

镉胁迫对盐肤木种子萌发特性的影响研究

林杨斌^{1,2} 王超¹ 顾菊¹ 温联好¹

(¹西南林业大学园林园艺学院,云南昆明 650224; ²广东产品质量监督检验研究院,佛山 528300)

摘要:盐肤木是优良的生态修复树种,也是独具特色的园林秋色叶植物。利用植物对重金属的富集作用,可以有效进行土壤修复。重金属对植物生长的胁迫试验,是研究植物富集重金属、完成土壤修复的重要研究方法。本研究采用空白试验对比和控制单一变量法,以盐肤木种子萌发特性为研究对象,研究了在重金属镉(Cd^{2+})不同浓度(50~400mg/L)的胁迫下,种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数的变化规律。研究表明,与空白试验(未胁迫下)相比,随着Cd浓度增加,发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均呈下降趋势。本研究可为盐肤木种子在Cd污染的耐受能力研究提供一定理论参考。

关键词:重金属;富集;镉;盐肤木;胁迫

Effect of Cadmium Stress on Seed Germination of *Rhus chinensis*

LIN Yangbin^{1,2}, WANG Chao¹, GU Ju¹, WEN Lianhao¹

(¹College of Landscape Architecture and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224 ;

²Guangdong Testing Institute of Product Quality Supervision, Foshan 528300, Guangdong)

我国部分地区土壤污染较重,耕地土壤点位污染超标率达19.4%,重度污染点位比例达1.1%,镉(Cd)是主要重金属污染物之一^[1-5],耕地土壤中Cd的点位超标率为7.0%^[1-3]。各种重金属污染发生概率排序为: Cd>Ni>Hg>As>Pb>Cr>Cu>Zn。Cd含量超标率达到25.20%,远超过Pb、Hg、Cr、As等重金属^[3-7]。Cd不是植物生长的必需元素,Cd超标会降低植物体内酶的活性及光合强度,使代谢紊乱,

改变细胞膜透性、阻碍根系生长、抑制水分和养分吸收,影响作物的产量和品质^[8-12]。更重要的是,Cd通过蓄积在农产品中借助食物链进入人体,严重危害人类健康。由于Cd对植物、动物和人类的危害最大,且重金属污染发生概率最高^[10-15],土壤Cd污染已成为人类安全的重大隐患,也成为了研究者关注的重点和热点问题之一^[16-20]。

盐肤木(*Rhus chinensis* Mill)又名五倍子树,为漆树科盐肤木属落叶灌木或小乔木,是中国主要经济树种之一,可供制药和工业染料的原料,其皮部、种子可榨油,在园林景观中可作为优良的观花、观

基金项目:中央财政林业科技推广示范项目(云[2020]TG04号);云南省科技厅农业联合专项(202301BD070001-087)

通信作者:王超

2022, 28(5): 1-6

- [3] 李建忠,邓峥嵘,颜焱炳,孔金光,向春燕,屈中民. 湖南衡东县多年再生稻品种试验示范与推广总结. 中国种业, 2022(12): 40-43
- [4] 粟绍军,王素华,吴立群,谈发俊,陈广明,万国安,乔傲远,毛远利. 湖南再生稻研究. 中国种业, 2023(6): 20-24
- [5] 唐启源,青先国. 湖南再生稻技术进步与生产发展对策. 杂交水稻, 2023, 38(1): 1-9
- [6] 童小兰,范昭能,曾荣耀,李慧,刘昆,郭燕梅,谢昶. “中稻+再生稻”无人机直播栽培技术. 中国种业, 2023(7): 113-115
- [7] 肖人鹏,刘强明,张现伟,文明,姚雄,张巫军,段秀建,唐永群,李经

勇. 适宜重庆地区直播中稻蓄留再生稻品种筛选及其丰产性分析.

南方农业学报, 2021, 52(1): 104-114

- [8] 刘忠贤,王开周,周静,王文华,李龙辉,张甲. 开州再生稻产业现状及发展. 耕作与栽培, 2022, 42(4): 142-145
- [9] 明兴权,张桂莲,杜蔚,雷斌,李凡,黄家兴,唐文帮. 再生稻品种筛选的初步研究. 杂交水稻, 2018, 33(1): 41-44
- [10] 董华林,涂军明,费震江,周黎,周鹏,曾波,郑兴飞,李珍连,徐得泽,游艾青. 再生稻适宜品种筛选试验初报. 湖北农业科学, 2019, 58(S2): 94-98

(收稿日期: 2023-08-18)

叶、观果树种,具有重要的观赏价值,可用于园林绿化^[21-23]。盐肤木具有生长快、根蘖力强以及逆境适应能力强等优势,是废弃地恢复的先锋植物,具有重要的生态意义^[24-26]。已有研究表明盐肤木是一种有效的重金属吸附和富集的植物,对铅、铬、铜、汞具有吸收和富集作用,能够有效进行土壤修复^[21-27]。然而,截至目前鲜有盐肤木对重金属 Cd 胁迫的生长和富集的影响研究,鉴于此,有必要开展 Cd 对盐肤木生长和富集的影响研究。本文以盐肤木种子萌发特性为研究对象,研究了在重金属镉(Cd)不同浓度(50~400mg/L)的胁迫下,种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数的变化规律,以期对盐肤木种子在 Cd 污染的耐受能力研究提供一定理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用商品化的盐肤木种子,种子经晾晒后存放于干燥、阴凉处。

1.2 试验试剂 过氧化氢(H₂O₂,30%,分析纯)、浓硫酸(H₂SO₄,98%,分析纯)、高锰酸钾(固体,KMnO₄,99%,分析纯)、氯化镉(固体,CdCl₂·2.5H₂O,99%,分析纯),采购于佛山西陇化工有限公司。去离子水(H₂O),实验室自制。

1.3 试验仪器 千分天平、烧杯、容量瓶、直尺等。

1.4 试验方法

1.4.1 配制溶液 (1)配制质量分数为 0.5% 的 KMnO₄ 溶液。准确称量 5.55g 的 KMnO₄ 固体,置于 500mL 烧杯中,用 200mL 去离子水将 KMnO₄ 固体溶解,得到均一紫红色溶液。将溶液转移至 1000mL 容量瓶中,用去离子水洗涤烧杯中残余的 KMnO₄ 溶液。之后,定容至 1000mL。

(2)配制质量分数为浓度梯度的 Cd 溶液(质量分数以 Cd 计)。准确称量一定质量的 CdCl₂·2.5H₂O 固体(称量质量见表 1),置于 500mL 烧杯中,用 200mL 去离子水将 CdCl₂·2.5H₂O 固体溶解,得到均一溶液。将溶液转移至 1000mL 容量瓶中,用去离子水洗涤烧杯中残余的溶液。之后,定容至 1000mL。分别配制浓度为 50mg/L、100mg/L、150mg/L、200mg/L、250mg/L、300mg/L、350mg/L、400mg/L 的 Cd 溶液。

1.4.2 胁迫试验 由于盐肤木种子硬实率高达 90.2%,其种皮对于种子吸水有明显的机械阻碍作用。采用酸蚀处理盐肤木种子,从而提高种子萌发

表 1 浓度梯度 Cd 溶液的配制

以 Cd ²⁺ 计算浓度 (mg/L)	称量 CdCl ₂ ·2.5H ₂ O 的质量 (g)	定容体积 (mL)
50	0.103	1000
100	0.205	1000
150	0.308	1000
200	0.410	1000
250	0.513	1000
300	0.616	1000
350	0.718	1000
400	0.821	1000

率。选取适量籽粒饱满、均匀的盐肤木种子,用去离子水浮选以去掉瘪粒,用 30% 过氧化氢浸泡 15min 消毒,防止微生物等因素对种子萌发产生影响,再用去离子水反复冲洗 3 次。将盐肤木种子在 98% 浓硫酸中浸泡 90min,使用 0.5% 的 KMnO₄ 溶液浸泡 30min,接着用去离子水清洗数次,直至不残留酸性氧化物溶液。之后,将处理后的种子放入去离子水中浸种 12h 充分吸胀,便于直接研究镉对种子萌发的影响。铺放 2 层滤纸于无菌培养皿,将种子均匀地洒在培养皿上,并保持种子的间距适当,在培养皿中分别加入 8mL 不同浓度的培养液,空白对照组中添加等体积去离子水,保持 25℃ 下恒温培养。每天定时记录种子萌发情况,种子萌发以种子露出白芽为标准,连续 10d 内没有新种子萌发时结束。根据试验结果测量和记录种子发芽数量、幼芽长度。其中,每个浓度的试验采用种子数均为 100 个,浓度为 0mg/L 指空白试验。

1.5 数据处理 各指标计算如公式(1)~(4)所示,采用 Excel 软件进行数据处理;采用 Origin 软件进行作图。

$$\text{发芽率(第 10 天, \%)} = \frac{\text{种子发芽数量}}{\text{供试验种子数量}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{发芽势(第 8 天, \%)} = \frac{\text{种子发芽数量高峰期发芽数量}}{\text{供试验种子数量}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽指数(10d 总数)} = \sum Gt/Dt \quad (3)$$

$$\text{活力指数(第 10 天)} = \text{发芽指数} \times \text{幼芽长度} \quad (4)$$

第 8 天为种子发芽数量高峰期,第 10 天种子发芽结束,幼芽长度指第 10 天种子发芽的幼芽长度。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽率变化

从图 1 和表 2 可以看出,在 Cd 浓度 50~400mg/L 的胁迫下,盐肤木种子发芽率在 1%~78% 之间。发芽率随着 Cd 浓度增加不断下降,直到 Cd 浓度为 300mg/L 时,发芽率下降速率有所放缓。此外,对比空白试验来看(发芽率为 87%),Cd 胁迫下种子发芽率整体呈现明显的下降趋势。结果表明,Cd 对盐肤木种子萌发具有明显的抑制作用,且 Cd 浓度越大,抑制作用越明显。

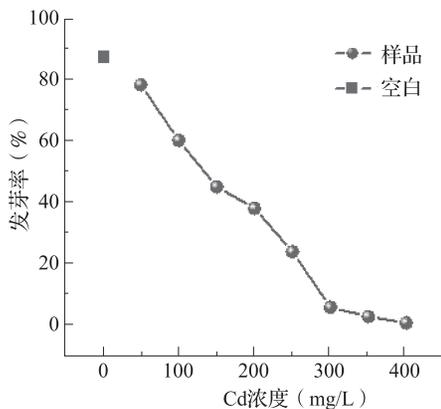


图 1 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽率变化趋势

表 2 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽率变化数据

Cd 浓度 (mg/L)	发芽个数	发芽率 (%)
0	87	87
50	78	78
100	60	60
150	45	45
200	38	38
250	24	24
300	6	6
350	3	3
400	1	1

2.2 不同浓度 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽势变化

从图 2 和表 3 可以看出,种子发芽势变化趋势与发芽率相似,随着 Cd 浓度不断增大,均表现为持续下降,发芽势数值在 0~51% 之间。然而,空白试验的发芽势高达 75%。当 Cd 浓度达到 50mg/L 时,发芽势降低至空白试验的 2/3 左右(51%)。结果表明,发芽势受 Cd 浓度影响较大。与发芽率不同的是,当 Cd 浓度小于 100mg/L 时,发芽势降低明显,大于等于 100mg/L 时,发芽势降低程度放缓。

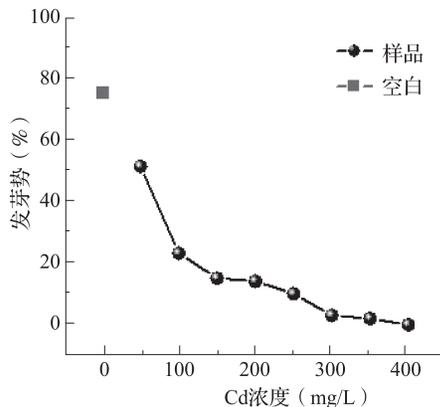


图 2 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽势变化趋势

表 3 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽势变化数据

Cd 浓度 (mg/L)	发芽个数	发芽势 (%)
0	75	75
50	51	51
100	23	23
150	15	15
200	14	14
250	10	10
300	3	3
350	2	2
400	0	0

2.3 不同浓度 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽指数变化

从图 3 和表 4 可以看出,当 Cd 浓度为 0mg/L 时,发芽指数为 14。但是,随着 Cd 浓度不断增加,种子发芽指数持续下降,并于 Cd 浓度为 350mg/L 时下降为 0,表明 Cd 对盐肤木种子胁迫作用明显,发芽指数受 Cd 浓度影响明显。

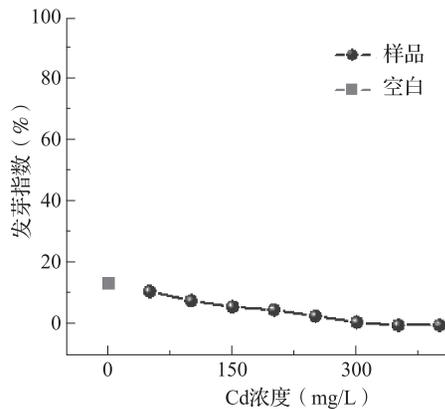


图 3 Cd 胁迫下盐肤木种子的发芽指数变化趋势

表4 Cd胁迫下盐肤木种子的发芽指数变化数据

Cd浓度(mg/L)	发芽指数(GI)
0	14
50	11
100	8
150	6
200	5
250	3
300	1
350	0
400	0

表5 Cd胁迫下盐肤木种子的幼芽长度和活力指数变化数据

Cd浓度(mg/L)	幼芽长度(cm)	活力指数(%)
0	3.3	46.2
50	3.1	34.1
100	2.9	23.2
150	2.9	17.4
200	2.8	8.4
250	2.8	8.4
300	2.8	2.8
350	2.6	0
400	2.6	0

2.4 不同浓度 Cd 胁迫下幼芽长度和活力指数的变化

从图4、图5和表5可以看出,随着Cd浓度增加,相比空白试验种子幼芽长度为3.3cm,Cd胁迫下种子幼芽长度有一定程度下降,从3.1cm下降至2.6cm;对应的活力指数从34.1%下降至0,相对空白试验活力指数46.2%,Cd胁迫下的活力指数下降明显。

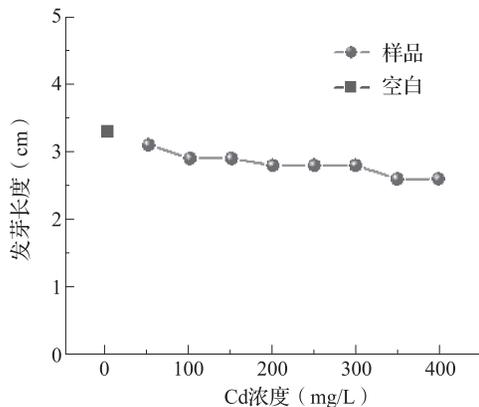


图4 Cd胁迫下盐肤木种子的幼芽长度变化趋势

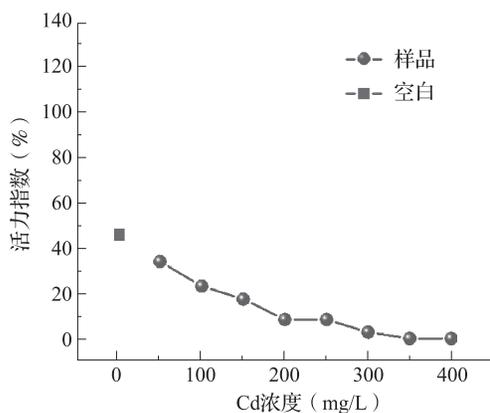


图5 Cd胁迫下盐肤木种子的活力指数变化趋势

3 讨论与结论

随着Cd浓度的不断增大,种子发芽率和发芽势随之下降,这可能是Cd抑制了种子内细胞生命活动,导致种子萌发所需的营养物质不足,从而导致种子萌发所需的能量减少,进而抑制了种子萌发^[10-12]。研究表明,当植物受到Cd胁迫,种子受到不利条件时,体内会产生大量活性氧自由基,使得细胞膜脂过氧化对植物产生毒害。当Cd浓度增大时,会使种子产生活性氧的能力超过清除能力,使生物膜及酶系统受到的伤害增加、内环境紊乱,抗氧化酶最适环境遭到破坏,最终降低种子体内的抗氧化酶活性,从而抑制种子萌发,表现为发芽率和发芽势降低^[10-15]。因此,推测盐肤木种子幼芽长度、活力指数随Cd浓度的变化情况,与Cd胁迫破坏种子的抗氧化酶系统,引起种子体内产生活性氧,导致种子萌发受到抑制有关。在没有外部有效作用的情况下,种子难以自发提高光合色素含量、增强光合作用,从而提高种子的抗逆性。当Cd浓度达到较高水平时,土壤环境无法维持种子萌发^[10-15]。

种子的萌发指标是评价种子萌发能力的重要参数,直接与幼苗的生长和生物量相关^[1-5]。萌发期是植物生长发育过程中受外界非生物因素影响最敏感的时期之一,幼苗期对Cd胁迫产生的毒害反应尤为显著^[10-12]。研究发现,随着Cd浓度增加,对植物根长的抑制程度加大^[10-15]。本研究中,Cd对发芽率的抑制作用明显,这可能与种子幼芽更容易富集重金属元素有关,种子将重金属元素固定在根

系中,也是一种自我保护机制,最大可能地减少重金属元素向茎、叶中运输,减少重金属对植物的损害^[6-9]。本试验研究表明,与空白对照组比较,盐肤木种子萌发受到Cd胁迫不同程度的影响,Cd浓度越高,胁迫作用越明显。推测高浓度Cd可能对胚、芽等产生毒害,从而抑制种子萌发以及后期生长发育。

综上所述,本文通过Cd胁迫对盐肤木种子萌发特性的影响研究,可以得到如下结论:盐肤木对Cd胁迫具有一定的耐受力,在Cd浓度范围为50~400mg/L的胁迫下,盐肤木种子的萌发特性指标(包括发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数)随着Cd浓度不断增加均呈下降趋势。本研究可为盐肤木种子在Cd污染的耐受能力研究提供一定理论参考。

参考文献

- [1] 李娟,闫旭宇,吴香,李玲. 纤维类作物对农田土壤镉污染修复的研究进展. 中国农业科技导报,2022,24(11): 171-178
- [2] 黄卫,庄荣浩,刘辉,王志国,张纯,喻鹏. 农田土壤镉污染现状与治理方法研究进展. 湖南师范大学自然科学学报,2022,45(1): 49-56
- [3] 刘冬冬,李素霞,刘海霞. 酸性农田土壤镉污染修复钝化材料筛选研究. 土壤通报,2022,53(1): 213-220
- [4] 马娇阳,保欣晨,王坤,王成尘,崔道雷,张梦妍,向萍. 土壤镉污染的人体健康风险评估研究:生物有效性及毒性效应. 生态毒理学报,2021,16(6): 120-132
- [5] 何平,李佳颖,刘宇哲,孟繁蕴. 土壤镉污染背景下川芎生态适宜区规划研究. 中国中药杂志,2022,47(6): 1196-1204
- [6] 卢楠. 重金属Cd、Pb复合污染对植物生理生化和细胞结构影响的研究进展. 现代农业科技,2019,8(24): 16-18
- [7] 闫仁俊,韩磊,赵亚萍,林大松,王雅君,徐应明,王瑞刚. 玉米与龙葵间作模式对植物生长及Cd富集特征的影响. 农业环境科学学报,2020,39(10): 2162-2171
- [8] 陈丽丽. 外源有机酸对植物修复镉污染土壤的效应研究. 石河子:石河子大学,2021
- [9] Singh J W, Lee B K. Influence of nano-TiO₂ particles on the bioaccumulation of Cd in soybean plants (*Glycine max*): A possible mechanism for the removal of Cd from the contaminated soil. Journal of Environmental Management, 2016, 170(1): 88-96
- [10] Wu M X, Luo Q, Liu S L, Zhao Y, Long Y, Pan Y Z. Screening ornamental plants to identify potential Cd hyperaccumulators for bioremediation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 162(30): 35-41
- [11] Ren Y Q, Chen Y H, An J, Zhao Z X, Zhang G Q, Wang Y, Wang W. Wheat expansin gene *TaEXPA2* is involved in conferring plant tolerance to Cd toxicity. Plant Science, 2018, 270: 245-256
- [12] Zhang C L, Chen Y Q, Xu W H, Chi S L, Li T, Li Y H, He Z M, Yang M, Feng D Y. Resistance of alfalfa and Indian mustard to Cd and the correlation of plant Cd uptake and soil Cd form. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(14): 13804-13811
- [13] 岳红,孙吉凤,麻莹. 镉对植物种子萌发影响研究. 江西农业, 2016(18): 90,95
- [14] 孙婕妤. 镉胁迫对不同地被菊品种生理特性及超微结构的影响. 哈尔滨:东北林业大学,2018
- [15] 李小寒. 类植物整合肽基因对烟草Cd²⁺耐受性和富集能力的影响. 重庆:西南大学,2018
- [16] Itusha A, Osborne W J. Enhanced uptake of Cd by biofilm forming Cd resistant plant growth promoting bacteria bioaugmented to the rhizosphere of *Vetiveria zizanioides*. International Journal of Phytoremediation, 2019, 21(5): 487-495
- [17] Romero-Puertas M C, Terrón-Camero L C, Peláez-Vico M Á, Olmedilla A, Sandalio L M. Reactive oxygen and nitrogen species as key indicators of plant responses to Cd stress. Environmental and Experimental Botany, 2019, 161: 107-119
- [18] 刘易斯. 十四烷浓度对植物修复Cd-十四烷复合污染土壤的影响研究. 沈阳:沈阳建筑大学,2019
- [19] 朱佳妮. 大豆对硒、锌、镉的吸收、转运和积累特征与机理的研究. 汉中:陕西理工大学,2018
- [20] 张阿芳. 整合剂诱导镉胁迫对杨树吸收镉的生理响应机理研究. 汉中:陕西理工大学,2018
- [21] Zhang Y, Zhang Y Y, Yi J J, Cai S B. Phytochemical characteristics and biological activities of *Rhus chinensis* Mill. Current Opinion in Food Science, 2022, 48: 100925. 1-100925. 21
- [22] Li M C, Wang A D, Zhang Y Q, Han T T, Guan L, Fan D X, Liu J Y, Xu Y N. A comprehensive review on ethnobotanical, phytochemical and pharmacological aspects of *Rhus chinensis* Mill. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 293(15): 115288. 1-115288. 25
- [23] 朱旺生,张春云. 盐肤木叶浸提液对铅胁迫白三叶幼苗生长的影响研究. 安徽农学通报, 2015, 21(21): 41-42
- [24] 王占军,王静,焦小雨,陈延松,徐忠东,欧祖兰,吴席,何子昂. 盐胁迫及外源钙处理对盐肤木种子萌发的影响. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(3): 706-714
- [25] 陈晶,穆燕,陈明,李明浩,赵薇薇,汤才国,黄胜威,詹福如. 盐肤木对重金属铬胁迫的生理生化反应研究. 生态科学, 2017, 36(2): 26-31
- [26] 王悟敏,匡雪韶,胡佳瑶,刘文胜. 锰胁迫对盐肤木种子萌发、幼苗生长及理化特性的影响. 生态学报, 2022, 42(9): 3706-3715
- [27] 王悟敏,胡佳瑶,刘文胜,曾文斌. 锰胁迫下盐肤木锰富集及生理响应特征. 西北植物学报, 2022, 42(4): 628-636

(收稿日期:2023-08-21)