

Effects of Different Soil Amendments on Cadmium Uptake by Maize

Haijiang Wang*, Hongwei Li, Mochen Feng

The Nuclear Industry Geological Survey 283 Brigade in Sichuan Province, Dazhou Sichuan
Email: *schgy283@163.com

Received: Jun. 26th, 2020; accepted: Jul. 17th, 2020; published: Jul. 24th, 2020

Abstract

Straw organic fertilizer, sodium bentonite and ammonium humate were selected to evaluate the effects about cadmium content, yield increase and soil available cadmium in maize. The results showed that three different soil amendments could increase the alkaline value of soil, increased by 6.4%, 1.9% and 4.5% respectively, and the straw organic fertilizer group reached a very significant level ($P < 0.01$). Ammonium humate group reached a significant level ($P < 0.05$). The content of cadmium in maize in the three treatment groups decreased by 16.7%, 33.3% and 20.8%, respectively, of which the sodium bentonite group decreased significantly ($P < 0.01$), followed by the ammonium humate group ($P < 0.05$). The cadmium content in maize stems and leaves in the three treatment groups decreased by 5.2%, 13.8% and 8.6%, respectively, and the sodium bentonite group decreased significantly ($P < 0.05$). After maize harvest, the content of available cadmium in the three treatment groups decreased by 19.9%, 44.8% and 26.5%, respectively, and the sodium bentonite group decreased significantly ($P < 0.01$). The ammonium humate group decreased significantly ($P < 0.05$). The study on the coexistence of selenium and cadmium found that three different soil amendments all had a certain effect of promoting selenium and inhibiting cadmium absorption. The results show that three different soil amendments can be used as potential soil amendments to a certain extent in enriching selenium and reducing cadmium in maize, and provide technical support for farmland soil remediation.

Keywords

Soil Amendment, Maize, Cadmium, Selenium

不同土壤修复剂对玉米吸收镉的影响研究

王海苙*, 李鸿巍, 冯莫沉

四川省核工业地质局283大队, 四川 达州
Email: *schgy283@163.com

收稿日期: 2020年6月26日; 录用日期: 2020年7月17日; 发布日期: 2020年7月24日

*通讯作者。

摘要

选取秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三种土壤修复剂进行试验研究,评价对玉米各部分镉含量、增产效果和土壤有效态镉的影响。结果表明:三种不同的土壤修复剂均能提高土壤的碱性值;三种处理组分别增产了6.4%、1.9和4.5%,其中秸秆有机肥组达到了极显著水平($P < 0.01$),腐植酸铵组达到了显著水平($P < 0.05$);三种处理组玉米籽粒中镉含量分别降低了16.7%,33.3%和20.8%,其中钠基膨润土组降低幅度达到了极显著水平($P < 0.01$),其次为腐植酸铵组($P < 0.05$);三种处理组玉米茎叶中镉含量分别降低了5.2%,13.8%和8.6%,其中钠基膨润土组降低幅度达到了显著水平($P < 0.05$);三种处理组玉米收割后土壤中有效态镉含量分别降低了19.9%、44.8%和26.5%,其中钠基膨润土组降低幅度达到了极显著水平($P < 0.01$),腐植酸铵组降低幅度达到了显著水平($P < 0.05$);硒、镉共存研究发现,三种不同的土壤修复剂均具有一定的促硒抑镉吸收效果。表明三种不同的土壤修复剂在玉米富硒降镉方面,一定程度上可作为理想的土壤修复剂,为农田土壤的修复提供技术参考。

关键词

土壤修复剂, 玉米, 镉, 硒

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着工农业的快速发展,环境问题日益突出,土壤重金属污染引起土壤肥力、农作物品质和产量下降,严重威胁农业安全和人民的身体健康[1]。其中,镉是重金属土壤污染中最常见的一种[2],易通过食物链等途径富集在人体内,具有化学活性强、毒性持久、易富集、难代谢等强的生物毒性。降低镉对生物体的危害性,要从土壤源头解决镉的含量和作物对镉的吸收富集作用。目前采用何种手段减少土壤中有效态镉的含量,降低作物对镉的吸收和富集一直是土壤重金属污染研究的热点和难点。土壤重金属污染处理措施主要有生物修复法、物理修复法和化学修复法[3]。由于土壤重金属污染面积的广阔性、土质和环境的差异性等相关因素,选择一种成本低、使用范围广、经济高效的土壤修复剂至关重要,当前主要针对偏酸性含镉的富硒土壤的修复研究未见报道。玉米是我国也是万源地区主要的经济作物之一,具有易管理、生长快和种植面积广等特点,研究表明玉米对土壤中镉有较强的富集作用[4],玉米对土壤中镉的吸收与镉的有效态含量呈正相关[5],所以降低土壤中有效态镉的含量,是降低玉米对镉富集的关键措施。

研究表明,钠基膨润土和腐植酸铵能改善土壤酸性水平,属于碱性土壤修复剂,它们均具有较强的离子交换和吸附能力,能够有效吸附土壤中的重金属离子[6][7],但对硒的螯合效应较低;秸秆有机肥为微生物发酵秸秆制得的生物菌肥,肥效与活菌数、土壤环境有密切关系,当施加秸秆有机肥后,既能增强土壤肥力,又能引入大量有益生物菌,能有效改良土壤环境。因此本研究选用秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵为土壤修复剂材料,探讨三种不同的修复剂对万源某乡镇酸性富硒耕地种植玉米的富硒降镉效果,以期含重金属土壤的修复治理提供技术参考。

2. 试验材料与方法

2.1. 试验材料

在前期筛选基础上, 适合于在万源地区的试验玉米品种为金东玉 800 (购自四川奥力星农业科技有限公司, 株高 2.70 m, 穗位高为 1.10 m 左右, 品种春播最宜, 周期 4 个月左右。子粒为硬粒, 子粒颜色为桔黄色)。供试田地为万源某乡镇某一常规耕地, 距离城区 2 公里的平坝地带, 试验田土壤基本理化性质为: pH 为 6.17, 硒含量为 0.66 mg/kg, 镉含量为 5.54 mg/kg, 砷含量为 23.42 mg/kg, 汞含量为 0.29 mg/kg, 铅含量为 29.43 mg/kg, 碱解氮含量为 121.4 mg/kg, 速效磷含量为 27.7 mg/kg, 速效钾含量 139.4 mg/kg, 有机质含量为 18.6 g/kg。参照国家土地质量地球化学评价规范(DZ/T0295-2016) [8], 土壤中硒超出富硒标准 1.7 倍; 参照国家土壤环境质量标准(GB15618-1995) [9], 土壤中镉含量为三级标准; 其他重金属砷、汞、铅等含量在二级标准范围内。土壤修复剂分别为秸秆有机肥、钠基膨润土、腐植酸铵(购自山东地专家土壤修复有限公司), 根据文献报道及前期预实验得出修复剂的施加量分别为: 秸秆有机肥 130 g/m²、钠基膨润土 65 g/m²、腐植酸铵 150 g/m²。在各试验田中分别施加相应量的修复剂, 与耕层土壤充分混匀, 15 天后播种玉米种子。

2.2. 试验设计

试验共设计三组不同土壤修复剂组和一组空白对照组(CK), 共 4 个处理组, 每个处理组设 3 个重复, 共 12 个处理小区, 每个小区面积为 100 m², 所有的小区均在同一项目田中, 每个小区之间采用一米行距加以区分, 12 个处理小区随机排列, 其余田间管理与当地管理方式相同。试验周期为 2019 年至 2020 年。

2.3. 项目测定

2.3.1. 土壤有效态镉含量测定

在玉米种植前和采收后, 分别取土壤样品, 参照国家标准(GBT23739-2009), 有效态镉采用 DTPA 浸提, 在干重条件下测定土壤中有效态镉的含量, 土壤样品经消解后, 采用氢化物发生原子荧光光谱法测定硒含量[10]。

2.3.2. 玉米样品分析测定

玉米收获后, 对玉米籽和茎叶进行硝酸-高氯酸微波消解处理, 采用氢化物发生原子荧光光谱法测定样品中重金属镉和硒的含量[11]。

2.4. 数据分析

试验数据采用软件 SPSS19.0 进行整理和统计分析, 并进行数据差异性检验分析。

3. 结果与讨论

3.1. 不同土壤修复剂对土壤 pH 的影响

在玉米生长最为旺盛的穗期, 随机在 12 个处理小区分别取土壤样品, 测定每个样品土壤的 pH 值, 取平均值, 结果见表 1。结果可知, 三种土壤修复剂均提高了土壤的碱性水平, 与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵组土壤 pH 分别增加了 0.19、0.84 和 0.58, 其中钠基膨润土组增加较显著。对照组土壤 pH 与玉米播种前土壤 pH 相比较, 增加了 0.06, 推测与当地田间管理有一定关系。

Table 1. Effects of different soil amendments on soil pH**表 1.** 不同土壤修复剂对土壤 pH 的影响

项目	CK 组	秸秆有机肥组	钠基膨润土组	腐植酸铵组
pH	6.23 ± 0.11	6.42 ± 0.16	7.07 ± 0.24 ^a	6.81 ± 0.23

注: a 表示差异显著($P < 0.05$)。

3.2. 不同土壤修复剂对玉米性状和产量的影响

玉米成熟后, 随机取样测定各处理小区玉米的株高、地上干物质(去除玉米棒)质量和玉米产量, 每个处理小区样本数不少于 80, 取平均值, 结果见表 2。结果可知, 施加不同土壤修复剂后, 玉米株高、地上干物质质量和玉米产量均有不同程度的增加。株高方面, 与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三组分别增高了 5.7%、2.3%和 3.4%, 秸秆有机肥组增高达到了显著水平。说明施加不同的土壤修复剂, 能提高玉米的生长, 特别是秸秆有机肥的施加, 为玉米提供了更多的营养物质。地上物质部分处理晾干后称重, 结果与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三组分别增加了 8.1%、2.4%和 5.4%; 与对照组相比, 三组植株均相对粗大; 秸秆有机肥组表现出极显著水平, 腐植酸铵表现出显著水平, 说明秸秆有机肥组和腐植酸铵组对植株生长影响较大, 促进植株生长。玉米产量对比发现, 与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三组分别增产了 6.4%、1.9%和 4.5%, 其中秸秆有机肥组达到了极显著水平, 腐植酸铵组达到了显著水平。玉米增产趋势和地上干物质质量和株高增长趋势相似, 通过修复剂的添加, 促进了植株的生长和茎叶粗壮, 进而为增产打下基础, 同时秸秆有机肥处理组表现较好, 可作为潜在的玉米施肥剂进一步研究。

Table 2. Effects of different soil amendments on characters and yield of maize**表 2.** 不同土壤修复剂对玉米性状和产量的影响

项目	CK 组	秸秆有机肥组	钠基膨润土组	腐植酸铵组
株高(m)	2.63 ± 0.07	2.78 ± 0.11 ^a	2.69 ± 0.08	2.72 ± 0.07
地上干物质质量(t/hm ²)	14.01 ± 0.52	15.14 ± 0.47 ^{ab}	14.34 ± 0.29	14.77 ± 0.62 ^a
玉米产量(t/hm ²)	7.86 ± 0.31	8.36 ± 0.33 ^{ab}	8.01 ± 0.27	8.21 ± 0.25 ^a

注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)。

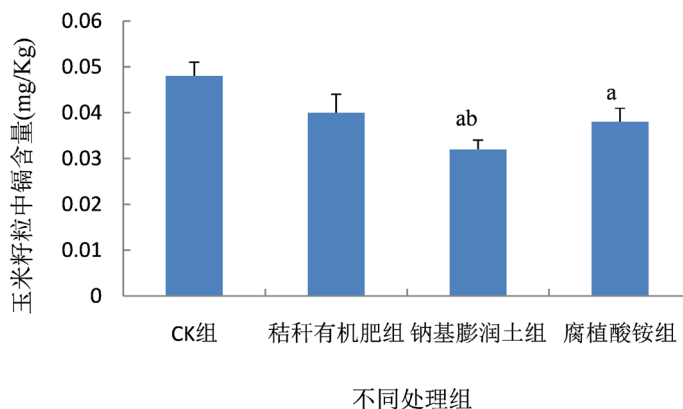
3.3. 不同土壤修复剂对玉米籽粒中镉含量的影响

采收的玉米籽进行镉含量测定, 取平均值, 结果见图 1。结果可知, 与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三种不同的土壤修复剂处理后, 玉米籽粒中镉的含量均有一定程度的降低, 分别降低了 16.7%, 33.3%和 20.8%。其中钠基膨润土组降低幅度最大, 达到了极显著水平; 其次为腐植酸铵组, 降低幅度达到显著水平; 秸秆有机肥组镉含量也有一定程度的降低, 但降低幅度弱于其它处理组, 这一结果与土壤修复剂对玉米性状和产量的影响结果趋势有一定的差异性, 可能不同的土壤修复剂性质差别较大, 影响了植物根茎对镉的定位富集、吸收和转运。

3.4. 不同土壤修复剂对玉米茎叶中镉含量的影响

采收的玉米茎叶晾干消解后测定镉的含量, 取平均值, 结果见图 2。结果可知, 与对照组相比, 秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三种不同的土壤修复剂处理后, 玉米茎叶中镉的含量均有一定程度的降低, 分别降低了 5.2%, 13.8%和 8.6%。其中钠基膨润土组降低幅度最大, 达到了显著水平; 秸秆有机

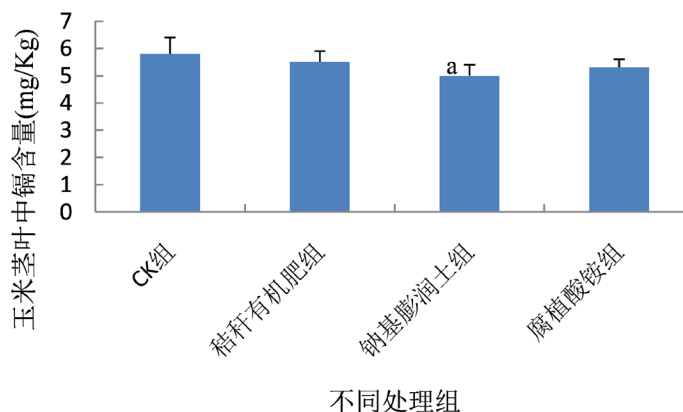
肥组和腐植酸铵组镉含量与对照组相比,降低幅度不明显。这一结果与土壤修复剂对玉米籽粒中镉含量的影响结果趋势相似,茎叶中镉含量远高于籽粒中镉的含量,特别是施加土壤修复剂后,与茎叶相比,籽粒中镉的富集效应更加减弱,推测镉从茎叶到籽粒转运过程中受到一定的阻碍作用。可能是土壤修复剂的施加,减弱了玉米籽对镉的富集效应,使大量的镉定向聚集于茎叶中,有关镉在茎叶中富集和转运机理有待进一步探索。



注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)

Figure 1. Effects of different soil amendments on the content of cadmium in maize grain (mg/Kg)

图 1. 不同土壤修复剂对玉米籽粒中镉含量的影响(mg/Kg)



注: a 表示差异显著($P < 0.05$)

Figure 2. Effects of different soil amendments on the content of cadmium in stems and leaves of maize (mg/Kg)

图 2. 不同土壤修复剂对玉米茎叶中镉含量的影响(mg/Kg)

3.5. 不同土壤修复剂对土壤有效态镉含量的影响

重金属在土壤中能否被植物吸收,与该重金属的有效态含量有直接的关系[12],为了进一步考察土壤修复剂对玉米种植前和收割后土壤中有效态镉含量的影响,进行了土壤有效态镉含量和对应 pH 的测定,进一步验证不同土壤修复剂对玉米吸收镉的影响,测定结果见表 3。结果可知,与种植前土壤 pH 相比,玉米收割后的秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵组土壤 pH 分别增高了 0.33、0.95 和 0.69,对应的土壤有效态镉含量分别降低了 19.9%、44.8%和 26.5%,其中钠基膨润土组降低幅度达到极显著水平,腐植酸铵组降低幅度达到显著水平。大量研究表明,土壤 pH 变化是影响土壤有效态镉含量变化的根本原因,而土壤有效态镉含量直接决定植物吸收镉的量[5] [13]。简中华等人[14]研究表明,土壤 pH 呈酸性时,土

壤有效态镉富集作用增强, 活性大, 有利根对镉的富集和吸收; 当 pH 逐渐增大, 土壤有效态镉含量降低, 则根系对镉的吸收作用减弱。另一方面, 秸秆有机肥为大量微生物发酵秸秆制得的生物菌肥, 肥效与活菌数、土壤环境有密切关系, 当施加秸秆有机肥后, 一方面能增强土壤肥力, 另一方面引入大量有益微生物, 能有效改良土壤环境, 镉对微生物具有一定的危害性, 推测可能是微生物通过提高土壤 pH 等作用, 来减弱土壤有效态镉的含量水平。钠基膨润土和腐植酸铵属于碱性土壤修复剂, 能改善土壤酸性水平, 而且钠基膨润土和腐植酸铵具有较强的离子交换和吸附能力, 能有效与有效态镉形成稳定的螯合物, 降低有效态镉在土壤中的转运能力, 从而减弱根系对有效态镉的富集和吸收。

Table 3. Effects of different soil amendments on the content of available cadmium in soil (mg/Kg)

表 3. 不同土壤修复剂对土壤有效态镉含量的影响(mg/Kg)

项目	CK 组	秸秆有机肥组	钠基膨润土组	腐植酸铵组
种植前镉含量	1.81 ± 0.07	1.81 ± 0.07	1.81 ± 0.07	1.81 ± 0.07
采收后镉含量	1.76 ± 0.10	1.45 ± 0.07	1.00 ± 0.09 ^{ab}	1.33 ± 0.12 ^a
种植前 pH	6.17 ± 0.13	6.17 ± 0.13	6.17 ± 0.13	6.17 ± 0.13
采收后 pH	6.25 ± 0.10	6.50 ± 0.19	7.12 ± 0.20 ^a	6.86 ± 0.21

注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)。

3.6. 硒、镉共存时土壤修复剂对玉米吸收镉的影响

大量研究表明, 土壤中适量的硒含量能提高植物富硒能力, 同时也能抑制重金属镉在植物体的富集。He 等人[15]研究表明, 水稻幼苗施加一定的硒肥后, 可抑制幼苗对镉的吸收, 但当镉浓度过大, 硒对镉的抑制效应不明显。曾宇斌等人[16]研究表明, 当土壤中硒浓度过高时, 反而会促进植物对镉的吸收。为了进一步验证以上观点, 本试验初步进行了处理小区土壤中硒、镉共存时土壤修复剂对玉米吸收镉的影响, 结果见表 4。秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵处理组, 玉米茎叶和籽粒中硒含量分别与对照相比均有一定程度的增加, 玉米籽粒中硒增加了 81.8%、45.5%和 54.5%; 玉米茎叶中硒增加了 65.8%、26.8%和 35.8%。特别是秸秆有机肥处理组, 硒含量增加明显, 玉米籽粒中硒含量达到了极显著水平。玉米采收后土壤中硒含量和种植前硒含量相差不大, 说明浅层土壤中硒含量丰富。处理组中硒含量水平为, 秸秆有机肥组 > 腐植酸铵组 > 钠基膨润土组; 处理组中镉在土壤、玉米茎叶和籽粒含量水平为, 秸秆有机肥组 > 腐植酸铵组 > 钠基膨润土组, 处理组镉含量水平均低于对照组。推测施加土壤修复剂后, 促进了玉米对硒的吸收, 同时抑制了对镉的吸收。秸秆有机肥处理组促进硒吸收能力较强, 但抑制镉吸收能力相对较弱。是否土壤中硒、镉共存时, 促进植物吸收硒的同时抑制镉的吸收还是不同土壤修复剂理化性质决定的, 需进一步深入研究。总体而言, 三种不同的土壤修复剂促硒抑镉吸收效果较好。

Table 4. Effects of different soil amendments on selenium content in soil and maize (mg/Kg)

表 4. 不同土壤修复剂对土壤和玉米硒含量的影响(mg/Kg)

项目	CK 组	秸秆有机肥组	钠基膨润土组	腐植酸铵组
种植前镉含量	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.04
采收后镉含量	0.64 ± 0.03	0.63 ± 0.04	0.63 ± 0.03	0.63 ± 0.02
种植前 pH	0.11 ± 0.03	0.20 ± 0.04 ^{ab}	0.16 ± 0.02	0.17 ± 0.03 ^a
采收后 pH	5.64 ± 0.31	9.35 ± 0.46 ^a	7.15 ± 0.41	7.66 ± 0.38

注: a 表示差异显著($P < 0.05$), b 表示差异极显著($P < 0.01$)。

4. 结论

秸秆有机肥、钠基膨润土和腐植酸铵三种不同的土壤修复剂均提高了土壤的碱性水平；对玉米的产量均有一定幅度的提高，分别增产了 6.4%、1.9 和 4.5%；对玉米的地上干物质质量分别增加了 8.1%、2.4 和 5.4，同时增长了玉米株高；对玉米籽粒和茎叶中镉的含量均有降低效果，分别降低了 16.7%，33.3%、20.8%和 5.2%，13.8%和 8.6%；土壤有效态镉含量分别降低了 19.9%、44.8%和 26.5%，减弱了根系对有效态镉的富集和吸收；同时三种不同的土壤修复剂具有较好的促硒抑镉吸收效果。试验的三种土壤修复剂均能降低玉米中镉的含量，并起到一定的增产效果，同时富硒效果较好，可后续进一步开发研究。

基金项目

由达州市科技局提供资助(立项编号：18YYJC0001)。

参考文献

- [1] 孙姣辉, 陈婷婷, 滕振宁, 等. 镉对玉米的毒害效应及调控措施研究进展[J]. 作物研究, 2017, 31(1): 88-92 + 102.
- [2] 郭笃发. 环境中铅和镉的来源及其对人和动物的危害[J]. 环境科学进展, 1994(3): 71-76.
- [3] 刘静轶, 王晓轩, 胡红刚, 等. 植物组织在重金属污染环境修复中的应用研究进展[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(3): 93-99.
- [4] 王国明. 四川省万源市东部特色农业区镉地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [5] 宋正国, 唐世荣, 丁永祯, 等. 田间条件下不同钝化材料对玉米吸收镉的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(11): 2152-2159.
- [6] 刘利军, 赵颖, 党晋华, 等. 不同改良剂对污灌区镉砷和多环芳烃复合污染土壤的修复研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(26): 132-136.
- [7] 赵国静, 李胜男, 沈喆, 等. 不同修复剂对重金属污染土壤修复的研究[J]. 腐植酸, 2017(3): 63.
- [8] 杨忠芳, 余涛, 李敏. DZ/T0295-2016. 土地质量地球化学评价规范[S]. 国土资源部, 2016.
- [9] 夏家淇, 蔡道基, 夏增禄, 等. GB15618. 土壤环境质量标准[S]. 国家环保局, 1995.
- [10] 景鑫鑫, 李真理, 程海宽, 等. 不同固化剂对玉米吸收铅镉的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 38-43.
- [11] 刘少彬, 王金梅, 刘秀娟. 微波消解原子荧光光谱法测定玉米中的硒[J]. 农家顾问, 2014(13): 93-94.
- [12] 李亮亮, 张大庚, 李天来, 等. 土壤有效态重金属提取剂选择的研究[J]. 土壤, 2008(5): 819-823.
- [13] 吴玉峰. 广西典型高背景镉地区的生态风险评价[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西师范学院, 2016.
- [14] 简中华, 宋金秋, 曲颖, 等. 浙中某县 Cd 元素地球化学特征及生态效应[J]. 地球与环境, 2013, 41(6): 618-624.
- [15] He, P.P., Lv, X.Z. and Wang, G.Y. (2004) Effects of Se and Zn Supplementation on the Antagonism against Pb and Cd in Vegetables. *Environment International*, **30**, 167-172.
- [16] 曾宇斌, 郑淑华. 不同硒水平对大豆不同部位累积镉的影响[J]. 环境保护科学, 2017, 43(3): 116-119 + 131.