

异丙甲草胺及其高效体对潮土微生物的影响 II. 土壤呼吸*

周 瑛^{1,2} 刘维屏^{1,3,*} 叶惠娜²

(¹ 浙江大学环境科学研究所, 杭州 310029; ² 浙江工业大学化学工程与材料学院, 杭州 310032; ³ 浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310032)

【摘要】 研究了0.5、20和100 mg·kg⁻¹浓度的异丙甲草胺及其高效体金都尔对土壤微生物呼吸的影响. 结果表明, 5 mg·kg⁻¹异丙甲草胺对土壤呼吸的激活程度大于同浓度的金都尔, 后期异丙甲草胺起抑制作用, 而金都尔则一直处于激发和恢复状态; 20 mg·kg⁻¹金都尔对土壤呼吸的影响不大, 而异丙甲草胺具有激发作用; 100 mg·kg⁻¹异丙甲草胺对土壤呼吸的激活程度大于同浓度的金都尔, 后期二者的抑制程度大致相同; 异丙甲草胺或金都尔的浓度越大, 对土壤呼吸强度的激活越显著. DMRT法检验表明, 在初期各处理与对照间的呼吸强度都存在显著差异, 后期则差异不显著. 20和100 mg·kg⁻¹异丙甲草胺对土壤微生物的危害大于同浓度的金都尔. 异丙甲草胺和金都尔为低毒或无实际危害的农药, 对土壤微生物的危害较小.

关键词 异丙甲草胺 金都尔 手性农药 土壤呼吸作用 土壤微生物

文章编号 1001-9332(2006)07-1305-05 **中图分类号** X592 **文献标识码** A

Effects of pesticides metolachlor and S-metolachlor on soil microorganisms in aquisols II. Soil respiration. ZHOU Ying^{1,2}, LIU Weiping^{1,3}, YE Huina² (¹Institute of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; ²College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China; ³College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1305 ~ 1309.

An incubation test on the soil microbial respiration as affected by 0, 5, 20, and 100 mg·kg⁻¹ of metolachlor and S-metolachlor (Dual Gold) showed that at the early period of incubation, 5 mg·kg⁻¹ of metolachlor had a stronger stimulation effect on the respiration than 5 mg·kg⁻¹ of Dual Gold, but after then, metolachlor presented an inhibition effect while Dual Gold had the effects of stimulation or recovery. 20 mg·kg⁻¹ of Dual Gold had little effect on the respiration, while metolachlor with the same concentration stimulated it. 100 mg·kg⁻¹ of metolachlor had a stronger stimulation effect on the respiration than 100 mg·kg⁻¹ of Dual Gold, but both of them had the same inhibition effect during the later period. The higher the concentration of metolachlor or Dual Gold, the greater the stimulation effect was. There was a significant difference in soil microbial respiration between treated and blank soil at the beginning of incubation, while no significant difference was observed during the later period. With the same concentration of 20 or 100 mg·kg⁻¹, metolachlor had more harm than Dual Gold. It was suggested that metolachlor and Dual Gold belonged to lower poisonous pesticides, and had less harm on soil microbes.

Key words Metolachlor, S-Metolachlor (Dual Gold), Chiral pesticide, Soil respiration, Soil microorganism.

1 引言

手性农药不同对映体的环境行为及其对生态环境的影响有可能存在着差异, 近年来, 国外学者已开始在对映体水平上关注手性农药的环境行为^[1,2-5,9,11,16]. 因此, 为了考察异丙甲草胺不同对映体对生态环境的影响是否存在着差异, 科学评价手性农药使用的环境安全性, 开展了对异丙甲草胺及其高效体金都尔对土壤微生物影响的研究.

手性农药异丙甲草胺又名都尔和甲氧毒草胺 (Metolachlor), 是一种广泛使用的选择性芽前除草

剂. 它具有4个对映体, 其中只有S体的C手性对映体具有除草活性. 金都儿是异丙甲草胺的高效异构体(1'S对映体, S-Metolachlor), 常用剂型为96%乳油 (dual gold). 金都尔可用于花生 (*Arachis hypogaea*)、油菜 (*Brassica* spp.)、西瓜 (*Citrullus lanatus*)、甜瓜 (*Cucumis melo*) 和果园除草, 杀杂草谱广, 对稗草 (*Echinochloa crusgalli*)、千金子 (*Euphorbia*

* 国家自然科学基金项目 (30270767) 和国家杰出青年科学基金资助项目 (20225721).

** 通讯联系人. E-mail: Wliu@zjut.edu.cn
2005-03-22 收稿, 2006-04-28 接受.

lathyrus)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、牛筋草 (*Eleusine indica*)、莎草 (*Carex dispalata*)、马齿苋 (*Portulaca oleracea*) 等旱地作物田常见的多种单子叶杂草及部分双子叶杂草有较高的防效。金都尔 96% 乳油的杀草谱和使用范围与 72% 都尔相似, 活性比都尔提高 1 倍以上, 大大减少了单位面积用量, 减轻了对环境的污染。

污染物与土壤微生物的生态关系是污染生态学重要的研究领域之一^[7,8,10,14,15,19]。土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分, 对土壤肥力的形成、土壤生态系统的物质循环等具有重要意义。土壤呼吸作用可用来衡量土壤微生物的总活性, 是农药环境安全性评价的一项重要指标^[12,13,18,20,22-24]。本文研究了不同浓度的异丙甲草胺及其高效体金都尔对土壤微生物呼吸的影响, 并对其进行了安全性评价, 为科学地了解异丙甲草胺及其高效体金都尔对土壤微生物的影响, 以及对土壤生态环境造成的危害提供依据。

2 材料与方法

2.1 供试土壤

土样采集于浙江工业大学西配楼花园 2~10 cm 深层土壤, 土壤颜色为黄褐色, 类型为潮土^[17]。新鲜土样采集后拣去植物残体, 分成两部分: 一部分立即过 2 mm 筛, 混合均匀, 供培养实验用; 另一部分土样经风干, 研磨后过 2 mm 筛, 用于土壤理化性质的分析测定。该供试土壤 pH 值为 7.2, 有机质含量为 1.82%, 粘土矿物为 17.3%。

2.2 供试农药与试剂

异丙甲草胺(95%), 工业纯(杭州农药厂), 经实验室进一步提纯后纯度 $\geq 98\%$; 金都尔, 96% 乳油(瑞士诺华公司), 经实验室进一步提纯后纯度 $\geq 98\%$; HCl, 分析纯(中国杭州化学试剂厂); NaOH, 分析纯(杭州萧山化学试剂厂); BaCl₂, 化学纯(浙江省兰溪市化工试剂厂); 酚酞指示剂(上海化学试剂采购供应站); 葡萄糖, 分析纯(中国医药集团上海化学试剂公司)。

2.3 试验方法

土壤呼吸强度的测定方法参见文献^[6]。在供试新鲜土样中加入土样重量(折算成干土重)2% 的葡萄糖, 搅拌均匀,

称取 64 g 该土样(折算成干土重为 50 g), 置于 100 ml 烧杯中, 将烧杯置于密闭的层析缸(长 21 cm × 宽 6 cm × 高 21 cm)中, 并于 25 °C ± 1 °C 恒温培养 1 周, 然后加入异丙甲草胺, 使其在土样中的浓度分别为 5、20 和 100 mg · kg⁻¹, 并将含水量调节至土壤最大含水量的 60%, 充分混匀, 重新放入各层析缸中, 同时在各层析缸中分别放置 35 ml 含 0.2 mol · L⁻¹ NaOH 溶液的小烧杯, 继续恒温培养。定期将盛 NaOH 溶液的小烧杯取出, 以盐酸滴定, 计算所吸收的二氧化碳量, 同时, 换进盛有新鲜 NaOH 溶液的小烧杯, 继续培养, 按期同上步骤进行测定。实验设 3 次重复, 同时做空白对照。金都尔试验方法同异丙甲草胺。

2.4 数据分析

多重比较采用 Duncan 新复极差检验法(简称 DMRT 法)^[21]。

3 结果与分析

3.1 异丙甲草胺对土壤呼吸的影响

从表 1 可知, 5 mg · kg⁻¹ 处理土样与对照相比, 在 0~9 d 时呼吸强度表现为激活, 在 7~9 d 时呼吸强度比对照土样高 35.77%, 在随后的 9~36 d 受到抑制; 20 mg · kg⁻¹ 处理土样与对照相比, 在 0~36 d 时主要表现为激活(4~7 和 18~21 d 例外), 但激活强度不大; 100 mg · kg⁻¹ 处理土样与对照相比, 开始 2 d 受到抑制, 然后转为激活, 在 4~7 d 时呼吸强度比对照土样高 42.25%, 随后在 7~36 d 时又受到抑制。对异丙甲草胺 3 个浓度处理进行比较可知, 浓度愈大, 对土壤呼吸强度前期的激活程度愈大; 后期 100 mg · kg⁻¹ 处理土样对呼吸的抑制程度最大。

采用 DMRT 法对表 1 数据进行分析表明, 在 4~7 d 时, 5 和 100 mg · kg⁻¹ 处理土样的呼吸强度与对照相比都存在显著差异, 20 mg · kg⁻¹ 处理与对照间的差异不显著; 在 7~9 d 时, 5 和 20 mg · kg⁻¹ 处理与对照间的呼吸强度都存在显著差异, 100 mg · kg⁻¹ 与对照间的差异不显著; 其余时间内各土样间的呼吸强度差异不显著。

表 1 异丙甲草胺对土壤呼吸强度的影响

Table 1 Influence of metolachlor on soil respiratory intensity (ml · d⁻¹)

浓度 Concentration (mg · kg ⁻¹)	培养时间 Incubation time (d)											
	0~2	2~4	4~7	7~9	9~12	12~15	15~18	18~21	21~24	24~27	27~31	31~36
CK	414.42 ^a	225.79 ^a	387.22 ^b	324.98 ^b	194.75 ^a	188.55 ^a	190.24 ^a	179.02 ^a	170.01 ^a	190.51 ^a	128.57 ^a	103.71 ^a
5	424.94 ^a	298.69 ^a	446.67 ^a	441.22 ^a	173.78 ^a	159.58 ^a	185.73 ^a	153.53 ^a	163.16 ^a	146.89 ^a	106.48 ^a	87.56 ^a
20	440.31 ^a	278.98 ^a	336.17 ^b	329.21 ^a	221.55 ^a	219.29 ^a	219.57 ^a	177.61 ^a	209.68 ^a	191.65 ^a	138.08 ^a	120.19 ^a
100	391.76 ^a	325.40 ^a	550.81 ^a	298.75 ^b	166.26 ^a	184.60 ^a	187.18 ^a	134.83 ^a	153.40 ^a	146.33 ^a	88.00 ^a	64.11 ^a

同列数据上不同字母表示数据间差异显著 (DMRT 法, $P = 0.05$) Different letters in same column mean significant difference at 0.05 levels, Duncan's new multiple range tests. 下同 The same below.

表 2 金都尔对土壤呼吸强度的影响

Table 2 Influence of Dual Gold on soil respiratory intensity ($\text{ml} \cdot \text{d}^{-1}$)

浓度 Concentration ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	培养时间 Incubation time (d)											
	0~2	2~4	4~7	7~9	9~12	12~15	15~18	18~21	21~24	24~27	27~31	31~36
CK	414.42 ^a	225.79 ^b	387.22 ^a	324.98 ^b	194.75 ^a	188.55 ^a	190.24 ^a	179.02 ^a	170.01 ^a	190.51 ^a	128.57 ^a	103.71 ^a
5	407.13 ^a	277.65 ^a	430.09 ^a	300.86 ^a	220.13 ^a	214.78 ^a	226.34 ^a	183.84 ^a	198.00 ^a	190.80 ^a	132.19 ^a	115.78 ^a
20	416.04 ^a	297.88 ^a	400.48 ^a	295.78 ^a	185.16 ^a	206.88 ^a	180.37 ^a	157.49 ^a	170.52 ^a	172.95 ^a	127.94 ^a	105.07 ^a
100	443.55 ^a	357.77 ^a	392.86 ^a	271.25 ^a	166.26 ^a	165.98 ^a	182.90 ^a	133.42 ^a	155.80 ^a	139.81 ^a	87.36 ^a	65.30 ^a

3.2 金都尔对土壤呼吸的影响

从表 2 可知, $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理与对照相比, 在 0~2 d 时呼吸强度受到抑制, 2~36 d 内主要表现为激活(7~9 d 例外), 2~4 d 时的呼吸强度比对照高 22.97%; $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理与对照相比, 在 0~7 d 时表现为激活, 其中在 2~4 d 时呼吸强度比对照高 31.93%, 随后基本上趋于抑制(12~15 d 时例外); $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理与对照相比, 在 0~7 d 时表现为激活, 其中 2~4 d 时呼吸强度比对照高 58.45%, 在随后的 7~36 d 受到抑制. 对金都尔 3 个浓度处理进行比较可知, 前期金都尔对土壤呼吸有激活作用, 浓度愈大, 激活程度愈大; 后期抑制较多, 其中 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理土样对呼吸的抑制程度最大.

采用 DMRT 法对表 2 金都尔对土壤呼吸强度影响的数据分析表明, 在 2~4 d 时, 3 个浓度处理土样与对照土样间的呼吸强度都存在显著差异, 并且 3 个浓度处理土样间的呼吸强度差异不显著; 其余时间内各土样间的呼吸强度差异不显著.

3.3 异丙甲草胺和金都尔对土壤呼吸的影响比较

由图 1 可知, $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和金都尔土样的土壤呼吸强度在前期都超过对照组, 并且异丙甲草胺的激发程度大于金都尔. 12 d 以后, 施异丙甲草胺的土壤呼吸强度明显低于对照, 表现为抑制作用, 而金都尔则一直处于激发和恢复状态. $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔土样对土壤呼吸强度的影响表现为先激活, 再抑制, 最后是激活或恢复, 而 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺土样在 0~36 d 主要表现为激活(7~9 d 例外). $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和金都尔土样在 7 d 以前都表现为激活, 但异丙甲草胺的激活程度大于金都尔, 7 d 以后, 土壤呼吸强度都受到抑制, 其影响程度大致相同.

由图 2 可知, $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和金都尔土样的二氧化碳释放总量都超过对照组, 而且金都尔土样的二氧化碳释放总量较高, 说明 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和金都尔对土壤呼吸激发作用比较明显, 低浓度异丙甲草胺对供试土壤呼吸的影响和对土壤微生物的危害小于同浓度的金都尔. $20 \text{ mg} \cdot$

kg^{-1} 金都尔土样的二氧化碳释放总量与对照组趋于一致, 而 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺土样在施药初期与对照组较为接近, 后期二氧化碳的释放总量逐渐增加, 说明 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔对土壤呼吸的影响不大, 而异丙甲草胺对土壤呼吸具有激发作用. $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺对供试土壤呼吸的影响和对土壤微生物的危害大于同浓度的金都尔. $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔土样的二氧化碳释放总量在 15 d 前大于对照组, 15 d 后一直低于对照组; $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺土样的二氧化碳释放总量明显高于对照组, 说明 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺对土壤呼吸具有激发作用, 对供试土壤呼吸的影响和对土壤微生物的危害大于同浓度的金都尔.

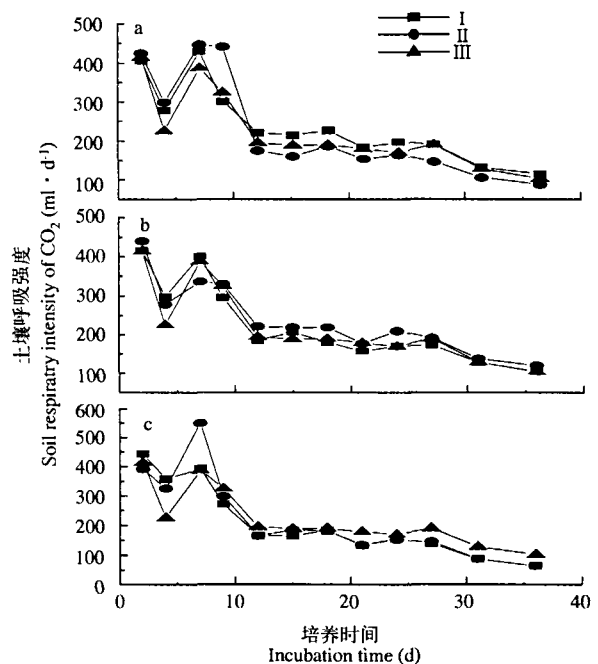


图 1 异丙甲草胺和金都尔对土壤呼吸强度的影响

Fig. 1 Influences of metolachlor and Dual Gold on soil respiratory intensity. a) $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ metolachlor and $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Dual Gold; b) $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ metolachlor and $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Dual Gold; c) $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 异丙甲草胺和 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 金都尔 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ metolachlor and $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Dual Gold. I. 金都尔 Dule Gold; II. 异丙甲草胺 Metolachlor; III. 对照 Control. 下同 The same below.

3.4 异丙甲草胺和金都尔对土壤呼吸的影响评价

采用危害系数法评价异丙甲草胺和金都尔对土

壤微生物呼吸的影响. 其数值越大, 农药对土壤呼吸的实际危害越强. 农药对土壤微生物毒性等级标准为: 危害系数 > 200 为严重危害; 20 ~ 200 为中等危害; < 20 为无实际危害农药. 本试验中, 供试土壤各浓度的异丙甲草胺和金都尔的危害系数不超过 20, 表明金都尔和异丙甲草胺为低毒或无实际危害的农药, 对土壤微生物的危害较小.

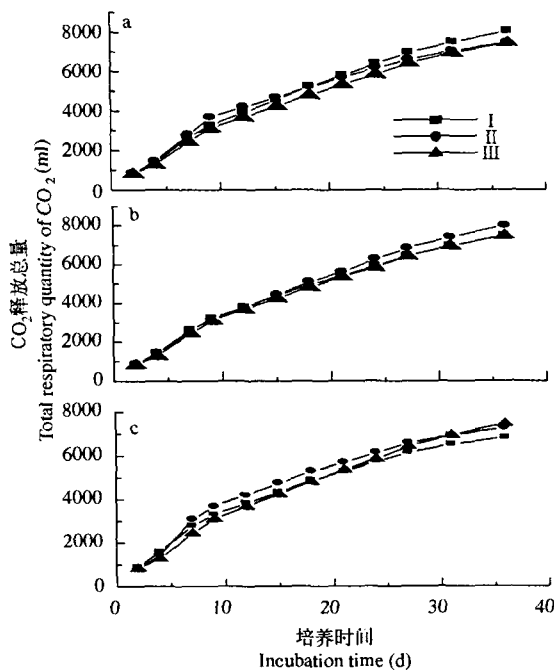


图2 异丙甲草胺和金都尔对土壤 CO₂ 释放总量的影响
Fig. 2 Influences of metolachlor and Dual Gold on soil total respiratory quantity of CO₂.

4 结 论

4.1 在异丙甲草胺的 3 个浓度处理中, 浓度愈大, 前期对土壤呼吸强度的激活越显著. 异丙甲草胺各浓度处理总体上对土壤呼吸有激活作用, 但 100 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺处理在后期对土壤呼吸有抑制作用.

4.2 金都尔的 3 个浓度处理前期对土壤呼吸起激活作用. 其浓度愈大, 激活程度愈大. 5 mg · kg⁻¹ 金都尔处理对土壤呼吸有激活作用, 后期能缓慢恢复; 20 mg · kg⁻¹ 金都尔处理对土壤呼吸的影响不显著; 100 mg · kg⁻¹ 处理前期土壤呼吸被激活, 后期则受抑制.

4.3 5 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺对土壤呼吸的激活程度大于同浓度的金都尔, 5 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺对土壤微生物的危害小于同浓度的金都尔. 20 mg · kg⁻¹ 金都尔对土壤呼吸的影响不大, 而异丙甲草胺

对土壤呼吸具有激发作用. 20 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺对供试土壤呼吸的影响和对土壤微生物的危害大于同浓度的金都尔. 100 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺对土壤呼吸的激活程度大于同浓度的金都尔, 后期二者的抑制程度大致相同, 100 mg · kg⁻¹ 异丙甲草胺对土壤微生物的危害大于同浓度的金都尔.

4.4 3 个浓度异丙甲草胺和金都尔处理在初期与对照土样间的呼吸强度都存在显著差异, 后期则差异不显著.

4.5 异丙甲草胺和金都尔为低毒或无实际危害的农药, 对土壤微生物的危害较小.

参考文献

- 1 Aigner EJ, Leone AD, Falconer RL. 1998. Concentrations and enantiomeric ratios of organochlorine pesticides in soils from the U. S. corn belt. *Environ Sci Technol*, **32**: 1162 ~ 1168
- 2 Armstrong DW, Reid GL, Hilton ML, et al. 1993. Relevance of enantiomeric separations in environmental science. *Environ Pollut*, **79**: 51 ~ 58
- 3 Buser HR, Muller MD. 1998. Occurrence and transformation reactions of chiral and achiral phenoxyalkanoic acid herbicides in lakes and rivers in Switzerland. *Environ Sci Technol*, **32**: 626 ~ 633
- 4 Buser HR, Muller MD, Poiger T, et al. 2002. Environmental behavior of the chiral acetamide pesticide Metalaxyl: Enantioselective degradation and chiral stability in soil. *Environ Sci Technol*, **36**: 221 ~ 226
- 5 Buser HR, Poiger T, Muller MD. 2000. Changed enantiomer composition of Metolachlor in surface water following the introduction of the enantiomerically enriched product to the market. *Environ Sci Technol*, **34**: 2690 ~ 2696
- 6 Department of Microbiology, Institute of Nanjing Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所微生物室). 1985. *Methodology of Soil Microbiology*. Beijing: Science Press. 216 ~ 220 (in Chinese)
- 7 Gong P (龚平), Sun T-H (孙铁珩), Li P-J (李培军). 1996. Ecological effects of pesticides on soil microorganisms. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **7**(supp.): 127 ~ 132 (in Chinese)
- 8 Gong P (龚平), Sun T-H (孙铁珩), Li P-J (李培军). 1997. Ecological effect of heavy metals on soil microbes. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **8**(2): 218 ~ 224 (in Chinese)
- 9 Helm PA, Diamond ML, Semkin R, et al. 2000. Degradation as a loss mechanism in the fate of α -Hexachlorocyclohexane in Arctic watersheds. *Environ Sci Technol*, **34**: 812 ~ 818
- 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 Lewis DL, Garrison AW, Wommack KE, et al. 1999. Influence of environment changes on degradation of chiral pollutants in soils. *Nature*, **401**: 898 ~ 901
- 12 Liang W (梁巍), Yue J (岳进), Wu J (吴劭), et al. 2003. Seasonal variations of soil microbial biomass, respiration rate and CH₄ emission in black earth rice fields. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **14**(12): 2278 ~ 2280 (in Chinese)
- 13 Liu H-J (刘惠君), Zheng W (郑巍), Liu W-P (刘维屏). 2001. Effects of pesticide Imidacloprid and its metabolites on soil respiration. *Environ Sci (环境科学)*, **22**(4): 73 ~ 76 (in Chinese)
- 14 Mooman TB. 1989. A review of pesticide effects on microorganisms and microbial processes related to soil fertility. *J Prod Agric*, **2**(1): 14
- 15 Ren T-Z (任天志), Stefano G. 2000. Soil bioindicators in sustain-

- able agriculture. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **33**(1): 68 ~ 75 (in Chinese)
- 16 Rügge K, Juhler RK, Broholm MM, *et al.* 2002. Degradation of the (R)- and (S)-enantiomers of the herbicides MCPP and dichlorprop in a continuous field-injection experiment. *Water Res*, **36**: 4160 ~ 4164
- 17 Soil Taxonomic Classification Research Group, Institute of Nanjing Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组), Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomic Classification (中国土壤系统分类课题研究协作组). 1991. Chinese Soil Taxonomic Classification (1st proposal). Beijing: Science Press. 33 ~ 44 (in Chinese)
- 18 Wardle DA, Parkinson D. 1991. Relative importance of the effect of 2,4-D, glyphosate, and environmental variables on the soil microbial biomass. *Plant Soil*, **134**: 209 ~ 219
- 19 Yu S (俞 慎), He Z-L (何振立), Huang C-Y (黄昌勇). 2003. Advances in the research of soil microorganisms and their mediated processes under heavy metal stress. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(4): 618 ~ 622 (in Chinese)
- 20 Yu S (俞 慎), He Z-L (何振立), Zhang R-G (张荣光), *et al.* 2003. Soil basal respiration and enzyme activities in the root-layer soil of tea bushes of a red soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(2): 179 ~ 183 (in Chinese)
- 21 Yuan Z-F (袁志发), Zhou J-Y (周静芊). 2000. Experimental Design and Analysis. Beijing: Higher Education Press. 72 ~ 89 (in Chinese)
- 22 Zelles L, Bahig ME, Scheunert I, *et al.* 1984. Measurement of bioactivity based on CO₂-release and ATP content in soil after different treatments. *Chemosphere*, **13**(8): 899 ~ 913
- 23 Zhu L-S (朱鲁生), Wang J (王 军). 2000. Effects of Acetochlor and Atrazine on respiration of soil microbe. *Soil Environ Sci* (土壤与环境), **9**(1): 71 ~ 72 (in Chinese)
- 24 Zhu L-S (朱鲁生), Zhang Y-F (张玉凤), Fan D-F (樊德芳). 1999. Study on the effects of phoxim, fenpropathrin and its mixture on respiration of soil microbe. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), **18**(1): 25 ~ 27 (in Chinese)
-
- 作者简介 周 瑛,女,1965年生,博士,副教授.主要从事环境污染化学与分析化学研究,发表论文 30 多篇. Tel: 0571-88320961; E-mail: yingzhou@zjut.edu.cn
-
- 责任编辑 张凤丽