

基础知识

昆虫数字化博物馆的建设^{*}杨红珍^{1,2} 沈佐锐^{1**} 刘芳¹ 张建伟¹ 赵若琼¹

(1. 中国农业大学昆虫学系 北京 100094 2. 北京自然博物馆 北京 100050)

Design of the insect digital museum. YANG Hong-Zhen^{1,2}, SHEN Zuo-Rui^{1**}, LIU Fang¹, ZHANG Jian-Wei¹, ZHAO Ruo-Qiong¹ (1. *Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100094*; 2. *Beijing Museum of Natural History, Beijing 100050, China*)

Abstract Digitalized museums are the important icon of the modernization of museums. While foreign museums have started the digitalized construction since 90s, those in China have begun relatively late, but faster in the development. Every local and foreign digitalized insect museum is unique, some of them focus on pictures, some focus on the knowledge of insects and some focus on profits. In order to satisfy the curiosity and the desire for the exploration of the primary and secondary students, and in order to humor these active students, the website of the digitalized insect museum adopts the backstage management system including the animated web content management and the publication system. The division of the backstage management and the stage exhibition & connections of the website reflects the isolation of the web content and the expression which facilitates the renewal of the site. The site content includes the digitalization of the virtual exhibition hall, the insect academic exchange and knowledge collections, the interactive education of primary and secondary students and also the united preservation board of insect favours. For the data base, a powerful software providing high efficiency of storing and searching in numerous data bases of pictures, sound, animation and video is adopted.

Key words Insect, digital museum, creation

摘 要 数字化博物馆是博物馆现代化的一个重要标志。国外博物馆从 20 世纪 90 年代就开始进行数字化建设, 国内的博物馆数字化建设起步较晚, 同国外的先进技术相比还有一定的差距, 但发展较快。目前, 国内外已有的昆虫数字化博物馆各具特色, 有以展示昆虫图片为主的, 有以介绍昆虫知识为主的, 也有以营利为目的的, 但仍有不少需要改进的地方。为了满足中小学生的求知欲和探索欲, 适应他们喜欢自己动手操作和活泼好动的性格, 昆虫数字化博物馆网站建设在技术上应采用 J2EE 三层体系结构, 采用动态网站内容管理与发布系统构建的后台管理系统, 将昆虫数字化博物馆分成后台管理和前台展示与交互两部分, 从而实现网站内容与表现形式的分离, 加快网页更新的速度。在数据库建设上, 应采用功能强大的数据库软件, 以满足大量图片、声音、动画、视频等多种类型的数据库的有效存储和高效的检索功能。在网站的内容上应有实体展厅的数字化、昆虫学术交流与知识集锦、中小学生互动教育等板块。在网站的后期维护上应做到由全社会的昆虫爱好者共同维护和管理。

关键词 昆虫, 数字化博物馆, 建设

^{*}北京市科委科技新星计划(2004B33)、北京市财政专项(京财文指[2005] 177 号)资助。

^{**}E-mail: ipmist@cau.edu.cn

收稿日期: 2006-05-26, 修回日期: 2006-07-19, 接受日期: 2007-02-09

博物馆是集科学研究、标本收藏、科学教育为一体的综合性单位。随着社会的发展和“以人为本”理念的形成,博物馆的科学教育功能越来越处于突出的地位,也取得了很多可喜的进展。例如,在陈列展示中摆脱了原来以展板为主的说教式的展示形式,大量采用可操作模型、游戏、触摸屏等动手参与项目,使青少年在轻松愉快的活动中学到知识。另外,还增加了许多针对中小学生的科学教育活动,如探索角、冬令营、夏令营、专题讲座、导览手册等,以提他们学习的兴趣,使博物馆科学教育的导向逐渐由传统的“说教”转到“寓教于乐”中。但是,这些活动仅限于在博物馆内或者是在特定时间和特定地点的活动,而数字化博物馆正好弥补了以上不足,可以不受时间、地点、空间和身体状况等因素的限制,因而成为现代博物馆通过科学教育为公众和社会服务的一个重要手段。

昆虫是动物界种类和数量最多的一个类群,号称有1 000万种之多,数量更是无法估计。昆虫的形态、行为、生态的多样性,以及昆虫与人类之间的密切关系等等,都是自然历史博物馆中最吸引观众,特别是青少年观众的内容之一。因此,在国内外较大规模的自然历史博物馆的基本陈列中,一般都有一个独立的展厅来展示昆虫的知识内容。从科学的角度来说,昆虫学研究已有数百年的历史,取得了很多优秀的成果,也需要向群众宣传普及。随着数字化博物馆的逐渐普及,国内外的昆虫网站也在不断发展。它们有的获得了基金或者科研院所的支持,有的则是昆虫爱好者个人或者集体自发建立的。目前,我国的昆虫网站主要可以分为三类,有以展示昆虫图片为主的,有以介绍昆虫知识为主的,也有以营利为目的的。虽然这些昆虫网站各具特色,但与国外发达国家数字博物馆的先进技术相比,仍有不少需要改进的地方。总体来说,差距比较大的方面主要是网站结构和功能比较简单,更新速度较慢,静态的东西多,交互性差,人机互动少,而且内容也比较简单,这些都是需要尽快改进的地方。

1 数字化博物馆建设的趋势

在2001年国际博协的会议章程给出的博物馆定义补充说明里,首次把保存生活风俗遗产(living heritage)和数字创造行为(digital creative activity)纳入博物馆范畴内,这一补充内容正说明数字化技术对于博物馆已变得日趋重要,并逐渐在博物馆的各个领域得到研究和应用。目前,“数字化博物馆”还没有一个公认的定义,一般可以解释为传统博物馆将其长期积累的藏品以及在陈列、研究、宣传教育等领域的成果,系统地进行数字化并建立多媒体信息资料库,利用国际互联网络将信息传播出去,使世界各地的互联网用户不受时间、空间限制,自由地使用库中的各种资料信息^[2,4]。随着计算机的普及、网络通信速度的提高、数据库及其管理技术的不断改进,以及多媒体信息技术的迅速发展,使数字化博物馆的建设成为传统博物馆发展的必然趋势。数字化博物馆的建立已成为现代博物馆的一个重要标志。数字化博物馆改变了传统意义上博物馆的概念,不仅大大拓展传统博物馆的主要功能,甚至将对现行的博物馆体制和运营方式产生巨大的影响。数字化博物馆的优点主要体现在以下几方面:(1)内容更加丰富;(2)受众群体增多,观众可以不受时间、地点、空间、经费、身体状况的制约来“参观”博物馆;(3)采用交互模式,加快了交流和反馈速度;(4)信息组织形式从顺序排列的、线性的方式变为直接的、网状的组织形式;(5)信息储存主要形式从图板上的解说文字和视觉图像变成磁性介质上的电磁信号;(6)多种信息有机结合;(7)便于世界各地不同博物馆之间的交流;(8)开辟博物馆营销新途径^[2,4,6,8]。

国外的数字化博物馆建设起步较早。1993年,美国总统克林顿就提出在美国建设国家信息基础设施(National Information Infrastructure,简称NII),把数字化博物馆和图书馆列为重要的组成部份,大力进行研究和发。而在此之前的1992年,由美国电脑网络组织下属的图书馆研究组织以及加拿大文化遗产信息网络等群众

团体就组成了美国博物馆信息交换联盟(简称CIMI)许多大型的博物馆如英国自然史博物馆、美国斯密森研究院所属的多种类型的博物馆都加入了这个组织,此外还有一些在数字化博物馆技术上与资金十分雄厚的大公司参加,目前CIMI已设计并已制成1200万个资料供23个国家550博物馆、图书馆等机构使用。亚洲许多国家的博物馆都从这里获得数字化博物馆有关信息及资料,极大地加速了这一事业的崛起。目前,美国、加拿大、日本等国和欧盟国家的多媒体资料库及虚拟博物馆如雨后春笋般兴起^[3]。

就增强现代博物馆的科学教育功能考虑,自然应该采纳现代教育的新理论和新技术。在教育学习领域,电子计算机和互联网技术的出现以及广泛应用所带来的影响是具有跨时代的意义的,它不但在技术上极大地拓展了教育的时空界限,改变了传统的教育和学习方法手段,空前地提高了人们学习的兴趣、效率和能动性,而且引起了教育学习思想理论及教育学习模式的重大变革,产生了很多符合时代发展的新的网络远程开放教育教学思想、教学模式,从而促进全人类的知识教育与学习的飞速发展,有利于人类文明的普及和发展。现代教育学、心理科学和信息科学技术的综合和互相渗透,已成为教育发展和改革的强大动力;传统的教和学的模式正在酝酿重大的突破,教育面临着有史以来最为深刻的改革。这场教育的重大变革将对教育的思想、观念、内容和方法产生深刻影响,也将促进教育形式和学习方式的变化。教育信息化已成为今天国际化趋势,而且发展十分迅速。博物馆的数字化建设将是教育信息化大潮中的一个水源充沛的支流。同时,这过程之中数字虚拟技术的使用预示着一个新的文化传承的时代的到来^[10]。

我国的数字化博物馆起步较晚,比较早的数字化博物馆项目有故宫博物院网站([http//www.dpm.org.cn](http://www.dpm.org.cn))和南京博物院网站([http//e-museum.njmuseum.com](http://e-museum.njmuseum.com))。后来又陆续出现了北京自然博物馆网站([http//www.bnmh.org.cn](http://www.bnmh.org.cn))、秦

始皇兵马俑博物馆网站([http//www.bmy.com.cn](http://www.bmy.com.cn))、上海科技馆网站([http//www.sstm.org.cn](http://www.sstm.org.cn))和北京天文馆网站([http//www.bjp.org.cn](http://www.bjp.org.cn))等。从2001年起,教育部在《面向21世纪教育振兴行动计划》中央财政专项中设立了现代远程教育网上公共资源建设——大学数字化博物馆建设工程项目,配套给18所高校进行数字化博物馆的建设。2003年,中国农业大学在教育部的支持下建立了农业数字化博物馆([http//www.museum.cau.edu.cn](http://www.museum.cau.edu.cn)),笔者曾经参加昆虫分馆的建设。

2 国内外昆虫数字化博物馆

目前,国内外已经建设了许多昆虫网站。同样,国外的昆虫网站可以以insect image(www.insectimages.org)为代表,网站上不仅拥有大量清晰的图片,而且都准确地注明了相应的昆虫的学名及分类地位。浏览者通过浏览Department of Entomology Iowa University of Science and Technology(www.ent.iastate.edu)即可满足各种不同的需求。这些分类准确、知识全面的网络资源可以使浏览者十分方便地查找到相应内容。比较重要的昆虫网站还有KATYDID insect museum(www.insectmuseum.com)和butterfly/insect museum(www.hondurasbutterfly.com)等,它们都是其各自博物馆的官方网站。我国的昆虫代表网站有:昆虫相关知识十分详尽的中国科普博览—昆虫博物馆(www.kepu.net.cn/gb/lives/insect);拥有大量图片资料的北京昆虫网(www.bjbug.com);侧重于昆虫产业的中国昆虫网(www.cnkcw.net)以及介绍蝴蝶专题的蝴蝶世界(www.hudieworld.com)等。此外,还有不少昆虫爱好者建立的个人网站,如鹦鹉螺号昆虫驿站(www.nautilusowner.home.bj001.net)等。

虽然这些昆虫网站各具特色,但与国外发达国家数字博物馆的先进技术相比,仍有不少需要改进的地方。总体来说,差距比较大的方面主要是网站结构和功能比较简单,更新速度较慢,信息发布管理采用纯静态网页技术,搭建

网站应用各公司自己开发的中间件, 不仅不够规范, 而且交互性差, 人机互动少, 传输和通讯技术、数据库、展示手段等比较落后, 而且网站的内容和浏览方式也不够完善, 查询方式局限性较大, 这些都是需要尽快改进的地方(表 1)。

表 1 当前昆虫数字化博物馆先进技术与落后技术的比较

项目	先进技术	落后技术
网站信息发布管理	动态管理静态发布的网站后台技术	纯静态网页技术
搭建网站应用标准	J2EE 标准体系搭建的网络平台	各软件公司自己开发的中间件
传输	宽带接入	拨号上网
数据库	Sql server、DB2、Sybase、Oracle 等成熟和稳定的数据库软件	mysql、access 等数据库软件
查询方式	搜索引擎	站内查询
浏览方式	网上视频、网上直播、在线阅读	文字、图片报道或者本地下载
展示手段	虚拟现实、视景仿真及三维数字化技术	二维静态展示
通讯技术	WAP 技术(把 internet 技术应用至无线网络的传载体和设备)	有线网络
程序语言	Web2.0 技术(用户在网站系统内拥有自己的数据 例如 blog)	Web 1.0

一个优秀的昆虫数字化博物馆需要有几方面的要素。首先, 它的内容一定要满足客户端访问的需求, 就是说网站的内容一定要和网站的性质及功能紧密相连。什么类型的网站要实现什么样的功能, 就要通过合理内容的安排来进行充分的表达。这也就是通常所说的网站的实用性。优秀的昆虫数字化博物馆应做到页面活泼, 这样可以吸引更多的青少年爱好者; 在内容上首先要有实体博物馆的网上展示, 这样大家可以随时随地观看展览; 对昆虫图片增加学名能使大家对昆虫有正确的认识; 互动游戏也是必须的内容之一; 三维立体模型可以使观众对标本有一个全方位的认识, 甚至不用亲自察看标本实体; 结合中小學生课外教育活动的开展远程教育也是网站的优势之一。在技术上, 昆虫数字化博物馆一定做到灵活性、可靠性、可维护性和可拓展性并存。灵活性是指系统搭建平台要使用合理的应用体系结构, 使得整个系统具有良好的跨平台性, 可支持多种操作系统和数据库平台, 提高应用的移植性和兼容性。可靠性是指, 随着网站应用的深入, 访问量的增大, 网站的访问速度及出错率要得到保证。可靠性由 3 个方面组成: 物理线路的高可靠性, 网络硬件设备的高可靠性, 网络设备上还要提供冗余配置。可维护性和可拓展性是指系统管理员在对网站的维护过程中要做到操作简单, 提高内容的更新和管理的效率。同时在设计网站

的时候要考虑到网站未来的发展与延伸, 保证在以后的改版过程中做到简单方便。选择稳定成熟的软件产品和先进的开发技术手段是保证系统可维护性和可扩展性实现的关键。总之优秀的网站一定是最实用、最高效、最可靠和最合理的网站, 却未必是最先进和最大型的网站^[5, 7, 9 12]。

3 昆虫数字化博物馆的设计思路

博物馆的昆虫数字化建设应汲取已有网站的经验, 扬长避短, 并从博物馆现有的人力、财力出发, 以现代科学教育理论为指导, 充分考虑网络信息技术发展的现状和未来趋势, 做到页面活泼美观、内容丰富、图文声像动漫并茂、交互方便、更新速度快, 力争成为各年龄层次的昆虫爱好者都喜爱的昆虫网站。为达到上述要求, 昆虫数字化博物馆应该在网站制作技术、数据库建设以及网站内容涉及和网站后期维护上都有所创新。昆虫数字化博物馆网站建设在技术上应采用 J2EE 三层体系结构, 采用动态网站内容管理与发布系统构建的后台管理系统, 将昆虫数字化博物馆分成后台管理和前台展示与交互两部分, 从而实现网站内容与表现形式的分离, 加快网页更新的速度。在数据库建设上, 采用功能强大的数据库软件, 以满足大量图片、声音、动画、视频等多种类型的数据库的有效存储和高效的检索功能。在网站的内容上应有实

体展厅的数字化、昆虫学术交流与知识集锦、多媒体互动项目、三维立体模型、昆虫饲养实时播放、中小学课外教育活动及科学研究等内容,使观众在游戏和娱乐中学到知识。在网站的后维护上做到由全社会昆虫爱好者共同维护和管理。

3.1 网站建设的技术方案

网站应由后台管理系统、前台展示与交互系统和论坛组成。后台管理系统用于对网站的维护和管理。该系统是基于 java 的三层体系结构设计,分为界面层、中间层和数据层(图1)。应用该系统,用户可随时方便的更新网站内容,调整网站版式和风格,并且无需掌握复杂的技术,有效减轻网站维护人员的工作量,并加快网页更新的速度。

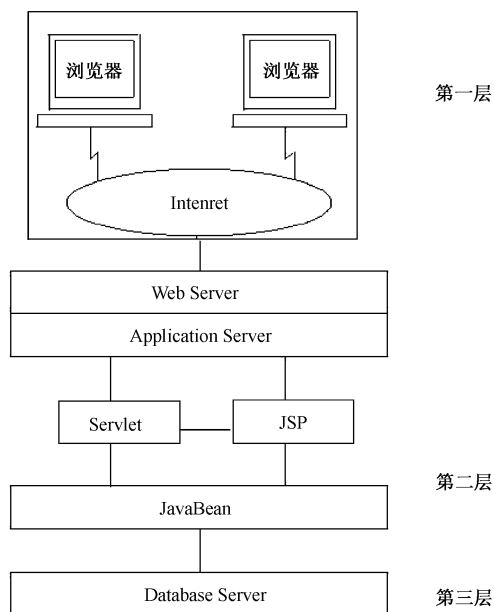


图1 网站后台管理系统结构图

前台展示与交互系统用于将数据库中的内容在页面中进行显示,包括文字、图片、多媒体等内容。昆虫数字化博物馆支持的交互应用有:网上投票,互动游戏,知识问答等。对于视频文件,昆虫数字化博物馆采用流媒体技术,用户可实时在线观看。论坛作为昆虫爱好者交流和信息发布的平台,同时具有搜集网站素材的任务。我们采用了一些安全措施,如内容审核

与敏感字检查等手段,保障论坛内容的合法性。

3.2 数据库建设

数据库是上述网站信息系统的核心,是整个系统所有资料的存放处,数据库功能强弱直接决定了信息系统的效果。根据数字化博物馆的特点,构造最优的数据库模式,建立数据库及其应用系统,有效地存储文字、图片、声音、动画、视频等多种类型的数据,充分满足用户的信息要求和处理要求。另外,正确地选择数据库应用软件和语言同样十分重要。软件更新速度非常快,因而原始资料的保存不能对某一软件依赖性太强,否则大量的数据会因软件的淘汰而无法使用^[1]。要尽可能考虑到以后的兼容性。一般来说,文件资料以纯文本格式保存,而图像资料则常用失真度小、通用性强的BMP格式保存^[3]。

对于拥有海量数据的数字化博物馆来说,一个高效的信息检索系统至关重要。因此,藏品的查询系统要简单、直观、易掌握。用户可根据自己的具体需要输入少量信息,就能很快地调出所需藏品和获取相应信息^[1]。同时,信息检索系统不但要有文字查询系统,而且还应具备多媒体检索功能,该区的搜索引擎要具有超文本联想浏览式查询、关键词查询和按多媒体的主题查询等功能,尽可能方便用户查询使用^[3]。

3.3 网站内容设计

昆虫数字化博物馆系统设计的目标是随时随地满足学生及大众昆虫学基本常识普及教育的需要,兼顾教师教学资料查询及研究人员研究需要,同时给昆虫爱好者提供查询浏览及网上讨论的功能。因此在内容的设计上总共分为以下几块:实体展厅的数字化、昆虫学术交流与知识集锦、多媒体互动项目、三维立体模型、昆虫饲养实时播放、中小学课外教育活动及科学研究等内容。

3.3.1 昆虫实体展厅的数字化:数字化博物馆的优势在于观众可以不受时间、地点、空间以及身体状况的限制,随时参观博物馆。昆虫数字化博物馆应把博物馆的实体展厅进行数字化并

放到网上,并制作昆虫展厅环视,访问者只需点击鼠标,足不出户就可以参观自然博物馆的昆虫展览,实现实体展厅与虚拟博物馆的有机结合,激发观众对昆虫知识的学习热情。

3.3.2 三维模型的设计和制作:在我们的日常展示和讲解中,有不少难点知识内容,如昆虫口器结构、胸足的基本构造等,都因为其结构的微小,以及涉及到复杂的空间想象能力以及思维能力而成为展示说明的难点^[3]。常规的展示手段对此是力不从心。而三维技术的应用则可以轻松地解决这一难题。

在昆虫虚拟博物馆中,我们使用了功能强大的三维软件 MAYA,建立了大量的三维模型。通过适当的技术,如 Web3D 产品展示,国外的数字化博物馆操作环境——Augmented Representation of Cultural Objects (ARCO) system 等^[1],实现了用户在显示屏中随意旋转、缩放三维模型的效果。再附以文字说明,给参观者直观、准确的信息,达到展示说明的目的,并能激发观者的兴趣。

3.3.3 昆虫养殖园及实时播放:昆虫数字化博物馆的服务对象主要是青少年,因此在传授科学知识的同时应该注重趣味性。如果仅仅通过文字和动画的描述来了解昆虫的行为和习性,会使浏览者感觉像读课本一样不够生动。我们可以利用网络的优势,将青少年喜爱的一些昆虫的饲养和管理进行现场实时直播和录像,添加在昆虫数字化博物馆中及时播放。这样不仅可以使青少年直观的看到昆虫的行为,还可以指导他们按照录像同步饲养,在娱乐的同时诱发他们探索昆虫世界的主动性。

3.3.4 中小學生課外教育活動:由於網路的傳輸範圍比較廣泛,因此數位化博物館的遠程教學基本上不受時間和空間的限制,只要用戶能夠接入互聯網,無論身在何地都可以享受博物館的信息資源。

传统博物馆由于受种种客观因素的制约,是不太可能在同一展示主题的设计和组织中兼顾到所有观众的不同学习要求的,通常的方式则是主要以面向一般性的观众进行教育材料的

设计和组织,而我们知道,不同的学生,学习特点和认知水平是不同的。这就要求我们在以同一教育主体开展教育活动时,要针对不同的学生设计和组织出系列化、多线程的教育活动。在这一点上,数字化博物馆恰恰有着无可比拟的优势。昆虫数字化博物馆在学生教育这个板块可提供幼儿、小学、初中及高中4个水平的互动教育内容,对于幼儿园小朋友,只要求他们认识身边的几种昆虫,互动教育的内容则涉及数学、美术、语言、自然等学科;对于小学生,要求他们了解什么是昆虫,昆虫纲的基本特征,与其他节肢动物的区别等;对于初中生,则要求他们掌握昆虫的生活习性、形态结构与功能的一致性、昆虫的行为等知识;而对于高中生,可以通过对果蝇等昆虫的学习,了解关于遗传学等方面的基础知识。这些课件可通过多媒体的互动形式展示出来,以便充分调动和启发学生的学习热情和探索欲。

3.4 全社会参与的科普活动

网站的活力在于内容丰富多彩,光靠专业人员搜集素材是不够的,应该依靠广大的昆虫爱好者提供。昆虫数字化博物馆网站可开设昆虫爱好者论坛,昆虫爱好者可以在论坛上充分发表自己在昆虫研究中的见解,交换昆虫资料,如拍摄的昆虫照片、录制的昆虫声音等。网站的主页上设有“论坛精华贴”和“昆虫贴吧”两部分,这实际上是网站的维护人员在对论坛内容进行审查后,将具有代表意义的帖子和图片发布到主页上,一方面可以调动内容提供者的积极性,吸引访问者的关注,另一方面,网站可以获得更加丰富的素材,丰富昆虫数字化博物馆的内容,成为由全社会共同维护和管理的网站,凡是对昆虫有兴趣的人都可以提供素材,不断扩充内容,吸引更多的观众。然而全社会参与管理和维护,又涉及网络安全等问题。因此,在现阶段只能实施比较容易维护的网络技术,避免网络安全问题比较敏感的操作。

另一个重要问题就是网站维护的费用。作为社会公益性项目,昆虫数字化博物馆每年的维护费用只能由事业费支出。但是,在事业费

紧张的情况下,商业化运作的模式也不能不考虑,否则这个网站就维持不下去。这是在未来的实践中不得不面对和解决的问题。

参 考 文 献

- 1 高伟. 中原文物, 2002, (2): 82~84.
- 2 甄朔南. 中国博物馆, 1999, (2): 14~17.
- 3 伟波, 曹文君. 复旦学报(自然科学版), 2001, 40(6): 649~652.
- 4 赵昆. 北方文物, 2002 (1): 94~97.
- 5 祝敬国, 李俊杰. 中国博物馆, 2001, (4): 45~53
- 6 李斌. 中国博物馆, 2004, (1): 5~12
- 7 陶洁, 李春晓, 梁赓, 柳军飞. 计算机系统应用, 2003, (8): 8~10.
- 8 陈宏京, 陈霜. 东南文化, 2000 (1): 95~99.
- 9 Kevin C., Gaea L., Chien F. C. *Comput. Educ.*, 2001, 36, 1~14.
- 10 Patel M., White M., Mourkousis N., Walczak K., Wojciechowski R., *et al. Intern. J. Digit. Lib.*, 2005, 5(3): 179~192.
- 11 Hong J. S., Chen B. H., Hung S. H., Hsiang J. *Intern. J. Digit. Lib.*, 2005, 5(3): 231~251.
- 12 David G., Ketan M. P. *Int. J. Digit. Lib.*, 2005, 5(5): 205~218.

土壤重金属向节肢动物的传递及影响^{*}

朱春香 季相华 蒋明星^{**} 程家安

(浙江大学昆虫科学研究所 杭州 310029)

Transfer of heavy metals from soils to arthropods and their impacts on the arthropod populations. ZHU Chun-Xiang JI Xiang-Hua, JIANG Ming-Xing^{**}, CHENG Jia-An (*Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

Abstract Heavy metals in soils can be transferred to arthropods through trophic chains and accumulated in these animals. The paper reviews the major factors affecting their transfer to and accumulation in arthropods and their impacts on arthropod herbivores, predators, parasitoids and detritivores at population and community levels. Despite the great advancement in this research area, further mechanisms responsible for metal transfer and accumulations are to be explored with emphasis on community ecology, behavior and physiology aspects of involved arthropods.

Key words arthropod, heavy-metal contamination, biotransfer

摘 要 土壤中重金属可通过食物链传递至节肢动物, 并在其体内累积。文章介绍影响重金属传递和积累的主要因子, 及重金属对植食性、捕食性、寄生性、腐食性节肢动物种群及群落的影响情况。建议对影响传递与累积的机制开展深入研究, 并重点从节肢动物群落生态学、行为学、生理学等角度开展更多工作。

关键词 节肢动物, 重金属, 生物传递

土壤中重金属离子可被植物根部吸附和吸收, 并传输至其地上部分, 通过食物链传递至植食性节肢动物及其捕食性、寄生性天敌。自1976年《Science》报道镍超富集(hyperaccumulating)植物(*Sedum albuminatum*)^[1]以来, 已相继发现多种对土壤重金属具超富集能力的植物, 显示出此类植物在重金属污染土壤的生物修复(bioremediation)领域广阔的应用前景^[2]。由于超富集植物的叶片或植株地上部

分镉(Cd)含量可高达100 mg/kg以上, 钴(Co)、铜(Cu)、镍(Ni)、铅(Pb)含量可达1 000 mg/kg以上, 锰(Mn)、锌(Zn)含量可达10 000 mg/kg以上^[3], 它们已成为评价土壤重金属向节肢动物

^{*} 863中国高技术研究发展计划项目(2004AA649050); 国家自然科学基金重点项目(30230070)。

^{**} 通讯作者, E-mail: mxjiang@zju.edu.cn

重登日期: 2006-12-08, 接受日期: 2007-01-10