技研究与发展,2006,28(4):70-76.
- [16] Khavari - Nejad R, Mostofi Y. Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars[J]. Photosynthetica, 1998, 35(1): 151-154.
- [17] 赵蔚,王昊,陈英,等. NaCl 胁迫对翅碱蓬色素积累的影响[J]. 现代农业科技,2020(8):191-192,196.
- [18] 刘彧. 自然生境下不同表型盐地碱蓬色素积累及光合特性的研究[D]. 济南:山东师范大学,2006:14-15.
- [19] 黄运湘,廖柏寒,肖浪涛,等. 镉处理对大豆幼苗生长及激素含量的影响[J]. 环境科学,2006,27(7):1398-1401.
- [20] Wang Z F, Li C J, White J, et al. Effects of *Epichloë* endophyte infection on growth, physiological properties and seed germination of wild barley under saline conditions[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2019, 206: 43-51.
- [21] 尤佳,王文瑞,卢金,等. 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种

张文杰,赵林,张婷,等. 氮胁迫对草莓氮代谢与相关基因表达的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(24):112-117.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.24.016

氮胁迫对草莓氮代谢与相关基因表达的影响

张文杰¹, 赵林¹, 张婷¹, 杨青青¹, 石梦云¹, 李刚波¹, 王庆莲², 赵密珍²

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏徐州 221121; 2. 江苏省农业科学院果树研究所, 江苏南京 210014)

摘要:为研究氮胁迫对草莓氮代谢和相关基因表达的影响,在沙培条件下以妙香3号草莓为试验材料,设置N1(0 mmol/L)、N2(5 mmol/L)、N3(10 mmol/L)、N4(15 mmol/L)、N5(20 mmol/L)和N6(25 mmol/L)6种氮浓度梯度,监测不同处理下的植株氮积累量、相关基因的相对表达量和酶活性。结果表明,外源氮浓度升高,草莓体内氮积累量也随之增加。与对照N1相比,各处理氮积累量均表现出显著性差异,根系中分别增加了78.15%、95.06%、185.22%、289.09%、307.05%,叶片中分别增加了69.47%、118.99%、137.36%、187.26%、197.89%。与中等氮水平相比,在氮胁迫(低氮或高氮水平)下,*NADH-GOGAT1*、*NADH-GOGAT2*和*NADH-GOGAT3*基因在叶片中的相对表达量均出现上调,特别是低氮胁迫更是显著提高了其相对表达量。随着氮浓度升高,*NR*、*NiR*、*GS*、*FD-GOGAT*、*NADP-GDH*、*GDH1*、*GDH2*、*GDH3*基因在叶片和根系中的相对表达量,均呈先升高后下降的抛物线走势。随着氮浓度升高,硝酸还原酶(*NR*)、亚硝酸还原酶(*NiR*)、谷氨酸脱氢酶(*NADH-GDH*)和谷氨酸合成酶(*GOGAT*)4种氮代谢相关酶活性都呈先上升后下降的变化趋势。适宜的氮浓度保证了草莓氮代谢的正常进行,过低或过高的氮浓度都会对其产量和品质产生不利影响。在一定的氮浓度范围内,草莓通过调节相关基因的表达量和酶活性,增强氮素的代谢能力。在大多数情况下,15 mmol/L是草莓生长发育比较理想的氮素水平。

关键词:草莓;氮胁迫;氮代谢;酶活性;基因表达

中图分类号:S668.401;S668.406

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)24-0112-06

草莓是蔷薇科草莓属多年生草本植物,是我国重要的设施栽培作物。由于其营养丰富、颜色鲜艳、生长期较短、能填补冬季水果市场空白、经济价值较高等原因,在国内得到越来越广泛的种植。但在设施生产中,为追求高产,种植户往往会盲目施用过量肥料,大量盐离子不能被有效吸收而富集在土壤中,或通过淋洗、径流等方式进入水体,导致土壤盐渍化、水体富营养化现象日益严重^[1]。草莓是

盐敏感作物,盐害阈值只有约0.006 4%^[2],在次生盐渍化土壤中其产量和品质会大幅下降,生产受到严重制约。 NO_3^- 是设施土壤中主要的盐害因子,约占耕层盐离子总量的50%。研究表明,在 NO_3^- 胁迫下,甜瓜幼苗的株高、叶片和可溶性糖含量会显著降低,生长受到严重抑制^[3],草莓叶片的光合作用、蛋白质合成、氮同化等过程都会受到不同程度的影响^[4-5]。

氮吸收和同化是植物氮利用的关键步骤。植物的氮源以 NH_4^+ 、 NO_3^- 为主, NH_4^+ 可以被根系直接吸收,用于合成氨基酸。 NO_3^- 则必须经过一系列还原同化过程,转化成 NH_4^+ 才能被吸收利用。高等植物中的氮素大部分由 NO_3^- 的同化作用来提供,该过程受到一系列相关基因和酶的调控^[6]。硝酸还

收稿日期:2022-01-12

基金项目:江苏省农业重大新品种创制项目(编号:PZCZ201721);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(20)2021]。

作者简介:张文杰(1989—),男,安徽阜阳人,硕士,研究实习员,主要从事果树栽培研究。E-mail:zhangwj747@163.com。

通信作者:赵密珍,硕士,研究员,主要从事草莓资源收集、评价与新品种选育工作。E-mail:njzhaomz@163.com。

子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报,2012,32(12):3825-3833.

[22]魏婧,徐畅,李可欣,等. 超氧化物歧化酶的研究进展与植物抗逆性[J]. 植物生理学报,2020,56(12):2571-2584.

[23]赵红,徐芬芬,熊安琪,等. 不同种类盐胁迫对水稻种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种,2021,19(17):5842-

5847.

[24]黄勇,郭猛,张红瑞,等. 盐胁迫对石竹种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2020,29(12):105-111.

[25]杨佳鑫,李庆卫,刘玉霞,等. NaCl胁迫对梅花和山桃种子萌发及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报,2018,33(2):94-99.