

# 镧对镉、汞复合污染下豌豆生长发育效应的影响

沈宗根, 王立新, 张海芸, 杜晓新, 杜兰芳

(江苏省常熟理工学院 生物系 江苏 常熟 215500)

**摘要:**以豌豆为试验材料, 采用水培方法研究了镧对镉、汞复合胁迫下豌豆种子萌发与生长的影响。结果表明: 当镉、汞浓度都为 5 mg/L 时, 0.2 mg/L 的镧对镉、汞的解毒效应最为显著, 表现为能够促进镉、汞复合污染下豌豆幼苗的萌发, 促进豌豆幼苗根和芽的生长, 降低豌豆幼苗根尖细胞的细胞核畸变率, 提高豌豆幼苗的叶绿素含量及过氧化物酶(POD)的活性。当镧浓度高于 0.4 mg/L 时, 则与镉、汞协同迫害豌豆幼苗的生长。

**关键词:** 镧; 镉; 汞; 豌豆; 叶绿素; 过氧化物酶

**中图分类号:** S 643.304<sup>+</sup>.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)05-0009-04

重金属污染是当今污染面积最广、危害最大的环境问题之一。我国受重金属污染的耕地面积近 2 000 万  $\text{hm}^2$ , 约占耕地总面积 1/5<sup>[1]</sup>。

汞、镉是环境污染中毒性最强的重金属元素, 生物迁移性也强, 极易被植物吸收和积累, 可沿食物链生物累积和通过生物放大的作用最终导致对人及动物的危害。食用含汞、镉食物会导致人体骨质疏松、肺障碍和肾功能不良, 还有致癌、致畸的作用<sup>[2]</sup>。

镧(Lanthanum, La)作为稀土元素之一, 在有机体中含量很少, 但对生命活动具有重要的调节作用。研究表明, 镧可以加速作物种子萌发, 促进植物根系生长以及对养分的吸收、转化和利用, 改善农产品品质, 提高农作物产量<sup>[3]</sup>。

环境中的重金属以单元素存在的情况是很少的, 大多数情况下是元素之间以及重金属与其他污染物联合作用构成的复合污染。由于复合污染下污染物对生物有机体的效应与单一污染物作用存在差异, 因此复合污染研究更能客观体现环境中污染物与生物有机体之间的相互作用规律和机理。

试验探讨了镧对镉、汞复合污染下豌豆幼苗生长状况的影响, 为缓解重金属离子的毒害作用, 为保护环境提供点滴参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 生物样品

豌豆(*Pisum sativum* L.), 购于常熟种子站。

第一作者简介: 沈宗根(1962-), 男, 教授, 现从事植物学研究工作。  
通讯作者: 杜兰芳(1948-), 女, 教授, 现从事遗传学研究工作。  
E-mail: dlfc@csig.edu.cn

基金项目: 植物学重点学科基金资助项目。

收稿日期: 2008-12-10

### 1.2 样品预处理

镉、汞复合溶液浓度(以下简称复合溶液)为等浓度的硝酸镉(广州化学试剂厂)、硝酸汞(广州化学试剂厂)混合而成, 分别为 0.05(Cd 0.5+Hg 0.5)、1(Cd 1+Hg 1)、3(Cd 3+Hg 3)、5(Cd 5+Hg 5)、7(Cd 7+Hg 7)、10(Cd 10+Hg 10)mg/L。挑选大小均匀, 形状饱满的豌豆种子, 每组选取 25 粒, 在室温下分别用复合溶液浸种 20 h 后移至垫有 3 层纱布的培养皿中培养。培养皿中分别加入等体积不同浓度的硝酸镉、硝酸汞复合溶液及氧化镧(广州化学试剂厂)溶液。氧化镧溶液浓度分别为 0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.2 mg/L。培养皿置于光照强度为 2 000 lx, 光照时间为 12 h/d 的恒温室中(18±2)℃培养, 每隔 24 h 换溶液 1 次, 重复 3 次。

### 1.3 试验过程

1.3.1 豌豆种子发芽率统计 每天定时观察, 统计豌豆种子的发芽情况, 作好数据记录。发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数的计算方法参照文献<sup>[4]</sup>。发芽势=前 4 d 内正常发芽的种子数/供试种子数×100%; 发芽率=前 7 d 内正常发芽的种子数/供试种子数×100%; 发芽指数= $\sum G_t/D_t$  ( $G_t$  为不同时间的发芽量,  $D_t$  为相应的发芽试验天数); 活力指数=发芽指数×苗长度(取芽长)。

1.3.2 豌豆根尖细胞核和染色体的观察 同文献<sup>[5]</sup>。

1.3.3 叶绿素含量测定 参照刘学铭等<sup>[6]</sup>方法。

1.3.4 豌豆幼苗过氧化物酶同工酶(POD)的测定 第 15 天, 取汞、镉为 5 mg/L 时不同浓度镧处理组幼苗, 采用聚丙烯酰胺垂直凝胶电泳的方法测定<sup>[7]</sup>, 用醋酸联苯胺染色法, 以 Vision works LS 进行电泳图谱光密度扫描、谱定量等自动分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 镧对镉、汞复合污染下豌豆种子萌发的影响

由表 1 知, 镧浓度 0.4 mg/L 时, 各复合溶液下发

芽势均高于未加镉组;其中镉浓度为 0.2 mg/L 时各组的值为同一复合溶液浓度下的最大值。当复合浓度为 3 mg/L 时,加入 0.2 mg/L 镉后的发芽势(48.67)比未加镉组(32.00)增加了 16.67%。当复合溶液浓度>5 mg/L 时,处理组发芽势均低于复合溶液浓度为 5 mg/L 的相对处理组;当复合溶液浓度为 10 mg/L,镉浓度为 1.2 mg/L 时,发芽势值最小,比未加镉组低 1.20%,比蒸馏水对照组减少了 13.20%,这是前 4 d 镉与镉、汞共同胁迫抑制种子的萌发所致。

由表 1 还知,加镉后各组的萌发率均高于未加镉组,以镉浓度为 0.2 mg/L 时值为大,说明此时镉较好地缓解了镉、汞对种子萌发的抑制效应;而萌发率优于发芽势,说明镉解毒效应的滞后持续效应。

活力指数是种子萌发和胚芽的生长状况的综合体现。由表 1 可知,0.2 mg/L 的镉不仅能较好地缓解镉、汞的抑制效应,促进种子萌发,也能促进芽的生长;而镉为 1.2 mg/L,复合浓度为 10 mg/L 时活力指数的最小值,是镉与镉、汞的共同胁迫效应。

Table 1		Effect of La under Cd and Hg contamination stress on seed germination of pea							%
镉浓度 La concentration	镉、汞 Cd、Hg concentration /mg · L <sup>-1</sup>								
/mg · L <sup>-1</sup>	0	0.5	1	3	5	7	10		
发芽势 Germination potentia(4 d)									
0	37.20±1.65	34.00±0.58	29.33±0.28	32.00±0.50	36.00±0.94	32.00±1.00	25.20±0.69		
0.05	37.33±1.34	37.67±1.97	38.00±0.82	41.20±1.35	39.20±1.99	32.00±1.92	26.00±2.32		
0.1	44.00±0.58	38.20±1.43	38.33±2.33	32.00±3.61	37.20±1.70	32.20±2.83	26.00±0.28		
0.2	48.00±1.63	38.67±1.99	39.00±2.48	48.67±3.41	40.00±2.72	36.00±2.78	30.00±1.89		
0.4	40.00±0.00	30.00±2.39	31.20±2.98	31.20±2.98	36.33±1.73	33.33±1.41	29.20±2.50		
0.8	36.33±1.04	32.00±2.24	31.00±1.28	36.00±0.82	33.20±1.88	25.20±1.73	27.00±1.58		
1.2	34.67±0.34	38.00±3.39	30.00±2.85	34.00±3.22	32.00±2.50	33.20±1.42	24.00±1.73		
萌发率 Seed germination(7 d)/%									
0	79.20±0.97	60.00±0.36	64.00±0.71	74.00±0.16	84.00±0.31	72.00±0.67	62.00±0.18		
0.05	84.00±0.62	69.20±1.04	72.00±1.20	76.80±1.11	90.67±0.69	79.20±0.71	86.67±0.70		
0.1	92.00±0.00	82.67±0.36	76.80±0.87	92.00±0.78	81.33±0.18	82.80±1.00	64.00±0.36		
0.2	88.00±0.30	92.00±0.51	88.80±1.50	93.20±0.45	94.67±0.17	93.33±0.34	88.00±0.30		
0.4	88.00±0.60	83.20±1.06	77.20±0.81	79.20±1.19	85.33±0.94	76.00±1.17	68.00±0.59		
0.8	88.00±0.30	77.33±0.37	88.00±0.52	80.00±0.95	90.80±0.62	92.00±0.51	76.00±1.12		
1.2	98.00±0.14	89.33±0.17	82.67±0.36	86.80±0.63	84.00±0.71	92.00±0.59	74.80±0.82		
活力指数 Vital index(5 d)									
0	13.73±0.06	12.88±0.02	12.25±0.03	11.49±0.04	11.15±0.04	10.08±0.03	8.59±0.05		
0.05	14.48±0.03	18.85±0.03	14.69±0.03	16.94±0.03	16.05±0.03	15.79±0.04	11.42±0.06		
0.1	17.09±0.04	17.33±0.04	21.24±0.04	20.20±0.07	20.77±0.09	16.80±0.10	13.60±0.09		
0.2	19.81±0.02	20.12±0.07	22.88±0.09	25.44±0.04	27.50±0.02	19.20±0.04	18.09±0.04		
0.4	16.72±0.07	15.78±0.03	16.26±0.05	17.82±0.05	19.55±0.08	14.43±0.02	12.53±0.03		
0.8	11.31±0.08	11.52±0.04	12.03±0.03	11.15±0.05	10.92±0.09	8.95±0.05	8.79±0.07		
1.2	13.73±0.06	12.88±0.02	12.25±0.03	11.49±0.04	11.15±0.04	10.08±0.03	8.59±0.05		

表 2		镉对镉、汞复合(5 mg/L)污染下豌豆细胞影响					
Table 2		Effect of La under Cd and Hg (5 mg/L) stress on cell division of pea 120 h					
La concentration	镜检细胞	细胞分裂指数	细胞核染色体畸变类型和变异细胞数 The aberrant type and the number of chromosome/个				
/mg · L <sup>-1</sup>	Watch cells/个	Mitotic index/%	畸形核 Abnormality nuclei	微核 Micronuclei	不均等分离 Asymmetric segregation	畸变率 Aberration rate/%	
0	2 856	2.35	14	11	2	0.95	
0.05	2 742	3.57	10	12	1	0.84	
0.1	2 775	2.95	12	7	4	0.83	
0.2	2 734	3.44	12	9	1	0.80	
0.4	2 858	2.59	15	6	5	0.91	
0.8	2 964	2.16	21	11	4	1.21	
1.2	2 885	2.15	18	9	5	1.11	

2.2 镉对镉、汞复合污染下豌豆根尖细胞核和染色体的影响

由表 2 知,在 5 mg/L 复合溶液中加入镉溶液(≤0.4 mg/L)处理后,各处理组的细胞分裂指数均大于对照组,镉浓度为 0.2 mg/L 时,细胞分裂指数值最大;当镉浓度增至 0.8 mg/L 时,细胞分裂指数值小于对照。说明在镉、汞

为 5 mg/L 时,≤0.4 mg/L 镉能较好地缓解镉、汞毒害,促进根尖细胞分裂,且与萌发状况、芽的生长吻合。

由表 2 知,细胞核、染色体的畸变率与细胞分裂指数呈负相关性。当镉浓度≥0.8 mg/L,不仅细胞分裂指数下降,抑制细胞分裂;一些细胞虽能进入分裂期,但出现了畸形核、微核及细胞染色体数目变异、游离染色体、

不均等分离等多种畸变现象。说明镧对镉、汞复合污染已无解毒效应,还与镉、汞共同胁迫所至。

2.3 镧对镉、汞复合污染下豌豆幼苗叶绿素的影响

叶绿素是植物进行光合作用的功能物质,其含量多少直接影响植物生长发育。镉、汞单独作用能抑制叶绿素的合成<sup>[89]</sup>。

由表 3 知,镉、汞浓度为 5 mg/L 时,随着镧浓度的增加,豌豆幼苗叶绿素含量呈现先升后降的趋势。在镧浓度≤0.4 mg/L 时,叶绿素含量均大于对照;以镧为 0.2 mg/L 时,叶绿素含量达到最大值,是对照组的

110.43%。当镧浓度增至 0.8 mg/L 时,叶绿素含量最低,比对照组减少了 11.30%,说明,此时镧与镉、汞协同抑制叶绿素的合成。

在镧浓度为 0.2 mg/L,镉、汞浓度≤5 mg/L 时,叶绿素含量均大于对照;以镉、汞浓度为 5 mg/L 时,叶绿素含量达到最大值,是对照组的 133.64%;说明 0.2 mg/L 镧缓解了镉、汞抑制叶绿素合成的作用。当镉、汞浓度增至 7.10 mg/L 时,叶绿素含量逐渐下降。

所以,在叶绿素的合成中,0.2 mg/L 的镧对镉、汞浓度为 5 mg/L 的缓解毒害效应最佳。

表 3 镧对镉、汞复合污染下豌豆幼苗叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of La under Cd and Hg contamination stress on chlorophyll (Chl) content of seedling leaves of pea 10 d					
处理浓度	叶绿素含量	叶绿素相对含量	处理浓度 Disposal	叶绿素含量	叶绿素相对含量
Disposal/ mg · L <sup>-1</sup>	Chl content/ mg · g <sup>-1</sup> FW	Chl content Contrast/ %	/ mg · L <sup>-1</sup>	Chl content/ mg · g <sup>-1</sup> FW	Relative Chl content/ %
Cd5+Hg5			La 0.2		
La_0	1.15	100.00	Cd_0+Hg_0	1.10	100.00
0.05	1.24	107.83	0.5 0.5	1.17	106.36
0.1	1.18	102.61	1 1	1.24	112.73
0.2	1.27	110.43	3 3	1.29	117.27
0.4	1.17	101.74	5 5	1.47	133.64
0.8	1.02	88.70	7 7	1.09	99.09
1.2	1.08	93.91	10 10	1.08	98.18

2.4 镧对镉、汞复合污染下的豌豆 POD 的影响

过氧化物同工酶(POD)是一种含铁的金属蛋白质,它能催化过氧化氢氧化酚类的反应,将 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解成 H<sub>2</sub>O,使植物免受毒害,在植物呼吸代谢中有着重要作用。

图 1 为镉、汞浓度 5mg/L 时,不同浓度的镧处理下豌豆幼苗 POD 的图谱。与未加镧的对照相比,幼苗 POD 活性和数量均有不同。

mg/L 时灰度值达到最大值,是对照的 221.97%,说明镧激活了体内保护酶,以缓解镉、汞的氧化胁迫;幼苗 POD 活性和数量达到最大值的 0.2 mg/L 镧浓度,与种子萌发、幼苗叶绿素含量的最佳镧浓度一致。当镧浓度增至 0.8 mg/L 时,POD 活性小于对照,镧浓度为 1.2 mg/L 时灰度值最小;而此时与幼苗幼小,且呈现发黄、蜷曲等严重中毒的形态特征相吻。说明高浓度的镧不仅不能缓解镉、汞对豌豆的毒害,反而和镉、汞共同胁迫豌豆的生长。

表 4 镧对镉、汞(5 mg/L)复合污染下豌豆幼苗 POD 的影响

Table 4 Effect of La under Cd and Hg(5 mg/L) contamination stress on POD of pea(15 d)							
镧浓度 La concentration/ mg · L <sup>-1</sup>	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2
灰度值	4332150	6210016	6757198	9616191	460592	4183931	3748836
Grisent							
相对灰度值							
Grisent contrast/ %	100.00	143.35	155.98	221.97	106.31	96.58	86.54

3 结果与讨论

在种子萌发时,当镉、汞浓度≤5 mg/L、≤0.4 mg/L 的镧能较好地缓解镉、汞复合污染对豌豆幼苗的毒害效应,提高镉、汞复合污染下豌豆种子的萌发率、胚芽的生长、幼苗叶绿素的合成;以 0.2 mg/L 的镧对 5 mg/L 镉、汞效果最佳;上述解毒效应与镧激活植物体内的大量的保护性酶 POD 活性密切相关。POD 是生物体内抗氧化酶系统中主要的保护酶之一,能与机体内相关酶类,有

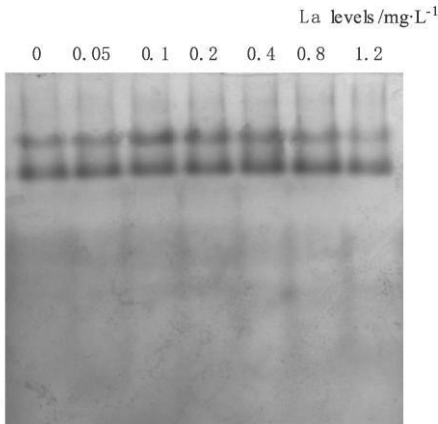


图 1 镧对镉、汞(5 mg/L)复合污染下豌豆幼苗过氧化物同工酶的影响(15 d)

Fig. 1 Effect of La under Cd and Hg contamination(5 mg/L) stress on POD of seedling leaves of pea (15 d)

灰度值反映了 POD 的活性和含量。由表 4 知在镧浓度≤0.4 mg/L 时,灰度值均大于对照;以镧为 0.2

效地清除超氧化物自由基<sup>[10]</sup>。

镉、汞复合污染使豌豆幼苗体内产生了强氧化性物质( $H_2O_2$ 等),激活了幼苗体内的保护机制,合成较多的 POD 分解这些有毒物质;加镉后强化了这种激活作用,促使生物体快速、大量合成 POD,且随着镉浓度增大,强化作用也增强;当镉、汞浓度都为 5 mg/L 时,0.2 mg/L 的镉溶液激活了生物体内尚存的全部自我修复机制,POD 的数量、活性达到最大,分解镉、汞复合污染产生的强氧化性物质效应最佳,从而提高了种子的萌发率,促进了根系及芽的生长;当镉的浓度增大至 1.2 mg/L 时,因已超过了生物体内最大的修复范围,无潜在修复机能激活,故解毒效应降低,故此时幼苗形态上的中毒效应显著。

在不同浓度的镉、汞复合污染下,可以通过使用不同浓度的镉处理达到较好的缓解毒害效应。相信随着对镉元素的进一步认识,试验研究将扩展到更多的作物上;现代科学技术特别是生物技术的发展也将推动镉元素生理生化作用及其分子机理的研究。

## 参考文献

- [1] 郭伯生. 稀土农用前景广阔[J]. 中心企业科技, 2006(1): 14-15.
- [2] 孙铁沅, 周启星, 李培军. 污染生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 136-292.
- [3] 陈远孟, 白厚义, 李杨瑞. 镉在主要农作物上的应用及其生理生化作用[J]. 广西农业科学, 2003(6): 15-17.
- [4] 慈恩, 高明, 王子芳, 等. 镉对紫花苜蓿种子萌发与幼苗生长的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 96-98.
- [5] 杜兰芳, 顾志良, 钟华, 等. 离子体浸没  $N^+$  注入对豌豆胚芽细胞的诱变效应[J]. 遗传, 2000, 22(6): 398-400.
- [6] 刘学铭, 王菊芳, 余若黔, 等. 不同氮水平下异养小球藻生物量和叶绿素含量的变化[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(3): 198-201(in Chinese).
- [7] 上海植物生理学会编. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 480-484.
- [8] 杜兰芳, 沈宗根, 王立新, 等.  $CdCl_2$  单盐对豌豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(7): 1411-1416.
- [9] 杜兰芳, 沈宗根, 郁达, 等. 汞胁迫对豌豆种子的毒害效应[J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2266-2271.
- [10] 杜兰芳, 王立新, 许俊, 等. 镉对汞胁迫下豌豆生长发育效应的影响[J]. 科技通报, 2007, 23(5): 670-675.

## Effect of La on the Growth and Development of Pea Under Cd and Hg Combined Pollution

SHEN Zong-gen, WANG Li-Xin, ZHANG Hai-yun, DU Xiao-xin, DU Lan-fang  
(Department of Biological, Changshu College, Changshu, Jiangsu 215500, China)

**Abstract:** By means of water cultivation method, the study was conducted to investigate the effect of La in different concentration of the seed germination rate, the growth of the plants of pea seed under Cd and Hg contamination stress complexly. The results showed that the strongest activation of the ameliorate toxicity of La was shown, while the concentration of Cd and Hg was 5 mg/L, La was 0.2 mg/L. The germination and growth of the seedlings was promoted, the aberration rate of the radicle cell nuclei of the seedlings was decreased. The chlorophyll content and the activity of POD was increased under the Cd and Hg contamination complexly. However the concentration of La was  $\geq 0.4$  mg/L, the La coordinate with Cd, Hg aggravate the toxicity to the growth of seedling.

**Key words:** La; Cd; Hg; Pea; Chlorophyll; POD

## 食品标签不能随便标“高钙”

## 知识窗

《食品营养标签管理规范》实施已近一年,但一些食品包装袋上的营养标签仍不符合国家规定。

据悉,《食品营养标签管理规范》自 2008 年 5 月 1 日开始正式实施。根据《规范》要求,只有当每 100 mL 液体食品中钙含量等于或大于 120 mg 时,才能在产品包装上标示“高钙”字样。但部分袋装牛奶乱使用“高钙”标志的现象,如某高钙酸牛奶标签上的营养成分标明“每

100 g 酸牛奶的钙含量  $\geq 100$  mg”,明显与上面的标准不相符,属于乱用“高钙”标志。另外,《规范》还规定,以前在食品营养标签上常见到的“ $\geq$ ”、“ $\leq$ ”等标示方式将不能使用,只能用具体的含量数值来表示。但记者调查发现,超市大部分袋装牛奶营养标签上还都在使用“ $\geq$ ”、“ $\leq$ ”符号,食品营养标签的使用还是很不规范。