

# 重金属铅镉对洋葱根系生长的影响

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.03.006

张 涵 张尔珂 周贵寅  
张玉平 邓新辉 谭 平

湖南工业大学  
生命科学与化学学院  
湖南 株洲 412007

**摘 要:** 针对土壤重金属污染影响作物生长和食品安全的问题, 采取水培法, 研究在不同种类和不同浓度重金属胁迫下, 洋葱根系、根尖细胞有丝分裂、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性等生理指标的变化, 总结重金属对洋葱根系影响的机制。结果表明: 铅和镉对洋葱根系的生长均有抑制作用, 且随着浓度的增大而增强; 在铅和镉胁迫下洋葱根尖细胞大部分处于有丝分裂的间期和前期; 较高浓度的铅、镉使洋葱根尖细胞的细胞核畸变; POD 酶、CAT 酶活力随着镉浓度的增加而增加, 随着铅浓度的增加而降低。洋葱根系能对重金属铅、镉的胁迫产生相应的生理响应机制, 为重金属污染对植物影响的研究提供了理论基础和客观依据。

**关键词:** 重金属; 洋葱; 有丝分裂; 过氧化物酶; 过氧化氢酶

**中图分类号:** X503.231; X171.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2022)03-0038-08

**引文格式:** 张 涵, 张尔珂, 周贵寅, 等. 重金属铅镉对洋葱根系生长的影响[J]. 包装学报, 2022, 14(3): 38-45.

## 0 引言

重金属对水体及土壤的污染也日益成为人们关注的问题<sup>[1]</sup>。调查显示, 全国土壤重金属总超标率为16.1%, 污染类型以无机型为主, 土壤及水体重金属离子主要有铅、汞、镉等8种<sup>[2-5]</sup>。采矿污染土地面积已达200余万公顷, 并且每年以(3.3~4.7)万公顷的速度递增<sup>[6]</sup>。西南地区土壤中, 镉、铅、锌、铜、砷等背景值远远高于全国土壤背景值<sup>[7-10]</sup>。因此, 研究土壤中重金属对植物生长的影响可为解决当前环境污染问题提供依据。

植物的根系直接与土壤相接触, 植物对重金属有较强的富集能力<sup>[11-12]</sup>。当土壤中重金属浓度较高时, 植物根系对重金属的富集作用会受到抑制, 同

时其生长发育也会受到影响<sup>[13-15]</sup>。双龙等<sup>[16]</sup>研究发现环境中重金属浓度过高会降低植物根系的含水量。P. Sharma 等<sup>[17]</sup>的研究表明, 当重金属的含量超过作物阈值, 会对植物体内相关酶造成影响, 进而影响植物生长发育, 甚至导致植物死亡。在重金属胁迫下, 植物生长状况恶化, 根系生长受到抑制、根系体积减小, 根鲜重降低<sup>[16]</sup>、根系活力减小, 最终导致其产量、质量降低, 生物多样性减少<sup>[17-20]</sup>。M. Jamla 等<sup>[21]</sup>研究发现不同种类植物对重金属的耐受能力不同, 木本植物对重金属有较强的耐性。国内外对重金属危害植物的研究层出不穷, 但对重金属胁迫下, 植物生长机理的研究相当有限。

鉴于洋葱根系对重金属铅、镉较为敏感<sup>[22]</sup>, 本研究采取水培试验的方法, 以洋葱为供试植物, 在模

**收稿日期:** 2021-12-20

**基金项目:** 国家自然科学基金资助面上项目 (52070078)

**作者简介:** 张 涵 (1998-), 女, 山东济南人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为环境微生物重金属污染的治理,  
E-mail: zhahan1998719@126.com

**通信作者:** 谭 平 (1982-), 女, 湖南株洲人, 湖南工业大学讲师, 主要研究方向为荧光探针的测定,  
E-mail: 54973272@qq.com

拟重金属铅、镉污染条件下,分析重金属类型和浓度对洋葱根系生长状况的影响,利用显微镜观察重金属Pb、Cd在不同浓度下对洋葱根尖细胞有丝分裂过程、细胞核形态的影响,通过测定吸光度值和显色反应的方法评估重金属铅、镉对过氧化物酶(peroxidase, POD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)活力<sup>[23]</sup>等的影响。综合不同浓度重金属铅、镉对洋葱根系生长状况、有丝分裂过程、酶活力大小等各项生理指标的影响,初步探讨重金属对洋葱根系的影响机制,阐明洋葱对重金属铅镉胁迫下的生理响应机制,为重金属对植物生长机理的影响和重金属污染土壤的生态修复提供理论依据。

## 1 实验

### 1.1 供试植物

供试植物选取大小、生长状态基本一致,较新鲜,无病虫害及腐烂现象,符合实验要求的新鲜紫皮洋葱,购于湖南省株洲市蔬菜市场。试验前先用自来水将洋葱根部表面的土壤和污渍洗去,避免破坏洋葱的内部结构,再用蒸馏水润洗1~2次。

### 1.2 实验试剂、设备与仪器

#### 1) 实验试剂

硝酸铅( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )、硝酸镉( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ )、酒精(体积分数为70%)、盐酸(体积分数为10%)、Carnoy固定液(甲醇与冰乙酸体积比为3:1)、磷酸缓冲液、愈创木酚、过氧化氢、硫酸,以上试剂均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。去离子水,实验室自制。

#### 2) 实验设备与仪器

超纯水处理系统, YK-RO-B型, 上海和泰仪器有限公司; 加热磁力搅拌器, HJ-85-2型, 郑州长城科工贸有限公司; 高速离心机, TG16G型, 湖南凯达科学仪器有限公司; 电热恒温水浴锅, HH-2型, 北京市永光明医疗仪器有限公司; 精密电子天平, BSM120.4型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 光学显微镜, xsp-01型, 上海浦丹光学有限公司; 紫外-可见分光光度计, 通用T6新世纪, 北京普析通用仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

将两种重金属试剂 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 配制成为不同浓度的水溶液,共设置9个实验组,将去离子水作为空白对照组;每个浓度设置3个平行实验,采用

水培法培养洋葱,共30个样品。每天上午八点至九点统计每个洋葱根的数量,并对洋葱每条根的长度进行测量并记录。7 d后收集不同重金属浓度下培养的洋葱根尖,观察洋葱根尖的有丝分裂情况,并对过氧化物酶和过氧化氢酶活力进行测定。

### 1.4 观察与测定方法

1) 洋葱根尖细胞有丝分裂的观察。剪下洋葱根尖约0.5 cm,置于固定液中固定20 min后转入酒精中,放置片刻将根尖取出,水洗后放入盛有少量10%盐酸的小烧杯中,并置于60℃恒温水浴锅中解离8 min,直至根尖发白变软。用镊子将根尖伸长区部分取出,在盛有清水的玻璃皿中漂洗后,置于载玻片上。夹住根尖,用解剖针或刀片在根尖乳白色部分0.3 cm处剔除1/3至1/2,然后放在载玻片中央,将所取的材料充分研磨、并用醋酸洋红染液染色,用解剖针将组织分散,染色5~20 min。吸去多余染液,盖上盖玻片,在盖玻片上放2层吸水纸,对准标本扣压,使细胞和染色体铺展开。先用低倍镜观察洋葱根尖压片,选择分裂相比较多的部位,再转至视野中央,利用高倍镜进行观察,拍照记录观察结果。

2) 过氧化物酶活力的测定。称取洋葱根系1 g,量取5 mL 20 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液置于研钵中研磨、匀浆,以4000 r/min转速离心15 min,收集上清液保存在冷处,残渣用5 mL  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液提取一次,合并两次提取液,取上清液。在比色皿中加入3 mL愈创木酚反应混合液,1 mL  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液作对照;另一比色皿中加入3 mL反应混合液与1 mL酶液,立即用秒表计时,在紫外-可见分光光度计470 nm处测定吸光度值,每隔1 min测定一次,并记录数据,以每分钟内吸光度变化为一个酶活力单位(U)。

3) 过氧化氢酶活力的测定。取足量洋葱根系,加入少量pH=7.8的磷酸缓冲溶液,研磨成匀浆,转移至10 mL离心管中,用该缓冲液冲洗研钵,并将冲洗液转至管中,10 000 r/min离心12 min,上清液即为过氧化氢酶的粗提液。取若干小试管,加入2.5 mL酶液,再加入2.5 mL 0.1 mol/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,于30℃恒温水浴中反应10 min,立即加入2.5 mL 10%硫酸溶液停止反应,用0.1 mol/L高锰酸钾溶液滴定,至出现粉红色(30 s内不消失)为终点,停止滴定并记录消耗的 $\text{KMnO}_4$ 溶液体积,酶活力用每克鲜重样品在10 min内分解 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的毫升数表示,酶活力计算参照实验教材的通用公式。

## 1.5 数据分析

所有实验数据利用 Excel 2003 进行平均值计算, 利用数据统计软件 Origin 对洋葱根系长度和生长时间进行 Logistics 生长模型拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属对洋葱根系生长状况的影响

#### 2.1.1 重金属对洋葱根系形态的影响

为了研究重金属类型和浓度对洋葱根系生长状况的影响, 在不同浓度 Pb、Cd 下观察洋葱根系的生长情况, 结果如图 1 所示。

由图 1 可知, 不同浓度的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  及  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中洋葱根系主要出现了以下 4 种具有代表性的现象: 图 1a 在 60 mg/L 的  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、2000 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 部分洋葱根系表面发黑, 根系短而粗; 图 1b 在 20 mg/L  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中洋葱的根尖变黄变弯曲; 图 1c 在 40 mg/L 的  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、1000 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 部分洋葱根系出现变黄、变软、变透明弯曲等现象; 图 1d 在 3000 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 部分洋葱出现了根部腐烂的现象。这是由于铅对根尖细胞产生严重毒害, 高浓度  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  使洋葱根系腐烂, 高浓度的  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  加速根尖细胞木质化<sup>[24-25]</sup>。洋葱对重金属铅、镉胁迫均

较为敏感, 可作为重金属铅、镉的监测植物。

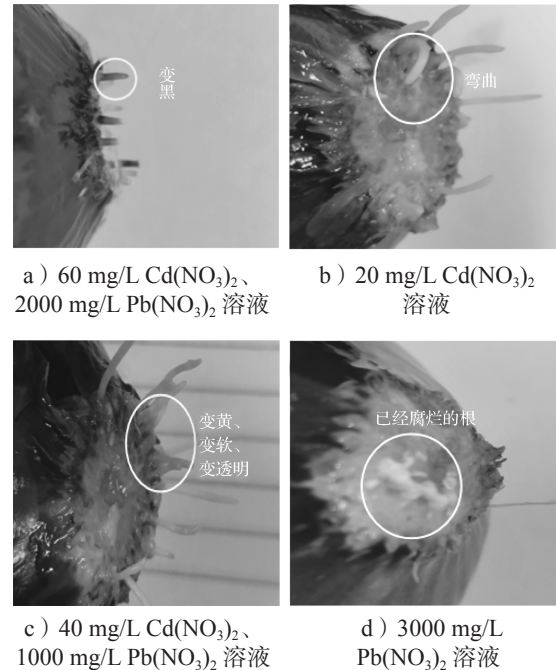


图 1 不同溶液中洋葱根系的生长状态

Fig. 1 Growth situation of onion roots in different solutions

#### 2.1.2 重金属对洋葱根系长度的影响

不同浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 一周内洋葱根系长度变化如表 1 所示。

表 1 不同浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  中洋葱根系长度  
Table 1 Root length of onion in  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  with different concentrations

质量浓度 / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	根 长 /mm						
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
0	$3.692 \pm 0.001$	$5.886 \pm 0.003$	$8.241 \pm 0.002$	$12.733 \pm 0.001$	$17.970 \pm 0.001$	$22.422 \pm 0.003$	$23.154 \pm 0.001$
20	$2.587 \pm 0.001$	$3.292 \pm 0.001$	$5.081 \pm 0.001$	$6.697 \pm 0.002$	$7.346 \pm 0.002$	$7.538 \pm 0.001$	$7.500 \pm 0.002$
40	$2.347 \pm 0.001$	$3.025 \pm 0.001$	$4.794 \pm 0.001$	$6.077 \pm 0.002$	$6.781 \pm 0.001$	$6.917 \pm 0.001$	$6.977 \pm 0.001$
60	$0.967 \pm 0.001$	$1.259 \pm 0.002$	$1.833 \pm 0.002$	$2.130 \pm 0.001$	$2.214 \pm 0.001$	$2.226 \pm 0.003$	$2.214 \pm 0.001$

由表 1 可知, 随着  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  浓度的增大, 洋葱根系平均长度均减小, 且与对照组相差越大。当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 60 mg/L 时, 培养 1 d 后根系长度与对照组的相差 2.725 mm, 第 2~7 d 分别相差 4.627, 6.408, 10.603, 15.756, 20.196, 20.940 mm, 时间越长根长差别越大。从组内来看, 对照组 7 d 内根系平均生长速率为 3.308 mm/d, 当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 20, 40, 60 mg/L 时, 洋葱根系平均生长速率分别为 1.071, 0.997, 0.316 mm/d。高浓度的  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  加速根尖细胞木质化,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  浓度越大, 越不利于洋葱根系生长。

表 2 为不同浓度  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中一周内洋葱根

系的长度变化。由表 2 可知, 整个培养期间, 随着  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  浓度的增大, 洋葱根系生长越缓慢, 平均长度越小, 与对照组相差不断增大。当  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度达到 3000 mg/L 时, 培养 1 d 后与对照组相差 3.692 mm, 第 2~7 d 分别相差 5.886, 8.191, 11.858, 16.970, 21.422, 22.154 mm, 时间越长根长差别越大。从组内来看, 当  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 1000, 2000, 3000 mg/L 时, 洋葱根系平均生长速率分别为 0.302, 0.167, 0.143 mm/d, 其中 3000 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中洋葱根尖从第 5 d 起停止生长, 这与高浓度  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  使洋葱根系腐烂有关。



表 2 不同浓度  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  中洋葱根系长度

Table 2 Root length of onion in different concentrations of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

质量浓度 / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	根长 /mm						
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
0	$3.692 \pm 0.001$	$5.886 \pm 0.001$	$8.241 \pm 0.003$	$12.733 \pm 0.002$	$17.970 \pm 0.003$	$22.422 \pm 0.001$	$23.154 \pm 0.002$
1000	$1.600 \pm 0.002$	$1.647 \pm 0.001$	$1.722 \pm 0.001$	$2.031 \pm 0.002$	$2.143 \pm 0.001$	$2.188 \pm 0.002$	$2.111 \pm 0.001$
2000	0.000	$0.143 \pm 0.002$	$0.333 \pm 0.001$	$0.750 \pm 0.001$	$1.000 \pm 0.001$	$1.050 \pm 0.001$	$1.167 \pm 0.003$
3000	0.000	0.000	$0.050 \pm 0.001$	$0.875 \pm 0.001$	$1.000 \pm 0.001$	$1.000 \pm 0.001$	$1.000 \pm 0.001$

2.1.3 洋葱根系 Logistics 生长模型

利用 Origin 对不同溶液中洋葱根系长度和生长时间进行 Logistics 生长模型拟合, 结果如图 2 所示。

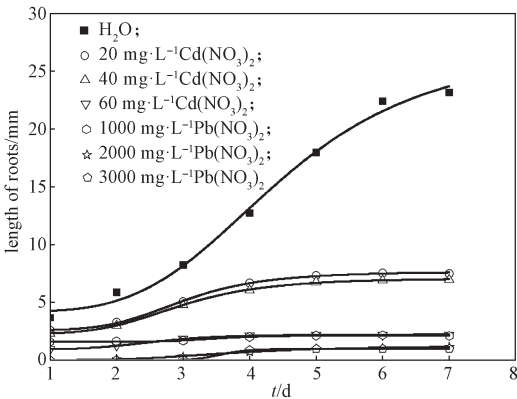


图 2 洋葱根系生长状况的 Logistics 方程拟合

Fig. 2 Logistics equation fitting effect of onion root growth

由图 2 可知, 在  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 洋葱根系生长状态均符合 Logistics 生长模型。 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  和  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  浓度越大, 洋葱根系平均长度越短。在  $60 \text{ mg/L Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中培养 7 d 后, 洋葱根系最短, 平均长度为  $2.214 \text{ mm}$ ; 在相同的培养时间内,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为  $3000 \text{ mg/L}$  时, 洋葱根系最短, 平均长度为  $1.000 \text{ mm}$ 。洋葱水培 7 d 后, 根系长度基本稳定, 可作为实验结果反映洋葱根系生长情况。

表 3 为不同浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中根系长度与生长时间 Logistics 方程拟合相关系数。

表 3 不同溶液中 Logistics 方程拟合相关系数

Table 3 Fitting correlation coefficient of Logistics equation in different concentrations of solution

溶液	质量浓度 / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$R^2$
$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	0	0.9944
	20	0.9991
	40	0.9995
	60	0.9994
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0	0.9944
	1000	0.9981
	2000	0.9946
	3000	0.9999

由表 3 可知, 在任何一种溶液中相关系数均大于 0.99, 符合相关系数  $R^2 \geq 0.99$ , 洋葱根系生长均符合 Logistics 生长模型。

2.2 重金属对洋葱根尖有丝分裂的影响

2.2.1 镉对洋葱根尖有丝分裂的影响

为了深入研究不同重金属的对洋葱根系的影响, 利用显微镜观察在不同浓度 Cd 条件下洋葱根系细胞的形态变化, 结果如图 3 所示。

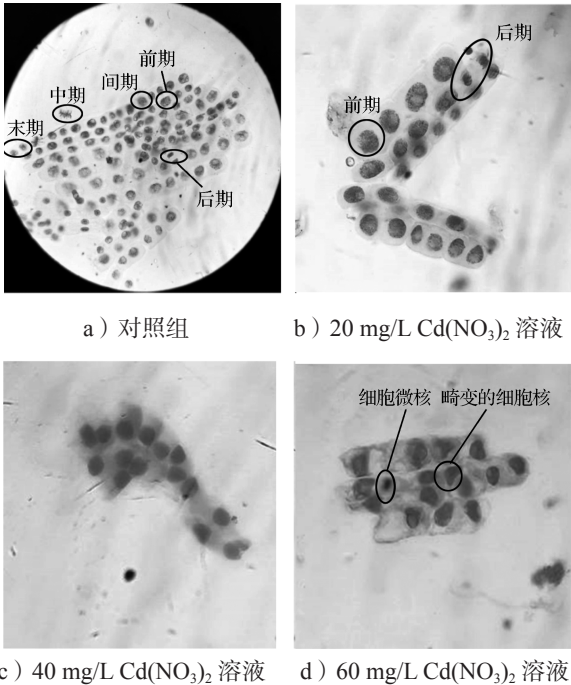


图 3 不同浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中洋葱根尖细胞有丝分裂

Fig. 3 Mitosis of onion root tip cells in different concentrations of  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  solution

由图 3 可知, 对照组的洋葱根尖细胞有丝分裂各个时期均正常; 在  $20 \text{ mg/L Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 细胞形态完好, 染色均匀, 此浓度下根尖细胞主要处于有丝分裂前期, 细胞分裂不够旺盛; 在  $40 \text{ mg/L Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 细胞核完好, 根尖细胞主要处于分裂间期; 在  $60 \text{ mg/L Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液中, 根尖细胞处于分裂间期, 细胞核畸变, 呈不规则形状, 同时出现细胞微核。



### 2.2.2 铅对洋葱根尖有丝分裂的影响

利用显微镜观察在不同浓度 Pb 条件下洋葱根尖细胞的形态变化,结果如图 4 所示。

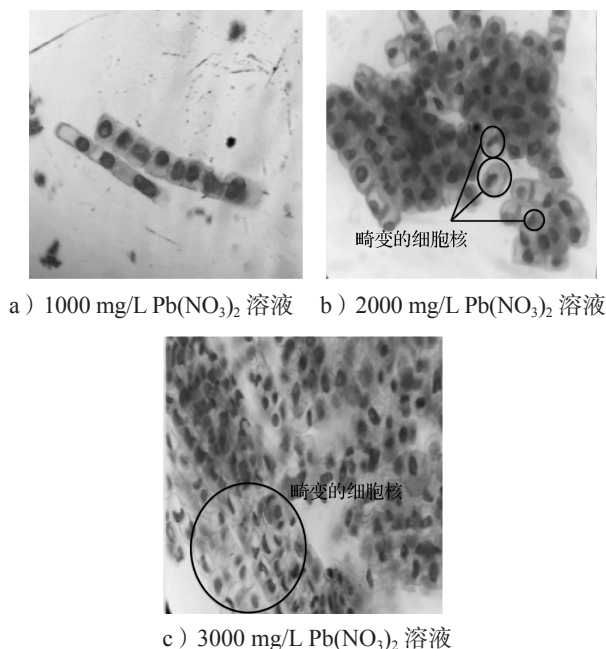


图 4 不同浓度  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中洋葱根尖细胞有丝分裂

Fig. 4 Mitosis of onion root tip cells in different concentrations of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  solution

由图 4 可知,在 1000~2000 mg/L  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中培养 7 d,部分洋葱根尖细胞的细胞核畸变,呈现不规则的形状。在 3000 mg/L  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中,洋葱根尖细胞核由圆形或椭圆形变为半月牙状,根尖细胞的细胞核、染色体等结构受到破坏,培养后期根尖细胞停止生长甚至出现根系腐烂现象。这主要是因为  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  可抑制洋葱根尖细胞纺锤体的形成,从而抑制根尖细胞的有丝分裂,导致根系生长速度减慢,甚至使根系细胞停止生长。

### 2.3 重金属对洋葱根尖过氧化物酶的影响

通过计算得出不同浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  和  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液中培养的洋葱根系的 POD 酶活力,再以  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为横坐标,POD 酶活力为纵坐标作图,结果如图 5 所示。

由图 5a 可知,当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  的质量浓度在 0~60 mg/L 范围内时,POD 酶活力与  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  浓度呈正相关,说明在此浓度范围内  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  对 POD 酶具有激活作用,也就是说此浓度范围为  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  对洋葱根尖细胞毒害所能承受的浓度范围。当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 60 mg/L,洋葱根系的过氧化物酶活力

最大,为 28.0068 U。由图 5b 可知,POD 酶活力随  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  浓度增大,呈现降低趋势。当  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 3000 mg/L 时,其 POD 酶活力最小,为 0.8 U。高浓度的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  对洋葱根尖细胞 POD 酶活力有抑制作用,低浓度  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  溶液可激活 POD 活力。

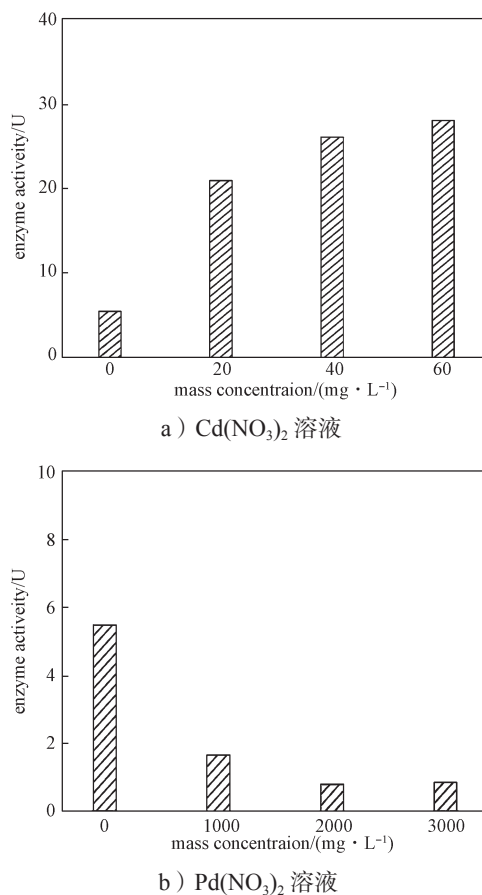


图 5 不同浓度溶液中洋葱根系 POD 酶活力

Fig. 5 POD activity of onion roots in different concentrations of solution

### 2.4 重金属对洋葱根尖过氧化物酶的影响

通过计算得出 CAT 酶活力,以  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为横坐标,POD 酶活力为纵坐标作图,结果如图 6 所示。

由图 6a 可知,当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 20 mg/L 时,洋葱根尖细胞 CAT 酶活力较对照组的低;当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 40 mg/L 时,洋葱根尖细胞 CAT 酶活力与对照组的相当;当  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  质量浓度为 60 mg/L 时,洋葱根尖细胞 CAT 酶活力高于对照组的,即高浓度的  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  对 CAT 酶具有激活作用。这是因为植物体具有对外界环境的应激性,实验中重金属镉可能抑制了洋葱  $\text{H}_2\text{O}_2$  的分解或促进

了洋葱产生  $H_2O_2$ , 使得洋葱根系细胞中积累了部分  $H_2O_2$  [26], 为分解过多的  $H_2O_2$ , 从而使得 CAT 酶活力上升。由图 6b 可知, 在  $Pb(NO_3)_2$  胁迫下, 各浓度 CAT 酶活力均低于对照组的, 在  $Pb(NO_3)_2$  质量浓度在 1000~3000 mg/L 范围内, CAT 酶活力呈现逐渐减少的趋势。这是因为外界重金属浓度升高会使洋葱对其产生应激反应, 促使 CAT 酶活力升高, 但由于重金属的毒性对酶造成的损害更大, 酶活力虽有增加趋势仍不能抵消重金属的毒害作用, 无法达到对照组的 CAT 酶活力。对比图 6a~b 可知,  $Pb(NO_3)_2$  对 CAT 酶活力影响更明显 [27-28]。

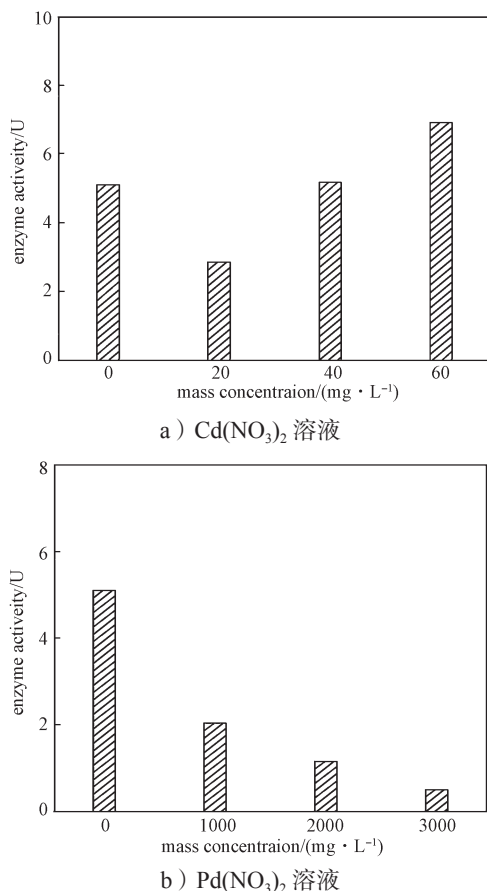


图 6 不同浓度溶液中洋葱根系 CAT 酶活力

Fig. 6 CAT activity of onion root in different concentrations of solution

### 3 结论

本研究通过模拟重金属铅、镉污染环境, 研究在  $Pb(NO_3)_2$ 、 $Cd(NO_3)_2$  胁迫下洋葱根尖形态、生长及根尖细胞有丝分裂、细胞 POD 和 CAT 酶活力等方面的变化, 从形态和生理方面揭示了洋葱根尖对重金属

$Pb(NO_3)_2$ 、 $Cd(NO_3)_2$  胁迫的响应特征。研究发现, 重金属  $Pb(NO_3)_2$ 、 $Cd(NO_3)_2$  对洋葱根系的生长均具有抑制作用, 可抑制根尖细胞的有丝分裂, 使细胞停留在有丝分裂的前期或间期; 抑制作用均随着浓度的增大而增强。在一定浓度范围内  $Cd(NO_3)_2$  能激活洋葱根尖细胞的过氧化物酶体系, 促使洋葱对重金属  $Cd(NO_3)_2$  的胁迫呈现出积极的生理响应特征。较高浓度的  $Pb(NO_3)_2$ 、 $Cd(NO_3)_2$  溶液, 使细胞无法进行正常生命活动、停止生长甚至腐烂。本研究通过分析重金属铅、镉对洋葱根系长度、有丝分裂过程、酶活力等各项生理指标的影响及其影响机制, 为重金属对植物生长机理的影响和重金属污染土壤的生态修复提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] 宋 云, 尉 黎, 王海见. 我国重金属污染土壤修复技术的发展现状及选择策略 [J]. 环境保护, 2014, 42(9): 32-36.  
SONG Yun, YU Li, WANG Haijian. Present Situation and Screening Strategies of Remediation Technology for Heavy Metal Contaminated Soil in China[J]. Environmental Protection, 2014, 42(9): 32-36.
- [2] 胡永兴, 宿 虎, 张 斌, 等. 土壤重金属污染及其评价方法概述 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(17): 33-39.  
HU Yongxing, SU Hu, ZHANG Bin, et al. Soil Heavy Metal Pollution and Its Evaluation Methods: A Review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(17): 33-39.
- [3] 赵红霞, 詹 勇, 许梓荣. 重金属对水生动物毒性的研究进展 [J]. 江西饲料, 2003(2): 13-18.  
ZHAO Hongxia, ZHAN Yong, XU Zirong. Research Progress on Toxicity of Heavy Metals to Aquatic Animals[J]. Jiangxi Feed, 2003(2): 13-18.
- [4] 李兆辉, 王光明, 徐云明, 等. 镉、汞、铅污染及其微生物修复研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(9): 39-43.  
LI Zhaohui, WANG Guangming, XU Yunming, et al. Progress on Pollutions of Cadmium, Mercury, Lead and Microbial Remediation[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2010, 37(9): 39-43.
- [5] 冶 军, 凌晓娟. 金属冶炼化工废水排放控制技术研究 [J]. 世界有色金属, 2018(12): 35, 37.  
YE Jun, LING Xiaojuan. Research on Emission Control Technology of Metal Smelting Wastewater[J]. World Nonferrous Metals, 2018(12): 35, 37.

- [6] KHAN I, AWAN S A, RIZWAN M, et al. Effects of Silicon on Heavy Metal Uptake at the Soil-Plant Interphase: A Review[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 222: 112510.
- [7] 余涛, 蒋天宇, 刘旭, 等. 土壤重金属污染现状及检测分析技术研究进展[J]. *中国地质*, 2021, 48(2): 460-476.  
YU Tao, JIANG Tianyu, LIU Xu, et al. Research Progress in Current Status of Soil Heavy Metal Pollution and Analysis Technology[J]. *Geology in China*, 2021, 48(2): 460-476.
- [8] 徐瑞. 我国农用地土壤环境质量状况分析[J]. *低碳世界*, 2017(10): 1-2.  
XU Rui. Environmental Quality Analysis of Soil of Agricultural Land in China[J]. *Low Carbon World*, 2017(10): 1-2.
- [9] ZHANG H Z, ZHANG Y R. Effects of Iron Oxide Nanoparticles on Fe and Heavy Metal Accumulation in Castor (*Ricinus Communis L.*) Plants and the Soil Aggregate[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 200: 110728.
- [10] 柳争艳. 煤矿中土壤重金属污染的生物修复技术研究[J]. *山西化工*, 2021, 41(2): 205-206, 214.  
LIU Zhengyan. Research on Bioremediation Technology of Soil Heavy Metal Pollution in Coal Mines[J]. *Shanxi Chemical Industry*, 2021, 41(2): 205-206, 214.
- [11] 张宝强. 水体重金属污染现状及修复治理方法研究[J]. *化工管理*, 2020(17): 63-64.  
ZHANG Baoqiang. Study on Current Situation and Remediation Methods of Heavy Metal Pollution in Water[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2020(17): 63-64.
- [12] 刘洪超, 魏学华, 何广宇. 我国重金属污染土壤修复技术的发展现状及选择策略[J]. *环境与发展*, 2018, 30(2): 82, 86.  
LIU Hongchao, WEI Xuehua, HE Guangyu. Current Situation and Strategies of Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil in China[J]. *Environment and Development*, 2018, 30(2): 82, 86.
- [13] RAVANBAKHSH M, KOWALCHUK G A, JOUSSET A. Optimization of Plant Hormonal Balance by Microorganisms Prevents Plant Heavy Metal Accumulation[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 379: 120787.
- [14] 尹华. 城市污泥堆肥制备复混肥料及其在重金属污染土地修复中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.  
YIN Hua. Preparation of Compound Fertilizer from Municipal Sludge Compost and Its Application in the Remediation of Land Contaminated by Heavy Metals[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [15] DEDE G, OZDEMIR S. Effects of Elemental Sulphur on Heavy Metal Uptake by Plants Growing on Municipal Sewage Sludge[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 166: 103-108.
- [16] 双龙, 滕朝阳. 土壤重金属污染现状及检测技术探究[J]. *石化技术*, 2020, 27(10): 187, 197.  
SHUANG Long, TENG Zhaoyang. Current Situation of Heavy Metal Pollution of Soil and Corresponding Detection Technology[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2020, 27(10): 187, 197.
- [17] SHARMA P, TRIPATHI S, SIROHI R, et al. Uptake and Mobilization of Heavy Metals Through Phytoremediation Process from Native Plants Species Growing on Complex Pollutants: Antioxidant Enzymes and Photosynthetic Pigments Response[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, 23: 101629.
- [18] REHMAN A U, NAZIR S, IRSHAD R, et al. Toxicity of Heavy Metals in Plants and Animals and Their Uptake by Magnetic Iron Oxide Nanoparticles[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 321: 114455.
- [19] KHANTHOM S, STEWART T N, PRAPAGDEE B. Potential of a Rhizobacterium on Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution and Promoting Plant Root Elongation Under Heavy Metal Toxic Conditions[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, 22: 101419.
- [20] XIA Y, LUO H N, LI D, et al. Efficient Immobilization of Toxic Heavy Metals in Multi-Contaminated Agricultural Soils by Amino-Functionalized Hydrochar: Performance, Plant Responses and Immobilization Mechanisms[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 261: 114217.
- [21] JAMLA M, KHARE T, JOSHI S, et al. Omics Approaches for Understanding Heavy Metal Responses and Tolerance in Plants[J]. *Current Plant Biology*, 2021, 27: 100213.
- [22] WEBER A M, MAWODZA T, SARKAR B, et al. Assessment of Potentially Toxic Trace Element Contamination in Urban Allotment Soils and Their Uptake by Onions: A Preliminary Case Study from Sheffield, England[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 170: 156-165.
- [23] JEDDI K, SIDDIQUE K H M, CHAIEB M, et al. Physiological and Biochemical Responses of *Lawsonia Inermis L.* to Heavy Metal Pollution in Arid Environments[J].



- South African Journal of Botany, 2021, 143: 7–16.
- [24] RUI H Y, CHEN C, ZHANG X X, et al. Cd-Induced Oxidative Stress and Lignification in the Roots of Two *Vicia Sativa* L. Varieties with Different Cd Tolerances[J]. Journal of Hazardous Materials, 2016, 301: 304–313.
- [25] LI J S, SUZUI N, NAKAI Y J, et al. Shoot Base Responds to Root-Applied Glutathione and Functions as a Critical Region to Inhibit Cadmium Translocation from the Roots to Shoots in Oilseed Rape (*Brassica Napus*)[J]. Plant Science, 2021, 305: 110822.
- [26] 刘东华, 蒋悟生, 李懋学. 镉对洋葱根生长和细胞分裂的影响 [J]. 环境科学学报, 1992, 12(4): 439–446.
- LIU Donghua, JIANG Wusheng, LI Maoxue. Effects of  $\text{Cd}^{2+}$  on Root Growth and Cell Division of *Allium Cepa*[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1992, 12(4): 439–446.
- [27] 张司南, 高培尧, 谢庆恩, 等. 镉诱导拟南芥根尖过氧化氢积累导致植物根生长抑制 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 136–140.
- ZHANG Sinan, GAO Peiyao, XIE Qing'en, et al. Cadmium-Induced Root Growth Inhibition is Mediated by Hydrogen Peroxide Production in Root Tip of *Arabidopsis*[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(1): 136–140.
- [28] 李秋江, 赵云霞, 谢雅舒, 等. 不同浓度重铬酸钾溶液胁迫对洋葱根尖生理生化特性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2017, 56(8): 1489–1493.
- LI Qiujiang, ZHAO Yunxia, XIE Yashu, et al. Effects of Different Concentration of  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  Solution Stress on the Physiology and Biochemistry of the Tip Cell of *Allium Cepa*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(8): 1489–1493.

(责任编辑: 李玉华)

## Effects of Heavy Metals Pb and Cd on Root Growth of Onion

ZHANG Han, ZHANG Erke, ZHOU Guiyin, ZHANG Yuping, DENG Xinhui, TAN Ping

( College of Life Sciences and Chemistry, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China )

**Abstract:** In view of the impacts of heavy metal pollution of soil on crop growth and food safety, by adopting water culture method, the changes in physiological indexes such as mitosis, peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities of onion roots and root tip cells under different kinds and concentrations of heavy metals were studied, with the mechanism of heavy metals on onion roots summarized. The results showed that Pb and Cd inhibited the growth of onion roots, which increased with the increase of the concentration. Under Pb and Cd stress, most of onion root tip cells were in the interphase and prophase of mitosis. Higher concentration of Pb and Cd made the nuclei of onion root tip cells distorted; The activities of POD and CAT increased with the increase of Cd concentration, but decreased with the increase of Pd concentration. Onion roots could produce corresponding physiological response mechanism to the stress of heavy metals of lead and cadmium, which provided theoretical basis and objective basis for the study of heavy metal pollution on plants.

**Keywords:** heavy metal; onion; mitosis; POD; CAT