

大棚种植对农业土壤环境的胁迫

费颖恒¹, 黄 艺¹, 严昌荣², 晁元卿¹, 何文清²

(1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要:为研究集约化生产方式对农田环境的影响,实验测定了河北省邯郸市永年县的大田和大棚两种不同种植方式下,土壤微生物、重金属污染和有机磷农药残留的情况。本研究分别使用平板计数法和氯仿熏蒸法测定土壤中微生物区系及其生物碳量;采用原子吸收分光光度法测定土壤和植物体内重金属含量;采用气相色谱质谱法测定土壤和植物体内有机磷农药残留量。结果显示,随大棚使用年份的增加,土壤中的细菌和放线菌数量显著增加,而真菌数量显著减少,即细菌真菌比上升,说明大棚中农田微生物区系结构仍处于较好的状态;但同时微生物碳量明显减少,间接反映大棚土壤养分压力的增加。污染物积累方面,大棚土壤中的重金属积累和有机磷农药残留均与大田情况相当。因此本研究认为,短期(20 a)内的大棚种植对农业土壤环境并未产生严重的胁迫。另外,微生物作为农田土壤生态系统中重要的因子,是土壤质量评价中较灵敏的指标。

关键词:大棚;土壤;微生物;重金属;有机磷农药

中图分类号:X53 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)01-0243-05

Influence of Greenhouse Cultivation on Agricultural Soil Environment

FEI Ying-heng¹, HUANG Yi¹, YAN Chang-rong², CHAO Yuan-qing¹, HE Wen-qing²

(1. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Agro-environmental and Sustainable Development Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To study the influence of greenhouse cultivation on agriculture soil environment, the samples of soils and plants were collected from open fields and greenhouses in Hebei Province and were examined in three aspects of microbes, heavy metals and organophosphorus pesticides. Amounts of microorganism and structure of microbial community were examined with the method of diluted plate counting, and the microbial biomass of carbon was determined with the chloroform-fumigation and incubation method. Contents of heavy metals and residues of organophosphorus pesticides in soils and plants were also examined by atomic absorption spectrophotometry and GS-MS, respectively. The results showed a notable increase of bacteria and actinomycetes and a significant decrease of fungi in greenhouses, that is, the ratio of bacteria to fungi increased, which meant that the structure of the microbial community was still in a good situation. Meanwhile, the microbial biomass reduced along with the usage of greenhouses, which might indirectly reflect the increase of nutrients pressure. Accumulation of heavy metals and organophosphorus pesticides were not found in the greenhouses. Therefore, the study considered that short-term (20 years) intensive agricultural cultivation in greenhouses might not cause serious impact on the soil environment. The microbes in the agriculture soil system showed a sensitive response to the change of soil quality, which would be used as a good indicator of soil environment assessment.

Keywords: greenhouse; soil; microbe; heavy metals; organophosphorus pesticides

为提高土地利用率和生产率,近年来设施农业在国内外发展迅速。我国是设施农业的使用大国,设施农业所占的面积居世界第1位。塑料大棚是较为常见

的一种设施农业,据农业部统计,截至2004年底我国塑料大棚面积已达49.98亿m²[1]。

设施农业极大地提高了农业产量,但与此同时,设施农业的高度集约化生产方式,加剧了土壤环境的恶化。由于长期高强度的肥料和农药的施用,土壤的理化性质发生改变,带来盐渍化、病虫害增多等问题[2,3]。长期的耕作和施肥还导致土壤有机碳和总氮量的减少[4],造成土壤生产力的下降[5]。

收稿日期:2007-04-03

基金项目:农业部“农业结构调整重大技术研究专项”——华北地区农业环境评价体系研究

作者简介:费颖恒(1985—),女,在读硕士研究生,研究方向为环境微生物修复。E-mail:fyh@pku.edu.cn

责任作者:黄 艺 E-mail:yhuang@pku.edu.cn

除此之外,连续高强度的土地利用也给土壤微生物生态环境造成不利影响。微生物区系的结构发生改变,不仅加重土传病虫害的传播^[6],同时由于土壤微生物对于维持土壤肥力和植物营养具有重要的意义,设施农业对土壤微生物带来的影响间接给土壤生产力带来损害。

另一方面,设施农业中大量施用肥料和农药也加剧了重金属和农药的污染。过多农药的施用使得大棚土壤和农作物中农药残留高于普通大田^[7]。

本文以我国华北粮食蔬菜主产区——河北省邯郸市为研究对象,针对该地区高度集约化的温室大棚蔬菜生产对农业生产环境带来的压力,通过检测农田中的土壤微生物生态区系变化和特定污染物(重金属和有机磷农药)含量的变化,研究不同生产集约强度对农业土壤环境质量的影响。

1 材料和方法

1.1 供试土壤和植物体

供试土壤采自河北省邯郸市永年县大田和温室大棚,大棚取不同使用年限(1、10、20 a)。每块田取0~20 cm的表层土壤,所有土样均为7点采样后的混合样。同时采集对应农田上的植物体。

新鲜土样采集后拣去植物残体及石块等杂物后,分为两部分分别保存于4℃(供土壤微生物学性质和重金属含量测定)和-20℃(供有机磷农药含量测定)下;植物样本也分为两部分分别保存于4℃(供重金属含量测定)和-20℃(供有机磷农药含量测定)下。

1.2 测定方法及数据处理

1.2.1 微生物区系测定

采用稀释平板法测定土壤中细菌、真菌和放线菌菌落的个数^[8,9]。精确称取10 g新鲜土样,置于三角瓶中加入100 mL灭菌水制成土壤悬浊液,并逐级稀释至合适的稀释度(细菌、真菌、放线菌分别稀释至 10^5 、 10^4 、 10^5 倍)。取0.2 mL稀释液均匀涂于培养基上,置于室温培养,观察并计下平板上所生长的菌斑个数。其中细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用查彼克氏培养基,放线菌采用改良高氏1号培养基。每个土样做3个重复,3种微生物平板,各取3个不同的稀释度。

1.2.2 微生物碳量测定

采用氯仿熏蒸-培养的方法对土样中的微生物碳量进行测定^[8,9]。准确称取20 g新鲜土样于烧杯中,

置于真空干燥器中,干燥器内另放置除去乙醇的氯仿,抽气至氯仿沸腾,停止抽气,置于暗处继续熏蒸24 h。抽气除尽土样中的氯仿,取出土样,置于密封的广口瓶中培养。培养时,广口瓶内另放置10 mL $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NaOH吸收土样呼吸释放出的 CO_2 。10 d后,取出NaOH用 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的HCl滴定。每块土样做3个重复及1个空白(不用氯仿熏蒸)。按下式计算微生物碳量: $(X_1 - X_0)/K$,其中 X_1 为熏蒸土样的 CO_2 量, X_0 为空白土样的 CO_2 量, K 为常数,根据一般情况,本实验采用0.45。

1.2.3 重金属含量测定

土壤样品:依照国家标准方法《GB/T 17141—1997 土壤质量 铅镉的测定石墨炉原子吸收分光光度法》和《GB/T 17138—1997 土壤质量 铜、锌的测定火焰原子吸收分光光度法》,对风干后的土样进行四酸(盐酸、硝酸、氢氟酸和高氯酸)消解,将消解液定容至50 mL后,用原子吸收分光光度计(Z-5000)测定其中的重金属(铅、镉、铜、铬)含量。

植物样品:称取烘干并碾碎后的植物体进行两酸(硝酸和高氯酸)消解,将消解液定容至50 mL后,用原子吸收分光光度计(Z-5000)测定其中的重金属(铅、镉、铜、铬)含量。

1.2.4 有机磷农药(甲胺磷、甲拌磷、对硫磷)含量测定

甲胺磷、甲拌磷和对硫磷3种农药标样购于北京市陆桥技术有限责任公司。

依照国家标准方法《GB/T 14552—2003 水、土中有机磷农药测定的气相色谱法》和《GB/T 14553—2003 粮食、水果和蔬菜中有机磷农药测定的气相色谱法》分别提取和净化土壤和植物样品中有机磷农药。净化后的提取液用带5973IMSD检测器的Agilent 6890N GC测定,采用DB5-MS毛细管柱(30 m × 0.25 mm ID, HP)。程序升温,起始温度130℃,保持1 min,然后以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升至200℃,保持1 min,然后以 $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升至250℃,保持1 min。进样口温度220℃,检测器温度300℃。

1.2.5 数据处理

所有数据用Excel和SPSS软件进行统计分析。

2 结果和讨论

2.1 土壤微生物生态结构的变化

将3大区系微生物数量加和可得,随着种植方式由大田转为大棚,土壤中微生物总量随着大棚使用年

份的增加而迅速增加(如图 1 所示)。使用 1 a 的大棚土壤中,微生物总量与大田情况相当;而在使用 10 a 的大棚中,其土壤微生物总量已增至大田和 1 年大棚的 1.3 倍和 1.8 倍左右;20 a 大棚中土壤微生物总量则分别是大田、1 a 棚和 10 a 棚的 3.3 倍、4.8 倍、2.6 倍。

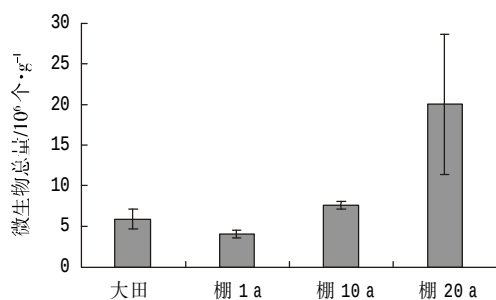


图 1 微生物总量变化

Figure 1 Change of total amount of microbes in the soils

类似的结果出现在 Biederbec^[10]的实验中。由于种植强度的增加,土壤中的生物化学和微生物的各项指标(包括土壤微生物区系、微生物总量和活性等)均有明显的提高。这可能主要是因为土壤中有有机质的积累,有利于微生物繁殖和积累。实验证明,大棚使用年限越长,随着有机肥的大量施用,积累了大量的生物可利用碳和氮,加速土壤的熟化过程,为微生物活动提供良好的繁殖、竞争的生态环境^[11,12]。

同时,土壤中微生物区系结构发生了变化,方差分析的结果显示,细菌在大棚中的数量明显多于大田土壤,并且其增加的程度随着大棚使用年限的增加而显著增加,真菌则随着大棚的使用而减少(图 2),即细菌真菌比(B/F)上升。放线菌数量在大棚中随使用年限的增加而增加,20 a 棚中放线菌数量明显高于大田中的数量。

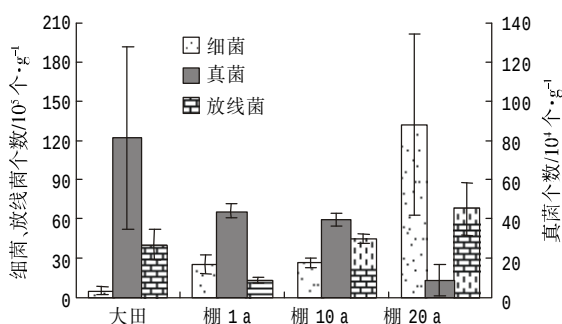


图 2 微生物区系变化

Figure 2 Change of microbial community structure

从大田向大棚种植方式转换之后,细菌的数量迅速增加,从大田土壤中的每克 5.0×10^5 个,到 1 a 和

10 a 大棚中的每克 2.5×10^6 个和 2.7×10^6 个,约为大田中的 5 倍,在 20 a 大棚中,每克干土中的细菌数量已上升至 1.3×10^7 个,为大田中数量的 25 倍多。放线菌也呈现增长趋势,大田土壤中放线菌的总量是每克 4.0×10^6 个,10 a 和 20 a 大棚中的数量已增至每克 4.5×10^6 个和 6.8×10^6 个。真菌的数量则呈现减少趋势,1 a 和 10 a 棚中的真菌数量约为大田中的 1/2,20 a 大棚中真菌数量仅为大田中的 1/9。

微生物区系结构的变化反映出土壤理化性质、养分和盐分状况的变化。不同的微生物适应不同的生存环境,微生物区系的变化首先可能取决于土壤的理化性质,如温度、湿度等^[13],土壤中的养分状况也会影响到微生物区系结构。研究证明,细菌和放线菌的数量与肥料养分呈正相关关系,真菌则表现为负相关关系^[14,15]。大棚中高强度的施肥造成大量肥分积累,这可能是细菌/真菌比(B/F)上升的原因之一。此外,大棚中高温高湿以及盐碱化的环境对真菌的生长表现出抑制作用^[16]。在河北的大棚中已经发现土壤盐分随着种植年限的增加呈增加的趋势^[17]。长期连作造成的盐分累积养分比例失调,抑制真菌的生长^[18],是造成 B/F 比上升的另一个原因。

B/F 比值是土壤微生物区系结构的一个重要的特征指标。在恶劣的土壤环境中,抗逆性好的真菌成为主要微生物种类,而细菌所占比例下降,这种土壤中 B/F 值低。在 B/F 值低的土壤中,真菌的增多会增加病虫害发生的可能性^[19],真菌型土壤被认为是地力衰竭的标志^[14]。而细菌则更适合在环境质量较高的土壤中生长,B/F 值高说明土壤的环境质量依然较高,腐熟程度高。一些研究的结果表明^[6,14],连作土壤中的微生物区系结构出现由“细菌型”向“真菌型”转化的趋势,但在本研究中,并未发现这样的问题,相反,B/F 值随大棚使用年限升高,微生物区系并未从“细菌型”向“真菌型”转化。这说明被研究的土壤还未发生严重的地力衰竭。

从大田转为大棚种植后,微生物不仅在数量和结构上发生变化,其质量也发生了变化。微生物碳量的测定结果显示,随着大田转为大棚后的使用年限的增加,土壤中的微生物碳量显著减少,10 a 大棚中土壤微生物碳量为 $0.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,仅为大田中 $0.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 的 1/2(图 3)。

Bunemann^[20]的研究显示出相似的结果,与连续的玉米耕作相比,轮作土壤有更多的土壤有机物和微生物碳量。Reichardt^[21]在他的研究中发现,与总微生物

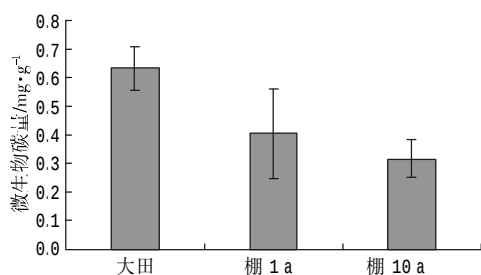


图3 土壤微生物碳量变化

Figure 3 Change of total microbial carbon in the soils

量的减少同时发生的还有养分压力的增大。在养分不足的土壤中,微生物加速死亡以释放大量的碳量,对土壤起到供肥作用,作为抵抗土壤养分的不足的一种方法缓解养分压力^[22]。在本研究中,大棚土壤的微生物碳量的较大田中下降,可能间接反映出土壤中养分压力的增加。

综上,可认为大棚的使用在短期(20 a)内并不一定对土壤环境造成明显的破坏,微生物数量和区系结构依然可能保持良好的状态,但微生物碳量可能下降并间接反映出土壤养分压力的增加。

2.2 土壤重金属和农药污染情况

重金属的测定结果显示,大棚土壤中的Cu含量均高于大田,但与大棚使用年限没有递变性,其他3种重金属在土壤中的含量与大棚使用年限未呈现明显的相关性(图4)。1 a棚中,Cr、Cd含量高于大田,Pb与大田含量相当。10 a棚的土壤中,Cu、Pb含量高于大田,但Cd含量比大田水平低;20 a棚中,Cd含量与大田相当,另外两种(Cr、Pb)均低于大田含量。

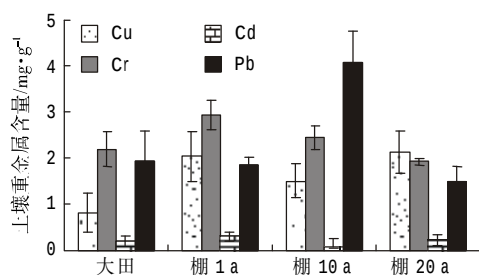


图4 土壤重金属含量变化

Figure 4 Change of heavy metals contents in the soils

与河北省土壤重金属背景值相比,大田和大棚土壤中的重金属含量,除Cd以外,其他3种重金属均在背景值的范围以内。与《GB15612—1995 国家土壤质量二级标准》相比,Cu、Cr、Pb 3种重金属含量都符合标准要求,而Cd严重超标。Cd的严重超标,可能与采样地长期污灌历史有关。

由于肥料(如无机P肥)和除草剂中带有一定量的重金属^[23],长期的大棚种植可能导致重金属的积累^[24]。而在本研究中,大棚土壤中重金属随大棚使用年限增加的积累并不明显。在对土壤重金属积累的研究中发现,农业土壤中重金属积累的主要来源是大气沉降、有机肥料(如人畜粪便)以及污灌^[25]。即使在高度农业生产的地区,土壤中重金属最主要的来源依然是来自交通工具的排放等工业原因^[26]。因此,短期内的集约化农业生产,并不会因为肥料和其他农业化学品使用的增加而带来显著的重金属积累。

根据采样地基本农户情况进行的调查得知,当地常用农药种类主要为有机磷农药,如甲胺磷、甲拌磷以及一些混合型农药,因此为测定土壤中的农药污染情况,有机磷农药被选为主要测定种类。结果显示,所测土壤和植物样品中甲胺磷、甲拌磷和对硫磷残留均未检出,该结果符合《GB 18406.1—2001 农产品质量安全无公害蔬菜安全要求》,这说明在被研究土壤中不存在有机磷农药的污染残留问题。

有机磷农药在环境中易降解、残留时间短。一般可以通过土壤吸附催化水解、光化学降解和生物降解等多种途径降解^[27],尤其是在高温、高pH条件下,有机磷农药在土壤中的水解速度加快^[28,29]。经检测,所采样地土壤的pH为7.7~8.3,属弱碱性土壤,有机磷农药在土壤中水解速率高,不易残留。再加上大棚中土壤温度高于大田,更有利于农药的水解。因而在被研究区域,由于所用农药种类不易残留,对土壤环境并未产生明显的污染。

综上,可认为在本研究中,并未发现由农业集约化带来的重金属和农药的污染问题。

3 结论

本研究为评价大棚内的集约化农业生产对土壤环境造成的影响,建立了如下图所示的指标体系(图5):

通过实验测定的结果和讨论,本研究认为:

(1) 短期(20 a)内的大棚集约化农业生产并不一定给土壤环境造成严重的破坏。微生物数量和区系结构均显示出良好的微生物生态环境。但微生物碳量出现下降的趋势,间接反映集约化的农业生产会导致土壤养分压力的增加。

(2) 短期(20 a)内的大棚集约化农业生产下对化肥和农药的高强度使用并不是土壤污染的主要来源。大棚中的重金属积累和农药残留与大田情况相比

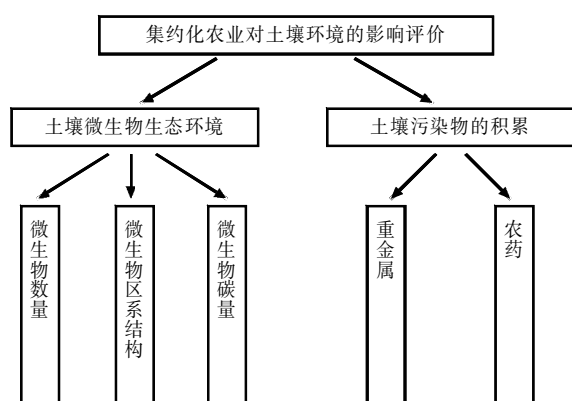


图 5 土壤环境评价体系

Figure 5 Assessment system for soil environment

均无明显增加,大棚种植并未直接导致土壤污染。

(3) 在土壤环境中,微生物作为农田生态系统的重要组成部分,对土壤环境压力的变化响应敏感,作为土壤质量评价中的指标之一,具有灵敏和准确的指示作用。

参考文献:

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2005[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [2] 焦 坤, 李德成. 蔬菜大棚条件下土壤性质及环境条件的变化[J]. 土壤, 2003, 35(2): 94-97.
- [3] Hati K M, Swarup A, Singh D, et al. Long-term continuous cropping, fertilisation, and manuring effects on physical properties and organic carbon content of a sandy loam soil[J]. Australian Journal of Soil Research, 2006, 44(5): 487-495.
- [4] Liu X B, Liu J D, Xing B S, et al. Effects of long-term continuous cropping, tillage, and fertilization on soil organic carbon and nitrogen of black soils in China[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2005, 36(9-10): 1229-1239.
- [5] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H, et al. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India[J]. Field Crops Research, 2005, 93: 264-280.
- [6] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119-121.
- [7] Fang H, Yu Y L, Wang X, et al. Dissipation of chlorpyrifos in pakchoi-vegetated soil in a greenhouse[J]. Journal of Environmental Science-China, 2006, 18(4): 760-764.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [9] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [10] Biederbeck V O, Zentner R P, Campbell C A. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(10): 1775-1784.
- [11] Lalonde R, Gagnon B, Chapman R A, et al. Soil microbial populations, activity, and community structure in continuous corn or forage systems under organic or inorganic fertilization in eastern Canada[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2005, 85(1): 27-38.
- [12] 周艺敏, 小仓宽典, 吉田彻志. 天津半干旱地区不同种植年限菜田土壤微生物变化特征的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 424-429.
- [13] Feng Y, Motta A C, Reeves D W, et al. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(12): 693-1703.
- [14] 封海胜, 万书波, 左学青, 等. 花生连作土壤及根际主要微生物类群的变化及与产量的相关[J]. 花生科技, 1999(增刊): 277-283.
- [15] Bittman S, Forge T A, Kowalenko C G. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(4): 613-623.
- [16] 李文庆, 杜秉海, 骆洪义, 等. 大棚栽培对土壤微生物区系的影响[J]. 土壤肥料, 1996, 2: 31-33.
- [17] 杜莲凤, 刘文科, 刘建玲. 河北省蔬菜大棚土壤盐分状况及其影响因素[J]. 土壤肥料, 2005, 3: 17-20.
- [18] 吴凤芝, 赵凤艳, 谷思玉. 保护地黄瓜连作对土壤生物化学性质的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1): 20-22.
- [19] 唐 咏, 梁成华, 刘志恒, 等. 日光温室蔬菜栽培对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报(自然科学学报), 1999, 30(1): 16-19.
- [20] Bunemann E K, Bossio D A, Smithson P C, et al. Microbial community composition and substrate use in a highly weathered soil as affected by crop rotation and P fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 889-901.
- [21] Reichardt W, Mascarina G, Padre B, et al. Microbial communities of continuously cropped, irrigated rice fields[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(1): 233-238.
- [22] 王 珊, 李廷轩, 张锡洲, 等. 设施土壤中微生物数量及其生物量碳的变化研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(4): 198-202.
- [23] Mortvedt J J. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers[J]. Fertilizer Research, 1996, 43(1-3): 55-61.
- [24] 李德成, 花建明, 李忠佩, 等. 不同利用年限蔬菜大棚土壤中微量元素含量的演变[J]. 土壤, 2003, 35(6): 495-499.
- [25] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. The Science of the Total Environment, 2003, 311: 205-219.
- [26] Moller A, Muller H W, Abdullah A, et al. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta[J]. Geoderma, 2005, 124: 63-71.
- [27] 付广云, 韩长秀. 有机磷农药及其危害[J]. 化学教育, 2005, 1: 9-10.
- [28] 方剑峰, 曾鑫年, 熊忠华, 等. 过氧化氢降解有机磷农药的研究 I. 降解性能及影响因素[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(1): 44-47.
- [29] 高明华, 梁载琪, 周湘梅. 甲胺磷生产废水处理实验研究[J]. 化工环保, 1999, 19(2): 69-74.