

毒死蜱『 三唑磷在膨润土和腐殖质上的热力学吸附及影响因素

朱丽珺¹, 张维², 张金池^{2*}, 宰德欣¹, 赵蓉²

(1. 南京林业大学理学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要:采用平衡法研究膨润土和腐殖质对毒死蜱和三唑磷的吸附规律及影响因素。结果表明,腐殖质对 2 种农药的吸附能力均大于膨润土,毒死蜱和三唑磷在腐殖质上的吸附行为均可用 Freundlich 模型和 Langmuir 模型描述,相关系数分别为: R^2 (毒死蜱)0.996 4 和 0.996 3; R^2 (三唑磷)0.998 9 和 0.992 4;膨润土对 2 种农药的等温吸附线可用 Langmuir 模型拟合,相关系数为: R^2 = 0.995 7(毒死蜱)、 R^2 = 0.998 9(三唑磷)。pH 条件、吸附时间和温度均对吸附有影响。腐殖质、膨润土混合吸附剂对 2 种农药的吸附平衡时间分别为:毒死蜱 12 h,三唑磷 6 h。腐殖质:膨润土质量比分别达 12% 和 14% 时对三唑磷和毒死蜱的吸附最为强烈并趋于饱和。通过计算不同温度各热力学参数 ΔG 、 ΔH 和 ΔS ,理论上证实该吸附为一自发的放热过程,在 pH = 6.0,温度为 15℃ 时,吸附效果最佳。

关键词:毒死蜱;三唑磷;膨润土;腐殖质;吸附;影响因素

中图分类号:X592 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2010)11-2699-06

Thermodynamics Adsorption and Its Influencing Factors of Chlorpyrifos and Triazophos on the Bentonite and Humus

ZHU Li-jun¹, ZHANG Wei², ZHANG Jin-chi², ZAI De-xin¹, ZHAO Rong²

(1. College of Science, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The adsorption of chlorpyrifos and triazophos on bentonite and humus was investigated by using the equilibrium oscillometry. The adsorption capacity of chlorpyrifos and triazophos on humus was great higher than bentonite at the same concentration. Equilibrium data of Langmuir, Freundlich isotherms showed significant relationship to the adsorption of chlorpyrifos and triazophos on humus (chlorpyrifos: R^2 0.996 4, 0.996 3; triazophos: R^2 0.998 9, 0.992 4). Langmuir isotherm was the best for chlorpyrifos and triazophos on bentonite (chlorpyrifos: R^2 = 0.995 7, triazophos: R^2 = 0.998 9). The pH value, adsorption equilibrium time and temperature were the main factors affecting adsorption of chlorpyrifos and triazophos on bentonite and humus. The adsorption equilibrium time on mixed adsorbent was 12h for chlorpyrifos and 6h for triazophos respectively. The mass ratio of humus and bentonite was 12% and 14% respectively, the adsorption of chlorpyrifos and triazophos was the strongest and tended to saturation. At different temperatures by calculating the thermodynamic parameters ΔG , ΔH and ΔS , confirmed that the adsorption reaction was a spontaneous exothermic process theoretically. The adsorption was the best when the pH value was 6.0 and the temperature was 15℃.

Key words: chlorpyrifos; triazophos; bentonite; humus; adsorption; influencing factors

毒死蜱(chlorpyrifos)和三唑磷(triazophos)同为有机磷广谱性杀虫剂。2007 年,随着甲胺磷、对硫磷等 5 种高毒有机磷农药的禁用,取而代之的毒死蜱、三唑磷、乙酰甲胺磷等中等毒性的农药,高效、低毒、低残留农药已逐渐成为农户选择的主导产品^[1]。前人对毒死蜱和三唑磷的研究主要集中在土壤、果蔬中的残留分析^[2~5],对蜜蜂、鱼类等有益生物的毒性分析^[6~9],在土壤中的迁移降解以及对地下水的污染等方面^[10~12]。在土壤有机农药污染修复方面,国内外多是将膨润土或是用表面活性剂改性膨润土作吸附剂^[13~16],将膨润土和腐殖质结合起来用于土壤有机农药污染修复的研究鲜见报道。本研究通过气相色谱分析,结合膨润土 2:1 型层状结构和腐殖质

多官能团易吸附的特点,探讨了毒死蜱和三唑磷在 2 种吸附剂上的吸附规律,并寻求能最大限度吸附 2 种农药的膨润土和腐殖质的最佳混合比,以期为土壤有机农药污染修复研究提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试农药:毒死蜱农药标准品(农业部环境保

收稿日期:2009-12-23;修订日期:2010-05-06

基金项目:国家林业局“948”项目(2008-4-40);江苏省重点自然科学基金项目(BK2001208)

作者简介:朱丽珺(1960~),女,博士,副教授,主要研究方向为环境化学, E-mail: lxyzlj@njfu.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: nfujczhang@sina.com

护科研监测所,100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$);三唑磷农药标准品(农业部环境保护科研监测所,100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$);40%毒死蜱乳油;40%三唑磷乳油;内标物:正十四烷(色谱纯).

供试膨润土:上海试四赫维化工有限公司生产,理化参数见表1.

表 1 供试膨润土的基本理化性质^[17]

Table 1 Basic physicochemical properties of bentonite for test					
胶质价 /mL·g ⁻¹	膨胀容 /mL·g ⁻¹	κ 值 /mL·g ⁻¹	pH 值	CEC /cmol·kg ⁻¹	纯度 /%
36.9	21.2	14.7	9.77	57.6	99.95

供试腐殖质:由褐煤中提取(山西灵石县两渡灵峰化工厂提供),pH = 5.25,CEC = 162.08 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[18].

1.2 试验方法

1.2.1 分析方法

采用平衡振荡法^[19]:称0.5 g 吸附剂于一系列50 mL 离心管中,分别加入不同质量浓度(0.1、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)农药甲醇溶液25 mL,用0.01 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaOH溶液和HCl溶液调pH至6.0,摇匀,在 $25^\circ\text{C}\pm1^\circ\text{C}$ 下恒温振荡24h后,在3 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心分离15 min,取5 mL 上清液,用正己烷萃取2次,合并萃取液,加入1 mL 正十四烷内标液,测定农药含量.实验过程中均采用2个重复样和1个空白样.

膨润土和腐殖质的不同混合比(腐殖质/κ土为:2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%)和时间(0.5 h、1.0 h、1.5 h、2.0 h、2.5 h、3.0 h、4.0 h、5.0 h、6.0 h、12.0 h、18 h、24 h、36 h、48 h)、pH(2.0、3.0、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、9.0)、温度(15°C 、 25°C 、 35°C)对农药吸附的影响与步骤与上述实验类似,仅时间因素实验按一定时间间隔取出液相,取出液为2.0 mL.

1.2.2 测定方法

GC-3420 气相色谱仪(北京北分瑞利分析仪器有限公司);色谱柱:AE. SE-54 (30 m × 0.25 mm × 0.33 μm);柱温:初始温度 210°C ,保持1 min,以 $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 250°C ,保持3 min;再以 $20^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 280°C ,并保持2 min;进样器温度: 230°C ,分流进样,分流比:10:1,进样量:1.0 μL ;检测器温度: 250°C ;载气:氮气(纯度99.999%),流速: $3\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;氢气流速: $5\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;空气流

速: $200\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;尾吹气流速: $30\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;在上述色谱条件下,正十四烷保留时间为1.690 min,毒死蜱保留时间为4.748 min;三唑磷保留时间为7.723 min,标准色谱图如图1所示.

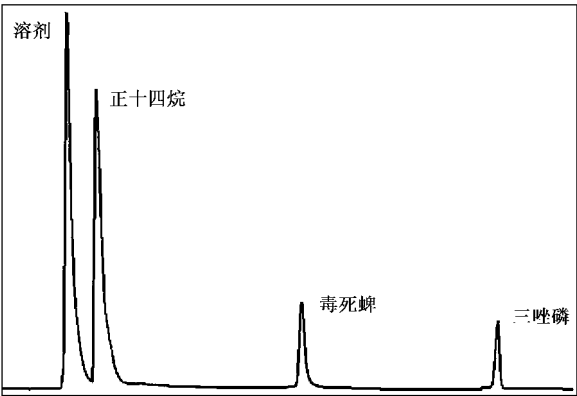


图 1 标准色谱图

Fig.1 Standard chromatogram

2 结果与讨论

2.1 吸附等温线

毒死蜱和三唑磷在供试混合吸附剂上的吸附等温线如图2所示.由图2可知,毒死蜱和三唑磷在腐殖质上的吸附量随平衡浓度的增大而增加,增加幅度较大,说明腐殖质对这2种非离子型农药有较强的亲和性;而毒死蜱和三唑磷在膨润土上的吸附量随平衡浓度的增加较快地达到了饱和,显然腐殖质对2种农药的吸附效果均较膨润土为好.2种吸附剂对非离子型有机农药吸附特性的差异主要是与腐殖质和膨润土的结构以及农药的特性有关,腐殖质与非离子型有机农药存在着良好的“相似相溶”的

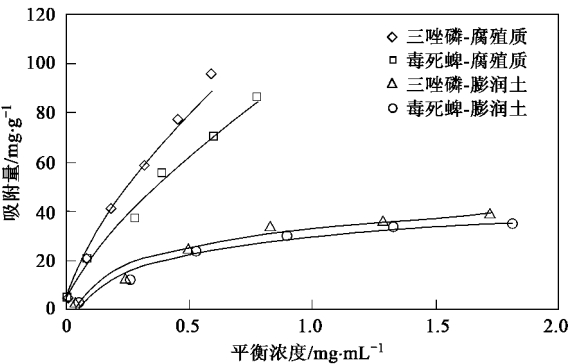


图 2 毒死蜱、三唑磷在分别在腐殖质和膨润土上的吸附等温线

Fig.2 Adsorption isotherms of chlorpyrifos and triazophos on bentonite and humus

分配作用,除此以外腐殖质中的羟基与毒死蜱的磷酸酯可形成氢键^[20],腐殖质骨架中的苯环可能会与毒死蜱中吡啶基 π 电子重迭而形成共轭^[21],这些都有利于毒死蜱在腐殖质上的吸附;膨润土具有大量可供交换的亲水性无机阳离子,使黏土矿物表面存在一层薄的水膜^[22],因而不能有效吸附非离子型农药,但是膨润土具有较大的层间距,能增加对有机物的表面吸附。

实验结果分别用 Freundlich 模型和 Langmuir 模

型进行回归分析,建立方程见表 2. 从表 2 可以看出,Langmuir 等温吸附式可很好地描述毒死蜱和三唑磷在膨润土上的吸附行为,拟合效果都达到显著水平;而腐殖质对毒死蜱和三唑磷的吸附,2 种吸附式拟合度均较好。

腐殖质与非离子型有机磷农药的吸附特性可有效治理农药的滥用滥施对土壤的污染,提高土壤腐殖质含量可控制和固定非离子型有机磷农药的有效活性浓度,降低对环境的毒性危害。

表 2 毒死蜱、三唑磷分别在膨润土和腐殖质上的等温方程拟合
Table 2 Fitting isothermal adsorption equation of chlorpyrifos and triazophos on bentonite and humus

吸附剂	农药	Freundlich 方程		Langmuir 方程 ¹⁾	
		$G = K_d \cdot c_e^{1/n}$	R^2	$1/G = (1/K \cdot G_m)/c_e + 1/G_m$	R^2
膨润土	毒死蜱	$G = 28.995c_e^{0.8288}$	0.943 1	$y = 2.68 \times 10^{-2}x + 1.3 \times 10^{-3}$	0.995 7
	三唑磷	$G = 32.987c_e^{0.7506}$	0.957 1	$y = 1.93 \times 10^{-2}x + 1.21 \times 10^{-2}$	0.998 9
腐殖质	毒死蜱	$G = 100.35c_e^{0.6858}$	0.996 4	$y = 2.3 \times 10^{-3}x + 1.41 \times 10^{-2}$	0.996 3
	三唑磷	$G = 127.11c_e^{0.6474}$	0.998 9	$y = 1.2 \times 10^{-3}x + 1.54 \times 10^{-2}$	0.992 4

1) Langmuir 方程为 $G = G_m \cdot c_e / (c_e + 1/K)$, 将方程两边求倒数即转化为线性方程

2.2 不同混合比的膨润土和腐殖质对 2 种农药的吸附

图 3 表明腐殖质、膨润土混合吸附剂对三唑磷的吸附大于毒死蜱,并且随着腐殖质与膨润土质量比的增加,对 2 种农药的吸附也逐渐增加. 当腐殖质与膨润土质量比达 12% 时,混合吸附剂对三唑磷的吸附趋于饱和;腐殖质与膨润土质量比为 14% 时,对毒死蜱吸附趋于饱和. 再增加腐殖质含量,总吸附量有所上升,但单位质量的吸附量反而有所减少. 这是因为随着吸附剂添加量的增加,单位质量吸附剂的吸附位点数不变,但是有效表面积却减小,其活性吸附位点数也相应减少^[23]。

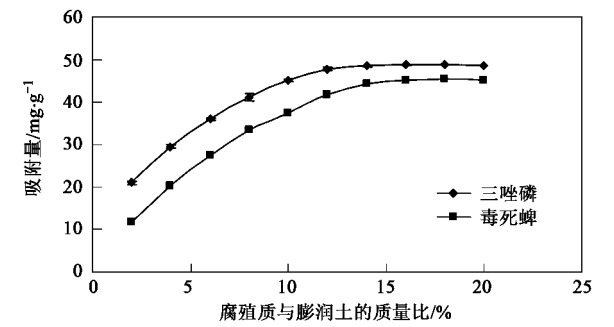


图 3 不同混合比的膨润土和腐殖质对 2 种农药的吸附
Fig. 3 Adsorption of chlorpyrifos and triazophos on different mixing ratios of bentonite and humus

实验结果表明,在一定范围内,混合吸附剂中增加腐殖质的含量对吸附非离子型有机磷农药有利。

这说明混合吸附剂对非离子型有机磷农药的吸附主要由腐殖质起主导作用,主要因素也是因为腐殖质和膨润土的结构与特性不同,吸附非离子型有机磷农药的机理不同(见 2.1 节). 因此适当增加腐殖质的含量可固定非离子型有机磷农药在土壤环境中,有效降低农药的活性毒性。

2.3 混合吸附剂吸附农药的影响因素

2.3.1 吸附时间对混合吸附剂吸附农药的影响

由图 4 可知,2 种农药在混合吸附剂上的吸附可分为 2 个阶段:前期吸附量迅速增加,后期吸附速率减慢,随着吸附时间的延长,毒死蜱在 12 h 时达到平衡,三唑磷在 6 h 时达到平衡. 吸附过程是一个由迅速扩散和缓慢扩散构成的双速过程^[24,25],在吸附前期,农药分子首先附着在混合吸附剂表面并向

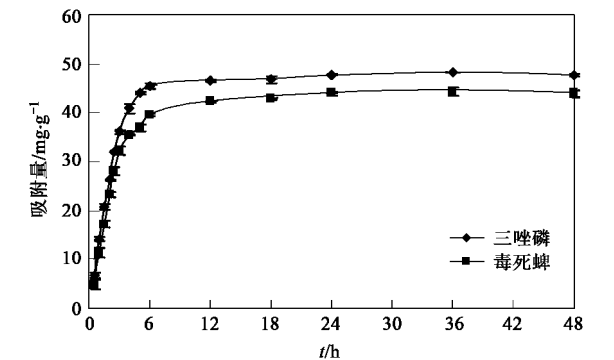


图 4 时间对混合吸附剂吸附毒死蜱、三唑磷的影响
Fig. 4 Effect of time on adsorption of chlorpyrifos and triazophos by mixed adsorbent

阻力小的大孔隙迅速扩散,因而曲线迅速上升且吸附了大部分农药;当农药分子进一步从大孔隙向微孔扩散时,由于受到狭窄孔径所产生的很大阻力,从而变得较为缓慢,曲线趋于平坦.

2.3.2 pH 条件对混合吸附剂吸附农药的影响

pH 值对非离子型有机农药通过 H 键形式吸附的会产生一定的影响,此外,在水存在条件下农药还可发生水解反应,因此 pH 条件对毒死蜱和三唑磷农药在腐殖质和膨润土上的吸附影响较为复杂.本研究将毒死蜱和三唑磷农药在不同 pH 值下的稳定性作了实验,结果显示在 pH 2~3 和 pH≥8 的条件下,2 种农药都非常不稳定,分解率达到 8% 以上,碱性条件分解率可达 15% 以上;在 pH 5~6 之间,分解率在 1% 以下.这与有关报道一致^[23,26].图 5 显示的是在实验 pH 值(2.0~9.0)范围内,混合吸附剂对毒死蜱和三唑磷的吸附情况.考虑 2 种农药在不同 pH 条件下的不稳定,结果显示酸性和碱性条件都不利于混合吸附剂对 2 种农药的吸附,当 pH=6.0 时,2 种农药较稳定,此时吸附率达到最大值(86.5% 和 91.2%).这可理解为一方面在酸性和碱性条件下毒死蜱和三唑磷会解,不与混合吸附剂产生吸附作用;另一方面腐殖质和膨润土在酸性条件下吸附点位存在着与 H⁺ 和毒死蜱、三唑磷的竞争吸附,吸附点位易被 H⁺ 所占据,另外酸性和碱性会使腐殖质和膨润土与毒死蜱和三唑磷以 H 键形式键合的吸附作用受影响,从而使吸附率降低.

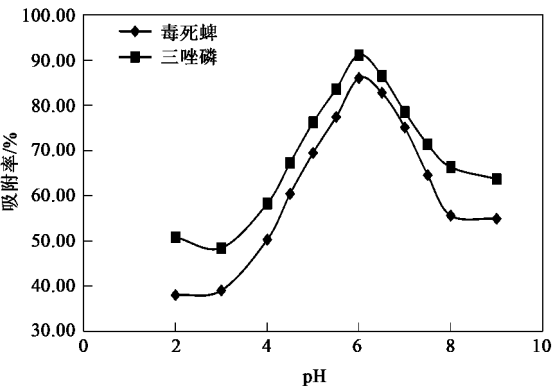


图 5 pH 值对混合吸附剂吸附毒死蜱、三唑磷的影响
Fig.5 Effect of pH on adsorption of chlorpyrifos and triazophos by mixed adsorbent

2.3.3 温度对混合吸附剂吸附农药的影响

表 3 显示出混合吸附剂在不同温度下对 2 种农药的吸附均符合 Freundlich 模型, K_f 值比较结果发现,2 种农药的吸附常数 K_f 值随着温度的升高而下降,这表明混合吸附剂对农药的吸附能力随温度逐渐减小.这与有关报道相一致^[23].可能原因可从两方面来分析:①随着温度升高,农药的水解作用,对吸附量产生负效应;②随着温度升高,腐殖质表面吸附活性增大,对吸附量产生正效应.根据前人的研究^[27,28],毒死蜱和三唑磷的水解符合一级反应动力学的特征,即农药的降解速率与体系中农药含量的一次方成正比,所以吸附能力随温度升高而减小主要是农药水解所致.

表 3 相应温度下 Freundlich 与 Langmuir 方程的拟合参数

Table 3 Fitting parameters of Freundlich and Langmuir equation under corresponding temperature

农药	温度/℃	Freundlich 模型			Langmuir 模型		
		K_f	n	R^2	K	G_{max}	R^2
毒死蜱	15	102.54	1.349	0.999 1	17.09	53.19	0.983 5
	25	100.84	1.229	0.999 0	4.433	75.18	0.995 1
	35	98.22	1.666	0.996 3	2.523	90.09	0.993 8
三唑磷	15	141.89	1.166	0.994 1	21.62	123.46	0.997 3
	25	127.45	1.616	0.993 0	9.624	57.80	0.985 1
	35	126.28	1.432	0.997 9	3.189	64.94	0.988 4

混合吸附剂对毒死蜱和三唑磷的吸附热力学参数如焓变(ΔH)、熵变(ΔS)及 Gibbs 自由能函数变(ΔG)可以通过下式计算^[29]:

$$\ln K_f = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}$$

$$\Delta G = -RT \ln K_{OM}$$

$$K_{OM} = 100K_f / OM\%$$

式中, R 为热力学气体常数,数值为 $8.314 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$, T 为热力学温度(K), K_{OM} 为单位有机质的吸附常数, K_f 为吸附常数.毒死蜱和三唑磷在混合吸附剂上的吸附热力学参数如表 4 所示.吸附自由能 ΔG 值可以反映吸附反应自发进行的程度,在实验温度范围内 $\Delta G < 41.84 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 且均为负,说明反应是自发进行的物理吸附^[30,31]; ΔH 为负

值,说明吸附为放热过程,随温度升高,吸附量减少,这一点在前文已得到验证; ΔS 为正值,说明混合吸附剂吸附这 2 种农药是一熵增过程,是溶剂分子的脱附引起的熵值增加大于溶质分子吸附引起的熵值减小结果,混乱度增大。

表 4 2 种农药在混合吸附剂上吸附的热力学参数
Table 4 Thermodynamic parameters of the two pesticides on mixed adsorbent

农药	温度 /℃	ΔG /kJ·mol ⁻¹	ΔH /kJ·mol ⁻¹	ΔS /J·(mol·K) ⁻¹
毒死蜱	15	-15.47	-1.58	33.02
	25	-15.97		
	35	-16.40		
三唑磷	15	-16.94	-4.34	26.01
	25	-17.26		
	35	-17.82		

3 结论

(1)腐殖质和膨润土对 2 种农药均有较强的吸附能力,且腐殖质对农药的吸附能力大于膨润土,农药在腐殖质上的吸附行为可用 Freundlich 模型和 Langmuir 模型描述,膨润土对 2 种农药的等温吸附线可用 Langmuir 模型拟合。

(2)2 种农药的吸附量随着腐殖质与膨润土质量比的增加而逐渐增加,且对三唑磷的吸附大于毒死蜱。腐殖质与膨润土质量比分别为 12% 和 14% 时,混合吸附剂对三唑磷和毒死蜱的吸附趋于饱和。表明适当增加腐殖质的含量对吸附非离子型有机磷农药有利,可有效降低农药的活性毒性。

(3)混合吸附剂对 2 种农药的吸附平衡时间:毒死蜱为 12 h,三唑磷为 6 h,吸附过程可用双速率扩散模型来解释;pH 对腐殖质和膨润土吸附农药有影响,pH=6.0 时为最佳,过酸或过碱溶液体系中,毒死蜱和三唑磷易发生分解;温度升高,混合吸附剂对 2 种农药的吸附能力逐渐降低,通过计算不同温度各热力学参数 ΔG 、 ΔH 和 ΔS ,证实该吸附为一自发的放热过程。

参考文献:

[1] 单正军. 农用化学品环境安全评价与监测技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008. 19-20.

[2] 汪立刚,蒋新,颜冬云,等. 卜 中残留毒死蜱的作物效应[J]. 环境科学, 2006,27(2):366-370.

[3] Canty M N, Hagger J A, Moore R T B, et al. Sublethal impact of short term exposure to the organopogosphate pesticide azamethiphos in the marine mollusk mytilus edulis [J]. Mar

Pollut Bull, 2007,54:369-402.

[4] 梁俊,赵政阳,李海飞,等. 苹果中毒死蜱残留降解动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2008,27(6):2461-2466.

[5] 陈振德,袁玉伟,陈雪辉,等. 毒死蜱在韭菜中的残留动态研究[J]. 安全与环境学报, 2006,6(6):41-43.

[6] 龚道新,郑丽英,杨仁斌,等. 水土和柑桔中三唑磷残留量的气相色谱分析方法研究[J]. 农业环境科学学报, 2004,23(5):1034-1036.

[7] 余向阳,赵于丁,王冬兰,等. 毒死蜱和三唑磷对斑马鱼头部 AchE 活性影响及在鱼体内的富集[J]. 农业环境科学学报, 2008,27(6):2452-2455.

[8] Shimp J F, Tracy J C, Davis L C, et al. Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials [J]. Environ Sci Technol,1993,23(1):41-77.

[9] 吴声敢,王强,赵学平,等. 毒死蜱和甲菊酯对家蚕毒性与安全评价研究[J]. 农药科学与管理,2003,24(9):11-14.

[10] 郭华,朱红梅,杨红. 除草剂草胺在土壤中的降解与吸附行为[J]. 环境科学, 2008,29(6):1729-1736.

[11] 赵华,徐浩,叶兴祥. 甲胺磷和三唑磷在稻田中的降解迁移及吸附研究[J]. 农业环境科学学报, 2005,24(2):284-288.

[12] 谢慧,朱鲁生,王军,等. 真菌 WZ- I 对有机磷杀虫剂毒死蜱的酶促降解[J]. 环境科学, 2005,26(6):164-168.

[13] 丁运生,王僧山,查敏,等. 有机阳离子在蒙脱土层间的物理化学吸附与聚集状态[J]. 物理化学学报, 2006,22(5):548-551.

[14] Sanchez-Martin M J, Rodriguez-Cruz M S, Andrades M S, et al. Efficiency of different clay minerals modified with a cationic surfactant in the adsorption of pesticides: Influence of clay type and pesticide hydrophobicity [J]. Appl Clay Sci, 2006,31:216-228.

[15] Sheng G, Wang X, Wu S, et al. Organic chemicals in the environment: Enhanced sorption of organic contaminants by smectitic soils modified with a Cationic Surfactant [J]. J Environ Qual, 1998,27:806-814.

[16] 杨成建,曾清如,廖柏寒,等. 非离子表面活性剂对有机磷农药在沉积物上的吸附行为影响[J]. 环境化学, 2006,25(2):159-163.

[17] 朱丽珺. 不同林分类型 卜 及主要组分对重金属的吸附特征研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.

[18] 朱丽珺,张金池,宰德欣,等. 腐殖质对重金属 Cu²⁺ 和 Pb²⁺ 的吸附特征[J]. 南京林业大学学报, 2007,31(4):73-76.

[19] 蔡道基,杨佩芝,龚瑞忠,等. 化学农药环境安全评价试验准则[M]. 北京:国家环境保护局,1989. 13-15.

[20] 陈飞霞,魏沙平,魏世强. 毒死蜱在不同土壤腐殖酸上的吸附/解吸特征[J]. 环境污染与防治, 2006,28(11):818-821.

[21] 许端平,陈洪,曹云者,等. 多环芳烃非在不同土壤及其组分中的吸附特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005,24(4):625-629.

[22] 沈培友,徐晓燕. 粘土矿物在环境修复中的研究进展[J]. 中国矿业, 2004,13(1):47-50.

[23] 魏沙平,李红陵,陈飞霞,等. 酸性紫色土腐殖酸对毒死蜱的

- 水解和吸附作用[J]. 生态环境, 2007, **16**(1):36-40.
- [24] 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬, 等. 物理化学[M]. (第四版). 北京: 高等教育出版社, 1997. 961-978.
- [25] 吴应琴, 周敏, 马明广, 等. 不溶性腐殖酸吸附对硝基苯胺的动力学研究[J]. 水处理技术, 2009, **33**(2):15.
- [26] 李界秋, 黎晓峰, 沈方科, 等. 毒死蜱在环境中的降解研究[J]. 安徽农业科学, 2007, **35**(11): 3334-3336.
- [27] Lin K D, Yuan D X, Deng Y Z. Hydrolytic products and kinetics of triazophos in buffered and alkaline solutions with different values of pH[J]. J Agr Food Chem, 2004, **52**:5404-5411.
- [28] 田芹, 周志强, 江树人, 等. 毒死蜱在环境水体中降解的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(2):289-293.
- [29] Freitas A F, Mendes M F, Coelho G L V. Thermodynamic study of fatty acids adsorption on different adsorbents [J]. J Chem Therm, 2007, **39** (7):1027-1037.
- [30] 杨克武, 安凤春, 莫汉宏. 单甲脒在土壤中的吸附[J]. 环境化学, 1995, **14**(5):431-435.
- [31] 黄贱苟, 徐满才, 李海涛. 非水体系中大孔交联酰胺基树脂的吸附热力学[J]. 物理化学学报, 2003, **19**(3): 208-211.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能, 欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题, 请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址: 北京市海淀区双清路 18 号《环境科学》编辑部

邮 编: 100085

电 话: 010-62941102, 010-62849343

传 真: 010-62849343

E-mail: hjkx@rcees.ac.cn

网 址: www.hjkx.ac.cn