

房春生,王 帆,刘 多,等. 模拟酸雨对白菜体内铅、镉富集的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):323-326.

模拟酸雨对白菜体内铅、镉富集的影响

房春生,王 帆,刘 多,张 雍,王 菊

(吉林大学环境与资源学院,吉林长春 130012)

摘要:研究了模拟酸雨和 2 组不同浓度铅、镉的复合污染对白菜 [*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Makino] 体内铅、镉富集的影响及其随时间的变化情况。结果表明,收获后白菜体内铅、镉的富集量普遍随着 pH 值的降低而升高,对照组白菜体内镉的含量不低于甚至高于酸雨喷淋组的含量。试验中所有组别白菜体内铅、镉的富集量均随着白菜生长时间的延长而升高。可以用二次项函数所作的拟合曲线来反映不同 pH 值条件下白菜对铅、镉的富集情况,并对随后的富集情况作出一定的预测。

关键词:酸雨;铅;镉;富集;拟合曲线

中图分类号:X517 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)08-0323-03

酸雨是指雨、雪、霜等 pH 值 < 5.6 的降水^[1],最先由英国化学家提出^[2]。我国是亚洲最大的酸雨区,也是继北美和欧洲后出现的第三大酸雨区^[3]。研究表明,不同 pH 值的酸雨对农作物的影响不同,通常 pH 值越低的酸雨对农作物的影响越大^[4-5]。重金属是指密度 $\geq 5\ 000\ \text{kg/m}^3$ 的金属,目前已知的共有 72 种^[6],镉、铅是其中重要的 2 种。镉在农作物体内大量累积会影响农作物的正常生长繁殖^[7],如破坏光合作用系统、加速植物衰老^[8-9]等;铅是一种农作物生长过程的非必需元素,对植物有抑制根的伸长、在较高浓度时抑制种子萌发等影响^[10]。重金属在蔬菜体内富集^[11],最终会通过食物链进入人体,从而危害人体健康^[12],如镉会对人的骨骼、肾脏等产生影响^[13],铅会对人的中枢神经系统、生殖系统、消化系统等产生影响,尤其是对儿童的影响更为突出^[14]。近年来,农产品的质量安全逐渐成为人们关注的焦点,而蔬菜是人们日常生活中必不可少的食物,因此其重金属污染问题应该受到社会更加广泛的关注^[15]。本研究选取白菜 [*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Makino] 作为试验对象,研究了模拟酸雨条件下铅、镉的复合污染对白菜体内铅、镉富集的影响及其随时间的变化情况,以期科学评估白菜对重金属铅、镉和酸雨复合污染的耐受能力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验在塑料大棚中进行,试验大棚位于吉林大学前卫南校区,地理位置为 $43^{\circ}49'N$ 、 $125^{\circ}16'E$ 。研究用白菜种子由吉林省长春市现代农业科学研究所提供,名为正宗七五八小白菜,该品种生长势较强,较抗病毒病、霜霉病等,发芽率 85%,适宜在全国各地种植。供试土壤选用东北地区典型的

黑土,土壤 pH 值为 6.5、速效氮含量 $108.4\ \text{mg/kg}$ 、速效磷含量 $15.3\ \text{mg/kg}$ 、速效钾含量 $160.3\ \text{mg/kg}$ 、有机质含量 $23.4\ \text{g/kg}$ 、土壤中重金属的基底值:镉 $< 1\ \mu\text{g/g}$ 、铅为 $1.09\ \mu\text{g/g}$ 。

1.2 试验设计

本试验于 2012 年 7—9 月进行,将试验大棚随机分为 10 个地块,每个地块面积 $1\ \text{m}^2$;共分为 2 组,每 5 块地为 1 组。向第 1 组的每块地的土壤中分别添加 $2\ 000\ \text{mg/kg}$ 铅、 $10\ \text{mg/kg}$ 镉;向第 2 组的每块地的土壤中分别添加 $1\ 000\ \text{mg/kg}$ 铅、 $20\ \text{mg/kg}$ 镉,以此模拟受到重金属污染的土壤。播种后对田间进行正常的灌溉、除草、防虫工作,待白菜长出 6 片真叶后,停止灌溉,开始进行酸雨喷淋。采用喷雾器对白菜进行每 2 d 1 次的酸雨喷淋,每次喷淋时间选择在清晨,根据长春市的年均降水量折算每次对每地块喷淋的酸雨量为 $2\ 000\ \text{mL}$ 。每组的 5 块地分别喷淋不同 pH 值的酸雨,模拟酸雨的 pH 值设定为 2.5、3.5、4.5、5.6、自然值(CK 组,约为 6.8)5 个梯度。在喷淋酸雨的第 8、15、22、29、36 天(收获)采集白菜样品并对其体内铅、镉的富集情况进行测定。

1.3 酸雨的配制及测定方法

试验中使用 2 次去离子水来配制模拟酸雨,根据长春地区天然降水的离子水平,并考虑天然降水中化学成分的离子组成,向 80 L 的 2 次去离子水中添加 $0.660\ \text{mg/L}\ \text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $0.988\ \text{mg/L}\ \text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $2.613\ \text{mg/L}\ \text{CaCl}_2$ 、 $0.772\ \text{mg/L}\ \text{NH}_4\text{NO}_3$ 和 $1.442\ \text{mg/L}\ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 来模拟天然降水中的离子成分,所得溶液作为原溶液,共配制 5 组。先用 $\text{SO}_4^{2-}:\text{NO}_3^-$ 质量比为 5:1 的浓硫酸和浓硝酸配制 pH 值 1.0 的母液,再将配制好的 pH 值 1.0 的母液加到各原溶液中,用校准后的 pH 值酸度计调节各原溶液的 pH 值,得到 pH 值分别为 2.5、3.5、4.5、5.6 的模拟酸雨,以不添加 pH 值为 1.0 的母液的原溶液作为 CK 组(pH 值约为 6.8)。

本试验采用原子吸收分光光度法对白菜体内的铅、镉含量进行测定,先将采集好的植物样本烘干、研磨、过筛,然后用混酸(浓硝酸:高氯酸体积比为 4:1)进行消煮,再将消煮液定容至 50 mL,过膜后用原子吸收分光光度计测定铅、镉含量,经计算后得到植物体内重金属的富集量。用 Excel 进行

收稿日期:2013-05-07

基金项目:“十二五”国家科技重大专项(编号:2012ZX07208)。

作者简介:房春生(1971—),男,河北兴隆人,博士,教授,硕士生导师,主要从事环境规划与评价研究。E-mail:fangcs@jlu.edu.cn。

通信作者:王 菊,博士,副教授,硕士生导师,主要从事环境统计与环境评价研究。E-mail:wangju@jlu.edu.cn。

数据分析及检验。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对白菜体内铅富集的影响

2.1.1 不同 pH 值对白菜体内铅富集的影响 图 1 为收获期白菜体内铅含量在不同 pH 值条件下的变化情况。可以看出,2 组白菜体内铅的富集含量均随着模拟酸雨 pH 值的降低而有不同程度的增高,且土壤的铅含量越高,这种变化越明显。当 pH 值为 2.5 时,第 1 组小白菜体内的铅含量为 0.372 1 mg/g,第 2 组为 0.162 6 mg/g,均高于相应 CK 组的 0.220 0、0.122 2 mg/g,说明强酸性的酸雨能增加白菜体内重金属铅的富集。从图 1 中还可以看出:第 1 组白菜体内铅的含量始终高于第 2 组,当 pH 值为 4.5、5.6、CK 值时,第 1 组白菜体内的铅含量分别为 0.261 6、0.243 8、0.220 0 mg/g,第 2 组白菜体内的铅含量分别为 0.134 6、0.122 8、0.122 2 mg/g,第 1 组的铅含量基本上是第 2 组的 2 倍的,这可能是由于第 1 组铅的添加量是第 2 组的 2 倍。当 pH 值为 2.5 时,两组间铅含量差异相对较大,铅含量之差约为 CK 两组间的 2 倍。

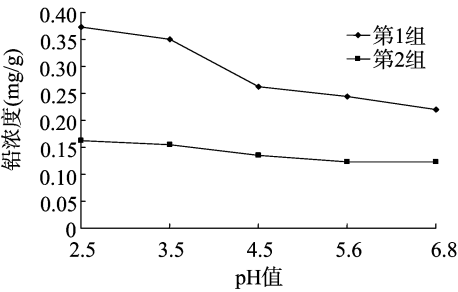


图1 收获期不同pH值对白菜体内铅含量的影响

2.1.2 不同 pH 值下白菜体内铅随时间的富集曲线 图 2、图 3 分别为第 1 组、第 2 组白菜体内铅随时间的富集情况。可以看出,随着白菜生长时间的延长,各 pH 值条件下白菜体内重金属铅的富集均随着增高。从图 2、图 3 的变化趋势可以发现,前 22 d 白菜体内铅的富集变化不明显,第 1 组白菜体内铅的富集情况为:到第 22 天采样时,pH 值为 2.5、3.5、4.5、5.6 模拟酸雨条件下白菜体内的铅含量仅比第 8 天采样时分别高 0.017 4、0.012 1、0.008 4、0.004 7 mg/g;第 2 组白菜体内铅的富集情况为:前 2 次采样结果间的变化很小,到第 22 天采样时,pH 值为 2.5、3.5、4.5、5.6 的试验组白菜体内的铅含量仅比第 15 天采样时分别高 0.010 7、0.009 8、0.001 5、0.000 8 mg/g。当对白菜喷淋模拟酸雨 22 d 以后,白菜体内的铅含量迅速增加,与采样的第 22 天相比,在采样的第 36 天(收获期),pH 值分别为 2.5、3.5、4.5、5.6、CK 的第 1 组白菜体内铅含量的增量分别为 0.336 9、0.325 2、0.243 8、0.229 2、0.210 1 mg/g,第 2 组白菜体内铅含量的增量分别为 0.137 9、0.133 3、0.120 4、0.111 6、0.111 2 mg/g。

表 1、表 2 为不同 pH 值条件下 2 组白菜体内富集铅的拟合曲线,表中利用二次项函数所作的拟合曲线来反映不同 pH 值下白菜对铅的富集情况,第 1 组的 r^2 在 0.964 7~0.987 9 之间,第 2 组的 r^2 在 0.819 7~0.960 8 之间。从图 2、图 3 可以看出:在喷淋模拟酸雨后的前 2 周,白菜对重金属的富集缓慢,第 1 组白菜在第 8 至第 15 天、第 15 至第 22 天体内铅含

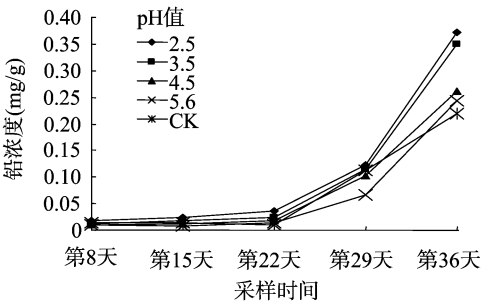


图2 不同pH值下第1组白菜体内铅随时间的富集曲线

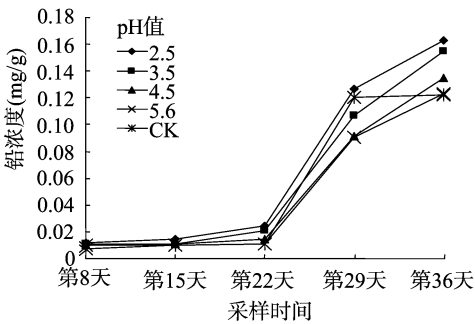


图3 不同pH值下第2组白菜体内铅随时间的富集曲线

表 1 不同 pH 值条件下白菜富集铅的拟合曲线(第 1 组)

pH 值	拟合曲线	r^2
2.5	$y = 0.040\ 2x^2 - 0.160\ 6x + 0.154\ 1$	0.971\ 3
3.5	$y = 0.038\ 7x^2 - 0.155\ 3x + 0.143\ 6$	0.974\ 1
4.5	$y = 0.028\ 0x^2 - 0.108\ 6x + 0.098\ 0$	0.987\ 9
5.6	$y = 0.028\ 9x^2 - 0.120\ 6x + 0.112\ 9$	0.964\ 7
6.8 (CK)	$y = 0.023\ 0x^2 - 0.087\ 0x + 0.082\ 7$	0.979\ 9

表 2 不同 pH 值条件下白菜富集铅的拟合曲线(第 2 组)

pH 值	拟合曲线	r^2
2.5	$y = 0.011\ 4x^2 - 0.027\ 1x + 0.023\ 8$	0.932\ 5
3.5	$y = 0.012\ 2x^2 - 0.034\ 8x + 0.031\ 2$	0.960\ 8
4.5	$y = 0.011\ 3x^2 - 0.034\ 9x + 0.032\ 6$	0.954\ 6
5.6	$y = 0.009\ 8x^2 - 0.027\ 5x + 0.023\ 1$	0.931\ 4
6.8 (CK)	$y = 0.007\ 9x^2 - 0.014\ 2x + 0.009\ 8$	0.819\ 7

量的平均增长率分别为 21.43%、31.01%,而后期的富集速度则迅速上升,在第 22 至第 29 天、第 29 至第 36 天分别达到 408.35%、179.49%;第 2 组白菜在第 8 至第 15 天、第 8 至第 22 天、第 22 至第 29 天、第 29 至第 36 天的平均增长率分别为 12.05%、46.87%、552.25%、29.98%。2 组白菜均在第 22 至第 29 天时增长率达到最大值,分别为 408.35%、552.25%。这可能是因为模拟酸雨喷淋的初期,白菜植株较小,从土壤中吸收各种物质的能力不强,但是随着白菜长大成熟,从土壤中吸收元素的能力增强,再加上酸雨的累积作用,使得植物吸收土壤中的铅迅速增多,吸收速率也有所提高。此外,利用拟合曲线也可以对随后植物体内的重金属富集情况作出一定的预测。

2.2 模拟酸雨对白菜体内镉富集的影响

2.2.1 pH 值对白菜体内镉富集的影响 收获期不同 pH 值

对白菜体内镉含量的影响见图 4。可以看出,当 pH 值 ≤ 4.5 时,随着 pH 值的升高,白菜体内镉含量下降,且第 2 组的镉含量均高于第 1 组。当 pH 值为 2.5 时,第 1 组白菜体内镉含量为 0.015 8 mg/g,第 2 组为 0.016 7 mg/g;当 pH 值为 5.6 时,第 1 组白菜体内镉含量为 0.012 3 mg/g,而第 2 组为 0.012 0 mg/g,略低于第 1 组;在 pH 值为 6.8 的条件下,第 2 组白菜体内的镉含量为 0.022 0 mg/g,超过了喷淋模拟酸雨的其他组,而第 1 组白菜的镉含量与 pH 值 2.5 组之间差别不大。试验结果大大超出了最初的预期,并与强酸雨会导致蔬菜体内重金属富集量增加的结论不符,推测其原因,可能是由于较低的 pH 值可以使土壤酸化,使得重金属元素的溶解度增高,从而导致蔬菜中镉等重金属的富集量增加。而试验中镉为人工添加的,多为水溶态等易于被蔬菜吸收的状态,且添加量远远小于铅的添加量,与 CK 组相比,喷淋模拟酸雨后土壤中离根系较远的重金属镉可能会随着模拟酸雨的溶出而发生淋失,从而导致试验组中镉的富集量低于 CK 组^[11]。

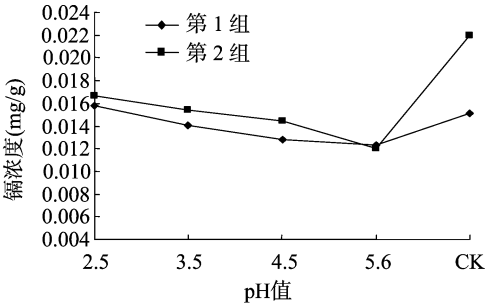


图4 收获期不同pH值对白菜体内镉含量的影响

2.2.2 不同 pH 值下白菜体内镉随时间的富集曲线 图 5、图 6 分别为第 1 组、第 2 组白菜体内镉随时间的富集情况。可以看出,随着白菜生长时间的延长,在各个 pH 值条件下,白菜体内重金属镉的富集均随着时间延长而增高,到喷淋酸雨的第 36 天(收获期)时,与第 1 周采样时的测量值相比,第 1 组 pH 值为 2.5、3.5、4.5、5.6、6.8 的白菜体内的镉含量分别增加了 0.010 3、0.010 2、0.009 5、0.010 2、0.011 4 mg/g,第 2 组分别增加了 0.011 2、0.011 6、0.012 1、0.007 2、0.010 2 mg/g。由于第 2 组土壤中添加的镉量大于第 1 组,喷淋模拟酸雨的土壤中随模拟酸雨溶出的可交换态离子也较多,从而可能导致白菜吸收的镉量较 CK 组少,因此从采样第 22 天开始,第 2 组 pH 值为 6.8 的白菜体内镉含量明显高于喷淋模拟酸雨组。

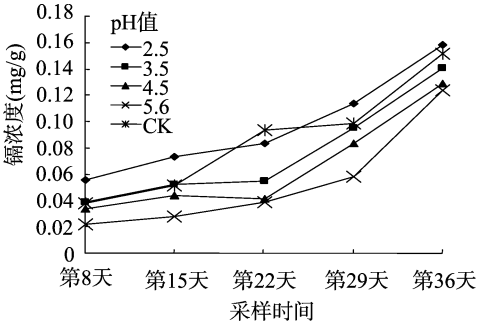


图5 不同pH值下第1组白菜体内镉随时间的富集曲线

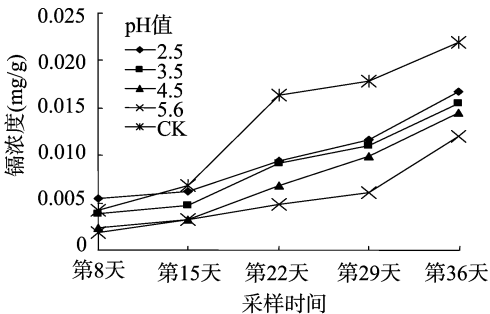


图6 不同pH值下第2组白菜体内镉随时间的富集曲线

情况的拟合曲线,可以看出第 1 组的 r^2 在 0.953 4~0.990 4 之间,第 2 组的 r^2 在 0.950 2~0.995 3 之间。结合图 5、图 6 可知,在白菜的生长初期,对镉的富集较慢,第 1 组白菜第 8 至第 15 天、第 15 至第 22 天镉的增长率分别为 32.28%、25.35%,而在后期的富集速度有所上升,第 22 至第 29 天、第 29 至第 36 天分别为 43.54%、56.79%;第 2 组在第 8 至第 15 天、第 15 至第 22 天、第 22 至第 29 天、第 29 至第 36 天的平均增长率分别为 37.04%、92.38%、20.88%、43.18%,在第 15 至第 22 天时,增长率达到最大值 92.38%。利用拟合曲线可以对随后的重金属富集情况作出一定的预测。

表 3 不同 pH 值下白菜富集镉的拟合曲线(第 1 组)

pH 值	拟合曲线	r^2
2.5	$y = 0.000\ 5x^2 - 0.000\ 8x + 0.006\ 0$	0.990 4
3.5	$y = 0.000\ 7x^2 - 0.001\ 9x + 0.005\ 3$	0.981 1
4.5	$y = 0.000\ 8x^2 + 0.002\ 6x + 0.005\ 4$	0.976 3
5.6	$y = 0.000\ 9x^2 - 0.003\ 1x + 0.004\ 8$	0.971 6
6.8(CK)	$y = 0.000\ 3x^2 + 0.000\ 9x + 0.002\ 5$	0.953 4

表 4 不同 pH 值下白菜富集镉的拟合曲线(第 2 组)

pH 值	拟合曲线	r^2
2.5	$y = 0.000\ 6x^2 - 0.000\ 6x + 0.005\ 4$	0.990 2
3.5	$y = 0.000\ 3x^2 + 0.001\ 0x + 0.002\ 3$	0.979 4
4.5	$y = 0.000\ 5x^2 + 0.000\ 1x + 0.001\ 6$	0.995 3
5.6	$y = 0.000\ 6x^2 + 0.001\ 4x + 0.003\ 0$	0.957 3
6.8(CK)	$y = -0.000\ 4x^2 + 0.006\ 9x - 0.003\ 1$	0.950 2

3 结论

本研究表明,白菜体内重金属铅的富集含量均随着模拟酸雨 pH 值的降低而升高,且土壤的铅含量越高,这种变化越明显,在 pH 值为 2.5 时铅含量最大。模拟酸雨喷淋过的白菜体内镉含量随着 pH 值的升高呈下降趋势,在第 2 组中,CK 组白菜体内的镉含量比模拟酸雨喷淋的其他组高。随着白菜生长时间的延长,白菜体内重金属铅、镉的富集均随着增加;在白菜生长初期,对铅、镉的富集较为缓慢;在白菜生长后期,对铅、镉的富集速度逐渐上升。

参考文献:

[1]刘 萍,夏 菲,潘家永,等. 中国酸雨概况及防治对策探讨[J]. 环境科学与管理,2011,36(12):30-35,84.

表 3、表 4 为不同 pH 值条件下 2 组白菜对重金属镉富集

覃怀德,吴炳孙,吴敏,等. 橡胶园土壤钾素空间变异与分区管理技术——以海南省琼中县为例[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):326-329.

橡胶园土壤钾素空间变异与分区管理技术 ——以海南省琼中县为例

覃怀德, 吴炳孙, 吴敏, 韦家少, 何鹏, 王大鹏, 高乐

(中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737)

摘要:运用地统计学和 GIS 相结合对海南省琼中县橡胶园土壤钾素营养进行了空间变异特征及分区管理研究,结果表明:各土层土壤全钾和速效钾含量的最大相关距离在 10.49~46.71 km 之间,全钾和速效钾养分含量具有中等程度的空间相关性,全钾和速效钾养分含量块状分布较明显。应用空间叠加方法,进行了橡胶园土壤钾素管理分区,琼中县橡胶园可分为 9 个管理分区,在橡胶园钾肥管理中应根据不同管理分区的特点采取不同的营养管理措施。

关键词:橡胶园;土壤;钾素;空间变异;分区管理

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0326-04

土壤在成土过程中受到不同的物理、化学、生物等自然因素的影响,使其具有高度的空间异质性^[1]。20 世纪 70 年代 Burgess 等将地统计学的方法引入土壤科学研究领域,克服了经典的 Fisher 统计理论在研究土壤性质空间变异性规律方面的不足^[2]。地统计学侧重于区域变量空间结构的分析、模拟和空间插值,GIS 侧重于空间显示和查询^[3]。应用地统计学和 GIS 相结合方法对土壤钾素空间变异规律进行了很多的研究,对土壤钾素管理提供了很多有效措施^[4-7]。天然橡胶是重要的国防战略物资,其主要来源于巴西橡胶树。巴西橡胶树在我国主要种植在海南、云南、广东等地。海南省琼中县广泛种植橡胶树,是该县重要的经济作物。钾素是植物正常生

长发育所必需的 3 大营养元素之一,钾素对橡胶树的生长和产排胶具有重要意义,钾素的缺乏,会直接影响橡胶树的生长、产排胶及橡胶树的抗风、抗寒、抗病能力等^[8]。因此,研究橡胶园土壤钾素空间变异特征并进行分区管理具有重要意义。本研究应用地统计学和 GIS 相结合的方法对琼中县橡胶园土壤钾素营养的空间变异进行分析,进一步进行钾素营养分区管理分析,为橡胶园的合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

琼中县位于海南岛的中部,东连琼海市、万宁市,西接白沙黎族自治县,南与五指山市、保亭黎族苗族自治县、陵水黎族自治县毗邻,北和屯昌县、澄迈县、儋州市交界,介于 18°43'45"~19°25'20"N,109°31'37"~110°09'08"E 之间。境内东西宽 66.7 km,南北长 76.75 km,总面积 2 693.1 km²。琼中县地貌呈穹隆山地状,地势自西南向东北倾斜,最高点为西南部的五指山峰,海拔 1 867.1 m;最低为白马岭林场旧址,海拔仅 25 m。境内地形复杂,重峦叠嶂,群峰峻峭,连绵不

收稿日期:2013-05-24

基金项目:中央级公益性科研院所基本业务费(编号:1630022011018)。

作者简介:覃怀德(1980—),男,广西环江人,博士,助理研究员,主要从事土壤与植物营养方面的研究。E-mail:qinhuaide@yeah.net。

通信作者:何鹏,博士,副研究员,主要从事土壤与植物营养方面的研究。E-mail:penghe1974@163.com。

[2]孟赫. 酸雨对叶类蔬菜影响的“剂量-损失”模型研究[D]. 长春:吉林大学,2011:1-2.

[3]钟燕川,郑有飞,李璐,等. 模拟酸雨条件下 Pb、Cd 对扬花萝卜叶绿素荧光及品质的影响[J]. 南京信息工程大学学报,2010,2(3):248-255.

[4]邢廷铄. 酸雨对农业生产的影响及其对策[J]. 土壤与环境,2002,11(1):98-100.

[5]黄开志. 模拟酸雨对蔬菜细胞透性和营养及卫生品质的影响[J]. 生物学通报,2000,35(2):34.

[6]孙瑞莲. Cd 超积累植物的生态特征及污染耐性机理分析[D]. 沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所,2006:21-22.

[7]Cheng S. Effects of heavy metals on plants and resistance mechanisms[J]. Environmental Science and Pollution Research,2003,10(4):256-264.

[8]Pereira G J G, Molina S M G, Lea P J, et al. Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in *Crotalaria juncea*[J]. Plant and

Soil,2002,239(1):123-132.

[9]吴旭红,何士敏,张树权. 镉胁迫下大豆幼苗生理生化特性分析[J]. 黑龙江环境通报,2001,25(3):65-68,29.

[10]赵宝. 铅对小白菜种子萌发的影响[J]. 现代农业科技,2007(1):4,6.

[11]李璐,郑有飞,梁骏,等. 模拟酸雨影响下食叶类蔬菜对 Cd 的短期富集效应[C]//第二届全国农业环境科学学术研讨会论文集. 昆明:中国农业生态环境保护协会,2007:50-54.

[12]王星辉,杨海君,颜丙花,等. 镉、酸雨和农药复合污染对小白菜产量和品质的毒性效应[J]. 湖南农业科学,2011(1):85-88.

[13]赵士诚. Cd 诱导植物氧化代谢与钙信使的变化及分子机理[D]. 北京:中国农业科学院,2008:1-2.

[14]郑袁明,陈同斌,陈煌,等. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J]. 地理学报,2005,60(5):791-797.

[15]王明国,师荣光,李晓华. 重金属污染的土壤安全评价与蔬菜健康研究进展[J]. 安徽农业科学,2009,37(24):11705-11708.