

# 几种物质对苯噻草胺在水中光降解的影响\*

褚明杰<sup>1</sup> 岳永德<sup>2,3\*\*</sup> 花日茂<sup>3</sup> 汤 锋<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>安徽农业大学理学院,合肥 230036; <sup>2</sup>国际竹藤网络中心,北京 100102; <sup>3</sup>安徽省农产品安全重点实验室,合肥 230036)

**【摘要】** 高压汞灯下不同物质对水中的苯噻草胺光化学降解的影响研究表明,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>对苯噻草胺的光解有猝灭作用,其中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>在10:1的添加浓度(质量浓度)下猝灭作用最明显,照光15 min猝灭率达53.3%;卤素离子对苯噻草胺光解有重原子猝灭效应,作用最强的是添加10:1的I<sup>-</sup>(质量浓度),照光15 min猝灭率达76.9%;4种表面活性剂随添加浓度的增大对苯噻草胺光解的阻滞作用增强,除农乳404在较低添加浓度下(质量浓度比1:5和1:1)对苯噻草胺的光解表现出微弱的敏化效应外,其余均表现为猝灭作用;4种除草剂(杀草丹、苄嘧磺隆、甲草胺和绿磺隆)中,只有苄嘧磺隆在低添加浓度(质量浓度比1:10)时对苯噻草胺有光敏化作用,照光25 min光敏率为18.2%,其余除草剂各添加浓度下均对苯噻草胺表现出光猝灭作用;充氮气10 min,苯噻草胺的光解半衰期由不充氮气的7.14 min缩短为6.70 min。

**关键词** 苯噻草胺 光解 影响因子

**文章编号** 1001-9332(2006)01-0155-04 **中图分类号** S481.8 **文献标识码** A

**Effects of dissolved compounds on photodegradation of mefenacet in water.** CHU Mingjie<sup>1</sup>, YUE Yongde<sup>2,3</sup>, HUA Rimao<sup>3</sup>, TANG Feng<sup>3</sup> (<sup>1</sup>College of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; <sup>2</sup>International Center For Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; <sup>3</sup>Key Laboratory of Agri-Food Safety of Anhui Province, Hefei 230036, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(1): 155~158.

The study with high-pressure mercury lamp illuminating showed that after illuminated for 15 min, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> quenched the photolysis of mefenacet, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> with a concentration ratio 10:1 (mass) had the most obvious effect, its quenching rate being up to 53.3%. Halogen ions inhibited the photolysis of mefenacet by "weight atom effect". When the concentration ratio of I<sup>-</sup> was 10:1, the quenching rate was 76.9% after illuminated for 15 min. Surfactants Nongru 500, Nongru 404, Nongru 601 and Nongru 603 had different effects on the photodegradation of mefenacet. At concentration ratios 1:5 and 1:1, only Nongru 404 showed a weak photosensitive effect, while in the other cases, all the four surfactants had photoquenching effects. Among the four herbicides benthocarb, bensulfuron, alachlor and chlorsulfuron, only bensulfuron at low concentration ratio (1:10) accelerated the photolysis of mefenacet, with a photosensitive proportion of 18.2% after illuminated for 25 min. Aerified N<sub>2</sub> could accelerate the photolysis of mefenacet, and the half-life was shortened from 7.14 min to 6.70 min without aerifying N<sub>2</sub>.

**Key words** Mefenacet, Photodegradation, Affecting factor.

## 1 引言

苯噻草胺[2-(1,3-苯并噻唑-2-基氧)-N-甲基乙酰苯胺]是1998年在我国获得登记的乙酰替苯胺类除草剂,由于其具有在水中分散性好、水解缓慢、施药适期长等特点,对萌芽至三叶期稗草均有效,在我国的使用范围逐年扩大,并有可能成为丁草胺、二氯喹啉酸等除稗剂的替代品。目前,对苯噻草胺在环境中行为的研究主要集中在田间持留<sup>[1,8,9,16]</sup>及药效<sup>[2,4]</sup>、残留<sup>[18,19,25]</sup>、微生物降解<sup>[3,20]</sup>和土壤吸附等方面<sup>[11,13-15]</sup>,而对于其在环境中光化学行为的研究则鲜见报道。环境中存在的各种溶解性化合物对污染物的环境行为包括光解会产生重要影响<sup>[5,10,12,17]</sup>。本文选择几种常见溶解性化合物作为影响因子,研究它们对苯噻草胺在水中光化学降解的影响,旨在为正确使用苯噻草胺及其环境评价提供参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试药品及仪器

苯噻草胺(95%)、甲草胺(94.4%)、苄嘧磺隆(96%)、杀

草丹(93%)和绿磺隆(96.5%)购自农业部农药检定所。

甲醇为色谱纯,硝酸钠、亚硝酸钠、氯化钾、溴化钾、碘化钾均为分析纯,农乳500、农乳404、农乳601、农乳603均为化学纯。

Agilent 1100型高效液相色谱仪(HPLC)及化学工作站;光源采用高压汞灯(HPML,150 W走马灯式石英水冷光反应器,上海电光器件厂),照光时石英试管距光源10 cm,并控制反应温度为25±1℃。

### 2.2 试验方法

以甲醇为溶剂将苯噻草胺配制成1.0 mg·ml<sup>-1</sup>的标准母液。试验时以重蒸水稀释成2.0×10<sup>-3</sup> mg·ml<sup>-1</sup>的工作溶液,同时分别添加不同浓度(质量浓度)的几种化合物作为影响因子,配制成工作溶液,取此工作溶液20 ml于具塞石英试管中,置于高压汞灯下照光,定时间隔取样6次,过0.22

\*国家自然科学基金项目(20277001)和安徽省优秀青年科技基金(04041067)资助项目。

\*\*通讯联系人。

2005-04-04收稿,2005-08-22接受。

μm 滤膜, HPLC 直接进样定量分析. 3 次重复, 设黑暗对照.

2.3 分析条件

Agilent 1100 高效液相色谱仪, 可变波长紫外检测器, 色谱柱: Agilent Hypersil-ODS, 250 mm × 4.6 mm (内径), 流动相为甲醇/水 = 80/20 (V/V), 流速 1.0 ml · min<sup>-1</sup>, 检测波长 230 nm, 柱温 40 °C, 进样量 20 μl, 外标法峰高定量. 此条件下苯噻草胺的保留时间为 4.95 min. 方法回收率 99.3% ~ 100.2%, 同一样品 6 次重复测定变异系数 0.25%, 标准偏差 0.24.

2.4 计算

光解动力学方程采用一级动力学公式, 光解率、光解速率常数(k)、半衰期(t<sub>1/2</sub>)等相关计算同文献<sup>[21]</sup>.

3 结果与分析

3.1 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 的影响

硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)广泛存在于天然水环境中. 环境中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 在光的照射下会产生活性自由基(如 NO<sub>2</sub>· 和 NO· 等), 对水中各种物质的光解产生影响. 本试验 3 种浓度比下的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 对苯噻草胺光解的影响结果见表 1. 从中可以看出, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在低浓度比(1:10)和中等浓度比(1:1)下对苯噻草胺光解影响不显著. 在低浓度比时表现为微弱的光敏化作用; 在高浓度比(10:1)时则表现出明显的光猝灭作用, 照光 15 min 光猝灭效率达 53.3%. 亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)对苯噻草胺光解的影响则不同, 在 3 种浓度比下都表现为较明显的猝灭效应, 高浓度比的猝灭效率较高.

表 1 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 对苯噻草胺光解影响的动力学方程和半衰期\*  
Table 1 Kinetic formula and half-life of the photolysis of mefenacet under the effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

浓度比** Concentration ratio	光解动力学方程 Kinetic formula			半衰期 Half-life (min)
	$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$	$R^2$	$k(\text{min}^{-1})$	
CK	$C_t = 1.9479 e^{-0.1247t}$	0.9997	0.1247	5.56
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$C_t = 1.9085 e^{-0.1264t}$	0.9998	0.1264	5.48
	$C_t = 1.9141 e^{-0.1231t}$	0.9996	0.1231	5.63
	$C_t = 1.9312 e^{-0.0968t}$	0.9997	0.0968	7.16
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$C_t = 1.9644 e^{-0.1108t}$	0.9996	0.1108	6.25
	$C_t = 1.8822 e^{-0.1131t}$	0.9997	0.1131	6.13
	$C_t = 1.9472 e^{-0.0993t}$	0.9998	0.0993	6.98

\* 高压汞灯 HPML; 光强 Intensity 12 000 ~ 15 000 Lx; \*\* 盐: 苯噻草胺 Salt; Mefenacet. 下同 The same below.

3.2 卤素离子的影响

KCl、KBr 和 KI 在 3 种浓度比下对苯噻草胺光解的影响结果见表 2. 从中可以看出, 3 种卤素离子对苯噻草胺光解的影响不尽相同. 随着 Cl<sup>-</sup> 添加浓度的升高, 苯噻草胺光解半衰期相应延长, 高浓度时影响最大, 照光 15 min 光猝灭率为 15.4%; Br<sup>-</sup> 在低浓度时光猝灭效率较小, 而在中等浓度和高浓度时光猝灭效率相当; I<sup>-</sup> 在低浓度和中等浓度时的光猝灭效率较小, 而在高浓度时光猝灭效应突出, 照光 15 min 光猝灭率达 76.9%.

在化合物的光解过程中, 卤素可以因其重原子效应而降低化合物的光解速度. 在氯、溴、碘 3 种卤素原子中, 随原子量的增大, 其重原子效应逐渐加强. Cl<sup>-</sup> 的重原子效应不明

表 2 卤素离子对苯噻草胺光解影响的动力学方程和半衰期\*

Table 2 Kinetic formula and half-life of the photolysis of mefenacet under the effect of halogen ions

卤离子 Halogen ions	浓度比** Concentration ratio	光解动力学方程 Kinetic formula			半衰期 Half-life (min)
		$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$	$R^2$	$k(\text{min}^{-1})$	
CK		$C_t = 1.8273 e^{-0.1370t}$	0.9996	0.1370	5.06
Cl <sup>-</sup>	1:10	$C_t = 1.9794 e^{-0.1339t}$	0.9993	0.1339	5.18
	1:1	$C_t = 1.9456 e^{-0.1310t}$	0.9995	0.1310	5.29
	10:1	$C_t = 2.0006 e^{-0.1257t}$	0.9998	0.1257	5.51
Br <sup>-</sup>	1:10	$C_t = 1.9255 e^{-0.1266t}$	0.9995	0.1266	5.47
	1:1	$C_t = 1.9862 e^{-0.1141t}$	0.9997	0.1141	6.07
	10:1	$C_t = 1.9644 e^{-0.1140t}$	0.9990	0.1140	6.08
I <sup>-</sup>	1:10	$C_t = 1.9267 e^{-0.1281t}$	0.9999	0.1281	5.41
	1:1	$C_t = 1.9343 e^{-0.1283t}$	0.9994	0.1283	5.40
	10:1	$C_t = 2.0037 e^{-0.0970t}$	0.9989	0.0970	7.14

显, 随着浓度加大, 其光猝灭效应加强, 一方面可能是由于重原子效应的影响, 另一方面则可能是由于其浓度加大所引起的光屏蔽作用增强. Br<sup>-</sup> 和 I<sup>-</sup> 的光猝灭作用与其浓度之间并不呈简单的线性关系, Br<sup>-</sup> 在中等浓度比(1:1)和高浓度比(10:1)时的重原子效应比低浓度比(1:10)时明显, 光解半衰期由低浓度比下的 5.47 min 分别延长为 6.07 和 6.08 min. 而 I<sup>-</sup> 的重原子效应则在高浓度比时表现明显, 光解半衰期比纯水中延长 1.41 倍.

3.3 几种表面活性剂的影响

由于工业生产和日常生活中的大量应用, 表面活性剂在环境尤其是在水环境中广泛存在. 研究表明, 表面活性剂能使农药在环境中的光化学行为发生显著改变<sup>[23,24]</sup>. 本试验中 4 种表面活性剂对高压汞灯下苯噻草胺在水中光解作用的影响见表 3. 从中可以看出, 4 种表面活性剂在高浓度(10:1)时均对苯噻草胺的光解产生猝灭作用, 照光 15 min 农乳 603、500、601 和 404 的光猝灭率分别为 38.5%、42.3%、34.6% 和 11.5%, 其中农乳 404 的猝灭作用最小. 而在中等添加浓度和低添加浓度下, 只有农乳 404 表现出微弱的光敏化作用, 另 3 种表面活性剂则均表现为猝灭作用.

表面活性剂是一类具有两性基团、能显著降低水的表面张力的化学物质, 其结构中具有很多活性基团如羟基等, 可与农药分子以氢键等不同方式结合. 但不同表面活性剂的化学结构不同, 与农药分子的相互作用方式也有所区别, 并对农药的吸光性质产生不同影响, 进而影响农药的光化学降解进程.

3.4 几种除草剂的影响

近年来, 随着各种除草剂的混用以及农药混剂的不间断涌现, 造成了农田生态环境中农药共存的混合体系, 而不同农药间的光解也会产生相互影响<sup>[6,7,22,23]</sup>. 本试验选用了 4 种不同类型的除草剂与苯噻草胺混合照光, 以观察不同种类、不同浓度的除草剂对苯噻草胺在水中光解的影响, 结果见表 4. 从表 4 可以看出, 4 种除草剂在不同浓度下与苯噻草胺混合照光, 只有苄嘧磺隆在低浓度下对苯噻草胺的光解产生敏化作用, 照光 25 min 的光敏率为 18.2%, 其余条件下 4 种除草剂均表现出猝灭效应, 且猝灭效率随着添加浓度的增大而增大. 在中等添加浓度(1:1)和高添加浓度(10:1)下, 其光猝

表3 苯噻草胺与不同浓度表面活性剂混合溶液的光解动力学和半衰期\*

Table 3 Kinetic formula and half-life of the photolysis of mefenacet with different concentration of surfactants

表面活性剂 Surfactant	浓度比** Concentration ratio	光解动力学方程 Kinetic formula			半衰期 Half-life (min)
		$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$	$R^2$	$k(\text{min}^{-1})$	
CK		$C_t = 1.9946 e^{-0.0888t}$	0.9998	0.0888	7.80
农乳 603	1:5	$C_t = 2.0289 e^{-0.0796t}$	0.9990	0.0796	8.71
Nongru 603	1:1	$C_t = 2.0281 e^{-0.0784t}$	0.9997	0.0784	8.84
	10:1	$C_t = 1.9890 e^{-0.0690t}$	0.9997	0.0690	10.04
农乳 500	1:5	$C_t = 2.0263 e^{-0.0816t}$	0.9996	0.0816	8.49
Nongru 500	1:1	$C_t = 2.0495 e^{-0.0831t}$	0.9984	0.0831	8.34
	10:1	$C_t = 1.9838 e^{-0.0695t}$	0.9884	0.0695	9.97
农乳 601	1:5	$C_t = 2.0548 e^{-0.0834t}$	0.9997	0.0834	8.31
Nongru 601	1:1	$C_t = 2.0648 e^{-0.0797t}$	0.9998	0.0797	8.70
	10:1	$C_t = 2.0531 e^{-0.0708t}$	0.9992	0.0708	9.79
农乳 404	1:5	$C_t = 2.1281 e^{-0.0929t}$	0.9991	0.0929	7.46
Nongru 404	1:1	$C_t = 2.1038 e^{-0.0897t}$	0.9994	0.0897	7.73
	10:1	$C_t = 2.0866 e^{-0.0811t}$	0.9989	0.0811	8.55

\* 高压汞灯 HPML; 光强 Intensity 10 000~13 000 Lx.

表4 苯噻草胺与四种除草剂混合光解动力学及半衰期\*

Table 4 Kinetic formula and half-life of the photolysis of mefenacet with four fungicides

除草剂 Fungicides added	浓度比** Concentration ratio	光解动力学方程 Kinetic formula			半衰期 Half-life (min)
		$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$	$R^2$	$k(\text{min}^{-1})$	
CK		$C_t = 1.8171 e^{-0.0608t}$	0.9994	0.0608	11.40
杀草丹	1:10	$C_t = 1.8118 e^{-0.0603t}$	0.9989	0.0603	11.49
Benthiocarb	1:1	$C_t = 1.7658 e^{-0.0566t}$	0.9990	0.0566	12.24
	10:1	$C_t = 1.7195 e^{-0.0353t}$	0.9990	0.0353	19.63
苄嘧磺隆	1:10	$C_t = 1.8294 e^{-0.0692t}$	0.9987	0.0692	10.01
Bensulfuron	1:1	$C_t = 1.7926 e^{-0.0585t}$	0.9972	0.0585	11.85
	10:1	$C_t = 1.7915 e^{-0.0420t}$	0.9938	0.0420	16.50
甲草胺	1:10	$C_t = 1.9000 e^{-0.0585t}$	0.9990	0.0585	11.85
Alachlor	1:1	$C_t = 1.9015 e^{-0.0589t}$	0.9991	0.0589	11.77
	10:1	$C_t = 1.8722 e^{-0.0443t}$	0.9998	0.0443	15.64
绿磺隆	1:10	$C_t = 1.9269 e^{-0.0575t}$	0.9989	0.0575	12.05
Chlorsulfuron	1:1	$C_t = 1.9158 e^{-0.0512t}$	0.9973	0.0512	13.54
	10:1	$C_t = 1.8629 e^{-0.0274t}$	0.9983	0.0274	25.29

\* 高压汞灯 HPML; 光强 Intensity 10 000~11 000 Lx.

灭效强弱顺序均为绿磺隆>杀草丹>苄嘧磺隆>甲草胺, 照光 25 min 的最高光猝灭率分别为 131.8%、90.9%、59.1% 和 50.0%。

### 3.5 溶解氧的影响

为了研究水中溶解氧对苯噻草胺光解的影响, 取两份光解试液, 其中一份通氮气 10 min, 另一份不通氮气, 于高压汞灯下照光, 结果如图 1 所示。

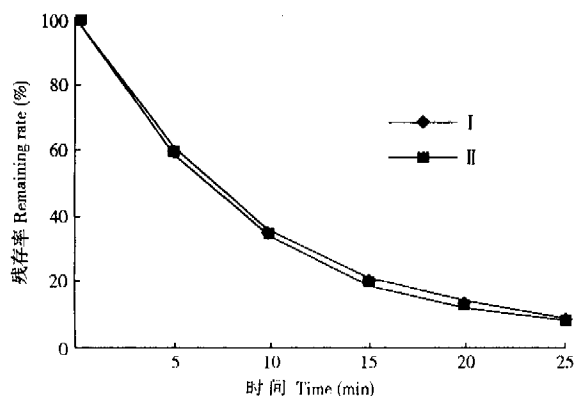


图1 溶解氧对苯噻草胺光解的影响

Fig. 1 Effect of dissolved oxygen on the photolysis of mefenacet.

I. 不充 N<sub>2</sub> No aerifying N<sub>2</sub>; II. 充 N<sub>2</sub> 10 min Aerifying N<sub>2</sub> for 10 min.

氧是一种最为常见的三线态猝灭剂, 易从激发态农药分子中吸收能量并使得激发态农药分子重新回到基态, 光解速率降低。从图 1 可以看出, 氧对苯噻草胺在水中的光解起到猝灭作用。在不充氮气 (即空气饱和) 的条件下, 苯噻草胺的光解较充氮气 10 min 后的光解速率要慢, 其光解半衰期分别为 7.14 和 6.70 min, 说明苯噻草胺在水中的光解不是光氧化过程。

## 4 结 论

1) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 对苯噻草胺光解均有猝灭作用, 但两种离子对苯噻草胺光解的影响与浓度的相关性不同。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 只在高浓度 (10:1) 时表现明显的光猝灭作用, 而 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 在 3 种添加浓度下均表现出明显的光猝灭作用。

2) 卤素离子对苯噻草胺的光解产生重原子猝灭效应, 且随原子量的增大及浓度的升高, 猝灭效应增强。

3) 表面活性剂随添加浓度的增大对苯噻草胺光解的抑制作用增强, 4 种表面活性剂 3 种添加浓度下的光解表明, 只有农乳 404 在较低浓度下对苯噻草胺的光解表现出微弱的敏化效应, 其余均为猝灭效应。

4) 苄嘧磺隆在低浓度时对苯噻草胺有光敏化作用, 高浓度时 4 种除草剂对苯噻草胺均表现为猝灭效应, 以光解半衰期为依据, 其猝灭强弱顺序为绿磺隆>杀草丹>苄嘧磺隆>甲草胺。

5) 水中溶解氧对苯噻草胺的光解起抑制作用。

## 参考文献

- Fedtko C. 1991. Mode of action studies with mefenacet. *Pestic Sci*, 31:421~426
- Geng H-L(耿贺利), Zhang Z-J(张宗俭), Cui J-F(崔季方), et al. 1999. Studies on bioactivity and application techniques of mefenacet. *Pesticides (农药)*, 38(1):15~18(in Chinese)
- Gomez D, Sabater C, Carrasco JM. 2004. Effects of propanil, tebufenozide and mefenacet on growth of four freshwater species of phytoplankton; A microplate bioassay. *Chemosphere*, 56(4):315~320
- Harada M, Kobayashi Y, Yoshida I. 2001. Daily change in the concentration of pesticides in a paddy field. *Bull Faculty Agric Tottori Univ*, 54:29~34
- Hua R-M(花日茂), Li X-Q(李湘琼), Li X-D(李学德), et al. 1999. Photochemical degradation of butachlor in different water. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(1):57~59(in Chinese)
- Hua R-M(花日茂), Yue Y-D(岳永德), Tang F(汤锋). 1995. The photosensitive effects of parathion-methyl on the photodegradation of three pyrethroid insecticides. *Environ Chem (环境化学)*, 14(6):508~512(in Chinese)
- Hua R-M(花日茂), Yue Y-D(岳永德), Tang F(汤锋), et al. 1997. Effects of four kinds of pesticides on the photolysis of three pyrethroid insecticides under three illuminating lights. *Chin Environ Sci (中国环境科学)*, 17(1):72~75(in Chinese)
- Inao K. 2003. Development of a simulation model (PADDY) for predicting pesticide behavior in rice paddy fields. *J Pestic Sci*, 28(3):322~323
- Inoue T, Ebise S, Numabe A, et al. 2002. Runoff characteristics of particulate pesticides in a river from paddy fields. *Water Sci Technol*, 45(9):121~126

- 10 Jiang X(姜霞), Jing X(井欣), Gao X-S(高学晟), *et al.*. 2002. Advances in studies on the effect of surfactant on bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in soil. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(9):1179~1186(in Chinese)
- 11 Kobayashi K, Nakamura N, le Sung Shim, *et al.* 1996. Relationship of herbicidal activity of soil-applied mefenacet to its concentration in soil water and adsorption in soil. *Weed Res Japan*, **41**(2):98~102
- 12 Ling W-T(凌婉婷), Xu J-M(徐建民), Gao Y-Z(高彦征), *et al.*. 2004. Influence of dissolved organic matter (DOM) on environmental behaviors of organic pollutants in soils. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **15**(2):326~330(in Chinese)
- 13 Lu Y(卢颖), Han S-K(韩朔葵). 2000. Sorption of herbicide mefenacet in soils. *Environ Chem*(环境化学), **19**(6):513~517(in Chinese)
- 14 Lu Y, Han SK, Zhang CD. 2001. Sorption of the herbicide mefenacet in soils. *Bull Environ Contam Toxicol*, **66**(1):17~23
- 15 Nakamura N, Kobayashi K, le SungShim, *et al.* 1996. Influence of soil organic matter content on mefenacet concentration in soil water and the phytotoxic activity. *Weed Res Japan*, **41**(4):339~343
- 16 Shigehisa H, Shiraishi H. 1998. Biomonitoring with shirimp to detect seasonal change in river water toxicity. *Environ Toxicol Chem*, **17**(4):687~694
- 17 Song Y-F(宋玉芳), Sun T-H(孙铁珩), Xu H-X(许华夏). 1999. Effect of surfactant TW-80 on biodegradation of PAHs in soil. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **10**(2):230~232(in Chinese)
- 18 Uno S, Shiraishi H, Hatakeyama S, *et al.* 2001. Accumulative characteristics of pesticide residues in organs of bivalves (*Anodonta woodiana* and *Corbicula leana*) under natural conditions. *Arch Environ Contam Toxicol*, **40**(1):35~47
- 19 Wang YS. 1999. Environmental impact of herbicide use in the subtropics. *Food Sci Agric Chem*, **1**(3):165~179
- 20 Ye YF, Min H, Du YF. 2004. Characterization of a strain of *Sphingobacterium* sp. and its degradation to herbicide mefenacet. *J Environ Sci*, **16**(2):343~347
- 21 Yue Y-D(岳永德), Hua R-M(花日茂). 1992. Studies on photo-sensitive-degradation of pyrethroid insecticides. *Acta Sci Circ*(环境科学学报), **12**(4):466~472(in Chinese)
- 22 Yue Y-D(岳永德), Hua R-M(花日茂), Tang F(汤锋), *et al.*. 1993. Stimulated effects of pyridaphenthion on degradation of 3 pyrethroid insecticides on plant foliage. *J Anhui Agric Univ*(安徽农业大学学报), **20**(3):213~217(in Chinese)
- 23 Yue Y-D(岳永德), Tang F(汤锋), Hua R-M(花日茂), *et al.*. 2000. Studies on the effects of selected pesticides and surfactants on photodegradation of chlorpyrifos. *J Anhui Agric Univ*(安徽农业大学学报), **27**(1):1~4(in Chinese)
- 24 Yue Y-D(岳永德), Tao Q-H(陶庆会), Tang F(汤锋), *et al.*. 2000. Effects of surfactants on photodegradation of methylparathion. *J Anhui Agric Univ*(安徽农业大学学报), **27**(2):103~107(in Chinese)
- 25 Zhang C-D(张承东), Han S-K(韩朔葵), Lu Y(卢颖). 2001. Degradation of mefenacet in different soils. *Agro-Environ Prot*(农业环境保护), **20**(3):152~154(in Chinese)

---

作者简介 褚明杰,男,1971年生,硕士,讲师.主要从事农药学和有机化学教学和研究工作,发表论文6篇. E-mail: chumingjie@hfp.com.cn  
责任编辑 肖红

---