

除草剂对土壤温室气体排放的影响

丁 洪^{1,2}, 郑祥洲¹, 雷俊杰¹, 张玉树¹, 陈静蕊¹, 李世清²

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013; 2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 试验设对照、尿素、尿素+草甘膦和尿素+丁草胺 4 个处理, 尿素氮用量为 200 mg·kg⁻¹ 干土, 除草剂用量为 10 mg 有效成分·kg⁻¹ 干土。在实验室恒温培养条件下, 研究除草剂对菜田土壤温室气体排放的影响。结果表明, 菜田土壤中施用氮肥显著增加了温室气体 N₂O、CO₂ 和 CH₄ 的排放。尿素氮肥中添加草甘膦显著抑制 N₂O、CO₂ 的排放, 分别比尿素处理降低 48.4% 和 20.2%; 添加丁草胺显著抑制 N₂O 排放, 比尿素处理降低 23.2%, 对 CO₂ 排放略有减少但不显著; 草甘膦和丁草胺对 CH₄ 排放都无明显影响。这说明除草剂对土壤温室气体的排放具有显著影响, 但不同除草剂品种的效应也存在明显差异。因此, 在农田温室气体排放估算时应考虑除草剂的施用对温室气体减排所产生的效果。

关键词: 除草剂; 草甘膦; 丁草胺; 温室气体; 氧化亚氮; 二氧化碳; 甲烷

中图分类号: S154.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2012)02-0435-05

Effects of Herbicides on Greenhouse Gases Emission from Vegetable Plantation Soil

DING Hong^{1,2}, ZHENG Xiang-zhou¹, LEI Jun-jie¹, ZHANG Yu-shu¹, CHEN Jing-rui¹, LI Shi-qing²

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Shanxi Yangling 712100, China)

Abstract: To assess the effects of herbicides on greenhouse gases emission from vegetable plantation soil, an incubation experiment was conducted under laboratory condition with 4 treatments including control, urea, urea+glyphosate and urea+butachlor, and 200 mgN·kg⁻¹ dry soil and 10 mg active ingredient·kg⁻¹ dry soil were applied in urea and herbicides treatments respectively. The experimental results showed that nitrogen fertilizer greatly increased greenhouse gases N₂O、CO₂ and CH₄ emission from the soil, but glyphosate reduced N₂O and CO₂ emission by 48.4% and 20.2% contrast to urea treatment respectively; butachlor reduced N₂O emission 23.2%, not significantly reduced CO₂ emission; however, glyphosate and butachlor had no effect on CH₄ emission. These indicated the effective influences and the differences of different herbicides on greenhouse gases emission. Therefore, effects of herbicides on greenhouse gases emission should be taken into account in estimation of total greenhouse gases emission amount from agricultural soils in the future.

Keywords: herbicide; glyphosate; butachlor; greenhouse gas; nitrous oxide; carbon dioxide; methane

除草剂已在农业生产上广泛施用, 除草剂在防除田间杂草的同时, 也对土壤微生物活性产生一定的影响。微生物参与土壤中碳氮循环, 除草剂影响微生物

的活性从而间接影响到土壤碳氮转化和 N₂O 及 CO₂ 温室气体的产生^[1-2]。除草剂的品种类型很多, 对微生物的活性作用效果也不相同^[3]。有关除草剂对土壤碳氮转化影响已有不少研究, 对土壤 N₂O、CO₂ 和 CH₄ 排放也有少量报道^[4-9], 而同时对 3 种温室气体排放的影响却鲜见报道。因此, 本研究选择全球用量最大的除草剂品种草甘膦^[10]和我国用量最大的三种除草剂之一的丁草胺^[11]开展这方面研究, 可为土壤碳氮循环研究、温室气体排放的估算和除草剂的安全使用提供

收稿日期: 2011-11-29

基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金课题 (10501-291), 福建省科技厅公益类科研院所专项 (2009R10032-1, 2010R1024-2)

作者简介: 丁 洪 (1965—), 男, 江西安福人, 研究员, 博士后, 主要从事新型肥料、农业面源污染和碳氮生物地球化学循环研究。
E-mail: hongding@china.com

参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

除草剂选用四会市润土作物科学有限公司生产的 10%草甘膦水剂、山东侨昌化学有限公司生产的 60%丁草胺乳液,氮肥为普通尿素(N46%)。供试土壤取自福州市郊菜田土,土壤类型为灰泥土,有机质 $31.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $2.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、铵态氮 $5.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、硝态氮 $8.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤容重 $0.89 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、pH 7.1。

1.2 试验方法

试验设对照(CK)、尿素、草甘膦+尿素和丁草胺+尿素 4 个处理,氮肥用量 $200 \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土,除草剂用量均为 10 mg 有效成分 $\cdot \text{kg}^{-1}$ 干土,4 次重复。

从野外采回的新鲜土壤,微风干,过 2 mm 筛,测定其含水量,称取折合 150 g 烘干土重的微风干,装入体积为 300 mL 的广口瓶中。氮肥和农药均按比例先混合溶于水后定量加入,同时使得土壤水分含量达到孔隙的 60%。然后用封口膜封口,保持瓶内外自由通气,所有培养瓶都在 $28 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中好气培养。

在取样前一天,揭开封口膜,用带有两根玻璃管的软木塞塞住瓶口,涂上 704 胶密封,两根玻璃管分别接一段硅胶管,其中一根接上三通阀,然后两根管均封闭。检查密封情况,如有漏气及时封口。置于培养箱中培养,培养 24 h 后抽取气样,取样时将 20 mL 塑料针筒接上三通阀瓶,打开阀门,来回推拉混匀几次,抽取瓶中 20 mL 气体注入 18 mL 的真空玻璃瓶中供分析用。分别在培养的第 2、4、6、10、14、18、24、30、36 d 和 42 d 取样,每次 4 次重复均为破坏性取样,即取完样后弃用。

1.3 样品测试分析与计算方法

N_2O 气体样品分析应用中国科学院大气物理所改装过的美国 Agilent 公司生产的 GC7890A 测定,色谱柱为填充 80/100 目 porapak Q 的填充柱,柱温 $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$,ECD 检测器温度 $330 \text{ }^{\circ}\text{C}$,定量六通阀进样,进样量 1 mL,载气为 N_2 ,流速 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

用于 CO_2 和 CH_4 气体样品分析的色谱柱为填充 60/80 目 porapak Q 的填充柱,柱温 $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$,镍触媒转化器温度 $375 \text{ }^{\circ}\text{C}$,FID 检测器温度 $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$,定量六通阀进样,进样量 1 mL,载气为 N_2 ,流速 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;燃气为氢气,流速 $45 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;助燃气为空气,流速 $300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

单位时间气体排放通量的计算方法: $F(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

$\text{土} \cdot \text{h}^{-1}) = C \times M / 22.4 \times V / 1\,000 \times 1\,000 / W / T$ 。 F 为温室气体 N_2O 、 CO_2 和 CH_4 的排放量, C 为气体浓度测定值, $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, M 为 1 mol 的气体质量;22.4 为大气标准状态下阿伏伽德罗常数; V 为培养瓶内总的自由体积, mL;1 000 为 mL 换算成 L; W 为培养土壤重量, kg; 1 000 为土重 g 化成 kg; T 为密闭培养的时间, h。

总的排放量计算方法: $F(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土}) = \sum (F_1 + F_2) / 2 \times t \times 24$ 。 F_1 为前一次测定值, F_2 为后一次测定值, t 为相隔天数,24 为每天小时数。

1.4 数据统计分析

试验数据统计分析和图表制作采用 SPSS 13.0 和 Excel 2003。

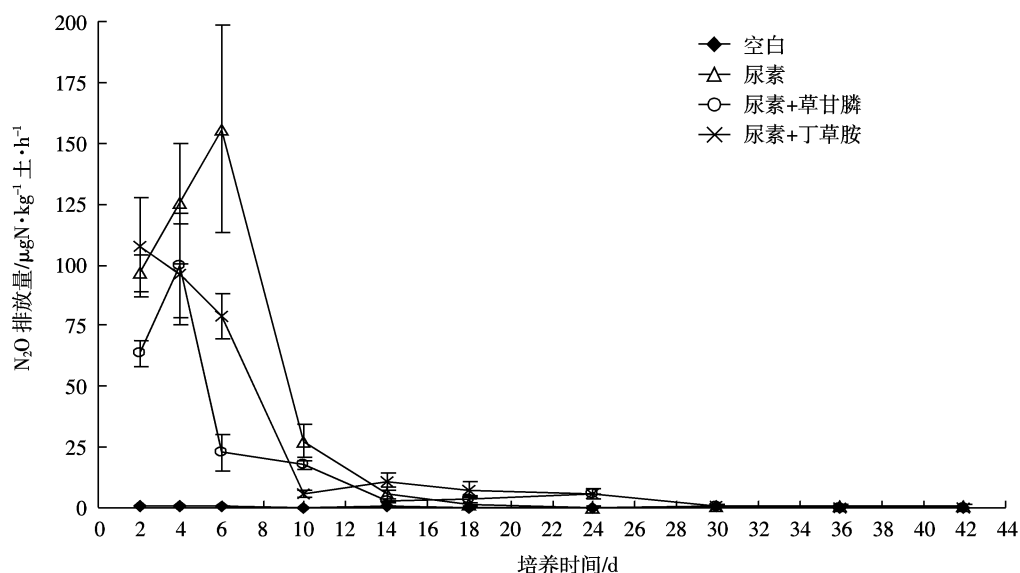
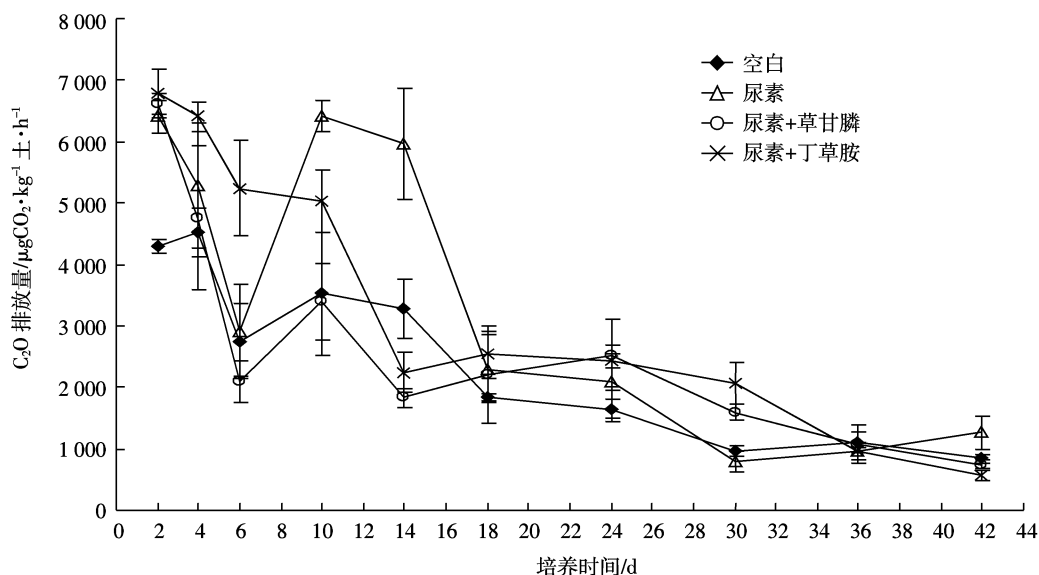
2 结果与讨论

2.1 除草剂对土壤 N_2O 排放动态变化的影响

土壤 N_2O 主要是由硝化和反硝化作用过程产生的,环境因子对硝化菌和反硝化菌活性的抑制将影响到 N_2O 排放。从图 1 可以看出,对照处理的 N_2O 排放量一直处于较低排放水平,施用氮肥后,排放量急剧增加。在土壤培养期间 3 个施氮处理的 N_2O 排放变化整个趋势基本一致,施用氮肥后培养出现一个排放高峰,随后降低。但不同处理间出现明显差异,一个明显的特征是尿素处理出现的峰值比添加了除草剂的处理要高;其次是整个培养过程出现 3 个阶段,培养前 10 d 尿素处理的排放通量比 2 个添加除草剂的要高,而在 18~24 d 期间虽然排放通量均不高但添加除草剂处理高于单一尿素处理,其中第 24 d 的差异极显著($P < 0.01$);随后各处理之间(包括空白)无明显差异。由此可见,氮肥在培养初期有大量的 N_2O 产生,而添加除草剂在前期对土壤 N_2O 排放有抑制作用,后期影响减弱。

2.2 除草剂对土壤 CO_2 排放动态变化的影响

CO_2 是土壤的呼吸作用产生的,影响土壤微生物活性因子也将影响到 CO_2 排放。图 2 显示,土壤培养初期均出现一个排放高峰,这是半风干土增加水分后的激发效应所致,随后除尿素处理外其他处理的 CO_2 排放通量呈现逐步下降的趋势。但在培养的前 14 d 内,3 个添加氮处理的 CO_2 排放通量均显著高于不施氮处理($P < 0.05$),随后差异不明显。说明氮肥增加了土壤呼吸强度,特别是尿素处理在 10~14 d 时还出现第二个排放高峰,而添加除草剂处理则不出现二次高峰,这表明除草剂对碳氮协同作用或呼吸作用具有一定的抑制作用。特别是添加尿素草甘膦处理, CO_2

图1 土壤中 N_2O 排放的动态变化Figure 1 Temporary changes of N_2O flux from soil图2 土壤中 CO_2 排放的动态变化Figure 2 Temporary changes of CO_2 flux from soil

排放通量整体上都显得比尿素和尿素+丁草胺处理略低。

2.3 除草剂对土壤 CH_4 排放动态变化的影响

土壤甲烷排放主要发生在水分饱和的淹水水稻田和其他湿地,但在未完全被水分饱和的土壤中局部土壤或土壤团粒内产生厌氧条件也会有一定量的甲烷产生。图3显示出土壤含水量60%条件下 CH_4 的排放通量,而且在不同培养时间其排放量有一定变化,尤其是3个施氮处理的 CH_4 排放通量在整个培养期整体上显得比对照要高,从第4~24 d均达到显著

或极显著水平。3个施氮处理之间的通量变化虽然略有高低,经显著性检验表明均无显著差异。结果认为,施氮增加了 CH_4 排放通量,但2种除草剂的添加对土壤甲烷的排放影响不大。

2.4 除草剂对土壤温室气体排放量的影响

表1中数据显示,施用氮肥显著或极显著增加土壤中3种温室气体 N_2O 、 CO_2 和 CH_4 的排放量。施用除草剂可以减少 N_2O 和 CO_2 的排放,但不同除草剂的作用效果有较大差异。草甘膦极显著减少 N_2O 排放量 ($P<0.01$),显著减少 CO_2 排放量 ($P<0.05$),分别比

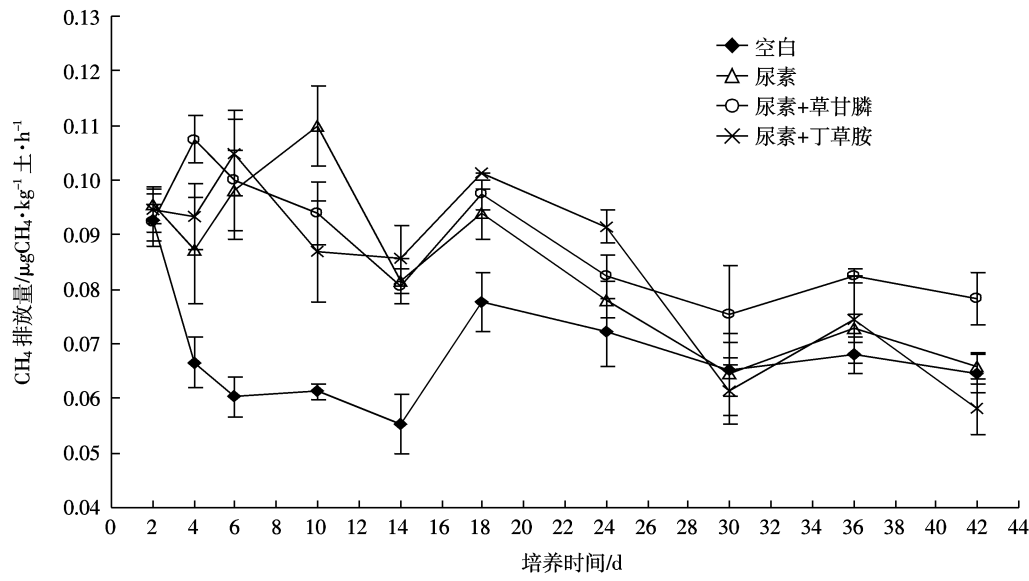


图 3 土壤中 CH₄ 排放的动态变化
Figure 3 Temporary changes of CH₄ flux from soil

表 1 除草剂对土壤温室气体排放量的影响
Table 1 Effects of herbicides on greenhouse gases emission from soil

处理	N ₂ O 排放总量/mgN·kg ⁻¹ 土	CO ₂ 排放总量/mgCO ₂ ·kg ⁻¹ 土	CH ₄ 排放总量/μgCH ₄ ·kg ⁻¹ 土
空白	0.37±0.06dC	2 188.95±215.10bB	68.97±2.14bB
尿素	27.89±3.57aA	3 035.17±199.92aA	83.52±1.74aA
尿素+草甘膦	14.38±0.78cB	2 423.39±64.95bAB	86.26±0.37aA
尿素+丁草胺	21.43±1.79bAB	2 999.33±66.67aA	84.46±2.10aA

注:不同大、小写字母分别表示不同处理间差异达 1%、5%显著水平。
Note: Different capital and small letters mean significant at 0.05 and 0.01 levels among different treatments, respectively.

尿素处理降低 48.4%和 20.2%; 丁草胺显著减少 N₂O 排放量($P<0.05$), 比尿素处理降低 23.2%, 对 CO₂ 排放量略有降低, 但不显著。上述结果总体说明草甘膦的效应要大于丁草胺。而 2 种除草剂对 CH₄ 排放影响不大。除草剂的作用效果是对土壤中不同微生物种群产生的影响所致。

3 讨论

除草剂是农业生产上三大农药(杀虫剂、杀菌剂和除草剂)中应用最多的一种。农药的施用对土壤微生物的活性会产生一定的影响, 从而影响到土壤中温室气体的排放^[12]。不少研究表明, 不同除草剂对土壤中微生物的活性和碳氮形态变化的作用效果可能有别, 这既有除草剂本身效应的差异, 也有环境条件不同(如土壤特性)引起的差异。本试验结果也表现出 2 种除草剂效应上差异的存在, 但也与前人用其他除草剂品种的结果存在不一致情况, 另外即使同样用草甘

膦或丁草胺研究结果也会出现差异。我们先前研究表明在田间用 3 种除草剂均显著减少 N₂O 排放, 且品种间存在差异^[4]; 本试验得到同样的结果, 也与其他研究者的结果一致^[1]。比较对 CO₂ 排放影响的结果则不完全相同, 除草剂咪草烟用量 1~10 mg·kg⁻¹ 与对照无显著差异^[6], 甲磺隆 10 mg·kg⁻¹ 浓度时结果也一样^[5]; 乙草胺和莠去津对土壤 CO₂ 释放量与对照无明显差异, 而且不同除草剂用量之间也无明显差异^[7]。结合对 N₂O 和 CO₂ 排放的影响来看, 草甘膦的抑制效果要大于丁草胺。因为草甘膦在低浓度下对微生物就有抑制作用^[13], 而丁草胺用量在 2~4 mg·kg⁻¹ 时对微生物量影响不大, 10 mg·kg⁻¹ 时才表现明显抑制作用^[14]。对于甲烷排放的影响, 在水稻土上丁草胺浓度为 0.1 mg·kg⁻¹ 时即对甲烷释放产生影响, 浓度为 10 mg·kg⁻¹ 时加药后 14 d 内几乎不产甲烷^[8]。但也有研究认为 1 mg·kg⁻¹ 干土丁草胺可增加黄松稻田土壤产甲烷菌群数量和甲烷排放通量, 大于 10 mg·kg⁻¹ 干土时对产

甲烷菌数量和甲烷排放通量呈现明显的抑制作用^[9]。而本试验对甲烷排放均无显著抑制作用,这可能是不同土壤条件和试验条件的影响所致。可见,不同除草剂在不同土壤条件下对不同温室气体的影响会有所差异。

4 结论

(1)土壤中施入氮肥极显著地增加 N_2O 、 CO_2 和 CH_4 的排放量,增加氮素可促进碳代谢。因此,在农业生产上施用氮肥会增加温室气体的排放。

(2)除草剂的施用会减少温室气体的排放,从本试验来看,草甘膦和丁草胺对减少 N_2O 、 CO_2 排放效果显著,而对 CH_4 的排放影响较小。

(3)不同除草剂对温室气体减排的作用有较大差异,本研究结果表明草甘膦的抑制效果要显著优于丁草胺。因此,对不同类型除草剂的具体效应需通过大量试验验证。

参考文献:

- [1] Khin Moe Kyaw Toyota, K. Suppression of nitrous oxide production by the herbicides glyphosate and propanil in soils supplied with organic matter[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(4): 441-447.
- [2] Sandor Z, Katai J, Nagy P T. The effect of herbicides on some microbiological parameters of carbon-cycle in maize monoculture[J]. *Cereal Research Communications*, 2008, 36(Suppl5):1175-1178.
- [3] Tu C M. Effect of some herbicides on activities of microorganisms and enzymes in soil[J]. *Journal of Environmental Science and Health. Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 1992, 27(6): 695-709.
- [4] 丁洪,王跃思. 除草剂对氮肥反硝化损失与 N_2O 排放的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 596-599.
DING Hong, WANG Yue-si. Influence of herbicides on denitrification loss of nitrogen fertilizer and emission of N_2O [J]. *China Environmental Science*, 2004, 24(5): 596-599.
- [5] 姚斌,徐建民,尚鹤,等. 甲磺隆污染土壤的微生物生态效应[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 557-561.
YAO Bin, XU Jian-min, SHANG He, et al. Ecological effect of metsulfuron-methyl on soil microbe[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(3): 557-561.
- [6] 汪芳,王军. 毒死蜱和咪草烟对土壤微生物呼吸的影响[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(9): 34-37.
WANG Fang, WANG Jun. The effects of chlorpyrifos and imazethapyr on the soil microbe[J]. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(9): 34-37.
- [7] 朱鲁生,王军. 乙草胺和莠去津对土壤微生物的影响及安全性评价[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 71-72.
ZHU Lu-sheng, WANG Jun. Effects of acetochlor and atrazine on respiration of soil microbe[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(1): 71-72.
- [8] 赵宇华,梅其志,陈美慈,等. 丁草胺对水稻土甲烷释放和厌氧细菌的影响[J]. 微生物学报, 1997, 37(6): 477-479.
ZHAO Yu-hua, MEI Qi-zhi, CHEN Mei-ci, et al. Effect of butachlor on CH_4 emission and anaerobes in paddy soil [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 1997, 37(6): 477-479.
- [9] 陈中云,闵航,吴伟祥. 农药污染对黄松稻田土壤产甲烷菌数量和甲烷排放通量影响的研究[J]. 中国沼气, 2003, 21(1): 18-21.
CHEN Zhong-yun, MIN Hang, WU Wei-xiang. Effects of pesticide-contermination on the population of methanogens and methane emission in paddy rice soil[J]. *China Biogas*, 2003, 21(1): 18-21.
- [10] 苏少泉. 草甘膦述评[J]. 农药, 2005, 44(4): 145-149.
SU Shao-quan. Glyphosate review[J]. *Chinese Journal of Pesticides*, 2005, 44(4): 145-149.
- [11] 姚斌,徐建民,张超兰. 除草剂丁草胺的环境行为综述[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 66-70.
YAO Bin, XU Jian-min, ZHANG Chao-lan. Behavior of herbicide butachlor in environment[J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(1): 66-70.
- [12] 郎漫,蔡祖聪. 百菌清对土壤氧化亚氮和二氧化碳排放的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2745-275.
LANG Man, CAI Zu-cong. Effects of fungicide chlorothalonil on soil nitrous oxide and carbon dioxide emission[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2745-2750.
- [13] 邓晓,李雅琦. 草甘膦对土壤微生物影响的研究[J]. 农药, 2005, 44(2): 59-62.
DENG Xiao, LI Ya-qi. Effect of glyphosate on soil microorganisms[J]. *Chinese Journal of Pesticide*, 2005, 44(2): 59-62.
- [14] 单敏,虞云龙,方华,等. 丁草胺对土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 农药学报, 2005, 7(4): 383-386.
SHAN Min, YU Yun-long, FANG Hua, et al. Effect of butachlor on soil microbial population and enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2005, 7(4): 383-386.