



姜泽宇, 齐国超, 车野, 等. 盐碱胁迫对不同类型工业大麻品种生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2025(2):22-29.

盐碱胁迫对不同类型工业大麻品种生长的影响

姜泽宇, 齐国超, 车野, 张玲, 接思源, 杨威, 顾鑫, 王迪

(黑龙江省农业科学院 大庆分院, 黑龙江 大庆 163711)

摘要:为进一步研究不同工业大麻品种在萌发过程中对盐胁迫的耐受性,以工业大麻品种庆大麻1号(纤用型)和龙大麻1号(籽用型)为试材,探索其在不同浓度NaCl和 Na_2CO_3 处理下发芽率、生长势及一系列生理响应。结果表明,两个品种的发芽率与盐碱浓度呈负相关关系,随盐碱处理浓度的增加而显著下降,尤其是在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碱胁迫下两个品种的芽率仅为8.89%和21.11%。然而,低浓度($50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)NaCl处理一定程度上刺激了种子的萌发,与对照组相比表现出更高的发芽率。生理指标结果表明,盐碱胁迫下大麻植株的株高、干重和根长明显受阻。研究同时发现,碱胁迫比盐胁迫的生长抑制作用更加强烈。然而与籽用型大麻相比,纤用型大麻具有较强的抗氧化调节及渗透调节能力,有力保障了其在高盐碱环境下的正常生长。综上所述,碱胁迫对大麻生长发育的抑制作用更为明显,而纤用型大麻对盐碱胁迫的耐受性和调节能力更强,表现出较强的生长势和生物产量。

关键词:工业大麻;盐碱胁迫;生理指标;生长势

大麻(*Cannabis sativa* L.)是一年生草本植物,在中国已有数千年的栽培历史^[1-2]。在众多麻类品种中,工业大麻由于其丰富的代谢产物含量,目前已被广泛应用于医药、绿色纤维、油料作物,以及可持续发展的能源性生物原料^[3]。大麻对环境具有广泛的适应性,其根系深,生长快,生物量大,抗逆性强以及易于栽培等特点进一步促进了其在全球各地广泛种植。中国、欧洲和加拿大是世界上主要的大麻生产地区,且目前中国黑龙江地区以其优渥的地理生态环境条件,种植工业大麻的面积居全国首位,占全国种植面积一半以上^[4]。

当前全球气候变化剧烈,各种胁迫因素严重威胁全球范围内的可用农业耕地面积。其中,盐胁迫是影响最广泛,危害最深远的非生物胁迫类型。数据统计,当前盐胁迫正影响着全球20%的土地,以及超过50%的灌溉农业用地,并推测在2050年左右,盐胁迫可能会导致30%~50%的农业用地损失^[5]。盐胁迫可分为碱性盐胁迫(碱胁迫)和中性盐胁迫(盐胁迫)两种不同的胁迫类型。在碱胁迫环境中,植物会同时遭受离子毒害和高pH损伤等多重危害,其胁迫过程和程度往往比单一的盐胁迫更为复杂,因此两种胁迫类型属于不同的作用机制^[6]。不过,植物在漫长的进化过

程中也形成了复杂的生理生化保护机制以应对高浓度盐胁迫所导致的植株缺水、离子毒害和代谢失衡等不利因素。在生理活动方面,耐盐性作物品种在胁迫条件下的叶绿素合成水平升高,提高同化能力以增加细胞中可溶性物质及渗透调节物质的积累。同时,基于各类抗氧化酶所构成的抗氧化系统也可有效降低盐离子毒害所引起的膜结构的氧化损伤^[7]。众所周知,种子萌发是植物生命周期最初始和最关键的阶段,种子萌发的状态很大程度上决定了幼苗的生长活力和生长势^[8]。然而,当前对于大麻种子萌发条件的研究,尤其是在重度盐碱性胁迫下种子萌芽力的研究还鲜有报道。因此,深入地理解不同类型工业大麻对盐碱胁迫的响应,可为进一步培育耐盐碱大麻品种提供理论参考,从而实现针对性选择适种品种以最大限度地发挥大麻的经济价值和生态价值。

本研究所用试材庆大麻1号(QM1)和龙大麻1号(LM1)是我国重要的工业大麻品种。研究将深入探讨盐胁迫(NaCl)和碱胁迫(Na_2CO_3)对不同品种工业大麻种子萌发的影响,特别是盐碱胁迫对其种子萌发的抑制作用及对植株生长过程中的生理活动的影响,旨在更好地了解工业大麻在盐碱胁迫下的响应机制。

收稿日期:2024-08-24

基金项目:黑龙江省属科研业务费项目(CZKYF2024-1-C005);国家麻类产业体系大庆工业大麻试验站(CARS-16-S04)。

第一作者:姜泽宇(1990—),男,硕士,助理研究员,从事工业大麻分子遗传育种研究。E-mail:18845922229@163.com。

通信作者:王迪(1981—),男,硕士,研究员,从事工业大麻分子遗传育种研究。E-mail:dankywd@126.com。

1 材料与方法

1.1 材料

研究试材庆大麻 1 号(QM1, 纤用型)和龙大麻 1 号(LM1, 籽用型)为我国东北地区代表性大麻品种, 材料由黑龙江省农业科学院大庆分院大麻研究室提供。

1.2 方法

1.2.1 种子萌发试验 试验开始前, 先测试种子在无胁迫条件下的萌发能力, 以确定种子具备高发芽率(>95%)。选种时应选择大小一致且饱满的种子。

试验以 NaCl 为中性盐处理组, Na_2CO_3 为碱性盐处理组。盐浓度分别为 50, 150 和 250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, 以蒸馏水作为对照组(CK)。种子首先在 10% KMnO_4 溶液中浸泡消毒 1 min, 用蒸馏水洗涤至无残留, 清洗后风干。种子被随机分散在直径 9 cm 培养皿中并铺设 4 层滤纸, 用 15 mL 溶液将滤纸浸湿每 2 d 更换 1 次。各盐碱胁迫处理使用 50, 150 和 250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐溶液。整个培养体系控制在 26 °C, 以胚根长度超过 1 mm 认定为发芽种子^[9], 并于第 1 天至第 5 天统计发芽率、相对发芽率以及发芽指数, 计算方法详见公式(1)。每个处理 30 粒种子, 设 3 次生物学重复。

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{当日发芽数}}{\text{供试种子总数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{相对发芽率}(\%) = \left(\frac{\text{供试种子发芽数}}{\text{供试种子数}} \right) \div \left(\frac{\text{标准种子发芽数}}{\text{标准种子数}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{发芽指数}(Gi) = \sum (Gt/Dt) \quad (3)$$

式中, Gt 是第 t 天的发芽种子数, Dt 是对应的发芽日数。

1.2.2 测定项目及方法 植株生长指标测定: 从两个品种中另取饱满均一种子催芽后播种于小花盆中(每个花盆中称量营养土 1.5 kg, 总有机质含量: 52.64 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 氮含量: 3.16 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 钾含量: 6.83 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 磷含量: 0.93 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 于育苗室内育苗, 室内昼夜(16 h/8 h)交替, 温度为 26 °C/20 °C。待幼苗长至 4 对真叶期(约 30 cm)参考上述各盐碱浓度进行处理, 以浇灌蒸馏水组为对照。盐碱处理 30 d 后, 统计两个品种各处理组的生长状况。于各个小花盆中随机取 10 株幼苗的最长根统计根长, 同时取其地上部分统计株高。然后, 将

样品放置在 70 °C 的烘箱中干燥 72 h, 称量干重。

生理指标测定: 总叶绿素含量测定采用乙醇-丙酮提取法测; 可溶性糖(SS)、脯氨酸(Pro)等渗透调节物质含量测定以及过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)抗氧化酶活性测定参考王学奎等方法^[10]。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2013 进行数据整理, SPSS 26.0 进行方差分析和显著性检验, 用 Prism 9.0 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对工业大麻种子发芽的影响

2.1.1 发芽率 两个大麻品种在不同类型盐处理下的萌发时间具有典型的“S”型生长规律: 初始滞后, 中期发芽率快速上升, 后期芽率趋于稳定(图 1)。但是此生长模型也随品种、盐类型和浓度略有变化。在无胁迫处理组(CK)中, 庆大麻 1 号(图 1A)的发芽率到快速生长阶段比龙大麻 1 号(图 1E)略有迟滞, 在 2~3 d 时芽率才开始迅速上升。而龙大麻 1 号在 1~2 d 时就进入快速萌发阶段, 在监测后期整体芽率高于庆大麻 1 号。然而盐胁迫下(图 1A、E), 在 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理组中两个品种的发芽率还能维持在较高水平, 但是后期整体芽率略低于对照组。数据显示, 发芽率与盐浓度呈一定相关性, 盐浓度越高芽率越低, 但值得注意的是庆大麻 1 号的发芽率在 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理 1~2 d 时高于对照组(0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl) 21.93% 和 26.34%, 表明低浓度盐溶液在萌芽前期有助于促进发芽。

相比于盐胁迫, 碱胁迫对种子萌发的危害作用更加显著, 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 对庆大麻 1 号(图 1B)和龙大麻 1 号(图 1F)的发芽率就有明显抑制效果, 在 5 d 时发芽率分别为 81.11% 和 92.22%, 较同时期对照组下降 18.98% 和 6.75%; 250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 处理下发芽率更是降到 8.89% 和 21.11%(图 1B、F)。

2.1.2 相对发芽率 在盐碱胁迫条件下, 庆麻 1 号和龙麻 1 号的相对发芽率呈现与发芽率相似的趋势, 即随胁迫处理浓度的升高而降低(图 1)。在 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理 1 d 时, 庆大麻 1 号(图 1C)与龙大麻 1 号(图 1G)均表现较高的相对发芽率, 与对照组相比增加了 28.33% 和 8.33%。但随着处理时长增加, 两个品种的相对发芽率逐渐趋于对照组。这表明低浓度盐溶液处理对大麻

种子萌发的影响较小,甚至在短期内有促进萌发的效果。在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 处理 $1\sim 2\text{ d}$ 内,庆大麻 1 号(图 1D)表现出良好的相对发芽率,与对照组相比增加了 7.78% 和 6.66% ,并高

于同时期的龙大麻 1 号(图 1H)。不过随着胁迫程度加深,两个品种的相对发芽率均显著降低,在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐碱处理 5 d 时,其相对发芽率仅有 32.53% 、 39.39% 和 9.00% 、 21.42% 。

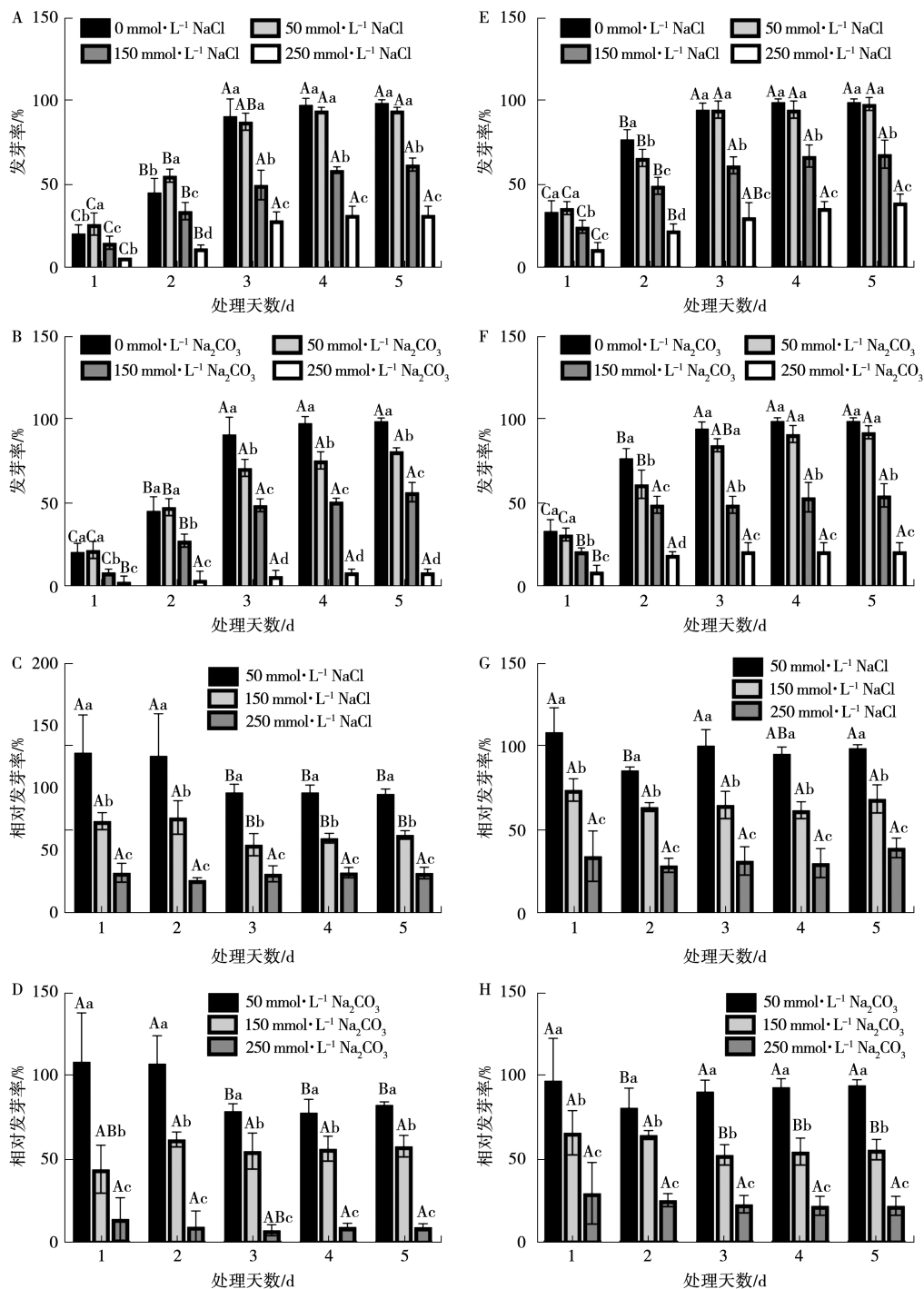


图 1 不同盐碱浓度溶液对庆大麻 1 号(A、B、C、D)和龙大麻 1 号(E、F、G、H)发芽率与相对发芽率的影响

注: 图柱上方不同大写字母表示相同盐碱浓度不同处理天数间差异显著($P<0.05$),
不同小写字母表示不同盐碱浓度相同处理天数间差异显著($P<0.05$)。

2.1.3 发芽指数 由表 1 可知,在 5 d 的检测期内,当盐碱胁迫处理浓度 $\leq 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,两个大麻品种的发芽指数均维持在较高水平,且在 CK 组中龙大麻 1 号的发芽指数比庆大麻 1 号高

25.42%。但在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下,庆大麻 1 号和龙大麻 1 号的发芽指数比对照组下降 68.64% 和 67.57%; $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碱胁迫下下降了 89.83% 和 76.35%。

表 1 不同盐碱浓度溶液对庆大麻 1 号和龙大麻 1 号发芽指数的影响

品种	处理	发芽指数			
		$0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (CK)	$50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
庆大麻 1 号	盐胁迫	$1.18\pm 0.09\text{ a}$	$1.26\pm 0.06\text{ a}$	$0.77\pm 0.09\text{ b}$	$0.37\pm 0.04\text{ c}$
	碱胁迫	$1.18\pm 0.09\text{ a}$	$1.05\pm 0.09\text{ a}$	$0.64\pm 0.04\text{ b}$	$0.12\pm 0.08\text{ c}$
龙大麻 1 号	盐胁迫	$1.48\pm 0.08\text{ a}$	$1.43\pm 0.07\text{ a}$	$0.99\pm 0.02\text{ b}$	$0.48\pm 0.09\text{ c}$
	碱胁迫	$1.48\pm 0.08\text{ a}$	$1.31\pm 0.09\text{ b}$	$0.86\pm 0.06\text{ c}$	$0.35\pm 0.06\text{ d}$

注:不同小写字母表示不同浓度处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 盐碱胁迫对工业大麻生长指标的影响

各生长指标数据表明,盐胁迫对庆大麻 1 号和龙大麻 1 号的生长均有显著影响,并随着盐碱浓度的增加生长参数显著下降(图 2)。碱胁迫的生长抑制作用比盐胁迫更加明显。在株高方面, $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理下庆大麻 1 号(图 2A)和龙大麻 1 号(图 2D)的株高与对照组相比减少了 53.26% 和 56.54%,而 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 胁迫下两个品种株高与对照组相比下降了 64.81% 和 68.76%;随着盐浓度的增加两品种干重呈下降趋势, $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理下庆大麻 1 号(图 2B)和龙大麻 1 号(图 2E)的干重分别

较对照下降了 58.66% 和 64.70%, $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 胁迫下的降低率分别为 64.04% 和 68.12%。 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下,庆大麻 1 号(图 2C)和龙大麻 1 号(图 2F)的根长分别较对照减少 42.68% 和 50.68%; $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 胁迫下分别减少 54.74% 和 61.57%。研究同时发现,盐碱胁迫的生长抑制效果与品种特性有密切关联。盐碱胁迫下,庆大麻 1 号的株高、干重和根长的减少幅度均小于龙大麻 1 号,说明庆大麻 1 号对盐碱的耐受性较强,相较于龙大麻 1 号可能有更好的抗逆表现。

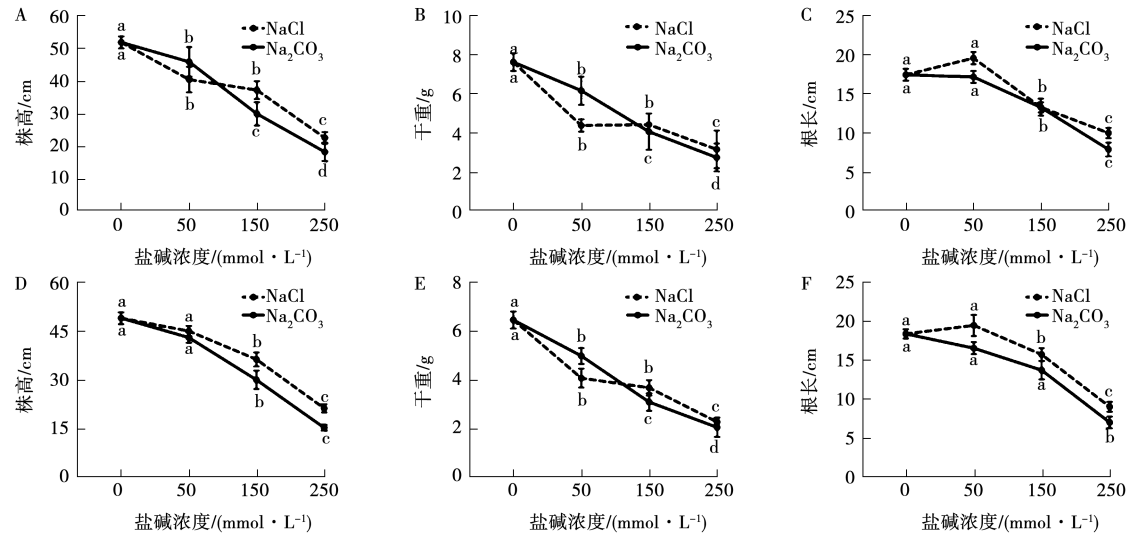


图 2 不同浓度盐碱胁迫对庆大麻 1 号(A、B、C)和龙大麻 1 号(D、E、F)幼苗生长指标的影响

注:不同小写字母表示不同浓度处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.3 盐碱胁迫对工业大麻生理指标的影响

2.3.1 叶绿素含量 盐碱胁迫的类型、浓度对两个工业大麻品种的叶绿素含量均有显著影响。随盐碱胁迫浓度提高,两个品种叶绿素含量总体呈下降趋势。庆大麻 1 号的叶绿素含量随盐处理浓

度升高逐步下降,在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 处理下,叶绿素含量仅为对照组的 47.64%。研究同时发现,对照中庆大麻 1 号比龙大麻 1 号的叶绿素含量偏高,但在盐胁迫影响下庆大麻 1 号叶绿素分解速率更快, $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 盐胁迫处理后

叶绿素含量略低于龙大麻1号。

然而,在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 处理下庆大麻1号和龙大麻1号叶绿素含量均较对照有小幅上升,与对照组相比提高了 1.74% 和 8.79% 。相比于

盐胁迫,碱胁迫对叶绿素含量影响更为显著。碱处理浓度增加到 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,两个品种叶绿素含量均下降到最低值,分别为对照组的 38.82% 和 46.50% (图3)。

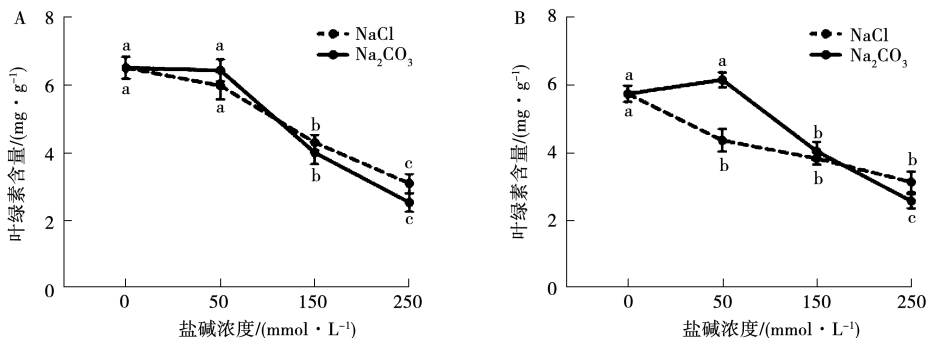


图3 不同盐碱胁迫对庆大麻1号(A)和龙大麻1号(B)叶绿素含量的影响

2.3.2 可溶性糖和脯氨酸含量 两个工业大麻品种的可溶性糖和脯氨酸含量因盐碱类型、浓度不同也表现较大差异。盐胁迫显著降低了两个品种的可溶性糖含量,在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 胁迫下,庆大麻1号和龙大麻1号的可溶性糖含量分别较对照下降了 35.38% 和 50.62% 。研究同时发现,两个工业大麻品种的可溶性糖含量降解速率与盐碱类型也有相关性。相比于盐胁迫,碱胁迫下各品种的可溶性糖降解速率较快。与龙大麻1号相比,庆大麻1号的可溶性糖含量在胁迫条件下呈缓慢下降趋势,且庆大麻1号的可溶性糖含量

始终高于龙大麻1号,表明庆大麻1号可能含有较多的可溶性糖,有助于更好地应对渗透胁迫。

盐碱胁迫下两个品种的脯氨酸含量均显著高于对照组。当盐碱浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,处理组脯氨酸水平约为对照组的两倍。相比于庆大麻1号,龙大麻1号的脯氨酸含量在盐处理中呈波动趋势,在 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 时含量降低,但在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 时含量略微增加。不过,庆大麻1号(图4C)在各浓度盐碱处理下的脯氨酸含量普遍高于龙大麻1号(图4D)。

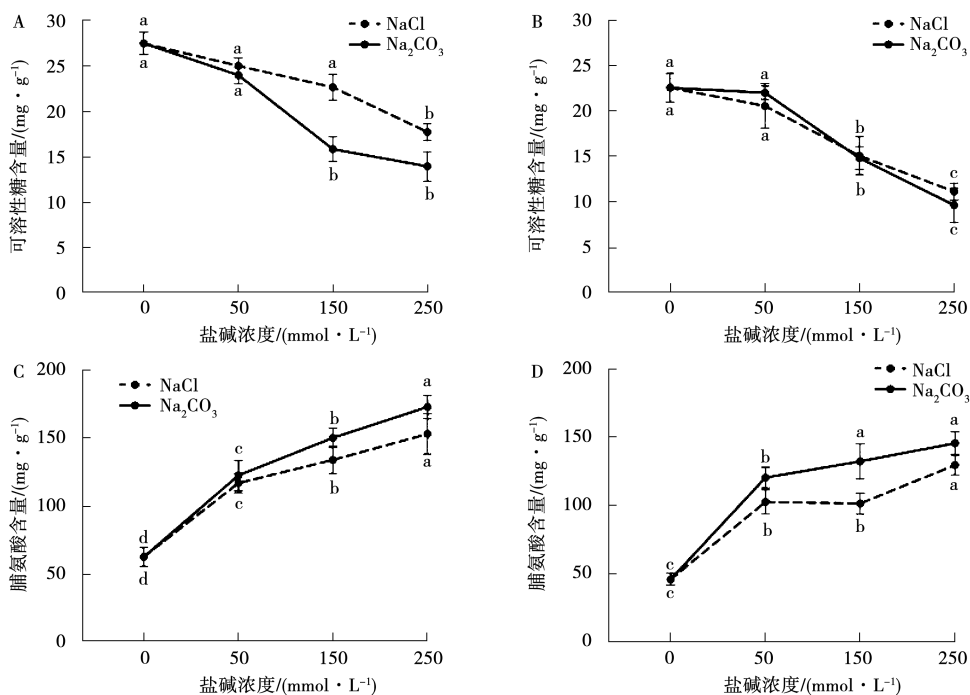


图4 不同盐碱胁迫对庆大麻1号(A、C)和龙大麻1号(B、D)渗透调节物质含量的影响

2.3.3 抗氧化酶活性 两个工业大麻品种的抗氧化酶活性对盐碱胁迫响应强烈。在盐碱胁迫下,庆大麻 1 号的 SOD 酶活性整体呈上升趋势,并在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时达到峰值,为对照组的 2.07 倍和 1.81 倍。而龙大麻 1 号的 SOD 酶活性在胁迫条件下整体呈先上升后下降的趋势,在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐碱胁迫下,为对照的 1.58 倍和 1.65 倍; $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐碱胁迫下,为对照

的 1.33 倍和 1.29 倍(图 5A、B)。而两个品种中 POD 酶的活性整体呈现相近的上升趋势。在 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 胁迫下庆大麻 1 号和龙大麻 1 号的 POD 酶活性分别为对照组的 3.25 倍和 2.98 倍; $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫下,庆大麻 1 号和龙大麻 1 号的 POD 酶活性分别为对照组的 3.97 倍和 3.90 倍(图 5C、D)。

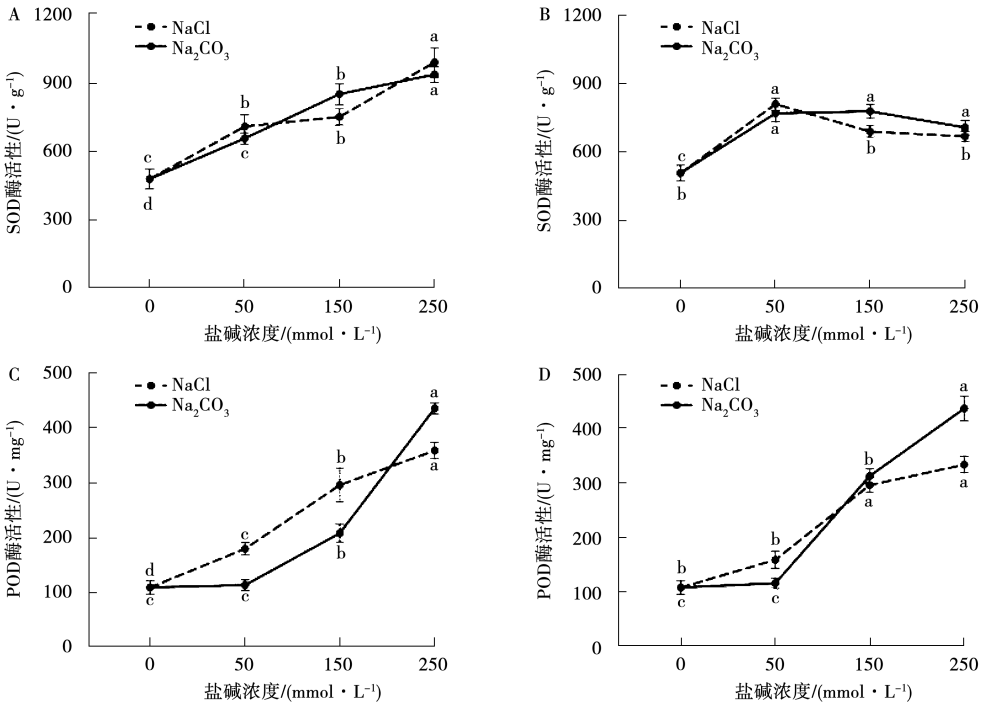


图 5 不同盐碱胁迫对庆大麻 1 号(A、C)和龙大麻 1 号(B、D)抗氧化酶活性的影响

3 讨论

两个工业大麻品种在盐碱胁迫下的萌发时间和萌芽率与品种、胁迫类型和浓度之间存在密切关联。研究发现,芽率与盐碱浓度呈显著负相关关系,即盐浓度越高芽率越低。不过,在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下两个品种的发芽率还可以维持在较高水平,说明低浓度盐溶液缩小了种子内外水势差,有利于水分快速渗入种皮促进萌发。随盐碱浓度进一步升高,不同品种间的发芽时间和发芽率逐渐拉开差距。本研究中庆大麻 1 号的初始发芽时间比龙大麻 1 号略有迟滞,比龙大麻 1 号晚约 1~2 d。之前的研究表明,种子间的异性型萌发是植物应对不良环境条件的自我保护机制,通过调整发芽时间来最大程度的避免胁迫对种子的伤害,以保证种群顺利繁衍^[11]。因此,研究认为庆大麻 1 号种子发芽的迟滞性即为其良好耐盐性的具体表现。

幼苗的组织结构形成过程是植物生命周期中的众多关键环节之一,特别是在逆境条件下植株的生长状况很大程度上反映了其胁迫耐受性。本研究以工业大麻在盐碱条件的植株生长指标作为评价其抗逆性的标准。结果表明,大麻幼苗对低浓度($50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$)盐碱胁迫具备一定的适应性,根长和干重与对照组相比也没有表现出明显差异甚至略有增加,说明低浓度盐对大麻的生长有一定的正向调控作用。Djanaguiraman 等^[12]对水稻耐盐性的研究表明,低浓度盐可以预先激活植物内部一系列生理代谢过程,从而提高其胁迫耐受性。然而,作物对盐胁迫的耐受性也与品种特性密切相关。在本研究中,相比于籽用型大麻龙大麻 1 号,纤维型大麻品种庆大麻 1 号在盐胁迫下的生长状况较强,在植株形态建成(株高)、根系生长以及干物质积累方面均有较好的表现。然而,高浓度($250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$)的碱胁迫

拥有比盐胁迫更复杂的危害机制,极大地加速了植物死亡。与盐胁迫相比,碱胁迫不仅加大细胞间水势差和离子毒性,同时也会导致细胞内 pH 的升高破坏或抑制跨膜电化学势梯度,因此碱胁迫对植物的危害性比中性盐胁迫更严重^[6]。不仅如此,碱胁迫引起的根际土壤 pH 升高还会导致土壤矿质养分亏缺,抑制根系对水分和离子的吸收作用^[13]。因此,碱胁迫对植株的损伤更强,危害性更大。

盐碱胁迫不仅会导致细胞内可用水分减少产生脱水或渗透胁迫,还会导致活性氧(ROS)过度积累而产生氧化损伤。然而,植物也已经进化出了一系列胁迫调节机制,如编码渗透调节物质、抗氧化酶以及保护性蛋白的基因^[14]。在本研究中,SOD、POD 酶活性和脯氨酸含量都随着胁迫浓度增加而急剧上升,这表明盐碱胁迫激活了大麻植株中的抗氧化和渗透调节系统。Saha 等^[15]研究发现,植物对盐碱胁迫的耐受性可能是通过增强抗氧化系统来提高其抗渗透胁迫能力而形成的。脯氨酸作为一种自由基清除剂可以在盐碱胁迫下大量积累以保护细胞免受损伤,因而脯氨酸的形成也被认为是植物响应渗透胁迫和离子胁迫的快速反应机制^[16]。同时,脯氨酸还具有稳定酶的结构和活性的功能,可以极大地增强大麻的耐盐性。相比于龙大麻 1 号,庆大麻 1 号的可溶性糖和脯氨酸含量较高,因此具有更强的渗透调节能力从而降低了庆大麻 1 号在胁迫条件下细胞内外渗透势差,保持水势的平衡,增强吸水能力以维持其正常生理功能。曹焜等^[17]研究发现,随着土壤盐碱程度的加剧,工业大麻根部脯氨酸含量升高,说明通过积累较多的脯氨酸能维持细胞渗透势,从而增强工业大麻适应盐碱胁迫的能力。与其他抗氧化物质相比,SOD 酶对胁迫的感应能力更敏感也更迅速,是一类基础抗氧化剂。前人研究发现,耐盐型大麻品种的 SOD 酶活性显著高于敏感品种,表明拥有高活性 SOD 的品种往往具有更高的盐碱耐受性^[17-18]。在本研究中,庆大麻 1 号随盐碱浓度的提高,SOD 和 POD 酶活性呈现稳定上升趋势,这也就说明了其在逆境条件下拥有更强的抗氧化能力,并能够充分发挥两种抗氧化酶的协同作用清除细胞内的活性氧自由基。然而,龙大麻 1 号的酶活性随盐碱浓度升高表现出先升后降的趋势,可能说明其在高盐胁迫下的抗氧化能力有限。

盐胁迫是限制植物生长的主要环境因素。在盐胁迫的发展过程中,植物体内的光合作用、能量

代谢等各类生理过程都会受到显著影响^[19]。其中,光合作用作为植物生长发育和抗逆防御的主要生理活动,在盐碱胁迫下会表现明显的抑制效果。叶绿体作为首要光合器官,其固有结构和生理功能在盐胁迫下会明显异常。由盐胁迫诱导的细胞内活性氧的大量累积势必会造成膜质异构,这也就导致了叶绿体功能失调,进而引发叶绿素降解使植物逐渐表现出发黄、萎蔫和营养不足等胁迫特征^[20]。本研究中,两个工业大麻的叶绿素含量随盐碱浓度迅速下降,说明了盐碱胁迫对整个光化学反应过程的影响。同时,碱胁迫影响下叶绿素的降解速率加快,进一步印证了碱胁迫对植物的恶劣影响。

4 结论

本研究通过人工设置盐碱胁迫探究不同浓度胁迫处理对纤用型大麻庆大麻 1 号和籽用型大麻龙大麻 1 号的生长限制性作用。结果表明,在无胁迫处理组中,庆大麻 1 号的快速发芽阶段略晚于龙大麻 1 号;低浓度(50 mmol·L⁻¹ NaCl)盐胁迫对早期籽粒萌发有一定的促进作用,随胁迫程度加深,两个大麻品种的发芽率均显著降低。此外,生理指标结果表明,盐碱胁迫对两个品种的株高、干重、根长和叶绿素及可溶性糖含量有明显抑制作用,而脯氨酸含量随胁迫浓度增加显著提高。在抗氧化方面,庆大麻 1 号的 SOD 酶和 POD 酶活性随胁迫加深呈上升趋势,而龙大麻 1 号的 SOD 酶活性整体呈先升后降趋势。综上,本研究借助两个不同类型工业大麻品种在盐碱胁迫下的生长发育指标为依据发现,碱胁迫由于其复合型危害效应,拥有比盐胁迫更严重的损伤机制相较于籽用型品种龙大麻 1 号,纤用型品种庆大麻 1 号初始发芽时间的滞后性、较高的可溶性糖含量以及稳定的抗氧化酶活性在一定程度上增强了其对盐碱胁迫的耐受性。

参考文献:

- [1] AMADUCCI S, SCORDIA D, LIU F H, et al. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 68: 2-16.
- [2] BIAN Z, LING S N, YAO Q, et al. Ethnobotanical research on origin, cultivation, distribution and utilization of hemp (*Cannabis sativa* L.) in China [J]. Genetic Resources & Crop Evolution, 2017, 16:235-242.
- [3] REHMAN M S U, RASHID N, SAIF A, et al. Potential of bioenergy production from industrial hemp (*Cannabis sativa*): Pakistan perspective [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 18: 154-164.
- [4] 张树权,王贵江,宋宪友,等. 黑龙江省汉麻产业发展的优势

- 和对策[J]. 黑龙江农业科学, 2018(1): 125-128.
- [5] MAHAJAN S, TUTEJA N. Cold, salinity and drought stresses: an overview[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2005, 444(2): 139-158.
- [6] YANG C W, ZHANG M L, LIU J, et al. Effects of buffer capacity on growth, photosynthesis, and solute accumulation of a glycophyte (wheat) and a halophyte (*Chloris virgata*)[J]. Photosynthetica, 2009, 47(1): 55-60.
- [7] NIU X P, XU J T, CHEN T, et al. Proteomic changes in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) leaves under salt stress[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 91: 255-263.
- [8] GORAI M, NEFFATI M. Germination responses of *Reaumuria vermiculata* to salinity and temperature[J]. Annals of Applied Biology, 2007, 151(1): 53-59.
- [9] HU H R, LIU H, LIU F H. Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 123: 254-261.
- [10] 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.
- [11] KHAN M A, GUL B, WEBER D J. Temperature and high salinity effects in germinating dimorphic seeds of *Atriplex rosea*[J]. Western North American Naturalist, 2004, 64(2): 193-201.
- [12] DJANAGUIRAMAN M, SHEEBA J A, SHANKER A K, et al. Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment[J]. Plant and Soil, 2006, 284(1): 363-373.
- [13] THOMPSON D I, EDWARDS T J, van STADEN J. A novel dual-phase culture medium promotes germination and seedling establishment from immature embryos in South African *Disa* (Orchidaceae) species[J]. Plant Growth Regulation, 2007, 53(3): 163-171.
- [14] BANDEOĞLU E, EYIDOĞAN F, YÜCEL M, et al. Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress[J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(1): 69-77.
- [15] SAHA P, CHATTERJEE P, BISWAS A K. NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense system and osmolyte accumulation in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek)[J]. Indian Journal of Experimental Biology, 2010, 48(6): 593-600.
- [16] KAVI KISHOR P B, SREENIVASULU N. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? [J]. Plant, Cell & Environment, 2014, 37(2): 300-311.
- [17] 曹焜, 孙宇峰, 张晓艳, 等. 盐碱胁迫对工业大麻生长发育的影响[J]. 种子, 2022, 41(11): 37-46.
- [18] MA N L, CHE LAH W A, ABD KADIR N, et al. Susceptibility and tolerance of rice crop to salt threat: physiological and metabolic inspections[J]. PLoS One, 2018, 13(2): e0192732.
- [19] 王珊, 李静, 吴玉洁, 等. 盐胁迫对罗布麻生长和生理的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(9): 1832-1841.
- [20] ZHANG T, HU Y J, ZHANG K, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 117: 13-19.

Effects of Salt Alkali Stress Treatment on Growth of Different Types of Industrial Hemp Varieties

JIANG Zeyu, QI Guochao, CHE Ye, ZHANG Ling, JIE Siyuan, YANG Wei, GU Xin, WANG Di

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy and Agricultural Sciences, Daqing 163711, China)

Abstract: In order to further investigate the tolerance of different industrial hemp varieties to salt stress during germination, the industrial hemp varieties “Qingdama 1” (QM1, fiber-type hemp) and “Longdama 1” (LM1, seed-type hemp) were used as test materials to explore the germination rate, growth potential and a series of physiological response mechanisms under different concentrations of NaCl and Na₂CO₃. The results showed that the germination rate of the two varieties was negatively correlated with salt and alkali concentration, and the germination rate decreased significantly with the increase of salt concentration, especially under 250 mmol·L⁻¹ alkali stress, the seed germination rate of the two varieties was only 8.89% and 21.11%. However, the low concentration (50 mmol·L⁻¹) NaCl treatment stimulated the germination of seeds to some extent and showed a higher germination rate compared with the CK group. The results of growth potential and physiological indices showed that the growth of cannabis plants, plant height, dry weight and root length were significantly inhibited under salt and alkali stress. It was also found that alkali stress had stronger growth inhibition effect than salt stress. However, compared with seed-type hemp, fiber-type hemp has stronger antioxidant regulation and osmotic regulation ability, which effectively guarantees its normal growth in high salinity environment. In summary, alkali stress has more obvious inhibitory effect on the growth and development of hemp, while fiber hemp has stronger tolerance and regulation ability to salt and alkali stress, showing stronger growth potential and biological yield.

Keywords: industrial hemp (*Cannabis sativa* L.); salt-alkali stress; physiological index; growth potential