

丁吡吗啉在土壤中的吸附及淋溶特性

王 静, 赵莲莲, 刘子圣, 覃兆海, 李 楠

(中国农业大学理学院, 北京 100193)

摘 要:化学农药在土壤中的吸附和淋溶特性是评价其环境行为的重要指标,也是新农药登记必须提供的环境影响资料。本文分别采用振荡平衡法、土壤薄层层析法和土柱淋溶法研究了丁吡吗啉在不同土壤中的吸附和淋溶特性。结果表明,丁吡吗啉在3种供试土壤上的吸附规律可以较好地用 Freundlich 方程描述,吸附常数 K_d 在 $10.42\sim 37.72\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间,在砂土中较难被吸附,在壤土和粘土中属中等吸附。丁吡吗啉在3种供试土壤中不易移动或不移动,3种土柱淋溶试验的结论均为难淋溶。根据综合试验结果,对相关影响因素进行了讨论,认为影响丁吡吗啉在土壤中吸附性的主要因素为土壤有机质含量和土壤粘粒含量,影响淋溶特性的主要因素为土壤吸附和丁吡吗啉在水中的溶解度。

关键词:丁吡吗啉;吸附;淋溶

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)11-2128-05

Adsorption and Leaching Behavior of Pyrimorph in Soil

WANG Jing, ZHAO Lian-lian, LIU Zi-sheng, QIN Zhao-hai, LI Nan

(College of Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The adsorption and leaching of pesticides on and in soils are important evaluation index which can be used to describe the behavior and predict the potential risk of pesticides in environment. The data of the adsorption and leaching are necessary for the pesticide register. In this study, the adsorption and leaching of pyrimorph in different soils in China were conducted by oscillation equilibrium experiment, soil TLC and column leaching. The results showed that pyrimorph was rather difficult to be adsorbed on the sandy soil, the sorption on the loam soil and the clay soil were medium degree, with K_d values from $10.42\sim 37.72\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$. The sorption isotherm could be well described by Freundlich equation. In all the kinds of experimental soil, pyrimorph showed comparatively low mobility and leaching degree. According to the results, the influencing factors were also discussed. The contents of soil organic matter and clay were considered as the key influencing factors for soil adsorption, and for leaching, the soil adsorption and the solubility of pyrimorph had the main effect.

Keywords: pyrimorph; adsorption; leaching

化学农药在防治病虫害过程中优势突出,但不合理的使用农药将会对生态系统造成影响。有些农药成分可能引起有机体突变、染色体变异和 DNA 损伤^[1],对人类健康也构成潜在威胁。因此,研究农药的环境行为意义重大。在化学农药环境安全评价中,吸附和淋溶是评价农药对地下水污染风险的重要指标。农药的吸附和移动特性随着土壤类型、使用方式和气候条件而改变,农药本身的理化性质及土壤特性也是影响

农药在土壤中吸附和淋溶特性的重要因素^[2-5]。

丁吡吗啉(pyrimorph)是在烯酰吗啉化学结构的基础上采用模拟方法合成的一种新型杀菌剂^[6],结构式见图1,化学名称:(E)-3-(2-氯吡啶-4-基)-3-(4-叔丁基苯基)-丙烯酰吗啉。丁吡吗啉已经取得了中国的专利保护,专利公开号为CN1566095A^[7]。室内生物测定结果表明,在离体条件下,丁吡吗啉对致病疫霉、辣椒疫霉、立枯丝核菌和古巴假霜霉等重要植物病原菌均有很好的抑制活性^[8]。

目前,有关丁吡吗啉环境行为的评价尚未见报道。本研究参照《化学农药环境安全评价试验准则》^[9]的要求,分别采用振荡平衡法、土壤薄层层析法和土柱淋溶法,结合高效液相色谱技术,研究了丁吡吗啉

收稿日期:2010-04-27

基金项目:“十一五”科技支撑计划项目(2006BAE01A03-10)

作者简介:王 静(1985—),女,河南濮阳人,硕士研究生,主要从事有机分析研究。E-mail:wangjing_169@126.com

通讯作者:李 楠 E-mail:linan50@126.com

覃兆海 E-mail:qinzhao hai@263.net

在 3 种不同土壤中的吸附和淋溶特性,并对相关的影响因素进行了分析探讨,为评价丁吡吗啉的环境行为和新农药登记提供了试验依据。

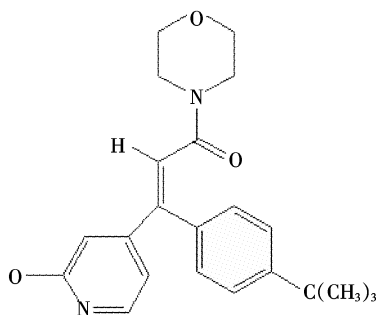


图 1 丁吡吗啉结构式

Figure 1 The structural formula of pyrimorph

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

丁吡吗啉标准品由中国农业大学有机合成实验室提供,纯度 99.5%;丁吡吗啉母液由色谱纯乙腈配制,浓度为 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。无水氯化钙、无水硫酸镁、无水乙酸钠均为分析纯(北京化学试剂公司),甲醇、乙腈为色谱纯(韩国 SK Chemicals Co. Ltd),水由 Milli-Q 纯水净化系统制得,乙二胺-丙基硅烷(PSA)为分析纯(天津博纳艾杰尔科技有限公司)。

选择内蒙古砂土、北京壤土、广西水稻土粘土作为试验土壤,以上 3 种土壤经风干,过 60 目筛,室温下保存,并测定含水率、有机质、pH 值、阳离子代换量和机械组成。供试土壤的基本理化性质见表 1。

岛津 LC-20AT 高效液相色谱仪,配有 DAD 检测器(岛津公司,日本);QL-901 漩涡混合器(江苏海门其林医用仪器厂);BP211D 型电子分析天平(德国 Sartorius 公司);TDL-40B 低速离心机(上海安亭科学仪器厂);SCT15B 高速离心机(HITACHI, 日本);SHZ-82 型恒温振荡器(常州国华电器有限公司);玻璃板(长 20 cm,宽 7 cm);淋溶柱(为可拆卸不锈钢圆

柱,内直径为 4.3 cm)。

1.2 土壤吸附试验

1.2.1 吸附试验

称取 2.00 g 土壤于 250 mL 具塞锥形瓶中,分别加入 5 mL 浓度为 0.40、0.80、2.00、5.00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的农药水溶液($0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 介质),调节水分含量,保持水土比为 10:1。塞紧瓶塞,置于恒温振荡器中,于 $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 下,振摇 24 h 达到平衡后,将土壤悬浮液转移至离心管中,4 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min,吸取上清液过 0.22 μm 滤膜,测定其中的农药含量。

1.2.2 解吸试验

分离出上清液后,在土壤固相中加入与分离出的上清液相同体积的 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 溶液,恒温振荡 24 h 后离心分离,测定上清液中农药含量。重复操作 1 次,合计 2 次上清液农药含量,求得农药解吸率。

1.2.3 质量平衡试验

用乙腈作提取剂,提取测定吸附在土壤中的农药含量,以验证吸附试验过程中农药质量的平衡。

1.3 土壤淋溶试验

1.3.1 土壤薄层层析法

称取 10.00 g 过 0.25 mm 筛的土壤于烧杯中,加水(约 7.5 mL)搅拌均匀,用玻璃棒将泥浆均匀涂布于层析玻璃板上,土层厚度控制在 0.5~1.0 mm 之间。在 $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下将土壤薄板晾干,于薄板底部中心 1.5 cm 处点上药,点药量为 10 μg ,待溶剂挥发后,放在装有纯水的层析槽(液面高度 0.5 cm)中展开,至展开剂到达薄板 11.5 cm 处停止,晾干。将薄板上的土壤按等距离分成六段,分别测定各段土壤中的农药含量及其在薄板上的分布。

1.3.2 土壤柱淋溶法

称取 500~700 g($\pm 0.1\text{ g}$)过 2 mm 筛的土壤,装于淋溶柱中,制成 30 cm 高的土柱,在上端添加 1 cm 厚的石英砂,柱中加水至土壤饱和持水量的 60%,农药上样量为 1.0 mg。从试验开始起,每隔 1 h 加 30 mL 纯水淋溶,共计 10 次。淋溶完毕,将土柱均匀切成 3 段,分别测定各段土壤及淋出液中的农药含量。

1.4 土壤和水中丁吡吗啉的检测方法

取待测土壤 15 g 于 50 mL 具塞离心管中,加入 9 mL 水,15 mL CH_3CN 提取,涡旋 1 min;加入 6 g 无水 MgSO_4 和 1.5 g 无水 NaAc, 涡旋 1 min,4 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min,取 1 mL 上清液于 2 mL 离心管中,加入 50 mg PSA 和 150 mg 无水 MgSO_4 , 涡旋 2 min,8 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min,取上清液过 0.22 μm 滤膜,待进样

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of the experimental soil

土壤类型	有机质含量/%	阳离子代换量/ $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	pH	物理性粘粒含量 ($<0.01\text{ mm}$)/%
内蒙古砂土	0.77	15.74	7.70	12.10
北京壤土	1.24	24.52	7.57	17.85
广西水稻土粘土	9.07	30.30	6.90	36.78

分析。在质量平衡试验和土壤薄层层析试验中,由于待测土样总量较小(<3 g),提取时取全部土样,加入 5 mL 乙腈和 3 mL 水,涡旋 1 min 后加入 2 g 无水 MgSO₄ 和 0.5 g 无水 NaAc,其他操作及用量同上。

水样过 0.22 μm 滤膜后,直接进样分析。

液相色谱条件:流动相为甲醇:水=75:25;流速 1 mL·min⁻¹;VP-ODS 柱(150 mm×4.6 mm)色谱柱;柱温为室温;检测波长 243 nm;进样量 20 μL。

在上述色谱条件下,丁吡吗啉在 0.05~5.00 mg·L⁻¹ 浓度范围内呈现良好的线性,标准曲线方程为:

$y=56\,896x+54.826(R^2=0.999\,9)$

土壤添加回收试验中,取 15 g 土,添加一定量丁吡吗啉,使添加浓度分别为 1.0、0.1 和 0.05 mg·kg⁻¹,混合均匀后,平衡 0.5 h,按照上述方法提取测定,每个浓度 5 个重复。平均回收率分别为 96.2%、93.7%、86.1%,RSD 分别为 5.53%、4.51%、1.97%。丁吡吗啉在土壤中的检出限为 0.05 mg·kg⁻¹。

用自来水配制浓度为 1.0、0.1 和 0.05 mg·L⁻¹ 的丁吡吗啉水样,过 0.22 μm 滤膜后,直接进样分析,3 次重复的平均回收率分别为 101.5%、96.8%、97.3%,RSD 分别为 0.21%、4.53%、0.77%。丁吡吗啉在水中的检出限为 0.05 mg·L⁻¹。

2 结果与分析

2.1 丁吡吗啉在土壤中的吸附特性

预试验表明,丁吡吗啉溶液与土壤接触振荡 24 h 后,吸附达到平衡(吸附率>25%),并且在此过程中没有发现丁吡吗啉因微生物分解、水解或光解而有明显的降解。平衡时水相中的丁吡吗啉由液相色谱直接测定,土壤中丁吡吗啉的量为平衡前后水相中丁吡吗啉的减少量。丁吡吗啉的土壤吸附规律用 FreundLich 方程描述,见下式:

$C_s = K_d \times C_e^{1/n}$

式中:C_s 为土壤对农药的吸附含量,μg·g⁻¹;K_d 为土壤吸附常数,mL·g⁻¹;1/n 为 C_s 与 C_e 关系曲线斜率;C_e 为

表 2 土壤吸附试验结果

Table 2 The results of the soil adsorption experiment

土壤类型	吸附曲线	R ²	K _d /mL·g ⁻¹	K _{oc} /mL·g ⁻¹	ΔG/kJ·mol ⁻¹
砂土	y=10.422x ^{0.636 1}	0.923 1	10.42	1 353.5	-17.86
壤土	y=27.443x ^{1.081 8}	0.955 6	27.44	2 213.1	-19.08
粘土	y=37.72x ^{0.689 8}	0.927 7	37.72	415.9	-14.94

吸附平衡时水相中的农药浓度,μg·mL⁻¹。

丁吡吗啉在 3 种土壤中的吸附曲线及相关参数列于表 2,从表 2 中可以看出,丁吡吗啉在 3 种土壤中的吸附均较好地符合 FreundLich 吸附等温方程。吸附常数 K_d 表示土壤对农药吸附能力的强弱,K_d 越大,吸附作用越强。

2.2 丁吡吗啉的解吸和质量平衡试验

丁吡吗啉在 3 种土壤中的解吸率和质量平衡试验回收率列于表 3 中,对比丁吡吗啉在 3 种土壤中吸附后的解吸率可以看出,砂土与壤土的解吸率区别不明显,粘土的解吸率则明显低于砂土和壤土,进一步说明了粘土对丁吡吗啉的吸附能力较强,同时证明了丁吡吗啉在这 3 种土壤中的吸附为可逆吸附。

从丁吡吗啉质量平衡试验回收率的结果可以看出,壤土和粘土的回收率均大于 75%,符合质量平衡控制的要求,砂土的质量平衡试验回收率则整体偏低。分析其主要原因是由于土质的差别,砂土的水含量低至 2%时亦不粘结,有机溶剂很易于和土中的农药接触,将其提取出来,但加入一定量的水后,土中的某些小孔结构被水堵塞,使有机溶剂不易浸入,故提取效率反而下降,水越多此影响越严重。有机质含量较大的壤土和粘土,水含量少时粘结成块,农药分子极易被有机质吸附甚至包裹,故提取效率低,加入适量水后使土呈分散状,有机溶剂与农药的接触面积增加,提取效率提高。本试验只用 2 g 土,样品量很少,用 5 mL 乙腈和 3 mL 水提取,加入的水是比较多的,并且是在解吸试验之后直接提取,土壤已经和水充分接触并饱和,水对砂土提取的影响更大,是造成砂土回收率偏低的原因。

表 3 土壤解吸和质量平衡试验结果

Table 3 The results of soil desorption and mass balance experiments

农药水溶液浓度/mg·L ⁻¹	砂土/%		壤土/%		粘土/%	
	解析率	回收率	解析率	回收率	解析率	回收率
0.20	12.71	50.69	22.22	91.37	3.53	78.85
0.40	19.62	63.91	34.51	77.66	7.95	93.34
2.00	41.54	87.32	27.04	79.19	13.96	110.33
5.00	31.72	73.61	33.59	80.37	14.15	104.72

表 4 土壤薄层层析和土柱淋溶试验结果

Table 4 The results of soil TLC and column leaching

试验	取样段/cm	检出率/%		
		砂土	壤土	粘土
土壤薄层层析	0~3.3	75.52	77.08	103.28
	3.3~6.6	12.67	ND	ND
	6.6~20.0	ND	ND	ND
土柱淋溶	0~10	94.12	87.90	102.77
	10~20	ND	ND	ND
	20~30	ND	ND	ND
	淋出液	ND	ND	ND

注：在薄层层析试验中，按每段 3.3 cm 将土壤薄板均分为 6 段，6.6~20.0 cm 段检测时分为 4 段，但均未检出农药。

2.3 丁吡吗啉在土壤中的移动性及淋溶特性

农药在土壤中的移动性和淋溶特性是评价其对地下水污染风险的重要指标。丁吡吗啉在土壤中的移动性及淋溶特性试验结果见表 4。在土壤薄层层析试验中，绝大部分的丁吡吗啉分布在砂土薄板的 0~3.3 cm 段（即点样段），3.3~6.6 cm 段的含量约为前者的 1/7；在壤土和粘土薄板上，丁吡吗啉只分布在 0~3.3 cm 段。由于斑点中心的具体位置不易确认，只能大致估算 R_f 在 0~0.18 范围内。土柱淋溶试验结果（表 4）表明，丁吡吗啉在 3 种土壤的淋溶试验后均保留在土柱的上层（0~10 cm 段）。

综上所述，丁吡吗啉在砂土、壤土、粘土中的移动性和淋溶性均很弱，一方面是由于 3 种土壤对于丁吡吗啉都有一定的吸附性；另一方面，丁吡吗啉在水中的溶解度极低，在水和土壤之间分配时进入水相中的可能性很小。3 种供试土壤的试验结果差异不大，由此推测丁吡吗啉溶解度的影响可能更大。

3 讨论

3.1 丁吡吗啉在土壤中的吸附自由能

土壤吸附自由能是反映土壤吸附特性的重要参数之一，根据其变化的大小，可以推断农药被土壤吸附的程度与机制。当自由能变化值小于 $40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时，为物理吸附，反之为化学吸附^[4]。土壤对农药的吸附自由能变化量与有机质吸附常数的关系可用下式表示：

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

式中： ΔG 为吸附自由能变化量， $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ； R 为摩尔气体常数，数值为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ； T 为绝对温度； K_{oc} 为以有机碳含量表示的土壤吸附常数， $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

丁吡吗啉在 3 种土壤上吸附自由能的变化 ΔG

列于表 2，可以看出， ΔG 均为负值，说明吸附是自发过程；同时， ΔG 均小于 $40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，说明吸附方式为物理吸附。

3.2 影响丁吡吗啉在土壤中吸附特性的因素

土壤是由矿物质、有机质、水分和空气等组成的多相体系，不同理化性质的土壤对农药的吸附性有明显差异。将 3 种土壤对丁吡吗啉的吸附系数 K_d 与土壤的理化性质数据进行分析讨论，推测影响吸附的主要因素。

对于农药的吸附性，许多报道认为土壤有机质对农药的吸附行为起主要作用^[1,10-13]。有机质与农药之间的作用力可归结为范德华力、疏水作用、氢键作用力、配位基交换、化学键作用等。结合表 1 中数据和 K_d 值可以看出， K_d 随土壤有机质含量的增加有增大的趋势。丁吡吗啉是有机类农药，有机质增加会导致吸附位点增加，分析认为土壤中的有机质含量对丁吡吗啉的吸附行为有一定的影响。

土壤中粘粒物质是土壤中最活跃的组成部分，土壤中粘土矿物成分蒙脱矿、伊利石和高岭矿等对农药具有较强的吸附作用^[4]。粘粒含量增加，可吸附农药的比表面积增大，土壤对农药的吸附量会相应增加。本试验结果表明，吸附常数 K_d 值与土壤粘粒含量呈现一定相关性。结合上文对于吸附自由能的分析，认为土壤粘粒含量对丁吡吗啉的吸附行为有影响。

土壤 pH 与阳离子代换量也是土壤吸附性能评价中应考虑的因素。通常 pH 值降低，农药的吸附量升高，尤其对于离子型及有机酸农药的吸附，pH 值影响更大^[4]。结合丁吡吗啉的结构和理化性质分析认为，3 种土壤的 pH 值相差很小，丁吡吗啉在供试土壤 pH 值范围内的性质稳定，因此认为土壤 pH 对丁吡吗啉吸附性的影响不大。丁吡吗啉是分子型农药，其分子结构在溶液中难以形成阳离子状态或可接受质子状态，因此认为阳离子代换量应该对丁吡吗啉在土壤中的吸附行为没有大的影响。

4 结论

丁吡吗啉在砂土、壤土和粘土上的吸附规律可以较好地用 Freundlich 方程描述，吸附常数 K_d 分别为 10.42、27.44、37.72 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。按照《化学农药环境安全评价试验准则》中农药土壤吸附性等级的划分标准，丁吡吗啉在砂土中为较难吸附，在壤土和粘土中为中等吸附。丁吡吗啉在 3 种供试土壤中的吸附是可逆吸附，吸附自由能为负值，且小于 $40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，吸附方式

为物理吸附。由试验结果推断,影响丁吡吗啉在土壤中吸附性的主要因素是土壤有机质含量和土壤粘粒含量,由于丁吡吗啉是分子型农药,认为阳离子代换量和土壤 pH 对吸附的影响不大。

按照《化学农药环境安全评价试验准则》中农药在土壤中移动性和淋溶性的等级划分标准,丁吡吗啉在 3 种供试土壤中的移动性为不易移动或不移动,淋溶性为难淋溶。土壤的吸附性及丁吡吗啉在水中的溶解度对其移动性和淋溶性有影响,综合评价认为,丁吡吗啉对地下水造成污染的风险性很小。

参考文献:

- [1] 张玉超,梅向东,等. 新农药呋喃虫酰肼在四种土壤中吸附行为的研究[J]. 现代农药, 2009, 8(3):11-14.
ZHANG Yu-chao, MEI Xiang-dong, et al. Study on adsorption behavior of JS 118 in four Chinese soils [J]. *Modern Agrochemicals*, 2009, 8(3): 11-14.
- [2] Shashi B Singh, Gita Kulshretha. Soil persistence of triasulfuron herbicide as affected by biotic and abiotic factors[J]. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 2006, 41(5):635-645.
- [3] 张 瑾, 司友斌. 除草剂胺苯磺隆在土壤中的吸附[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5):1289-1293.
ZHANG Jin, SI You-bin. Adsorption of herbicide ethametsulfuron-methyl on soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5): 1289-1293.
- [4] 吴星卫, 单正军, 等. 2, 4-二氯苯氧基乙酸在土壤中的吸附淋溶特性[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4):691-695.
WU Xing-wei, SHAN Zheng-jun, et al. Adsorption and leaching behavior of herbicide 2, 4-dichlorop Henoxyacetic acid in soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(4):691-695.
- [5] 孔德洋, 石利利, 单正军, 等. 除草剂甲基磺草酮在土壤中的吸附及淋溶特性[J]. 中国环境科学, 2008, 28(8):753-757.
KONG De-yang, SHI Li-li, SHAN Zheng-jun, et al. Adsorption and leaching behavior of herbicide mesotrione in soils[J]. *China Environmental Science*, 2008, 28(8):753-757.
- [6] 慕长炜, 袁会珠, 李 楠, 等. 4-[3-(吡啶-4-基)-3-取代苯基丙烯酰]吗啉类化合物的合成及杀菌活性[J]. 高等学校化学学报, 2007, 28(10):1902-1906.
MU Chang-wei, YUAN Hui-zhu, LI Nan, et al. Synthesis and fungicidal activities of a novel series of 4-[3-(Pyrid-4-yl)-3-substituted phenyl-lacryloyl]morpholine[J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 2007, 28(10):1902-1906.
- [7] 发明专利申请公开说明书. CN03148340. 2
The Public Instruction of Invention Patent. CN03148340. 2
- [8] 陈小霞, 袁会珠, 等. 新型杀菌剂丁吡吗啉的生物活性及作用方式探索[J]. 农药学报, 2007, 9(3):229-234.
CHEN Xiao-xia, YUAN Hui-zhu, et al. Preliminary studies on antifungal activity of pyrimorph[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2007, 9(3):229-234.
- [9] 国家环保总局. 化学农药环境安全评价试验准则[M]. 1989.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Guideline for environmental safety evaluation of chemical pesticides[M]. 1989.
- [10] 张 卫, 林匡飞, 等. 农药阿维菌素在土壤中的吸附特性[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1):219-223.
ZHANG Wei, LIN Kuang-fei, et al. Adsorption characteristics of pesticide abamectin in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1):219-223.
- [11] 冯慧敏, 何红波, 等. 乙草胺的生态环境风险及其主要土壤行为综述[J]. 土壤通报, 2009, 40(1):203-207.
FENG Hui-min, HE Hong-bo, et al. A review on the ecological environmental risk of acetochlor and its main behavior in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(1):203-207.
- [12] Zhenwu Tang, Wei Zhang, Yumin Chen. Adsorption and desorption characteristics of monosulfuron in Chinese soils [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 166:1351-1356.
- [13] Cecilia Flores, Verónica Morgante, et al. Adsorption studies of the herbicide simazine in agricultural soils of the Aconcagua valley, central Chile[J]. *Chemosphere*, 2009, 74:1544-1549.