

## 重金属镍和铅处理对散叶生菜种子萌发及幼苗生长的影响

李乐乐<sup>1</sup>, 吴大付<sup>1\*</sup>, 马学军<sup>2</sup>, 李浩<sup>1</sup>, 王静童<sup>1</sup>, 殷金忠<sup>1</sup>, 李中阳<sup>3</sup>, 唐蛟<sup>1</sup> (1. 河南科技学院资源与环境学院, 河南新乡 453003; 2. 新乡市牧野区农业技术推广站, 河南新乡 453003; 3. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南新乡 453003)

**摘要** [目的]探究不同浓度重金属镍(Ni)、铅(Pb)处理对常见蔬菜种子萌发及生长的影响。[方法]采用盆栽土培方式,分别设定6个不同浓度的Ni和Pb溶液对散叶生菜种子进行胁迫处理。[结果]与空白对照组相比,低浓度的Ni处理(6.25 mg/kg)对散叶生菜的发芽率、发芽势、发芽指数均起促进作用,当浓度增高为12.50~75.00 mg/kg,则逐渐转变为抑制作用,且浓度>75.00 mg/kg时抑制作用越明显,甚至出现绝收的现象。当土壤Pb含量为2.58~10.30 mg/kg时,可以促进其萌发过程;当浓度为31.02~51.49 mg/kg时,萌发受到明显的抑制作用。同时重金属Ni对散叶生菜生长状况的影响程度要大于Pb。[结论]该研究为设施蔬菜种植和重金属污染防治提供一定参考。

**关键词** 镍;铅;种子萌发;幼苗生长;影响;散叶生菜

**中图分类号** X173 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)21-0061-03

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Heavy Metal Ni and Pb Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Lactuca sativa*

LI Le-le<sup>1</sup>, WU Da-fu<sup>1</sup>, MA Xue-jun<sup>2</sup> et al (1. School of Resource and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003; 2. Agricultural Technology Promotion Station of Muye District, Xinxiang, Henan 453003)

**Abstract** [Objective] The research aimed to explore the effects of heavy metals (Ni and Pb) stress on the common vegetable seed germination and growth. [Method] 6 different concentrations of solutions with Ni and Pb were sprinkled on *Lactuca sativa* by the pot culture method. [Result] Compared with control treatment, low concentration of Ni (6.25 mg/kg) in the soil would promote germination rate, germination potential and germination index of *Lactuca sativa*, when the concentration increased to 12.50~75.00 mg/kg, it gradually changed into inhibition, and the inhibition effect was more obvious when the concentration exceeded 75.00 mg/kg, and even lead to death. Germination was promoted when the concentration of Pb was 2.58~10.30 mg/kg. And obvious inhibitions were discovered within 31.02~51.49 mg/kg. The effect of heavy metal Ni on the growth of *Lactuca sativa* was greater than that of heavy metal Pb. [Conclusion] The research provided some reference for facility vegetable planting and prevention of heavy metal pollution.

**Key words** Nickel (Ni); Lead (Pb); Seed germination; Seedling growth; Effect; *Lactuca sativa*

土壤是人类赖以生存的最宝贵资源<sup>[1]</sup>。统计数据表明,我国重金属污染土地已经达到2 000万hm<sup>2</sup>,其中污染最为严重的土地已超过70万hm<sup>2</sup>。土壤重金属污染日益突出、食品安全问题频繁发生引起了人们的高度重视<sup>[2-3]</sup>。为了实现人与自然的和谐相处、农业的可持续发展,对于重金属污染问题的防治和治理已迫在眉睫。蔬菜是人们生活中不可或缺的一种副食品,同时也是非常重要的经济作物。蔬菜中含有人体所需要的多种维生素和营养物质,对于保持身体健康具有重要作用<sup>[4]</sup>。随着我国经济和人们生活水平的提高,越来越多的人注意养生,选择合理膳食,增加了蔬菜的消耗。蔬菜种植也成为我国发展最快的行业之一。因此蔬菜的安全问题,特别是重金属污染问题受到人们的特别关注。大多数菜地集中在城镇的周边,容易受到工业“三废”的排放,农药、化肥的不合理使用,汽车尾气,城市垃圾、污泥等污染物的影响,这些污染物进入土壤对于蔬菜造成影响。污染物在蔬菜食用部位积累,通过食物链对人体健康构成威胁<sup>[5]</sup>。

镍(Ni)是一种银白色金属,具有一定的耐腐蚀性,不溶于水。通常情况下土壤中含镍量极低,但是镍元素是构成植物营养元素中微量元素之一<sup>[6-7]</sup>。植物生长过程中,土壤中

较低浓度的镍元素对植物生长具有一定的促进作用,但如果超过植物临界值时会对植物生长产生抑制或毒害作用,主要表现为幼苗萎缩、生长迟缓、产量下降,甚至出现绝收等现象<sup>[8]</sup>。铅(Pb)也是一种银白色金属,具有不可降解和不溶于水的特性,并可长期累积,是土壤中的重要污染物之一<sup>[9]</sup>。在植物生长的过程中,土壤中较低浓度的铅同样具有一定的促进作用,过高浓度的铅会对植物生长产生抑制或毒害的作用,最终主要表现在植物的产量和质量上的影响<sup>[8]</sup>。

目前国内外关于镍和铅对植物生长发育影响的研究较多,但是主要集中对植物群体产量、生物有效性分布特征及规律方面<sup>[9]</sup>。而种子萌发及幼苗生长过程是植物对于外界环境最为敏感的阶段,其对于重金属胁迫的响应研究还较为缺乏。散叶生菜是一种常见的蔬菜品种,被誉为“蔬菜皇后”,富含各种维生素、微量元素和干扰素诱生剂,可刺激人体产生抗病毒蛋白,有抑制病毒的功效。该研究通过Ni和Pb胁迫处理探究其对散叶生菜的种子萌发及幼苗生长的影响,以为设施蔬菜种植和重金属污染防治提供一定参考。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试蔬菜种子为中国农业科学院蔬菜花卉研究所选育出的优质散叶生菜(*Lactuca sativa*)种子,叶卵圆形、散生且叶面具有褶皱。试验土壤取自河南科技学院院内花房。试验在河南科技学院资源与环境学院生态学实验室进行。

**1.2 试验方法** 将供试土壤烘干过筛,防止病原菌和其他

**基金项目** 十三五国家重点研发计划项目(2017YFD0801103-2)。

**作者简介** 李乐乐(1994—),男,河南灵宝人,硕士研究生,研究方向:重金属污染修复。\*通信作者,教授,硕士生导师,从事农业环境保护与可持续发展的教学与研究工作。

**收稿日期** 2019-05-27

种子影响。在每个花盆底部平铺2张报纸,防止渗漏,加入450 g土壤。挑选籽粒大小相当种子播于已取好土的花盆内,每盆播种25颗,播种时采用5行5列等间隔进行种植,以便后期观察出苗率和苗的生长状况。按照试验设定的处理依次贴好标签,分别加入不同浓度的重金属液(表1),各处理均设置6个重复。然后,在温室内进行培养。培养期间,每天按时浇水保持一定的湿度,种子种植次日开始观察记录正常萌发种子数目。试验共持续30 d,试验期间每10 d对于各处理随机选取6株幼苗,测量幼苗株高,其平均值。

表1 土壤中不同镍和铅处理浓度设置

处理 Treatment	Ni	Pb
CK	0	0
A	6.25	2.58
B	12.54	5.15
C	25.08	10.30
D	75.08	31.02
E	278.60	51.49

### 1.3 数据处理与分析

**1.3.1 发芽率、发芽势和发芽指数的计算。**发芽率是决定种子品质和种子实用价值的依据。发芽率=实际发芽的种子数目/供试验种子数目×100%。

种子发芽势是判别种子质量优劣、出苗整齐与否的重要标志,也与幼苗强弱和产量有密切关系。发芽势高的种子,出苗迅速,整齐健壮。发芽势=3 d发芽种子数目/供试验种子数目×100%。

发芽指数  $G_t = \sum (G_t/D_t)$ ,其中  $G_t$  为发芽指数,  $G_t$  为在  $t$  日的发芽个数,  $D_t$  为相应的发芽天数。

**1.3.2 生理指标的测定。**幼苗收割之后,用电子天平测其地上部分鲜生物量。

**1.3.3 统计分析。**试验数据均采用 Excel 和 STST 软件进行单因素方差分析(ANOVA)显著性分析和 LSD 多重比较,置信限为 95%。

## 2 结果与分析

### 2.1 镍和铅处理对散叶生菜种子萌发的影响

**2.1.1 对发芽率的影响。**单因素方差分析结果显示 Ni 处理下  $F=68.14 > F_{0.05}$ ,说明土壤中不同浓度的镍对散叶生菜

发芽率具有显著影响。由图1可知,在 Ni 含量为 6.25 mg/kg(处理 A)时散叶生菜发芽率为 60%,D、E 处理发芽率为 0;CK 与处理 A 无显著性差异( $P > 0.05$ ),与其余各处理之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。同时单因素方差分析结果也显示 Pb 处理下  $F=2.63 > F_{0.05}$ ,说明土壤中不同浓度的 Pb 对散叶生菜发芽率具有显著影响。由图1可知,当 Pb 的含量为 2.58 mg/kg(处理 A)时,散叶生菜发芽率为 83%;CK 与 A、B、C 以及 E 处理无显著性差异( $P > 0.05$ ),发芽率最低维持在 66%,与处理 D 之间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

**2.1.2 对发芽势的影响。**单因素方差分析结果显示 Ni 处理下  $F=219.88 > F_{0.05}$ ,说明不同浓度的镍对散叶生菜发芽势存在一定的显著性影响。由图2可知,在镍含量为 0(CK)和 6.25 mg/kg(处理 A)时,散叶生菜发芽势为 18%,且处理间无显著性差异( $P > 0.05$ );当浓度  $> 25.08$  mg/kg(处理 C)时,散叶生菜发芽势为 0。然而,单因素方差分析结果显示 Pb 处理下  $F=2.54 < F_{0.05}$ ,说明不同浓度铅处理对散叶生菜发芽势的影响差异不显著。但是随着 Pb 含量的升高,发芽势呈现出一定的波动。当 Pb 含量为 10.30 mg/kg(处理 C)时,散叶生菜发芽势达到最高,为 69%,最低为 51.49 mg/kg(处理 E)下,为 53%。

**2.1.3 对发芽指数的影响。**单因素方差分析结果表明 Ni 处理下  $F=21.31 > F_{0.05}$ ,说明土壤中不同浓度的镍处理对散叶生菜发芽指数具有显著影响。由图3可知,在 Ni 含量为 0 和 6.25 mg/kg(处理 A)时,散叶生菜发芽指数分别为 2.47 和 2.61,与其余各处理之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。同样单因素方差分析结果也表明 Pb 处理下  $F=5.41 > F_{0.05}$ ,故不同浓度的铅处理对散叶生菜发芽指数具有显著影响。由图3可知,在 Pb 含量为 5.15 mg/kg(处理 B)时,散叶生菜发芽指数为 2.51;在 Pb 含量为 51.49 mg/kg(处理 E)时,散叶生菜发芽指数为 2.42;CK 与 A,CK 与 D 处理之间无显著性差异( $P > 0.05$ ),与其余各处理之间均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

**2.2 镍和铅处理对散叶生菜地上生物量的影响**单因素方差分析结果表明 Ni 处理下  $F=90.82 > F_{0.05}$ ,说明土壤中不同浓度的镍处理对散叶生菜地上生物量具有显著影响。由图4可知,不同处理之间散叶生菜地上生物量均存在显著差异( $P < 0.05$ );在 6.25 mg/kg(处理 A)时,散叶生菜的地上生物量达到最大,为 151.8 mg,后随着 Ni 浓度的增加,散叶生菜

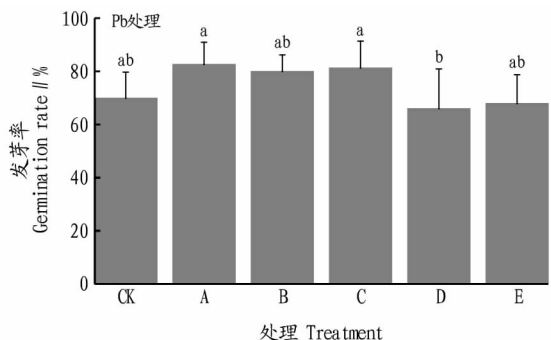
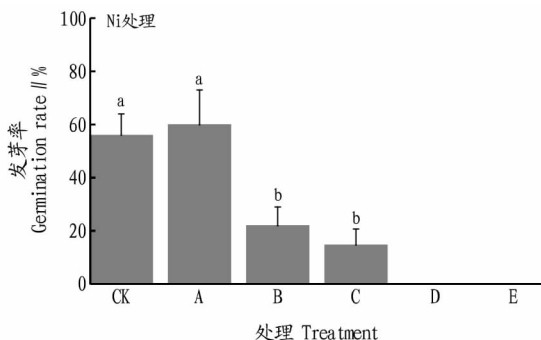


图1 不同浓度 Ni 和 Pb 处理对散叶生菜发芽率的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of Ni and Pb on the germination rate of *Lactuca sativa*

地上生物量减小。同样单因素方差分析结果也表明 Pb 处理  $F = 137.38 > F_{0.05}$ , 故不同浓度的铅处理对散叶生菜地上生物量具有显著影响。由图 4 可知, 散叶生菜地上生物量随着 Pb

浓度的增加呈现波动; Pb 浓度为 2.58 mg/kg (处理 A) 和 5.15 mg/kg (处理 B) 时, 散叶生菜的地上生物量与其他各处理之间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。

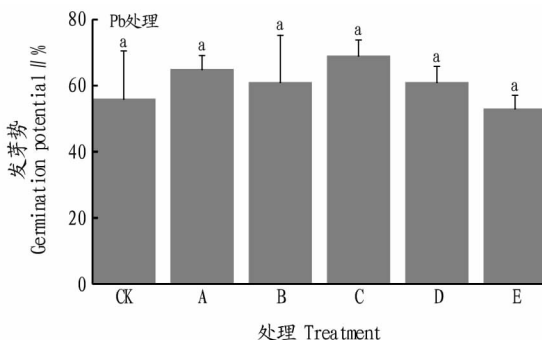
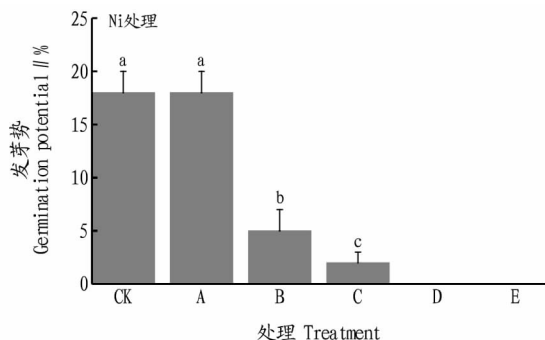


图 2 不同浓度 Ni 和 Pb 处理对散叶生菜发芽势的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of Ni and Pb on the germination potential of *Lactuca sativa*

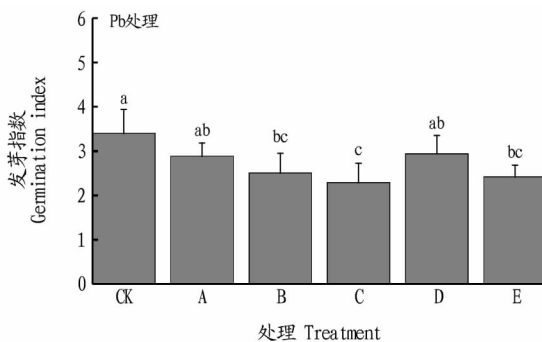
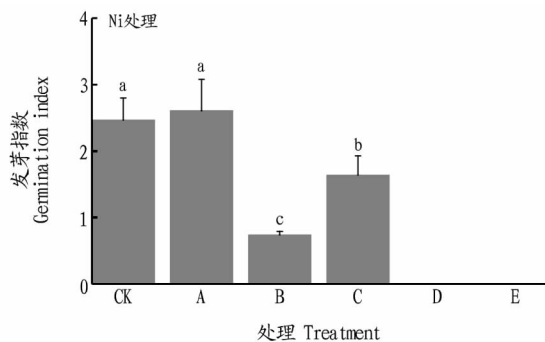


图 3 不同浓度 Ni 和 Pb 处理对散叶生菜发芽指数的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of Ni and Pb on the germination index of *Lactuca sativa*

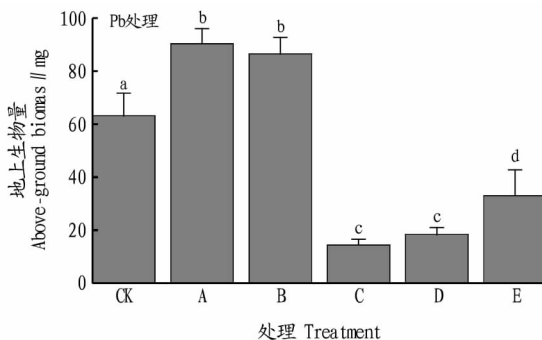
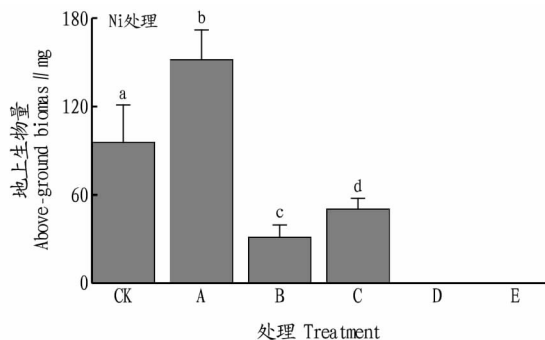


图 4 不同浓度 Ni 和 Pb 处理对散叶生菜地上生物量的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of Ni and Pb on the above-ground biomass of *Lactuca sativa*

### 3 讨论

**3.1 土壤中重金属 Ni 和 Pb 对散叶生菜种子萌发的影响** 发芽率、发芽势和发芽指数是表征种子萌发能力的重要参数<sup>[10]</sup>。工业“三废”的不合理排放, 农药、化肥的不合理使用等容易造成土壤重金属含量超标, 对蔬菜生产造成影响。在散叶生菜种子萌发过程中, 与空白对照相比, 当土壤中的镍含量为 6.25 mg/kg 时, 种子的萌发过程受到抑制。当镍含量大于 12.54 mg/kg 时, 萌发过程受到抑制, 发芽率降低, 发芽势和发芽指数下降。陈丁红<sup>[11]</sup>对于种子发芽势对作物田间出苗率的重要性的研究表明, 当浓度大于 75.08 mg/kg 时, 甚至还会出现绝收等现象。该研究发现当铅浓度低于 2.58 mg/kg 时, 对散叶生菜的萌发过程(发芽率、发芽势、发

芽指数)具有一定的促进作用。铅浓度超过 5.15 mg/kg 时, 对种子萌发过程产生影响, 但抑制性较低, 超过 10.30 mg/kg 时会对种子萌发产生明显的抑制性作用。

**3.2 土壤中重金属 Ni 和 Pb 对散叶生菜幼苗生长的影响** 不同品种蔬菜对不同重金属吸附累积能力也各不相同。该试验表明植物在吸收重金属的过程中, 镍和铅对蔬菜种子萌发、鲜重影响中, 对种子萌发过程影响最小。对植物生长发育而言, 幼苗生长时期对重金属毒性更为敏感, 而根对外界变化最为显著, 主要是因为植物根系是吸收、运输水分和各种养分的主要器官, 是植株最早接触到重金属的部位<sup>[12]</sup>。当植物根系吸收重金属不断积累达到一定量后, 对植物根系 (下转第 98 页)

性较高,但也有20%分离株有耐药性。因此,在水生动物病害防控时,进行药敏试验非常有必要。

表2 纸片法测定分离株药敏试验结果

Table 2 Results of drug sensitivity test of isolate strains determined by disk method

药物 Drug	敏感 Sensitive	中敏 Intermediately sensitive	耐药 Tolerant
复方新诺明 Compound sulfamethoxazole	19	2	9
恩诺沙星 Enrofloxacin	18	6	6
氟苯尼考 Florfenicol	23	1	6
多西环素 Doxycycline	16	12	2
新霉素 Neomycin	14	12	4

表3 微量肉汤法测定的分离株药敏试验结果

Table 3 Results of drug sensitivity test of isolated strains determined by microbroth method

药物 Drug	敏感 Sensitive	中敏 Intermediately sensitive	耐药 Tolerant
磺胺甲噁唑 Sulfamethoxazole	16	10	4
恩诺沙星 Enrofloxacin	22	1	7
氟苯尼考 Florfenicol	17	4	9
多西环素 Doxycycline	15	6	9
硫酸新霉素 Neomycin sulfate	15	7	8

(上接第63页)

生长造成影响<sup>[8]</sup>。过量的重金属会阻碍植物叶绿素的合成与分解,降低细胞内叶绿素的含量,对幼苗生长初期正常的光合作用造成损害<sup>[13]</sup>。该试验表明一定浓度的重金属 Ni (6.25 mg/kg) 和 Pb (2.58 和 5.15 mg/kg) 可以促进散叶生菜地上生物量的积累。鲁艳等<sup>[14]</sup> 利用镍胁迫对7种旱生植物种子萌发及幼苗生长的影响研究镍对幼苗生长产生抑制作用,而且浓度越高,抑制作用就越明显,这与该研究的结论基本一致。

土壤中过量的重金属镍和铅能够抑制散叶生菜种子萌发和幼苗生长,同时也会影响产量和人体健康。因此,在设施蔬菜种植过程中需要严格控制镍和铅等重金属的含量,建立长期有效的监测预警机制,同时对于已产生毒害效果的蔬菜采取相应补救措施,减轻损失,降低风险。

#### 4 结论

(1) 低浓度的 Ni 处理 (6.25 mg/kg) 对于散叶生菜的发芽率、发芽势、发芽指数均起促进作用,当浓度增高为 12.50~75.00 mg/kg,则逐渐转变为抑制作用,且浓度 >75.00 mg/kg 时抑制作用更明显,甚至出现绝收的现象。

(2) 当土壤 Pb 含量为 2.58~10.30 mg/kg 时,可以促进其萌发过程。当浓度为 31.02~51.49 mg/kg 时,萌发受到明

#### 参考文献

- [1] 彭博文,杨移斌,艾晓辉,等. 克氏原螯虾源维氏气单胞菌分离鉴定及药敏特性研究[J]. 海洋湖沼通报,2018(4):108-114.
- [2] 陈红莲,宋光同,何吉祥,等. 克氏原螯虾弗氏柠檬酸杆菌的分离鉴定与药敏试验[J]. 淡水渔业,2014,44(1):73-77.
- [3] WANG W, GU W, DING Z F, et al. A novel *Spiroplasma* pathogen causing systemic infection in the crayfish *Procambarus clarkia* (Crustacea: Decapod), in China [J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2005, 249(1):131-137.
- [4] 朱岩林,马腾,陈露,等. 鳙鱼维氏气单胞菌的分离鉴定及其毒力基因检测[J]. 安徽农业大学学报,2017,44(2):229-233.
- [5] 刘玉庆,李璐璐,骆延波,等译. EUCAST 欧盟药敏试验标准[S]. 北京:中国质检出版社,2016:3-20.
- [6] 陆承平. 致病性嗜水气单胞菌及其所致鱼病综述[J]. 水产学报,1992,16(3):282-288.
- [7] THUNE R L, HAWKE J P, SIEBELING R J. Vibriosis in the red swamp crawfish [J]. *Journal of aquatic animal health*, 1991, 3(3):188-191.
- [8] 周加利. 柠檬酸杆菌 O 抗原基因簇 RFLP 分型及 5 个 O 血清型基因簇的破译[D]. 天津:南开大学,2011:6-16.
- [9] 吕爱军,胡秀彩,朱静榕,等. 弗氏柠檬酸杆菌感染诱导斑马鱼皮肤免疫相关基因的差异表达[J]. 水产学报,2012,36(3):359-366.
- [10] 王利,魏勇. 鲫鱼弗氏柠檬酸杆菌的鉴定及系统发育分析[J]. 水产科学,2012,31(8):481-484.
- [11] 沈锦玉,顾志敏,潘晓艺,等. 红螯螯虾弗氏柠檬酸杆菌病原的分离与鉴定[J]. 中国水产科学,2005,12(2):197-200.
- [12] 彭开松,余锐萍,杨玉荣,等. 鸡  $\beta$ -防御素 13 对尼罗罗非鱼生长和疾病抗性的影响[J]. 中国兽医科学,2009,39(5):432-436.
- [13] JANDA J M, ABBOTT S L. The genus *Aeromonas*: Taxonomy, pathogenicity, and infection [J]. *Clinical microbiology reviews*, 2010, 23(1):35-73.
- [14] 张玉晴. 拟态弧菌模拟表位的串联表达及其对草鱼的免疫应答研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2013.
- [15] 卢玉婷,郑丹丹,胡扬扬,等. 鲤鱼肺炎克雷伯氏菌分离与鉴定[J]. 中国兽药杂志,2014,48(9):9-13.

显的抑制作用。同时重金属 Ni 对散叶生菜生长状况的影响程度要大于 Pb。

#### 参考文献

- [1] 黄昌勇,徐建明. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [2] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 骆永明,滕应. 我国土壤污染退化状况及防治对策[J]. 土壤,2006,38(5):505-508.
- [4] 王正根. 蔬菜营养与品质[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 陈俭霖,史公军. 城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究进展[J]. 北方园艺,2005(3):8-9.
- [6] 邹邦基. 镍在植物生活中的作用[J]. 植物生理学通讯,1982(1):22-27.
- [7] 张西科,张福锁,李春欣. 植物生长必需的微量营养元素——镍[J]. 土壤,1996(4):176-179.
- [8] 夏立江,王宏康. 土壤污染及其防治[M]. 上海:华东理工大学出版社,2007.
- [9] 马永刚. 铅污染现状、原因及对策[J]. 中国资源综合利用,2001(2):26-28.
- [10] 宗良纲,孙静克,沈倩宇,等. Cd、Pb 污染对几种叶类蔬菜生长的影响及其毒害症状[J]. 生态毒理学,2007,2(1):63-68.
- [11] 陈丁红. 种子发芽势对作物田间出苗率的重要性探讨[J]. 中国种业,2012(3):49-50.
- [12] 王海华,康健,曾富华,等. 高浓度镍对水稻幼苗生长及酶活性的影响[J]. 作物学报,2001,27(6):953-957.
- [13] LUSK C H. Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rainforest [J]. *Oecologia*, 2002, 132:188-196.
- [14] 鲁艳,何明珠,马全林,等. 镍胁迫对7种旱生植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子,2009,28(6):26-29,33.