

李超, 谢国红, 刘国光, 等. 2009 不同形态氮转化对啶虫脒在水溶液中光解的影响 [J]. 环境科学学报, 29(9): 1918– 1922
Li C Xie G H, Liu G G, *et al*. 2009 The role of different forms of inorganic nitrogen in the photolysis of acetam iprid[J]. A cta Scientiae Circumstantiae 29(9): 1918– 1922

不同形态氮转化对啶虫脒在水溶液中光解的影响

李超¹, 谢国红², 刘国光^{1 3*}, 郑立庆¹, 井文杰¹

1 河南师范大学化学与环境科学学院, 新乡 453007
2 河南科技学院资源与环境学院, 新乡 453003
3 广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510006

收稿日期: 2008-12-10 修回日期: 2009-04-14 录用日期: 2009-07-06

摘要: 模拟研究了环境中氮发生形态转化时对啶虫脒在水体中光解的影响. 结果表明, 啶虫脒的光解反应符合一级动力学规律. pE 反映了体系的氧化还原性, 环境 pE 值较低时, 无机氮主要以 NH_4^+ 形式存在, 对啶虫脒光解几乎没有影响; 随着 pE 值的提高, 无机氮逐渐由 NH_4^+ 形式向 NO_2^- 和 NO_3^- 形式转化, NO_2^- 、 NO_3^- 的存在均对啶虫脒的光解有抑制作用, 它们对啶虫脒光解的抑制是由于对光辐射的竞争性吸收所引起的. 多种形态无机氮共存时, 其对啶虫脒光解的抑制作用不是简单的加和关系, 各形态无机氮之间存在一定的拮抗作用. 当环境 pE 值达到 7.2 后, 无机氮主要以 NO_3^- 形式存在, 其对啶虫脒光解的抑制率最高可达 36.71%.

关键词: 啶虫脒; 光解; 硝酸根; 亚硝酸根; pE

文章编号: 0253-2468(2009)09-1918-05 中图分类号: X131 文献标识码: A

The role of different forms of inorganic nitrogen in the photolysis of acetam iprid

LI Chao¹, XIE Guohong², LIU Guoguang^{1 3*}, ZHENG Liqing¹, JING Wenjie¹

1 College of Chemistry and Environmental Science Henan Normal University Xinxing 453007
2 College of Resource and Environmental Henan Institute of Science and Technology, Xinxing 453003
3 Faculty of Environmental Science and Engineering Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006

Received 10 December 2008; received in revised form 14 April 2009; accepted 6 July 2009

Abstract The roles of different forms of inorganic nitrogen in the photolysis of acetam iprid was simulated at different environmental pE values. The results show that the photolysis of acetam iprid follows first-order kinetics. The main form of inorganic nitrogen is NH_4^+ at low pE , which had no effect on the photolysis of acetam iprid. As pE increased, the main forms of inorganic nitrogen are NO_2^- and NO_3^- , which inhibited the photolysis of acetam iprid. The inhibiting effects of NO_3^- and NO_2^- on the photolysis of acetam iprid were caused by competitive absorption of the irradiation from the mercury lamp. The inhibiting effects of mixed forms of NO_3^- and NO_2^- or NO_2^- and NH_4^+ on the photolysis of acetam iprid were not simply additive, which indicates that interaction may exist between NO_3^- and NO_2^- or NO_2^- and NH_4^+ . At high pE , the main form of inorganic nitrogen is NO_3^- , and the maximal inhibition of the photolysis of acetam iprid reached 36.71%.

Keywords acetam iprid; photolysis; nitrate; nitrite; pE

1 引言 (Introduction)

啶虫脒 (acetam iprid) 又名莫比朗、毗虫清、N1-25, 是由日本曹达株式会社继毗虫琳 (imidaclopril, 德国拜耳) 和烯啶虫胺 (nitenpyram, 日本武田) 后开发并商品化的第 3 个氯化烟碱类杀虫剂 (唐振华, 2002; 莫建初, 2003). 这 3 个品种均是在壳牌公司 (Shell) 报道的化合物 nithiazin 基础上, 通过引入一个重要的杂环结构 2-氯-5-吡啶甲基构建而成 (唐

振华, 2002; 毕富春, 2002). 啶虫脒具有触杀和胃毒作用, 对半翅目、鳞翅目、鞘翅目等害虫均有效 (Mateu-Sanchez *et al*, 2003), 它是通过作用于昆虫神经系统突触后膜的烟碱乙酰胆碱受体及其周围的神经, 使昆虫保持兴奋、麻痹而后死亡 (唐振华, 2002; 储春荣等, 2000; 李惠明等, 2000; 方继朝等, 1999). 由于啶虫脒对那些对有机磷类、氨基甲酸酯类及合成拟除虫菊酯类具有严重抗药性的害虫有特效, 因此, 被美国环保局认为是替代有机磷农药

基金项目: 河南省创新人才工程资助项目 (No. 教高 [2001] 513)
Supported by the Personnal Innovation Foundation of Universities in Henan Province (No. [2001] 513)
作者简介: 李超 (1982—), 男, E-mail: ayk2001@sohu.com; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: guoguangli@263.com
Biography: LI Chao (1982—), male, E-mail: ayk2001@sohu.com; * Corresponding author, E-mail: guoguangli@263.com

的重要品种之一。

目前, 啶虫脒在国内已经得到广泛的应用, 产量已达到 1000 t a^{-1} (张海滨等, 2004), 但国内外对氯代烟碱类杀虫剂环境行为的研究主要集中在吡虫啉上 (Schoz 1999, 单正军等, 1998, 1999, Zheng *et al.*, 1999, Rouchand *et al.*, 1994a, 1994b, Campbell *et al.*, 2005, 刘惠君等, 2001), 而关于啶虫脒的环境行为研究较少。光降解是农药在环境中的一种重要消解途径, 而环境中的共存物会对农药光解产生一定影响, 尤其是氮肥的大量施用导致环境中存在各种形态的无机氮。因此, 研究含氮化合物对农药光解行为的影响, 对于全面评价该农药的环境行为具有重要意义。鉴于此, 本文以硝酸根、亚硝酸根和铵根离子为代表, 通过模拟实验研究不同形态氮对啶虫脒光解的影响, 并对其影响机制进行初步的探讨, 以期对啶虫脒在实际生产中的合理利用提供理论指导。

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 实验方法

准确称取 50.0 mg 啶虫脒 (德国 Riedel-Hen 纯度为 99.99%) 置于 500 mL 容量瓶中, 加水定容至刻度, 配置成 100 mg L^{-1} 母液。移取 5 mL 啶虫脒母液, 分别添加不同浓度的硝酸根、亚硝酸根、铵根配制成 100 mL 浓度为 5 mg L^{-1} 的啶虫脒水溶液, 调节其 pH 为 7 , 置于石英管中光照 (125 W 高压汞灯), 每隔一段时间取样, 样品经 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 水系滤膜过滤后用液相色谱测定啶虫脒的浓度。

计算在不同 pH 值条件下对应的硝酸根、亚硝酸根、铵根的浓度比例关系, 以此配制浓度为 5 mg L^{-1} 的含有不同浓度比例硝酸根、亚硝酸根、铵根的啶虫脒水溶液, 模拟研究在环境 pH 值发生改变时, 氮的形态转化对啶虫脒光解的影响。

同等条件下, 进行黑暗对照实验。所有实验均重复 3 次, 实验结果取平均值。

2.2 分析方法

采用 HP1100 高效液相色谱仪 (美国惠普公司) 对啶虫脒浓度进行测定, 操作条件: Zorbax-C18 色谱柱 ($250\text{ mm} \times 4.6\text{ mm}$), DAD 检测器, 检测波长 245 nm , 流动相为体积分数 0.1% 磷酸乙腈 = $70/30$ (V/V) 混合液, 流速 1 mL min^{-1} , 进样量为 $20\text{ }\mu\text{L}$, 温度 25°C , 外标法峰面积定量。此条件下, 啶虫脒的保留时间是 5 min , 方法回收率 $96.4\% \sim 101.2\%$, 相对标准偏差为 0.68% 。

2.3 计算方法

农药的降解率 (y) 可表示为公式 (1)。

$$y = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中, C_0 和 C_t 分别为农药的初始浓度和 t 时刻农药的残存浓度 (mg L^{-1}), t 为光照时间 (min)。

当农药在水中的浓度较低时, 农药光解反应符合一级动力学反应, 反应速率表达式如公式 (2) 所示。

$$dC/dt = -kC \quad (2)$$

积分后可得:

$$\ln(C_t/C_0) = -kt \quad (3)$$

光解反应的半衰期 ($t_{1/2}$) 和光解促进 (抑制) 率 (η) 可分别表示为公式 (4) 和 (5)。

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \quad (4)$$

$$\eta = (k_i - k_0) / k_0 \times 100\% \quad (5)$$

式中, k_0 为啶虫脒单独光照时的反应速率常数 (min^{-1}); k_i 为混合有含氮化合物时啶虫脒的光解速率常数 (min^{-1}), η 为正值表示促进作用, 负值表示抑制作用。

3 结果 (Results)

3.1 啶虫脒的光解动力学

以暗反应和光照反应条件下啶虫脒浓度的对数 ($\ln C$) 为纵坐标, 时间为横坐标做图 (图 1)。由图

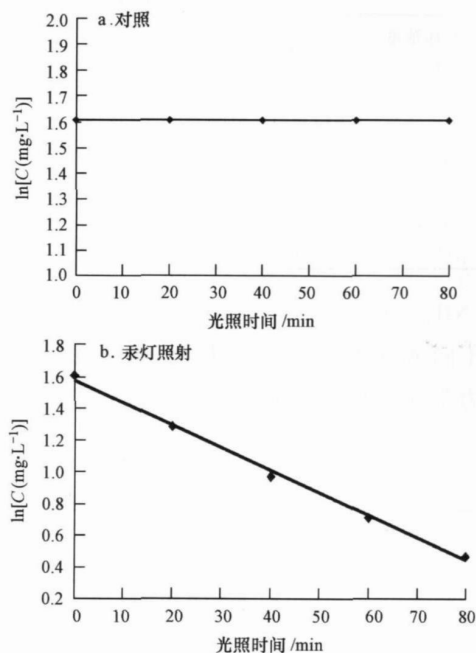


图 1 啶虫脒的暗反应曲线和光降解曲线

Fig. 1 Dark reaction and photolysis of acetamiprid

1a可知,黑暗对照实验中,无论有无硝酸根、亚硝酸根、铵根离子的加入,啶虫脒的浓度均无明显变化.在汞灯照射和无任何离子加入的情况下啶虫脒降解很迅速,经过 80m in 的光照后降解率达到了 73. 7% (图 1b),其光解和大多数农药光解一样,可以很好地用一级动力学方程描述,光解半衰期为 43. 87m in

3 2 NO₃⁻ 的影响

不同浓度 NO₃⁻ 存在条件下,啶虫脒发生光解的

动力学方程见表 1 从表 1 可以看出, NO₃⁻ 的添加抑制了啶虫脒的光解,添加浓度由 1mg• L⁻¹到 4 mg• L⁻¹时,其对啶虫脒光解的抑制率缓慢增加;随着 NO₃⁻ 添加浓度的进一步增加,其对啶虫脒光解的抑制作用加强;当 NO₃⁻ 添加浓度到 16mg• L⁻¹以上时,其抑制作用呈现出稳定的趋势,抑制率保持在 36 71%左右.

表 1 不同浓度 NO₃⁻ 对啶虫脒光解影响的动力学方程及相关常数

Table 1 Photolytic constants of acetam iprid w ith different concentrations of NO₃⁻

NO ₃ ⁻ 添加浓度 (mg L ⁻¹)	光解方程	<i>k</i> /m in ⁻¹	<i>t</i> _{1/2} /m in	<i>R</i> ²	η
0	lnC= 1. 609- 0 0158 <i>t</i>	0 0158	43. 87	0 9977	0
1	lnC= 1. 652- 0 0139 <i>t</i>	0 0139	49. 87	0 9987	- 12 03%
4	lnC= 1. 657- 0 0135 <i>t</i>	0 0135	51. 34	0 9996	- 14 56%
8	lnC= 1. 633- 0 0126 <i>t</i>	0 0126	55. 02	0 9989	- 20 25%
16	lnC= 1. 655- 0 0100 <i>t</i>	0 0100	69. 32	0 9974	- 36 71%
32	lnC= 1. 664- 0 0100 <i>t</i>	0 0100	69. 32	0 9997	- 36 71%

3 3 NO₂⁻ 的影响

用一级反应动力学方程拟合 NO₂⁻ 对啶虫脒光解的影响,各参数结果见表 2 从表 2 可以看出, NO₂⁻ 的添加显著地抑制了啶虫脒的光解,当添加浓

度为 1mg• L⁻¹时,抑制率就达到了 25 32%;随着 NO₂⁻ 添加浓度的增加,其抑制作用增加的很缓慢;当添加浓度为 16mg• L⁻¹时,其抑制率趋于稳定,保持在 29. 75% .

表 2 不同浓度 NO₂⁻ 对啶虫脒光解影响的动力学方程及相关常数

Table 2 Photolytic constants of acetam iprid w ith different concentrations of NO₂⁻

NO ₂ ⁻ 添加浓度 (mg L ⁻¹)	光解方程	<i>k</i> /m in ⁻¹	<i>t</i> _{1/2} /m in	<i>R</i> ²	η
0	lnC= 1. 609- 0 0158 <i>t</i>	0 0158	43. 87	0 9977	0
1	lnC= 1. 731- 0 0118 <i>t</i>	0 0118	58. 74	0 9982	- 25 32%
4	lnC= 1. 728- 0 0117 <i>t</i>	0 0117	59. 24	0 9985	- 25 95%
8	lnC= 1. 718- 0 0114 <i>t</i>	0 0114	60. 80	0 9966	- 27 85%
16	lnC= 1. 697- 0 0111 <i>t</i>	0 0111	62. 45	0 9965	- 29 75%
32	lnC= 1. 704- 0 0111 <i>t</i>	0 0111	62. 45	0 9920	- 29 75%

3 4 NH₄⁺ 的影响

不同浓度 NH₄⁺ 存在条件下,啶虫脒发生光解的动力学方程见表 3 从表 3 可以看出, NH₄⁺ 的添加

浓度由 1mg• L⁻¹增加到 10mg• L⁻¹时,其半衰期并没有明显的变化,抑制率基本为 0 说明 NH₄⁺ 的存在对啶虫脒光解没有显著影响.

表 3 不同浓度 NH₄⁺ 对啶虫脒光解影响的动力学方程及相关常数

Table 3 Photolytic constants of acetam iprid w ith different concentrations of NH₄⁺

NH ₄ ⁺ 添加浓度 (mg L ⁻¹)	光解方程	<i>k</i> /m in ⁻¹	<i>t</i> _{1/2} /m in	<i>R</i> ²	η
0	lnC= 1. 609- 0 0158 <i>t</i>	0 0158	43. 87	0 9977	0
1	lnC= 1. 687- 0 0157 <i>t</i>	0 0157	44. 15	0 9975	- 0 633%
5	lnC= 1. 653- 0 0160 <i>t</i>	0 0160	43. 32	0 9983	1 265%
10	lnC= 1. 625- 0 0158 <i>t</i>	0 0158	43. 87	0 9966	0

3 5 不同形态氮转化对啶虫脒光解的影响

由上述结果可知, 在不同形态氮存在的条件下, 以硝酸根离子对啶虫脒的光解影响最大, 且其添加浓度达到 16mg L^{-1} (相当于 4mg L^{-1} 硝氮) 时, 对啶虫脒的抑制作用基本趋于稳定. 在下面的实验中, 保持总氮浓度为 4mg L^{-1} , 模拟环境 pE 值发生改变时, 无机氮形态的改变对啶虫脒光解的影响, 结果如表 4 和表 5 所示.

当 pE 值为 5.82 时, 水体中所含的亚硝态氮和铵态氮是相等的, 而总氮浓度为 4mg L^{-1} 时, 两者都为 2mg L^{-1} , 相当于亚硝酸根和铵根 的浓度分别为 6.57mg L^{-1} 和 2.57mg L^{-1} . 由表 5 知, 当 NO_2^- 添加浓度为 6.57mg L^{-1} 时, 其对啶虫脒光解的对应抑制

率已经达到了 26.43%, 而 NH_4^+ 对啶虫脒的光解是没影响的. 但两者混合时, 实际抑制率只有 6.96%, 由此可以推断, NH_4^+ 的存在影响了 NO_2^- 对啶虫脒光解的抑制作用. pE 值为 5.92 时, 情况类似.

当 pE 值为 7.15 时, 硝态氮和亚硝态氮的含量是一样的, 分别相当于 8.86mg L^{-1} 的 NO_3^- 和 6.57mg L^{-1} 的 NO_2^- 的添加量. 由表 1 和表 2 知, 在上述 2 个浓度下, NO_3^- 和 NO_2^- 对啶虫脒的抑制率已经分别达到了 21.17% 和 26.43%, 但是当两者混合时, 抑制率只有 27.22%, 并没有表现出简单的加和关系, 这可能与两者对光的竞争性吸收有关. pE 值为 7.30 时也是同样的结果.

表 4 不同 pE 值对啶虫脒光解影响的动力学方程及相关常数
Table 4 Photolytic constants of acetamiprid with different pE in water

pE	光解方程	$k/\text{h}\cdot\text{m}^{-1}$	$t_{1/2}/\text{min}$	R^2	η
5.82	$\ln C = 1.683 - 0.0147t$	0.0147	47.15	0.9967	-6.96%
5.92	$\ln C = 1.632 - 0.0123t$	0.0123	56.35	0.9984	-22.15%
7.15	$\ln C = 1.615 - 0.0115t$	0.0115	60.27	0.9925	-27.22%
7.30	$\ln C = 1.625 - 0.0107t$	0.0107	64.78	0.9855	-32.28%

表 5 不同 pE 值下各形态 N 对啶虫脒光解的影响

Table 5 Photolytic effect of acetamiprid with different forms of N and different pE

模拟 pE 值	对应 N 形态浓度 $/(\text{mg L}^{-1})$			对应抑制率			理论抑制率	实际抑制率
	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+		
5.82	0	6.57	2.57	0	-26.43%	0	-26.43%	-6.96%
5.92	0	10.51	1.03	0	-28.38%	0	-28.38%	-22.15%
7.15	8.86	6.57	0	-21.17%	-26.43%	0	-47.60%	-27.22%
7.30	11.81	4.38	0	-28.33%	-26.01%	0	-54.34%	-32.28%

4 讨论 (Discussion)

研究发现, 水体中存在的 NO_3^- 、 NO_2^- 对农药降解会产生光敏化作用, 在光照条件下会产生活性自由基, 引发生机污染物的间接光解, 对污染物的降解具有促进作用 (Vaughan *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 1996; Zepp *et al.*, 1985). 但在本实验中发现, NO_3^- 、 NO_2^- 的存在会在不同程度上抑制啶虫脒光解, 由此推测, 汞灯照射下, 啶虫脒的光解可能属于直接光解而非间接光解.

图 2 为啶虫脒、 NO_3^- 、 NO_2^- 和 NH_4^+ 的紫外吸收光谱. 从图 2 可以看出, NO_3^- 和 NO_2^- 在 190~260nm 之间都有一强吸收带, 啶虫脒在该区间也有较强的吸收, 但 NO_3^- 和 NO_2^- 的吸收峰掩盖了啶虫脒的吸收峰, 并对其光解产生竞争作用, 从而导致

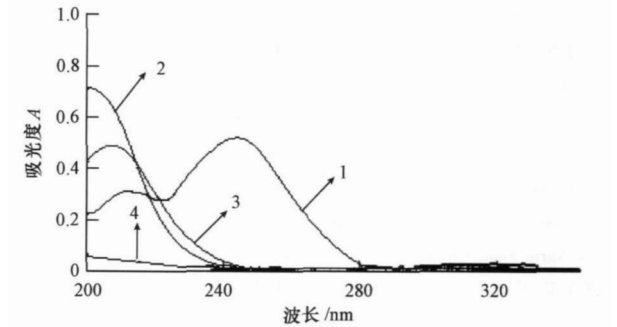


图 2 紫外吸收光谱 (1. 啶虫脒, 2. NO_3^- , 3. NO_2^- , 4. NH_4^+)
Fig 2 UV absorption spectra (1. acetamiprid, 2. NO_3^- , 3. NO_2^- , 4. NH_4^+)

啶虫脒直接光解受到抑制, 表现出一开始随着 NO_3^- 和 NO_2^- 浓度的增加, 啶虫脒光解速率逐渐减小, 但

另一方面, NO_3^- 和 NO_2^- 由于自身光解时会产生活性自由基, 诱发啶虫脒发生间接光解. 因此, 当 NO_3^- 和 NO_2^- 浓度分别增加到 16mg L^{-1} 时, 会出现再增加 NO_3^- 和 NO_2^- 浓度对啶虫脒光解的抑制率不再继续增加的现象. 而 NH_4^+ 在啶虫脒的吸收光谱范围内基本没有吸收, 所以对其光解没有影响.

5 结论 (Conclusions)

1) 啶虫脒在汞灯照射下的光解符合一级反应动力学规律.

2) NO_3^- 和 NO_2^- 的存在均对啶虫脒的光解具有抑制作用, 随着 NO_3^- 和 NO_2^- 添加浓度的增加, 其抑制作用逐渐增强. 当 NO_3^- 和 NO_2^- 浓度分别增加到 16mg L^{-1} 时, 再增加其浓度, 抑制作用不再继续增加, 而是趋于稳定. NH_4^+ 的存在对啶虫脒的光解基本没什么影响.

3) 环境 pH 值较低时, 无机氮主要以 NH_4^+ 形式存在, 对啶虫脒光解几乎没有影响; 随着 pH 值的提高, 无机氮逐渐由 NH_4^+ 形式向 NO_2^- 和 NO_3^- 形式转化. 多种形态的无机氮共存时, 其对啶虫脒光解的抑制作用不存在简单的加和关系, 各形态氮之间存在一定的拮抗作用.

责任作者简介: 刘国光 (1963—), 男, 教授、博士生导师, 研究方向为环境化学.

参考文献 (References):

- Allen J M, Lucas S, Allen S K. 1996. Formation of hydroxyl radical in illuminated surface water contaminated with acidic mine drainage [J]. *Environ Tox Chem*, 15: 107—113
- 毕富春. 2002 啶虫脒高效液相色谱法定量分析 [J]. *现代农药*, 3: 16—17
- Bi F C. 2002. Quantitative analysis of acetamiprid by HPLC [J]. *Modern Agrochemicals*, 3: 16—17 (in Chinese)
- Campbell S, Chen L L, Yu J *et al*. 2005. Adsorption and analysis of the insecticides thimethoxam and indoxacarb in Hawaiian Soils [J]. *J Agric Food Chem*, 53: 5373—5376
- 储春荣, 徐春明. 2000. 啶虫脒防治柑橘蚜虫和潜叶蛾药效试验 [J]. *农药*, 39(1): 25—26
- Chu C R, Xu C M. 2000. The control effect of acetamiprid on citrus aphid and phylloxera [J]. *Pesticides*, 39(1): 25—26 (in Chinese)
- 方继朝, 郭慧芳, 刘向东, 等. 1999. 乙虫脒对水稻螟虫的作用方式和应用研究 [J]. *农药学报*, 1(3): 26—32
- Fang J C, Guo H F, Liu X D, *et al*. 1999. Mode of action and applying tactic of acetamiprid against rice stem borers [J]. *Chinese Journal of Pestic Sci*, 1(3): 26—32 (in Chinese)

- 李惠明, 邢平, 王小平, 等. 2000. 啶虫脒防治蚜虫药效试验 [J]. *长江蔬菜*, 5: 19—20
- Li H M, Xing P, Wang X P, *et al*. 2000. The control effect of acetamiprid on aphid [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 5: 19—20 (in Chinese)
- 刘惠君, 郑巍, 刘维屏. 2001. 新农药吡虫啉及其代谢产物对土壤呼吸的影响 [J]. *环境科学*, 22(4): 73—76
- Liu H J, Zheng W, Liu W P. 2001. Effects of pesticide in imidacloprid and its metabolites on soil respiration [J]. *Environ Sci* 22(4): 73—76 (in Chinese)
- Mateu-Sanchez M, Moreno M, Arrebola F J *et al*. 2003. Analysis of acetamiprid in vegetables using gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Anal Sci* (19): 701—704
- 莫建初, 程家安. 2003. 新烟碱类杀虫剂抗药性研究进展 [J]. *植物保护学报*, 30(1): 91—95
- Mo J C, Cheng J A. 2003. A dvance on the study of pest to chlonicotinyl insecticides [J]. *Journal of Plant Protection*, 30(1): 91—95 (in Chinese)
- Rouchand J, Gustin F, Wanters A. 1994a. Imidacloprid insecticide soil metabolism in sugar beet field crops [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 56: 29—36
- Rouchand J, Gustin F, Wanters A. 1994b. Soil biodegradation and leaf transfer of insecticide in imidacloprid applied in seed dressing in sugar beet crops [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 53: 334—350
- 单正军, 朱志林, 蔡道基. 1998. 吡虫啉的环境行为研究 (一): 吸附性、移动性、挥发性及土壤降解、水解、光降解 [J]. *农药科学与管理*, 19(4): 11—15
- Shan Z J, Zhu Z L, Cai D J. 1998. Study on the environmental behavior of imidacloprid [J]. *Pestic Sci and Administration*, 19(4): 11—15 (in Chinese)
- 单正军, 朱志林, 蔡道基. 1999. 吡虫啉的环境行为研究 (二): 吸附性、移动性、挥发性及土壤降解、水解、光降解 [J]. *农药科学与管理*, 20(1): 17—19
- Shan Z J, Zhu Z L, Cai D J. 1999. Study on the environmental behavior of imidacloprid [J]. *Pestic Sci and Administration*, 20(1): 17—19 (in Chinese)
- Schoz K. 1999. Photolysis of imidacloprid (NTN33893) on the leaf surface of tomato plants [J]. *Pestic Sci*, 55: 633—675
- 唐振华. 2002. 新烟碱类杀虫剂的结构与活性及其药效基团 [J]. *现代农药*, 1: 1—6
- Tang Z H. 2002. Structure-activity and pharmacophore of neonicotinoid insecticides [J]. *Modern Agrochemicals*, 1: 1—6 (in Chinese)
- Vaughan P P, Blough N V. 1998. Photochemical formation of hydroxyl radical by constituents of natural water [J]. *Environ Sci Technol*, 32: 2947—2953
- Zepp R G, Schlotzhauer P F, Sink R M. 1985. Photosensitized transformations involving electronic energy transfer in natural waters. Role of humic substances [J]. *Environ Sci Technol*, 19: 74—81
- 张海滨, 杜辉. 2004. 浅议杀虫剂啶虫脒在我国的发展 [J]. *浙江化工*, 35(7): 30—31
- Zhang H B, Du H. 2004. The development of insecticide acetamiprid in China [J]. *Chem of Zhejiang*, 35(7): 30—31 (in Chinese)
- Zheng W, Liu W P. 1999. Kinetics and mechanism of the hydrolysis of imidacloprid [J]. *Pestic Sci*, 55: 482—485