



# 现代生物技术在环境检测中的应用

## Application of Modern Biotechnology to Environmental Detection

朱江 陆贻通\* (上海交通大学农业环境生态研究所, 上海 201101)

Zhu Jiang Lu Yitong (Institute of Agriculture Environmental Ecology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101)

**摘要** 介绍了6种应用于环境检测的现代生物技术类型和技术原理, 主要包括生物酶技术、金标免疫速测技术、PCR技术、生物发光检测技术、生物芯片技术和生物传感器。综述了国内外相关研究的进展, 分析及探讨了这些技术的优点和存在的不足。现代生物技术应用于环境检测具有简单、快速、灵敏、原位、高通量的特点, 有着诱人的应用前景, 对环境保护具有深远的意义。

**关键词:** 环境检测 现代生物技术 分析化学

### 1 引言

随着生命科学、环境、新材料等科学的发展, 生物学、信息科学、计算机技术的引入, 环境污染分析手段进入了一个新的发展阶段。分析研究对象越来越多地选择了DNA、蛋白质、手性药物和环境毒物等与生命活动相关的物质。分析研究体系由简单转向复杂, 分析研究层次进入了单细胞、单分子水平和立体构象, 隶属于分析化学的环境检测与整个分析化学的发展趋势相一致。生物测定技术以其简单、快速、灵敏、特异性强、样品量少等优势而得到迅速发展, 应用生物酶技术、免疫技术、PCR技术、生物荧光标记技术、芯片技术、生物传感器等现代生物技术进行环境检测, 已经成为国内外科学工作者研究的热点。本文介绍了6种现代生物技术在环境检测中的应用。

### 2 生物酶技术

#### 2.1 生物酶抑制技术

生物酶抑制技术是利用环境污染物, 如农药、重金属等在体外对特定酶具有抑制作用的原理, 加入该酶催化的底物(显色剂), 显色剂是否显色以及显色程度反应了酶是否受抑制以及抑制的程度, 以此来判断检测环境污染物是否存在以及含量的多少。

目前, 国内外开发了建立在显色反应基础上的酶片、酶标签等速测产品, 酶片便携、易操作的优点, 使其成为较好的农药在线检测技术<sup>[1]</sup>。美国堪萨斯一研

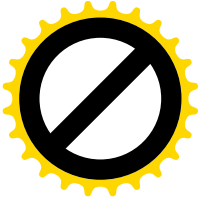
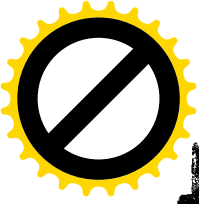
究所开发出一种称为农药检测器的“酶标签”(Engyme Tichet), 这种酶标签对乙酰胆碱酯酶(AchE)的抑制灵敏, 可用于测定水中有机磷和氨基甲酸酯类农药, 检测限为0.1~10mg/kg。中国台湾农业试验所郑允博士利用敏感的家蝇脑AchE建立生化法(即酶法), 并研制出与此法相匹配的专用分光光度计、专用软件, 用于测定蔬菜中的有机磷等剧毒农药, 灵敏度为mg/kg级。近来, 上海交通大学、上海昆虫研究所研制出简易、快速检测有机磷农药的酶片和生色基质片, 灵敏度为0.1~10mg/kg。

重金属对土壤酶(脲酶、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>酶、转化酶)的活性有一定的影响, 利用土壤酶对重金属的敏感性, 以酶的各项指标作为重金属的污染指数是可行的<sup>[2]</sup>。Sillanpää等<sup>[3]</sup>报道了利用重金属与EDTA或DTPA络合后对荧光酶的抑制作用, 以荧光菌放射荧光强度大小检测土壤中的重金属。

随着酶源的开发, 新的酶源取材方便、制备容易廉价<sup>[4]</sup>。基于酶抑制技术及其反应原理而发展起来的固定化酶快速检测技术、生物传感器快速检测技术、酶联免疫检测技术等也取得了飞速的发展<sup>[5]</sup>。其中酶固化技术不断提高, 国际专利Wo92/21779是一项采用固定化乙酰胆碱酯酶对农药残留快速测定的新技术, 通过把酶固定在一中特殊的、不会和其活性部位

第一作者朱江, 男, 1974年生, 现为上海交通大学在读硕士研究生。

\*通讯联系人, Ytlu@sjtu.edu.cn.



发生反应的载体上面,不仅可以排除杂质对酶活性的影响,使灵敏度提高 100 倍以上,而且还增加了酶的稳定性。

## 2.2 酶免疫测定技术

酶免疫测定技术是生物酶技术、免疫技术应用于环境检测领域的一门新技术,主要依据抗原和抗体之间的特异性反应来进行。

以环境污染物作为抗原,免疫动物获得特异性抗体,该抗体与抗原在动物体外也可以进行特异性的反应,引入一种酶作为示踪物,常用辣根过氧化物酶等以揭示微量抗原与抗体的免疫学反应进行情况。其中酶联免疫吸附测定技术(ELISA)使用最广泛,它将具高度特异性的抗原抗体反应结合酶对底物的高度催化效应,对受检样品中的酶标免疫反应的实验结果采用现代光学分析仪器进行光度测定。在 ELISA 检测过程中,酶催化具有高度的放大作用,许多种酶分子每分钟能催化生成  $10^5$  分子以上的产物,使测定更为灵敏、准确,检测极限达  $0.01 \sim 0.1 \text{ mg/kg}$  [6]。

目前,国内外已报道了杀虫剂、杀菌剂、除草剂等农药以及多氯联苯、抗菌素等污染物的酶联免疫分析方法[7-8],其中用于现场快速分析的酶联免疫试剂盒已商品化。Brummel[9]报道了一种光纤传感器,该传感器以竞争性免疫为理论基础,以荧光酶作底物,对环戊二烯类杀虫剂的检测极限达  $\mu\text{g/kg}$  级;Harris[10]介绍了抗体与大分子蛋白或微小的有机配体相络合用于对环境化妆品、食物中有机污染物的检测。

将 ELISA 应用于对特定微生物的跟踪检测和菌种的鉴定和量化,其灵敏性可与 PCR 技术相比,免疫荧光技术与激光共聚焦扫描相结合特别适用于对复合的环境样品的检测[11]。Hammock 等[12]报道了以竞争性免疫技术和非竞争性免疫技术,通过酶的级联放大检测环境中高毒重金属汞、铅、镉、生物污染物和其他有害分子,检测极限达  $\mu\text{g/kg}$  级或  $\text{ng/kg}$  级。此外,上海交通大学以竞争性免疫为理论基础,开发研制了呋喃丹酶联免疫试剂盒用于检测蔬菜中的呋喃丹残留,此技术具有快速灵敏、特异性强和适于现场大量样品分析等优点。

## 3 金标免疫速测技术

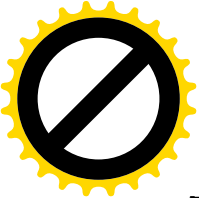
速测试纸条技术是 20 世纪 90 年代以来在单克隆技术、胶体金免疫层析技术和新材料基础上发展起来的一项新型速测技术。将特异性的抗原(或抗体)以条带状固定于硝酸纤维素膜,将胶体金标记试剂吸附

到结合垫上,当待测样品加到试纸条一端的样品垫后,通过毛细作用向前移动,溶解固化在结合垫上的胶体金标记试剂后相互反应,再移动至固定的抗原(或抗体)的区域时,待测物和金标试剂的复合物又与之发生特异性结合而被截留,聚集在检测带上,通过可目测的胶体金标记物得到直观的显色结果。

目前,该技术在医学检测和毒品检测中已得到广泛应用[13]。美国泛普公司毒品类金标一步法快速检测试条,检测极限为  $200 \text{ ng/mL}$ 。国内报道了将该技术应用于对环境中饲料添加剂残留、牛奶中抗生素残留进行检测的有关研究。上海交通大学已将该技术成功应用于农药的快速检测,以竞争性免疫为理论基础,用胶体金标记特异性抗体并固化在玻璃纤维上,样品中的农药与固化在硝酸纤维素膜上的抗原与胶体金标记抗体竞争性的结合,以固化抗原的检测点是否显色及显色的深浅来判断是否有农药及农药的含量。该方法具有特异性强、交叉反应极少、稳定性高、批内及批间差异小、结果判断明确、检测时间快的优点,用于环境检测,其准确性和特异性与 ELISA 方法相同,灵敏度稍低,检测极限为  $0.01 \sim 0.25 \text{ mg/kg}$ 。但以胶体金作为标记物代替酶,降低了对温度的依赖性,且操作简便、成本低廉,特别适合对环境污染物的在线检测。

## 4 PCR 技术

PCR 技术(Polymerase Chain Reaction)即聚合酶链式反应,是在体外合成特异性 DNA 片段的方法。PCR 技术的应用提高了在分子水平上分析 DNA 突变的速度,一般说来应用 PCR 技术检测环境中的生物污染(病原菌、病毒及其他一些有害生物[14]),主要包括模板核酸的提取,PCR 扩增靶序列,PCR 扩增产物的检测与分析。Niedrhauser[15]利用 PCR 技术检测了食品中易导致人类脑膜炎的单核细胞生利斯特氏菌,分析只需几个小时便可完成,大大缩短了分析周期(传统方法需 10d)。Llop 等[16]利用 PCR 技术检测了植物中致病菌,该方法与苯酚-氯仿标准检测方法相比更加灵敏,对穗状花序样品中致病菌的检出达  $10^2 \sim 10^3 \text{ cfu/mL}$ 。PCR 技术的高灵敏度和专一性可用于检测大量平行的样品,藉由 PCR 和其他的已知方法相结合扩增特定的基因序列,用于检测环境中具有传染性的寄生性孢菌[17];不仅如此,PCR 技术还可以跟踪检测环境中基因工程菌株,测定基因表达和根据基因序列的诊断来检测环境中的特异性种群[18]。随着 PCR 技术不断发展,又相继建立了套式 PCR、反向



PCR、复式PCR等。

## 5 生物发光检测技术

自然界中许多生物具有发光现象,如细菌、真菌、昆虫等,发光菌是一类能运动的革兰氏阴性兼性厌氧杆菌。从环境中选择自身具有发射荧光特性的细菌作为指示菌,土壤中重金属的存在会影响该指示菌的生理指标,以其放射荧光的强度大小作为环境检测的指标<sup>[19,20]</sup>。该发射荧光特性的细菌也可以用于对土壤中樟脑球和其他混合毒物的检测<sup>[21]</sup>。

目前,国外报道了以荧光细菌作为敏感材料的生物传感器用于检测污泥中的重金属 Zn 和 Cu,结果灵敏直观<sup>[22]</sup>。在这些发光菌中催化生物发光反应的酶称为荧光脂酶,而编码荧光脂酶的生物发光基因—lux 基因已全部得到克隆和表达<sup>[23]</sup>。一些细菌长期生活在含某种化学物质的自然环境中,产生了适应现象,细菌基因组中含对该化学物具有特异性的诱导基因及降解基因。将这些基因与 lux 基因融合构成重组体,在特异的化学物存在时产生诱导作用,启动诱导基因并导致 lux 基因表达。构成的基因工程菌可用来检测环境中存在的蔡、PCB、汞、苯系物、氮等特异的化学污染物,由重组体的发光与否就可得知某化学物是否存在<sup>[24]</sup>。借助于适宜的载体将重组体导入宿主细菌,将荧光基因作为一报告基因,可将其导入应用基因工程微生物中,从而只需通过对光线的检测就可对微生物在环境中的生长、活性、分布等进行实时在线监测。Glover<sup>[25]</sup>将控制萤火虫荧光脂酶的 lux 基因与淡水藻青菌基因融合,通过在线监测藻青菌的发光强度快速检测环境中的除草剂。

与常规检测方法比较,生物发光检测技术灵敏度高、特异性强、检测快速方便。如今生物发光检测技术正与生物传感器技术、细胞固定化技术以及计算机技术紧密结合,内容逐步完善,自动化水平也日趋提高<sup>[26]</sup>。

## 6 生物芯片技术

生物芯片技术是 20 世纪 90 年代中期以来影响最深远的重大科技进展之一,其中基因芯片进行的表达水平检测可自动、快速地检测出成千上万个基因的表达情况。在环境污染物的影响下,敏感生物个体细胞的基因表达丰度会发生相当程度的变化,分析基因组 DNA 中的变化序列以筛选出 DNA 突变和多态性变化,寻找与正常表达的差异,单独地或混合地确定

毒物质对敏感生物基因水平上的影响以及影响的程度,以此来检测环境中的污染物及其生物效应。

根据芯片上固定的样品探针不同,生物芯片可分为基因芯片、蛋白质芯片、芯片、组织芯片。上海交通大学程金平、王文华<sup>[27]</sup>通过分析即刻早期基因(IEG)在甲基汞神经毒性机制中的作用,得出即刻早期基因能作为甲基汞神经毒性检测和评价的效应指标,并指出利用基因芯片技术能够初步筛选出甲基汞对大鼠脑基因表达影响的相关基因。Fritzsche<sup>[28]</sup>用纳米金标记 DNA-芯片检测环境中的污染物,芯片耐用、可靠、具备更好的稳定性和专一性,而且转化为光学信号时受环境影响较小、易操作。此外,Rudolph<sup>[29]</sup>报道了一种新颖的可提供潜在的、高通量信息的细胞芯片和组织芯片,与基因芯片和蛋白质芯片相比,可以提供更多的、复杂的应答信息,为应用于环境检测提供了可能。

目前,环境科学家已经意识到将生物芯片技术引入环境科学研究中的重大意义:“环境基因学”已成为国外基因学研究中的新概念和新方向,而生物芯片正是研究“环境基因学”的重要手段,能快速反映环境因素对人类基因的影响。国内这方面的工作报导很少,但科技部和国家自然科学基金委都已经将此列为前沿课题项目。

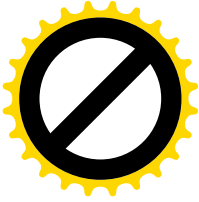
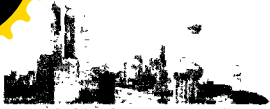
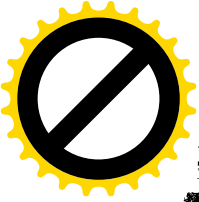
## 7 生物传感器

随着生物技术及电子科技的迅速发展,生物传感技术已逐渐形成一个新兴的高科技领域。由于传感器具有高度自动化、微型化与集成化的特点,能提供有效而快速的分析手段而代替传统的实验室技术,从而为生物医药、环境监测、食品工业等领域带来新的技术革命。近年来利用生物传感器检测环境中的污染物,特别是用于现场检测日益为人们所青睐。

生物传感器是由分子识别单元(敏感材料)和转换器 2 个部分构成,以生物分子去识别被测目标,然后通过信号系统将生物分子所发生的物理或化学变化转化为相应的电信号予以输出放大,从而得到检测结果。根据敏感材料的不同相应地分为酶传感器、微生物传感器、细胞传感器和免疫传感器。在前述生物酶技术、免疫技术的基础上,将酶与底物或金标试纸条显色反应的颜色深浅转化为电信号放大,进一步缩短了检测时间,提高了灵敏度,具有成本低、操作简便、测定速度快等优点。

Reshetilov<sup>[30]</sup>报道了生物化学传感器在环境检





测中的应用。其中的电位型传感器,根据离子选择性膜两边电解质浓度或组成的差异所产生的电位差来测定物质浓度,用固定酶的 pH 电极检测农药残留;安培型生物传感器是将生物酶固定到灵敏的感光膜上检测铵离子和尿素;此外还介绍了以假单胞菌为指示的微生物传感器检测环境中残留的萘、联苯和安息香酸盐。Nogue<sup>[31]</sup> 用一种固定了醛脱氢酶的酶传感器检测有机磷和氨基甲酸酯农药,其最小检出量为 9 ng/kg,而传统方法的最小检出量为 400 ng/kg。Turdean<sup>[32]</sup> 开发出一种以固定酶抑制为基础的生物电极电流计。电流计的针型生物电极由一个存在于用铂-铱金属丝分隔开的聚四氯乙烯中的空腔组成,聚合体通过该空腔捕获乙酰胆碱酯酶,该生物电极可选择性地检测低浓度有机磷农药。

Kim<sup>[33]</sup> 将荧光细胞与中国大颚鼠的卵细胞重组的细胞序列(EFC-500 和 KFC-A10)用于检测环境中的丝裂霉素 C、 $\gamma$ -射线、2,2-对羟基丙烷、尼龙降解物、福美锌、甲基溴化物等通常对哺乳动物细胞有害的毒物。与经典的细菌传感器相比,该方法对化学药物的检测灵敏度提高了 2~50 倍,可以监测环境中的毒物对哺乳动物内分泌的影响。Stenger<sup>[34]</sup> 将便携的细胞传感器中活细胞的生理变化转化为电信号、光学信号,可适用于检测环境中的毒药、病原体和其他毒物,并预测了随着功能基因工程和芯片技术的发展,细胞传感器将应用于环境毒物检测和评价等更广泛的领域。此外,基于 PCR 技术、芯片技术制作的生物传感芯片、各种生化分析仪研制刚刚开始,但以其体积小、便于携带、分析速度快、准确灵敏等诸优点,在生物技术应用环境检测中将得到更快发展。

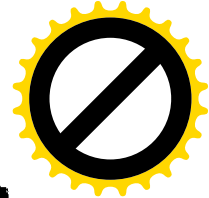
## 8 结语

迄今为止,现代生物技术用于环境检测,由于受到生物材料和方法本身的限制,都存在一定的局限性。如生物酶抑制技术保证了对污染物检测的特异性和敏感性,实现了在线单份样本检测,但必须要求开发廉价的酶源,并有待进一步提高酶的固定技术;ELISA 的灵敏度相对其他方法较高,但对温度的依赖性较强,不便于在线检测;金标试纸条的开发解决了这个问题,但同时该方法和 ELISA 一样受特异性强的抗体的限制,只能检测单一的污染物;生物发光检测技术受荧光生物体本身生理状况的限制较大而影响方法的重复性;PCR、芯片技术的应用在于它的信息量远高于其他技术,但这需要建立大量的有关毒理基

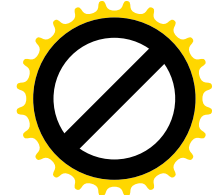
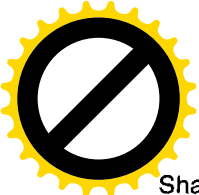
因信息库。依托以上技术,便携、灵敏、快速、稳定的生物传感器是将来的发展趋势。

## 9 参考文献

- 1 陆贻通,周培,李振红.生物酶技术在农药残留快速检测中的应用进展.上海环境科学,2001,20(10):467~470.
- 2 和文祥,朱铭.土壤酶与重金属关系的研究现状.土壤与环境,2000,9(2):139~142.
- 3 Sillanpää, Mika, Oikari, et al. Assessing the impact of complexation by EDTA and DTPA on heavy metal toxicity using microtox bioassay. Chemosphere, 1996,32(8):1485~1497.
- 4 钟树明,袁东星,金晓英,等.植物酶抑制技术用于检测蔬菜中的有机磷及氨基甲酸酯类农药残留.环境化学,2002,21(2):189~193.
- 5 Seger A, Eremin. Fluorescence polarization immunoassays for determination of pesticides and biologically active compounds in food safety and environmental monitoring. Food Technol Biotechnol, 1998,36(3):235~143.
- 6 周培,陆贻通.农药残留的酶联免疫检测技术进展.环境污染与防治,2002,24(4):248~251.
- 7 Kim Yoo Jung, Cho Young Ae, Lee Yong Tae, et al. Synthesis of haptens for immunoassay of organophosphorus pesticides and effect of heterology in hapten spacer arm length on immunoassay sensitivity. Analytica Chimica Acta, 2003, 475(1~2):85~96.
- 8 Abad Antonio, Moreno, Maria Jose, et al. Development of Monoclonal Antibody-Based Immunassays to the N-Methylcarbamate Pesticide Carbofuran. Agricultural and Food Chemistry, 1999,47(6):2475~2485.
- 9 Brummel K E, Wright J, Eldefrawi M E. Fiber optic biosensor for cyclodiene insecticides. Water Research, 2002,36(1):189~195.
- 10 Harris, Bill. Exploiting antibody-based technologies to manage environmental pollution. Trends in Trends in Biotechnology, 1999,17(1):290~296.
- 11 Schlöter M, Aßmus B, Hartmann A. The use of immunological methods to detect and identify bacteria in the environment. Biotechnology Advances, 1995,13(1):75~90.
- 12 Hammock, Bruce, Szurdoki Feren, et al. Enzyme amplified, complex linked, competitive and non-competitive assays for the detection of mental ions. Biotechnology Advances, 1996,14(4):545~546.
- 13 Lev A, Dykman, Vladimir A, et al. Use of the dot-immunogold assay for the rapid diagnosis of acute enteric infections. FEMS Immunology and Medical Microbiology, 2000,27:135~137.



- 14 Mo X-T, Zhou Y-P, Lei H, et al. Microbalance-DNA probe method for the detection of specific bacteria in water. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002,30(5):583 ~ 589.
  - 15 Niederhauser C. Use of Polymerase chain reaction for detection of *listeria monocytogenes* in food. *Appl. Environ. Microbiol*, 1992,58(5):1564 ~ 1568.
  - 16 Llop, Pablo, Caruso, et al. A simple extraction procedure for efficient routine detection of pathogenic bacteria in plant material by polymerase chain reaction. *Journal of Microbiological Methods*, 1999,37(1):23 ~ 31.
  - 17 Wiedenmann, Albrecht. Selective detection of viable and infectious *cryptosporidium* oocysts with the help of the polymerase chain reaction (PCR). *Biotechnology Advances*, 1997,15(2):443.
  - 18 Chandbry G R. Novel. method for monitoring genetically engineered microorganisms in the environment. *Appl. Environ. Microbiol*, 1989,55(5):1301 ~ 1304.
  - 19 Dimitri, Deheyn. Alteration of bioluminescence in *Amphipholis squamata* (Ophiuroidea: Echinodermata) by heavy metals contamination: a field study. *The Science of the Total Environment*, 2000,247:41 ~ 49.
  - 20 Elke Rabbow. SOS-LUX-and LAC-FLUORO-TEST for the quantification of genotoxic and/or cytotoxic effects of heavy metal salts. *Analytica Chimica Acta*, 2002,456:31 ~ 39.
  - 21 Armin Heitzer. Physiological considerations of environmental applications of lux reporter fusions. *Journal of Microbiological Methods*, 1998, 33:45 ~ 57.
  - 22 Amar M, Chaudri. Response of a *Rhizobium*-based luminescence biosensor to Zn and Cu in soil solutions from sewage sludge treated soils. *Soil Biochemistry*, 2000,32:383 ~ 388.
  - 23 William L, Hill Russell T, Colwell Rita R. Detection of luciferase gene sequences in nonluminescent bacteria from the Chesapeake Bay. *FEMS Microbiology Ecology*, 2000,33(1):27 ~ 34.
  - 24 HeitzerA, Malachowsky K, Thonnard J, et al. Optical biosensor for environment on-line monitoring of naphthalene and salicylate bioavailability with an immobilized bioluminescent catabolic reporter bacterium. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994,60(5):1487 ~ 1494.
  - 25 Shao C Y, Howe C J, Porter A J R, et al. Novel Cyanobacterial Biosensor for Detection of Herbicides. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002,68(10):5026 ~ 5033.
  - 26 Steiberg S M, Poziomek E J, Englemann W H, et al. Bioluminescent bioreporter integrated circuits novel whole-cell biosensors. *Trends Biotechnol*, 1998, 16:332 ~ 338.
  - 27 程金平, 王文华. 甲基汞神经毒性检测和评价效应指标-即刻早期基因研究. *上海环境科学*, 2002,21(9):560 ~ 563,576.
  - 28 Fritzsche W. DNA-gold conjugates for the detection of specific molecular interactions *Reviews in Molecular. Biotechnology*, 2001,82(1):37 ~ 46.
  - 29 Rudolph, Alan S, Reasor, et al. Cell and tissue based technologies for environmental detection and medical diagnostics. *Biosensors and Bioelectronics*, 2001,16(7 ~ 8):429 ~ 431.
  - 30 Reshetilov A N. Models of biosensors based on principles of potentiometric and amperometric transducers: Use in medicine, biotechnology, and environmental monitoring (Review). *Prikladnaia Biokhimiia Mikrobiologiya*, 1996,32(1):78 ~ 93.
  - 31 Noguer T, Leca B, Jeanty G, et al. Biosensors based on enzyme inhibition: Detection of organophosphorus and carbamate insecticides and dithiocarbamate fungicides. *Field Analytical Chemistry and technology*, 1999,3(3):173 ~ 178.
  - 32 Turdean G L, Popescu I C, Thevenot D R. Sensitive detection of organophosphorus pesticides using a needle type amperometric acetylcholinesterase-based bioelectrode. *Thiocholine electrochemistry and immobilised enzyme inhibition. Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 2002,17(2): 107 ~ 115.
  - 33 Kim E J, Lee Y, Lee J E, et al. Application of recombinant fluorescent mammalian cells as a toxicity. 2nd World Water Congress: Environmental Monitoring, Contaminants and Pathogens. *Water Science & Technology*, 2001,46(3):51 ~ 56.
  - 34 Stenger, David A, Gross, et al. Detection of physiologically active compounds using cell-based biosensors. *Trends in Biotechnology*, 2001,19(8): 304 ~ 309.
- 责任编辑 王 芬 (收到修改稿日期: 2003-06-02)
- 
- (上接第 716 页)
- 10 Lee R Peyton, Paul R Schroeder. Field verification of HELP model of landfills. *Journal of Environmental Engineering*, 1988,114(2):247 ~ 269.
  - 11 Chris Zeiss. Moisture flow through municipal solid waste: patterns and characteristics. *Journal of Environmental System*, 1992 ~ 1993,22(3):211 ~ 231.
  - 12 Dean K Wall, Chris Zeiss. Municipal landfill biodegradation and settlement. *Journal of Environmental Engineering*, 1995,121(3):214 ~ 224.
  - 13 Chris Zeiss, Mark Uguccioni. Modified flow parameters for leachate generation. *Water Environment Research*, 1997,69(3):276 ~ 285.
- 责任编辑 钟月华 (收到修改稿日期: 2003-06-06)



hot point among the countries. On the basis of analyzing the Trade Market of CO<sub>2</sub> emission right, the article pointed out that the market will promote higher development of relative service and market establishment in Britain and Japan, which is valuable to be concentrated and appreciated.

**Key words:** Effect of greenhouse gases  
CO<sub>2</sub>  
Kyoto Protocol  
Trade of allocated permits  
Reduction project

**Environmental Pollution and Control Countermeasure  
of Residential Quarter Refuse Compressing site**

Xue Wenzhen  
Gan Xianhui  
(Changning District EPB, Shanghai 200050)  
Wang Yonghui  
(School of Environmental Science and Engineering,  
Donghua University, Shanghai 200050)

Illustration on the actual significance of installing the compressing site of domestic refuse at residential quarter, analysis on the pollution of wastewater, effluvium and noise caused by compressing site, and forecasting their effects were presented. At last, brought forward the reasonable suggestion of pollution control countermeasures.

**Key words:** Residential quarter  
Domestic refuse  
Compressing site Effluvium,  
Forecast

**Study Progress on Mathematical Models of Moisture  
Transmission in Landfills**

Qu Xian  
He Pinjing  
Shao Liming  
(State Key Laboratory of Pollution Control &  
Resources Reuse, Tongji University,  
Shanghai 200092)

The rate of leachate production and the leachate quality are greatly influenced by the moisture transmission in landfills. According to bioreactor landfill, it is the key work to control the moisture distribution in landfills. The paper reviewed the study progress on mathematical models of moisture transmission in landfills, discussed several problems in the models and put forward some proposals for further research in the future.

**Key words:** Moisture transmission  
Mathematical model  
Bioreactor landfills

**Application of Modern Biotechnology to  
Environmental Detection**

Zhu Jiang  
Lu Yitong  
(Institute of Agriculture Environmental Ecology,  
Shanghai Jiaotong University,  
Shanghai 201101)

The principles and classification of modern biotechnology application to the study of environmental detection have been reviewed and introduced, and the advantages and disadvantages of these techniques have also been summarized. These methods are simple, rapid, sensitive, detect on line and high through put test. This review showed that they are very meaningful for environmental protection.

**Key words:** Environmental detection  
Modern biotechnology  
Analytical chemistry

**Design on Test System for Exhaust Pollutants  
from Light-duty Gasoline Vehicle under  
Short Transient Driving Cycle**

Yao Shengzhuo  
Liu Zhaodu  
Qi Zhiqian  
(National Lab. of Auto Performance and Emission Test,  
Beijing Institute of Technology,  
Beijing 100081)

The test system of VMAS developed by Beijing Jinkaixing Technology Co., Ltd. and Beijing Institute of Technology is the first vehicle pollutants test system based on mass measurement in China, which meets the requirements of "Emission standard for exhaust pollutants from light-duty gasoline vehicle under short transient drive cycle". Owing to its simple test method, perfect testing results and scientific method for emission cut-point settings, so that it will do great contribute to reduction of vehicle pollutants and improvement of air quality.

**Key words:** Light-duty gasoline vehicle  
Mass measurement  
Short transient drive cycle  
Emission  
VMAS equipment