

引文格式: 管娇, 杨嘉玲, 邹红旭, 等. 外源大麻二酚对 Cd 和 Cr 胁迫下烟草种子萌发的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(5): 835–841. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202111004

外源大麻二酚对 Cd 和 Cr 胁迫下 烟草种子萌发的影响*

管 娇, 杨嘉玲, 邹红旭, 翁玉仙, 樊兴荣, 王丽华, 保志娟**
(云南农业大学 烟草学院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】探究外源大麻二酚(CBD)对重金属胁迫下烟草种子萌发和幼苗生长的影响。【方法】以 K326 和白肋烟鄂烟 1 号种子为材料, 研究不同质量浓度 CBD (0、1、5、25 mg/L) 对 Cr (8 mg/L) 和 Cd (30 mg/L) 胁迫下烟草种子萌发和幼苗生长的影响。【结果】无重金属胁迫时, 施用 CBD 可轻微抑制 K326 种子的萌发, 其发芽率最多降低 2.78%, 但能提高幼苗素质; 施用 25 mg/L CBD 可显著提高鄂烟 1 号种子的发芽率和活力指数, 分别显著提高 5.79% 和 47.32%。重金属胁迫下, 施用 5 和 25 mg/L CBD 分别对 Cr 胁迫下 K326 和鄂烟 1 号种子萌发的缓解效果最佳, K326 和鄂烟 1 号的种子活力指数分别比单独 Cr 处理显著提高 49.18% 和 30.87%, 死亡率分别下降 67.73% 和 76.04%。5 mg/L CBD 对 Cd 胁迫的缓解效果最好, 烟草种子发芽指数和干质量分别比单独 Cd 处理提高 8.11% 和 79.24% (K326)、25.81% 和 82.15% (鄂烟 1 号)。【结论】CBD 能有效缓解 Cr 和 Cd 胁迫对烟草种子萌发的不利影响, 促进幼苗生长, 但 CBD 的适宜质量浓度因重金属的种类、胁迫程度和植株品种的不同而不同。

关键词: 大麻二酚; 烟草; 重金属胁迫; 种子萌发; 缓解作用

中图分类号: S572.01 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2022) 05-0835-07

Effects of Exogenous Cannabidiol on Tobacco Seed Germination under Cd and Cr Stress

GUAN Jiao, YANG Jialing, ZOU Hongxu, WENG Yuxian,
FAN Xingrong, WANG Lihua, BAO Zhijuan

(College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To explore the effect of exogenous cannabidiol (CBD) on tobacco seed germination and seedling growth under heavy metal stress. [Methods] K326 and burley tobacco Eyan No.1 seeds were used to study the effects of different mass concentrations of CBD (0, 1, 5, 25 mg/L) on the indexes of tobacco seed germination and seedling growth under Cr (8 mg/L) and Cd (30 mg/L) stress. [Results] The addition of CBD could slightly inhibit the germination of K326 seeds, reduced the germination rate by 2.78% at most, but improve the quality of seedlings in the absence of heavy metals. The germination rate and vigor index of Eyan No.1 seeds added with 25 mg/L

收稿日期: 2021-11-03

修回日期: 2022-06-17

网络首发日期: 2022-09-07

*基金项目: 云南省科技计划农业联合面上项目 (2017FG001-063); 云南省教育厅科学研究基金研究生项目 (2020Y161)。

作者简介: 管娇 (1996—), 女, 云南昆明人, 在读硕士研究生, 主要从事烟草重金属污染与防治研究。

E-mail: guanjiao03@163.com

**通信作者 Corresponding author: 保志娟 (1978—), 女, 云南曲靖人, 博士, 副教授, 主要从事烟草分析及烟草有害成分研究。E-mail: baozhijuan@aliyun.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20220906.1634.012.html>



CBD were significantly increased by 5.79% and 47.32%, respectively. Under heavy metal stress, 5 and 25 mg/L CBD had the best alleviation on the seed germination of K326 and Eyan No.1 under Cr stress. The seed vigor index of K326 and Eyan No.1 was significantly increased by 49.18% and 30.87% compared with Cr treatment alone, and the mortality was reduced by 67.73% and 76.04%, respectively. 5 mg/L CBD had the best alleviation on Cd stress. The germination index and dry weight of tobacco seeds were increased by 8.11% and 79.24% (K326), 25.81% and 82.15% (Eyan No.1), respectively compared with Cd treatment alone. [**Conclusion**] CBD could effectively alleviate the toxic effects of Cr and Cd on tobacco seed germination, and promote seedling growth. However, the appropriate mass concentration of CBD should be selected according to the type of heavy metals, stress degree and plant varieties.

Keywords: cannabidiol; tobacco; heavy metals stress; seed germination; alleviation

重金属胁迫是限制植物生长发育的不良条件之一。一般来说,种子萌发和幼苗生长是植物生长过程中的关键阶段,由于一些防御机制还没有完全形成,对重金属更为敏感。已有研究表明:重金属胁迫会抑制植物的种子萌发和幼苗生长^[1-2]。烟草是中国重要的经济作物,极易吸收和富集 Cd、Pb 和 Cr 等重金属,Cd 和 Cr 胁迫下烟草种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、苗高和叶绿素含量均下降,根冠比变小,生长受到抑制^[3-4]。因此,研究缓解重金属对种子萌发的影响势在必行。

添加外源物是缓解植物重金属污染的有效手段之一。常用的外源物有矿质元素(如 K、Ca 和 Zn)^[5]、植物激素(如水杨酸和脱落酸)^[6]以及气体信号分子(如 NO 和 H₂S)^[7-8]等。由于自身的抗氧化性及其对金属离子的强螯合和细胞膜稳定作用^[9],酚类物质也被应用于缓解逆境胁迫。早期研究表明:合生花根系多酚在缓解铅毒害中发挥了重要作用^[10]。近年来,有学者添加外源茶多酚以缓解植物重金属胁迫和盐胁迫^[11],还有学者添加麝香草酚提高植物的耐盐性^[12],这些研究表明酚类物质主要是通过提高植株抗氧化活性和清除活性氧以抵御逆境胁迫,但其机制还有待深入探讨。

大麻(*Cannabis sativa* L.)是中国传统经济作物之一,是一种高生物量、生长快、具有多用途和多功能的物种^[13]。由于对重金属的耐受性较高,工业大麻已成为修复土壤重金属污染的植物之一^[14]。大麻二酚(cannabidiol, CBD)是工业大麻花和叶器官内特有的次生代谢产物,具有抗炎、抗氧化、抗菌、抗肿瘤和神经保护等多种生

物活性,已成为医疗和化妆品领域的研究热点^[15-16]。同其他酚类物质一样,CBD 在机体内能够通过多种方式应对氧化应激损伤,保护神经细胞^[17],如上调金属硫蛋白 2 (Mt2)、调节细胞内锌离子浓度或利用本身具有的强还原性直接清除活性氧(ROS)等^[18]。目前,CBD 对植物生长发育和重金属抗性影响的研究还鲜见报道,本研究以 K326 和白肋烟鄂烟 1 号为试验材料,探讨外源 CBD 施用对 Cd 和 Cr 胁迫下烟草种子萌发和幼苗素质的影响,以期拓展 CBD 在农业中的应用,为植物重金属污染防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

烟草品种为 K326 和白肋烟鄂烟 1 号,种子由玉溪中烟种子有限责任公司提供。选取饱满的烟草裸种,在试验前用 20% NaClO 浸泡消毒 10 min,蒸馏水反复冲洗 5~10 遍,播种前用滤纸吸干种子表面的水分。

1.2 试验方法

试验于 2021 年 3—4 月在智能光照培养箱(GXZ 型,宁波东南仪器公司)中进行,通过预试验确定抑制烟草种子的 Cr⁶⁺、Cd²⁺和 CBD 质量浓度范围,Cr⁶⁺胁迫质量浓度设置为 8 mg/L, Cd²⁺胁迫质量浓度设置为 30 mg/L, CBD 质量浓度设置为 0、1、5 和 25 mg/L。CBD 对烟草种子和幼苗的影响设计为单因素试验,各烟草品种共 4 组处理; CBD 对重金属胁迫烟草种子和幼苗的缓解作用设计为双因素试验,各重金属胁迫下各烟草品种共 4 组处理。

将已消毒的种子均匀放入直径为 10 cm 的培养皿中, 内铺 2 层无菌滤纸, 滤纸用 4 mL 相应处理液润湿, 每皿播种 50 粒。处理液为相应质量浓度的金属离子与 CBD 溶液的混合液, 现配现用, 配制方法为: Cr^{6+} 和 Cd^{2+} 分别用重铬酸钾 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 分析纯) 和二水乙酸镉 [$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 分析纯] 配制为高质量浓度溶液, 之后取一定量用 CBD 溶液稀释至所需质量浓度; CBD 溶液用含 0.1% 的二甲基亚砜和 0.07% 的吐温-80 混合溶液溶解 CBD 粉末 (纯度 99%, 购自云南汉盟制药有限公司) 而成。以无 CBD 处理为对照组 (CK), 每个处理重复 3 次。种子置于培养箱中培养 (温度 26 $^{\circ}\text{C}$ 、光照 12 h/黑暗 12 h、光照强度 3 000 lx), 每天添加 0.5 mL 相应处理液以保持滤纸湿润, 培养至一定时间后备用。

1.3 测定项目与方法

以种皮裂开、胚根露出为种子萌发的标准, 培养期间每天记录种子萌发的数量, 培养 3 d 后统计种子的发芽势; 7 d 后每个培养皿随机选取 10 株幼苗用直尺测定根长和苗高, 并统计烟草种子的发芽率; 14 d 时统计死亡幼苗株数, 之后每个培养皿取 35 株测定幼苗的干质量 (105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青, 60 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量)。各指标的计算方法为:

发芽势 (GE)=3 d 内发芽种子粒数/供试种子数 $\times 100\%$;

发芽率 (GR)=7 d 内发芽种子粒数/供试种子数 $\times 100\%$;

发芽指数 (GI)= $\sum G_t/D_t$;

活力指数=发芽指数 $\times$ 苗高;

幼芽毒害死亡率=14 d 时所有死亡的幼芽数/供试种子数 $\times 100\%$ 。

式中: G_t 为第 t 天的发芽种子数, D_t 为发芽时间。

1.4 数据处理

试验数据采用 Origin 2018 和 SPSS 25 软件进行统计分析 & 差异显著性检验。对不同处理的数据进行单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncan 多重比较, 显著性水平设为 0.05。数据以“平均值 $\pm$ 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 正常条件下施用 CBD 对烟草种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 对烟草种子萌发的影响

由表 1 可知: 正常条件下, 除对照组外, 2 种烟草种子的萌发均随 CBD 质量浓度的增加而增加。25 mg/L CBD 处理时, K326 和鄂烟 1 号种子的活力指数最高, 分别比对照显著提高 11.59% 和 47.32%; 施用 CBD 后, K326 种子的发芽势、发芽率和发芽指数均低于对照, 其中 1 mg/L CBD 处理的各指标分别较对照显著降低 5.04%、2.78% 和 5.69%; 而 CBD 对鄂烟 1 号的影响却与之相反, 高质量浓度 CBD 处理与对照差异显著, 其中发芽指数比对照显著增加 17.48%。

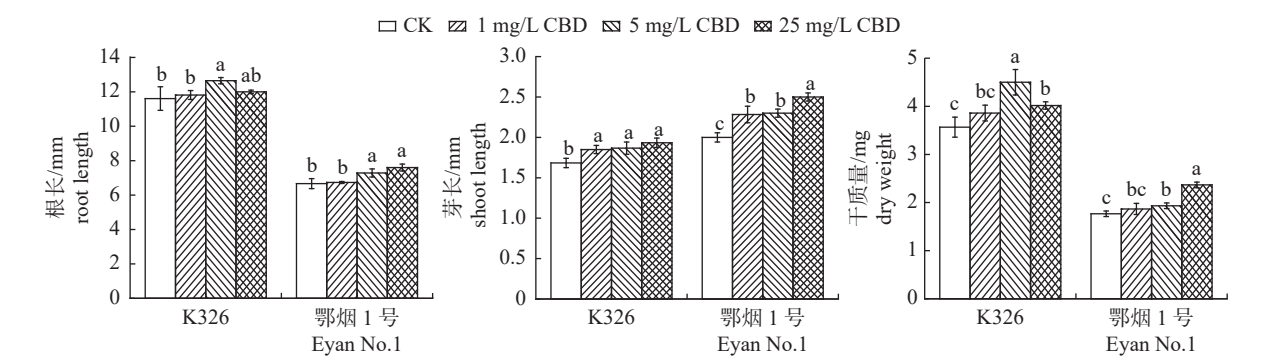
2.1.2 对烟草幼苗生长的影响

由图 1 可知: 正常条件下, 施用 CBD 对 K326 和鄂烟 1 号幼苗的生长均有一定促进作用, 但最佳的 CBD 质量浓度不一致。对 K326 幼苗而言, 5 mg/L CBD 处理的根长和干质量最高, 分别比对照显著提高 8.96% 和 26.17%; 而 25 mg/L CBD 处理的芽长最长, 较对照显著增加 14.85%。对鄂烟 1 号而言, 促幼苗生长效果最好的 CBD 质量浓度为 25 mg/L, 幼苗的根长、芽长和干质量分别较对照显著提高 14.00%、25.00% 和 33.96%。

表 1 大麻二酚 (CBD) 对烟草种子萌发指标的影响
Tab. 1 Effects of cannabidiol (CBD) on the germination of tobacco seed

品种 variety	$\rho(\text{CBD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	发芽势/% germination energy	发芽率/% germination rate	发芽指数 germination index	活力指数 vigor index
K326	0 (CK)	92.67 $\pm$ 2.31 a	96.00 $\pm$ 2.00 a	1.23 $\pm$ 0.06 a	2.07 $\pm$ 0.10 b
	1	88.00 $\pm$ 3.46 b	93.33 $\pm$ 1.15 b	1.16 $\pm$ 0.02 b	2.16 $\pm$ 0.04 ab
	5	88.67 $\pm$ 2.31 b	93.67 $\pm$ 1.53 ab	1.18 $\pm$ 0.09 b	2.21 $\pm$ 0.10 ab
	25	89.33 $\pm$ 1.15 ab	95.00 $\pm$ 1.00 ab	1.19 $\pm$ 0.03 ab	2.31 $\pm$ 0.08 a
鄂烟1号 Eyan No.1	0 (CK)	87.67 $\pm$ 1.53 b	92.00 $\pm$ 2.00 b	1.03 $\pm$ 0.04 c	2.05 $\pm$ 0.08 c
	1	88.33 $\pm$ 2.08 b	93.00 $\pm$ 1.73 b	1.07 $\pm$ 0.13 bc	2.45 $\pm$ 0.21 b
	5	89.00 $\pm$ 1.00 b	94.00 $\pm$ 2.00 b	1.17 $\pm$ 0.01 ab	2.69 $\pm$ 0.06 b
	25	92.67 $\pm$ 2.21 a	97.33 $\pm$ 1.15 a	1.21 $\pm$ 0.05 a	3.02 $\pm$ 0.18 a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, $n=3$); 下同。
Note: Different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$, $n=3$); the same as below.



注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, $n=3$)；下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$, $n=3$); the same as below.

图 1 大麻二酚 (CBD) 对烟草幼苗生长相关指标的影响

Fig. 1 Effects of cannabidiol (CBD) on the growth of tobacco seedlings

2.2 施用 CBD 对 Cr 和 Cd 胁迫下烟草种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 对受胁迫烟草种子萌发的影响

结合表 1 和表 2 可知：在 Cr、Cd 胁迫下，2 种烟草种子的萌发受到抑制，各指标均降低，其中鄂烟 1 号下降较为明显。施用 CBD 对 Cr、Cd 胁迫下烟草种子萌发指标均有促进作用，且除 Cr 胁迫鄂烟 1 号种子萌发指标随 CBD 质量浓度增加而上升外，其他处理各指标均随 CBD 质量浓度增加呈先上升后下降的趋势。当 CBD 质量浓度为 5 mg/L 时，烟草种子活力指数比单独 Cr 处理显著提高 49.18% (K326) 和 30.87% (鄂烟

1 号)，烟草种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别比单独 Cd 处理显著提高 7.56%、4.38%、8.11%、35.58% (K326) 和 19.52%、4.65%、25.81%、51.50% (鄂烟 1 号)。

2.2.2 对受胁迫烟草幼苗生长的影响

由图 2 和图 3 可知：在 Cr、Cd 胁迫下，施用 CBD 对 2 个品种的烟草幼苗生长均有促进作用，且对幼苗生长的影响及最佳质量浓度同种子萌发指标变化一致。Cr 胁迫下，随着 CBD 的质量浓度的增加对 K326 幼苗的生长呈先促进后抑制的作用，5 mg/L CBD 处理的 K326 幼苗根长、芽长和干质量最高，分别比 Cr 处理提高

表 2 大麻二酚 (CBD) 对 Cr 和 Cd 胁迫下烟草种子萌发的影响

Tab. 2 Effects of cannabidiol (CBD) on the germination of tobacco seeds under Cr and Cd stress

重金属 heavy metal	品种 variety	$\rho(\text{CBD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	发芽势% germination energy	发芽率% germination rate	发芽指数 germination index	活力指数 vigor index
Cr (8 mg/L)	K326	0 (CK)	81.00±3.60 b	91.00±1.00 c	1.06±0.10 b	1.83±0.28 c
		1	82.67±1.15 ab	92.33±1.15 bc	1.13±0.06 ab	2.33±0.17 b
		5	87.33±2.08 a	95.00±1.00 a	1.20±0.07 a	2.73±0.14 a
		25	85.00±2.00 ab	94.00±1.00 ab	1.14±0.08 ab	2.46±0.08 ab
	鄂烟1号 Eyan No.1	0 (CK)	65.33±1.15 c	85.33±1.53 c	0.99±0.04 b	1.49±0.15 c
		1	67.67±1.53 bc	90.00±1.73 b	1.03±0.04 ab	1.84±0.21 b
		5	70.00±1.73 b	94.00±1.00 a	1.05±0.07 ab	1.95±0.08 ab
		25	76.67±2.31 a	95.33±2.52 a	1.08±0.06 a	2.10±0.09 a
Cd (30 mg/L)	K326	0 (CK)	79.33±1.15 b	91.33±1.15 b	1.11±0.03 b	2.08±0.06 c
		1	80.67±1.15 b	92.67±0.58 b	1.12±0.01 b	2.51±0.13 b
		5	85.33±1.15 a	95.33±1.15 a	1.20±0.01 a	2.82±0.22 a
		25	78.00±2.00 b	92.00±2.00 b	1.12±0.01 b	2.54±0.07 b
	鄂烟1号 Eyan No.1	0 (CK)	72.00±3.61 c	90.67±0.58 b	0.93±0.04 b	1.67±0.07 d
		1	74.33±1.15 bc	92.33±1.53 ab	1.10±0.06 a	2.13±0.06 c
		5	80.00±2.00 a	95.33±2.31 a	1.17±0.04 a	2.53±0.16 a
		25	78.33±1.53 ab	94.67±1.53 a	1.14±0.01 a	2.33±0.07 b

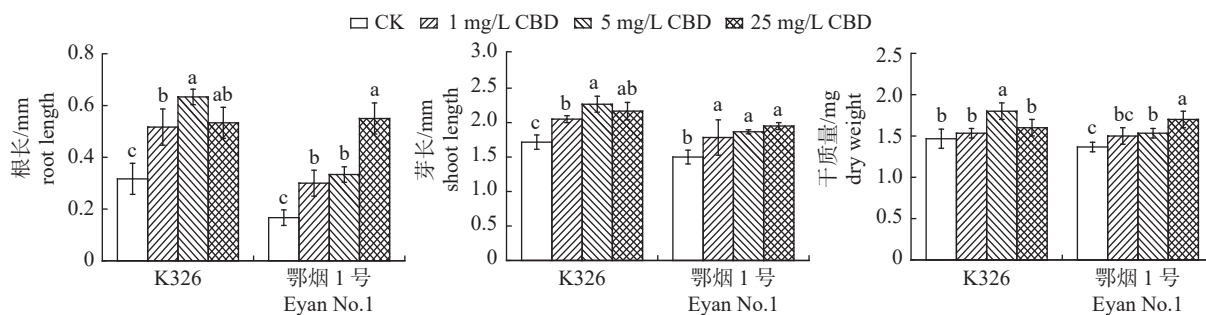


图2 大麻二酚 (CBD) 对 Cr 胁迫下烟草幼苗生长的影响

Fig. 2 Effect of cannabidiol (CBD) on the growth of tobacco seedlings under Cr stress

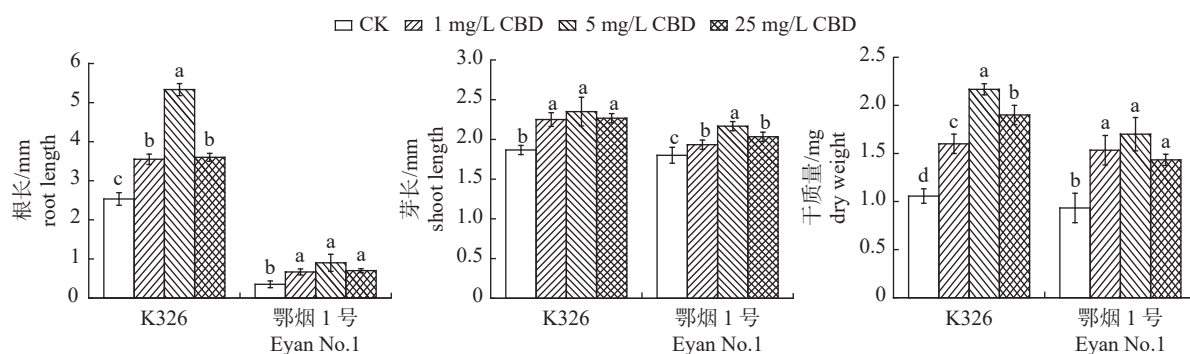


图3 大麻二酚 (CBD) 对 Cd 胁迫下烟草幼苗生长的影响

Fig. 3 Effect of cannabidiol (CBD) on the growth of tobacco seedlings under Cd stress

96.88%、31.98% 和 22.72%; 鄂烟 1 号幼苗的根长、芽长和干质量在 25 mg/L CBD 时最高, 分别比 Cr 处理显著提高 223.53%、30.00% 和 24.39%。Cd 胁迫下, K326 和鄂烟 1 号幼苗生长指标均随 CBD 质量浓度增加呈先增后降的趋势, 均在 5 mg/L CBD 处理下达到最大值, 其中, K326 幼苗的根长和干质量分别比对照显著提高 110.53% 和 79.24%, 鄂烟 1 号幼苗的根长和干质量分别比对照显著提

高 157.14% 和 82.15%。

2.3 施用 CBD 对 Cr 和 Cd 胁迫下烟草幼苗死亡率的影响

由图 4 可知: 各质量浓度 CBD 均可显著缓解 Cd 和 Cr 对烟草幼芽的毒害。Cr 胁迫下, 随着 CBD 质量浓度的增加, K326 幼苗死亡率先下降后上升, 鄂烟 1 号幼苗死亡率则逐步下降, 5 和 25 mg/L CBD 处理时 K326 和鄂烟 1 号幼苗

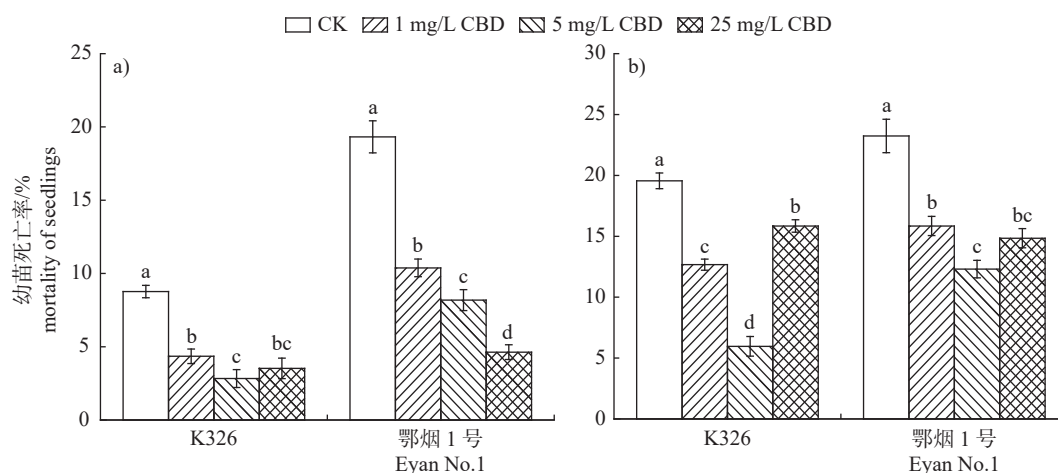


图4 大麻二酚 (CBD) 对 Cr (a) 和 Cd (b) 胁迫下烟草幼苗死亡率的影响

Fig. 4 Effect of cannabidiol (CBD) on the mortality of tobacco seedlings under Cr (a) and Cd (b) stress

死亡率分别达到最低值, 分别比单独 Cr 处理显著降低 67.73% 和 76.04%; Cd 胁迫下, K326 和鄂烟 1 号幼苗的死亡率均随 CBD 质量浓度的增加而先降低后升高, 缓解效果最佳的是 5 mg/L CBD 处理, K326 和鄂烟 1 号幼苗的死亡率分别比单独 Cd 处理显著降低 69.5% 和 47.05%。

3 讨论

种子萌发是植物生命进程的开始, 也是植物生长和繁衍的重要途径。本研究中, 在无重金属胁迫下, CBD 对 K326 种子的萌发有轻微的抑制作用, 但却促进了鄂烟 1 号种子萌发。CBD 对 2 种烟草种子萌发作用的差异, 表明它对种子萌发的影响可能与种子及其幼苗内部同工酶、激素(细胞分裂素和生长素等)的种类及水平等自身特性有关^[19]。低质量浓度的 CBD 可干扰 K326 种子内部物质的代谢, 抑制细胞分裂、伸长及膜渗透性等, 阻碍种子萌发, 因此表现出低质量浓度对种子萌发具有抑制的作用; 而随着 CBD 质量浓度增加, 其抗氧化活性增加, 对种子的抑制作用下降。可能受种子成熟度的影响, 本研究中鄂烟 1 号种子出苗的整齐度和一致性较差, 而 CBD 的施入可打破种子休眠, 加速种子萌发, 提高出苗整齐度^[20], 因此, 随 CBD 质量浓度的增加, 其对鄂烟 1 号的促进作用增强。此外, 不同烟草种子表面结构不同, CBD 在 2 种不同种子表面的渗透能力差异也可能导致不同的变化规律。

重金属胁迫会诱导植株体内生成过量 ROS, 破坏种子及幼苗的抗氧化平衡, 从而产生毒害^[21]。目前普遍认为 CBD 的活性作用主要与其自由基清除及抑制炎症因子释放有关^[22]。本研究发现: 施用 CBD 可以有效缓解 Cd、Cr 胁迫对 K326 和鄂烟 1 号种子萌发及幼苗生长的损伤, 可能是因为 CBD 能清除重金属导致的过量 ROS, 提高烟草种子及幼苗的抗氧化能力^[23]。同时 CBD 结构中的酚羟基络合了部分金属离子, 使重金属的生物活性降低从而缓解重金属对烟草幼苗的毒害。对同一烟草品种而言, CBD 对 Cd 胁迫的缓解效果优于 Cr, 这可能是不同金属元素与 CBD 的交互作用不同, 且与工业大麻对 Cd 的高富集性有一定的关系^[13]。此外, 在相同重金属胁迫下, CBD 缓解 2 种烟草种子萌发的最佳质量浓

度有差异, 可能一是不同烟草类型和品种对重金属的耐性不同^[24], 二是不同基因型对所处环境的敏感程度不同, 从而导致 2 种烟草种子对 CBD 的响应不同。

根部是烟苗吸收 Cr 和 Cd 等重金属离子的主要器官, 故也是受重金属胁迫最严重的部位^[25]。本研究发现: 正常培养和重金属胁迫下, 均表现出 CBD 对 2 个品种烟草种子活力指数和幼苗根的促进作用较为明显, 这与王一峰等^[26]的结论一致。这是因为种子在发芽过程中, 胚根快速吸水伸长并最先突破种皮, 使得根受重金属胁迫以及接触 CBD 溶液在时间进程上大于和早于芽, 因此根的变化比其他器官显著; 也可能是因为同一植物的不同组织或部位对 CBD 的敏感程度有差异。种子活力即种子的健壮度, 是种子的发芽率和出苗率、幼苗生长的潜势、植株抗逆能力以及生产潜力的总和, 是种子品质的重要指标。施用 CBD 使烟草种子的活力指数显著提高, 说明 CBD 可以提高烟草种子的综合素质, 但其机理还有待进一步探讨。CBD 可以缓解重金属胁迫对烟草种子及幼苗的毒害, 但 CBD 对不同植物、不同器官及在不同质量浓度和不同重金属胁迫下产生的作用也不同, 在实际生产中应根据品种和不同胁迫选择适宜的 CBD 质量浓度。

4 结论

(1) 正常条件施用 CBD 可抑制 K326 种子萌发, 但可促进其幼苗生长发育; 随质量浓度增加, CBD 对白肋烟鄂烟 1 号种子萌发和幼苗生长的促进作用增强。

(2) 施用 CBD 可有效缓解 Cd 和 Cr 胁迫对 K326 和鄂烟 1 号的毒害作用。CBD 在抗重金属胁迫方面具有潜在的应用前景。

[参考文献]

- [1] 刘玉玲, 彭鸥, 铁柏清, 等. *Delftia* sp. B9 对镉胁迫下水稻种子萌发及幼苗镉积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(8): 1855. DOI: [10.11654/jaes.2019-0261](https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0261).
- [2] 吴羽晨, 邓小莉, 张家洋, 等. 锌、镉胁迫对 4 种杂草种子萌发特征的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(6): 1089. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201911031](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201911031).
- [3] 闫晶, 姬文秀, 石贤吉, 等. 镉胁迫对烟草种子萌发和烟苗生长发育的影响[J]. 作物杂志, 2019(2): 142. DOI:

- 10.16035/j.issn.1001-7283.2019.02.022.
- [4] AMIN H, ARAIN B A, ABBASI M S, et al. Evaluation of chromium phyto-toxicity, phyto-tolerance, and phyto-accumulation using biofuel plants for effective phytoremediation[J]. International Journal of Phytoremediation, 2019, 21(4): 352. DOI: 10.1080/15226514.2018.1524837.
- [5] 汪骢跃, 王宇涛, 曾琬淋, 等. Ca^{2+} 和 K^{+} 对拟南芥幼苗镉毒害的缓解作用[J]. 植物学报, 2014, 49(3): 262. DOI: 10.3724/SP.J.1259.2014.00262.
- [6] 史广宇, 余志强, 施维林. 植物修复土壤重金属污染中外源物质的影响机制和应用研究进展[J]. 生态环境学报, 2021, 30(3): 655. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.03.024.
- [7] BISHWAJIT K K, VIJAY P S. Mitigation of chromium (VI) toxicity by additional sulfur in some vegetable crops involves glutathione and hydrogen sulfide[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2020, 155: 952. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.05.013.
- [8] ZHANG Z W, WU P, ZHANG W B, et al. Calcium is involved in exogenous NO-induced enhancement of photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 261: 108953. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108953.
- [9] 汪文云, 张琼, 杜静娜, 等. 镉和砷交互胁迫下红树植物秋茄体内酚类化合物的应答[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2014, 53(6): 867. DOI: 10.6043/j.issn.0438-0479.2014.06.022.
- [10] CHIN L, LEUNG D W M, HARRY T H. Lead chelation to immobilised *Symphytum officinale* L. (comfrey) root tannins[J]. Chemosphere, 2009, 76(5): 711. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.04.059.
- [11] 王赫, 黄辉. 茶多酚对铬胁迫玉米幼苗的修复作用[J]. 天津科技, 2016, 43(2): 43. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8945.2016.02.014.
- [12] 宋佳倩, 徐亮, 王悦霖, 等. 外源添加麝香草酚提高烟草幼苗抵御盐胁迫机理的研究[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(2): 65. DOI: 10.16472/j.chinatobacco.2020.t0089.
- [13] 许艳萍, 吕品, 张庆滢, 等. 不同工业大麻品种对田间5种重金属吸收积累特性的比较[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(1): 106. DOI: 10.13254/j.jare.2019.0056.
- [14] 吴耀坤, 田中艳, 李泽宇, 等. 土壤重金属对工业大麻影响研究进展[J]. 热带农业科学, 2018, 38(3): 99. DOI: 10.12008/j.issn.1009-2196.2018.03.020.
- [15] NICOLA P, ALESSANDRO F, MARINA T, et al. Purified cannabidiol for treatment of refractory epilepsies in pediatric patients with developmental and epileptic encephalopathy[J]. Pediatric Drugs, 2019, 21(4): 283. DOI: 10.1007/s40272-019-00341-x.
- [16] ALEX C, RICHARD W, ELISA B. Evaluation of the effects of CBD hemp extract on opioid use and quality of life indicators in chronic pain patients: a prospective cohort study[J]. Postgraduate Medicine, 2020, 132(1): 56. DOI: 10.1080/00325481.2019.1685298.
- [17] WANG Y P, MUKHOPADHYAY P, CAO Z X, et al. Cannabidiol attenuates alcohol-induced liver steatosis, metabolic dysregulation, inflammation and neutrophil-mediated injury[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 12064. DOI: 10.1038/s41598-017-10924-8.
- [18] FOUAD A A, ALBUALI W H, AL-MULHIM A S, et al. Cardioprotective effect of cannabidiol in rats exposed to doxorubicin toxicity[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2013, 36(2): 347. DOI: 10.1016/j.etap.2013.04.018.
- [19] 坎平, 王莎莎, 马文广, 等. 赤霉素引发同时提高烟草种子及幼苗抗旱性和抗冷性[J]. 种子, 2014, 33(2): 30. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4705.2014.02.008.
- [20] 黎晓茜, 龙友华, 尹显慧, 等. 3种植物生长调节剂对烟草种子萌发和早期幼苗生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(10): 22. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3601.2016.10.006.
- [21] 朱红霞, 赵红艳, 陈丽丽, 等. 铅镉胁迫下马齿苋的种子萌发和幼苗生理响应[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(3): 76. DOI: 10.11929/j.swfu.201905067.
- [22] 秦嫦云, 臧林泉. 大麻二酚对应激性心肌损伤的预防及其机制[J]. 中国医院药学杂志, 2021, 41(16): 1637. DOI: 10.13286/j.1001-5213.2021.16.08.
- [23] 邹文桐, 曹智. 铜锌复合胁迫对菜薹种子萌发、幼苗生长及子叶生理代谢的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(4): 632. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201704027.
- [24] ZHU J Q, YI J J, KANG Q Z, et al. Anti-fatigue activity of hemp leaves water extract and the related biochemical changes in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2021, 150: 112. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112054.
- [25] 赵泽文, 杨政宁, 万琳, 等. 菌糠多糖对铜离子胁迫下水稻种子萌发的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(3): 473. DOI: 10.11654/jaes.2019-1034.
- [26] 王一峰, 陈耀年, 赵淑玲, 等. 核桃叶浸提液对4种作物种子萌发及幼苗生长的化感效应[J]. 经济林研究, 2021, 39(3): 40. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2021.03.006.

责任编辑: 何承刚