

 国家自然科学基金研究成果专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

“十五”国家重点图书

农药环境化学

PESTICIDE ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

刘维屏 著



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

国家自然科学基金研究成果专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

“十五”国家重点图书

农药环境化学

Pesticide Environmental Chemistry

刘维屏 著

国家重大基础研究“973”项目
项目批准号：2003CB114400；2002CB410800

国家自然科学基金杰出青年基金项目
项目批准号：20225721

国家自然科学基金国际合作项目
项目批准号：30440420578

国家自然科学基金面上项目
项目批准号：30270767；39670420；29477274
国家自然科学基金研究成果专著出版基金项目
项目批准号：B0524007



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

农药环境化学/刘维屏著. —北京: 化学工业出版社,
2005. 10
ISBN 7-5025-7789-0

I. 农… II. 刘… III. 农药-环境科学 IV. TQ450.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 125713 号

国家自然科学基金研究成果专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

“十五”国家重点图书

农药环境化学

Pesticide Environmental Chemistry

刘维屏 著

责任编辑: 梁 虹

文字编辑: 晁景岩

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 29½ 字数 571 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7789-0

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序 一

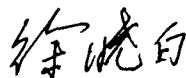
20 世纪 50 年代以来,世界主要发达国家的经济从复苏逐步走向高速发展,人工合成化学品的种类和数量也在迅猛增长,这对于改善人们的生活质量,提高人类社会物质文明和精神文明起到了不可磨灭的作用。农药是化学品中的重要种类,它在防治、杀灭、驱避或减少农作物的病虫草害和保证稳产高产方面起着极为重要的作用。然而十分遗憾的是,这些人工合成化学物质的大量长期施用而引起的对土壤、水、大气及生态环境的污染和影响也日趋严重,并受到国际社会的广泛关注。就我国而言,化学农药(原药)的年使用量已达几十万吨。这些化学品不仅有很高的急性毒性,而且已发现一些农药具有内分泌干扰和致癌、致畸、致突变性质,严重地威胁着人类的健康和生存以及国家的安全。因此,研究农药在环境中的行为,了解农药在环境中的变化规律就显得非常重要。

刘维屏教授从事农药环境化学研究持续 20 余年,其间他与美国、日本、意大利、法国等许多农药研究机构有着广泛的交流与合作,已在“PNAS”(《美国国家科学院学报》)、“Chirality”(《手性》)、“Environ. Sci. Tech.”(《环境科学与技术》)、“Environ. Toxic. Chem.”(《环境毒理学与化学》)、“J. Agric. Food Chem.”(《农业与食品化学学报》)等国内外学术刊物、学术会议上发表论文 160 余篇,许多研究成果已被有关国内外学者广泛引用。最近,他关于手性农药与环境安全的研究成果发表在国际一流学术刊物“PNAS”上,并被该刊选为首页介绍论文,美国的“Science”(《科学》)、“Environ. Sci. Tech.”(《环境科学与技术》)、“Science Daily”(《科学日报》)等世界主要科学期刊与媒体均对他的研究工作作了介绍和报道。本书是刘维屏教授及其研究组二十余年在这一领域研究的总结和归纳,是一部较系统阐述农药环境化学的专著。该书从有关化学热力学和化学动力学的基本理论及农药环境样品的近代分析实验技术出发,抓住农药环境污染的特点,对农药在土壤环境中的滞留、迁移,农药在环境中的水解和光降解,对农药环境生物化学的关系等方面的研究进行了全方位介绍与讨论,同时对农药在环境中的多介质循环模型作了论述,阐述了农药污染的生物及化学修复技术和综合防治措施。该书反映了国内外目前农药环境化学研究的最新进展,特别是对手性农药对映体环境行为差异性的研究方法与

成果作了全面、深入的介绍。全书的组成体现了作者长期围绕农药为对象研究的系统性和化学与生物学交叉的鲜明特色，它的出版必将在农药环境化学领域乃至环境化学领域产生积极而深远的影响。

该书名为《农药环境化学》，实际亦是一本较为系统的有机环境化学专著，对于正在从事环境化学及其相关研究的科研人员是一本好的参考书。

中国科学院院士
中科院生态环境研究中心研究员



2005年6月于北京

序 二

农药是用于防治农作物病虫害和其他有害生物的化学药剂的统称。它为人类温饱、增强社会稳定、促进人类健康作出了不可磨灭的贡献。人类的生存离不开农药,农药的历史是人类与农作物病虫害长期斗争的历史。随着社会的发展和农业现代化、集约化要求的不断加强,对农药的需求不断增加,在今后相当长的时间内,农药在提高单位面积产量中的作用仍是不能代替的。然而大量事实表明,化学农药的广泛使用已成为环境污染的重要因素之一。农药进入环境后会不断地从施药区向四周扩散,从而导致对水、大气、土壤及生物产生污染和危害,影响周围环境的安全。如以往稻田使用六六六时,会引起附近茶园污染;使用杀虫双或拟除虫菊酯类农药时,会引起附近桑园的污染。在南极与珠穆朗玛峰冰雪中检测出滴滴涕残留,是农田中挥发性农药通过大气层的扩散传递,经长距离运行和沉降的结果。不管怎样,农药对环境的影响问题长期以来一直是农药化学及环境化学工作者孜孜以求的问题。这方面的研究不仅可为人们提供农药在环境介质中滞留、迁移和转化的大量信息,从而使农药安全有效地发挥更大的作用,还可为进一步研究发展高效、低毒、低残留农药,采用有效措施防治和控制农药污染提供理论依据。

环境化学的研究内容和对象的基本框架已趋于成熟,农药环境化学的研究使其研究的对象更加具体化,内容更加丰富。农药通过农业应用主要进入农田,即土壤、水及植物的农田生态系统;通过城镇的防病、绿化、防虫等应用,它除了进入空气、地表水等系统外,还会直接与人接触。相对其他污染物而言,农药环境污染还有两大特点:一是农药通常是结构较为复杂的有机物,它们毒性大,均有生物活性;二是环境要素复杂,在气、水及土壤中均可能发生,而土壤环境就是一个具有生物活性的气、液、固多相体系,浓度低,作用机制复杂。所以农药环境行为研究长期以来一直是国内外环境科学与农业化学的研究热点。

刘维屏教授和他的研究组二十余年长期致力于农药环境化学的研究,在农药环境分析化学、环境污染化学、环境毒理学及农药环境污染修复等方面展开全方位研究,在国内外发表了大量科研论文(见附录1),培养了一批优秀人才。他在这方面培养的博士生中已有1人获“全国百篇优秀博士学位论文”奖(2002年),1人

获“全国百篇优秀博士学位提名论文”奖（2003 年），2 人获得美国化学会农用化学专业委员会杰出青年研究奖（2002 年、2003 年）。他自己亦获得了“全国优秀环境科技工作者”（1995 年）、“国家杰出青年基金”（2002 年）和美国化学会“年度化学家奖”（2003 年）。出版这本《农药环境化学》专著，必将对环境化学及农业化学领域的研究产生积极的影响。

中国科学院院士
浙江大学教授

陈子元

2005 年 6 月于杭州

前言

Preface

本书系国家自然科学基金资助项目（项目编号 B0524007）研究成果。

农药 (pesticide)，作为人类文明进步的产物，为解决人类温饱、增强社会稳定、促进社会发展作出了不可磨灭的贡献，对人类健康也起到了积极作用。尤其是 20 世纪三四十年代，有机合成农药的成功发现和生产，为控制害虫的危害提供了有效的手段。1939 年滴滴涕 (DDT) 的出现，既在农业害虫的防治中起过重要的作用，也为疾病的抑制起了重大作用，挽救了成千上万人的生命。它在当时被喻为“人类文明进步的福音”、“历史的功臣”，这是恰如其分的。滴滴涕的发现者瑞士化学家缪勒 (P. Müller) 亦获得了 1948 年诺贝尔生理学及医学奖。随着社会的发展和农业现代化要求的不断加强，对农药的需求不断增加，在今后相当长的时间内，农药在提高单位面积产量中的作用仍是不能代替的。目前，农林牧业的病虫害等的防治主要依靠化学农药。就中国而言，化学农药（原药）的年使用量已达几十万吨。然而大量的事实表明，化学农药的广泛使用也已成为环境污染的重要因素之一。农药所产生的环境问题和对人类健康的危害日益暴露出来，人们开始认识到这一问题的严重性。

人们期望地球在阳光照射下闪烁着斑斓色彩的陆地将因对环境污染的完全控制而变得洁净和清新，人类将与容纳各种生物的大自然和睦相处，将在更高一级生活水准上实现回归大自然的理想。然而，从现阶段看，农药的使用不可避免，农药的污染不可避免。为了实现人们的理想，人类必须勇敢地承担自己的责任。探索和研究农药的环境污染，其目的是为了了解、避免、减缓和解决这一问题，这正是我们最近二十余年孜孜不倦始终追求的目标。现整理归纳出本书献给公众和同行，以求交流和进一步探索。

农药环境化学的研究范围和环境化学的研究范围一样，包含环境分析化学、环境污染化学及污染控制化学等方面。应该说它所研究的污染物对象更加明确，即农药（本书主要讨论有机农药）。它通过农业应用主要进入的是农田

环境，即土壤、水及植物的农田生态系统；如果通过城镇的防病、绿化、防虫等应用，它除了进入空气、地表水等系统外，还会直接与人接触。相对其他污染物而言，农药环境化学还有两大特点：一是农药通常是结构较为复杂的有机物，它们毒性大，均有生物活性；二是环境要素复杂，在气、水及土壤中均可能发生，而土壤环境就是一个具有生物活性的气、液、固多相体系，浓度低，作用机制复杂。所以农药环境行为研究长期以来一直是国内外环境科学的研究热点。

本书的特色为：①形成较为完整的、系统的学科体系，以环境化学的几大部分，环境物理化学与生物化学参数，近代分析检测技术，滞留、迁移的过程与机制，水解，光解，生物化学与环境毒理学，手性农药对映体行为差异性，数学模拟，污染控制与修复等为经，以上述诸方面的基础理论、应用、典型事例为纬来编写。②注重研究的新技术与新成果，如在农药的分析与检测技术一章（第3章）中，介绍了农药环境样品准备的新技术，如固相萃取、固相微萃取、超临界萃取、微波萃取、膜萃取等，在分析检测的新技术方面，除较为经典的气相色谱、液相色谱外，还对毛细管电泳、免疫分析技术等作了介绍。另外在第8章中，还介绍了高效液相色谱、毛细管气相色谱及毛细管电泳分析技术对手性农药对映体的分离与分析。在吸附机理研究方面主要介绍近代分析仪器技术的应用及最新的复杂介质中的吸附理论。③在农药的物理化学修复技术中将主要介绍化学修复剂的亲核取代机制；在生物修复中将介绍生物-化学修复技术等等。总之，本书将以较系统、完整的学科体系和最新的研究成果来编织。

本书是作者研究组二十余年的主要研究成果。这些成果是集体的智慧，是大家共同努力的结果。作者先前的博士研究生和后来的同事王琪全、郑巍、朱岩、徐冬梅、刘惠君、童裳伦等，作者的博士、硕士研究生季瑾、宣日成、李克斌、许中坚、杨炜春、谢晓梅、周瑛、胡晓捷、叶卫红等，都参加了这一领域的研究和探索。还有作者目前正在读的博士生张安平、方兆华、马云、蔡喜云、陈胜文、魏红、徐超和王鲁梅等不仅在这方面从事研究，亦参与了本书的资料整理及编写工作。这些同学中，王琪全获得了国务院学位委员会2002年度“全国百篇优秀博士学位论文”奖；朱岩获得了2003年度“全国百篇优秀博士学位提名论文”奖；王琪全和郑巍还分别获得了美国化学会（ACS）农用化学专业委员会颁发的2002和2003年度杰出青年研究奖。作者在从事农药环境化学研究的二十余年间，先后得到浙江省自然科学基金、教育部科研基金、多项国家自然科学基金、国家自然科学基金杰出青年基金、国家自然科学基金海外合作基金项目及国家重点基础研究“973”项目等的资助。最后，该书的出

版得到了国家自然科学基金研究成果专著出版基金项目的资助。在最近十余年的研究过程中，著者先后与意大利萨萨里大学、博洛尼亚大学农业化学研究所、美国农业部 Salinity 国家实验室、日本九州大学农药化学研究室及美国加州大学（UCR）环境科学系等农药环境研究科研院所广泛地交流与合作。特向意大利博洛尼亚大学 Gessa 教授、萨萨里大学 Pusino 教授，美国农业部 Salinity 国家实验室的 Yates 研究员，日本九州大学桑野（Eiichi Kuwano）教授和加州大学甘剑英（Jay Gan）教授表示感谢。向研究组参与研究及有关编写工作的教师和同学表示感谢。最后，向支持我完成这项工作的单位同事、领导表示衷心感谢。

本书作为一本专著，其主要读者对象是从事环境化学、分析化学、环境生物学、农业环境保护、农业化学、土壤化学等研究的专业人员、教师、研究生及大学高年级本科生，亦可作为有关专业研究生、高年级本科生课程的教材或参考用书。农药环境化学涉及的学科知识面广，限于作者水平和经验，书中疏漏和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

感谢国家自然科学基金研究成果专著出版基金对本书的出版资助。

刘维屏
2005 年 5 月

内 容 提 要

本书从化学热力学和化学动力学的基本理论及农药环境样品的近代分析实验技术出发,抓住农药环境污染的特点,对农药在土壤环境中的滞留、迁移,农药在环境中的水解和光降解,农药环境生物化学与毒理学等方面的研究进行了全方位的介绍与讨论,特别是对手性农药对映体环境行为差异性的研究方法与成果作了全面、深入的介绍。该书同时对农药在环境中的多介质循环模型作了论述,并阐述了农药污染的生物及化学修复技术和综合防治措施。

本书的特色为:①形成较为完整的、系统的学科体系。②注重研究的新技术与新成果。③在农药的物理、化学修复技术中主要介绍化学修复剂的亲核取代机制;在生物修复中介绍生物-化学修复技术等。总之,本书是以较系统、完整的学科体系和最新的研究成果来组织全书的。

本书作为一本专著,其主要读者对象是从事环境化学、分析化学、环境生物学、农业环境保护、农业化学、土壤化学等研究的专业人员、教师、研究生及高年级本科生及相关专业的教材或参考用书。

目 录

Contents

第 1 章 绪论 (Introduction)	1
1.1 农药发展概况 (Survey of pesticide development)	1
1.1.1 农药发展的三个时代	2
1.1.2 滴滴涕的功与过	2
1.1.3 现代农药的发展与使用	4
1.2 农药与环境 (Pesticide and environment)	6
1.2.1 农药对空气的污染	6
1.2.2 农药对水体的污染	6
1.2.3 农药对土壤的污染	7
1.2.4 农药的急性毒性	8
1.2.5 农药的慢性毒性	8
1.2.6 农药与其环境因素相互作用的复杂性	11
参考文献	11
第 2 章 农药环境物理化学和生物化学参数 (Physical and biological parameters of pesticide)	13
2.1 农药的酸常数和碱常数 (Acidity and basicity constants of pesticide)	13
2.1.1 酸碱强度	14
2.1.2 K_a 的实验测定方法	15
2.1.3 K_a 的估算方法	16
2.2 农药的蒸气压 (Vapor pressure of pesticide)	17
2.2.1 热力学函数关系	18
2.2.2 其他气体对蒸气压的影响	19
2.2.3 分子间的作用对蒸气压的影响	20
2.2.4 蒸气压的实验测定	20

2.2.5	蒸气压的估算方法	21
2.3	农药在水中的溶解度 (Solubility in water of pesticide)	22
2.3.1	影响农药在水中溶解度的因素	23
2.3.2	溶解度的测定方法	24
2.3.3	溶解度的估算	25
2.4	正辛醇/水分配系数 (<i>n</i> -Octanol-water partition constant)	27
2.4.1	K_{ow} 的环境意义	28
2.4.2	K_{ow} 值的实验测定方法	28
2.4.3	K_{ow} 值的估算方法	31
2.4.4	农药 K_{ow} 值与其他环境参数的相关性	32
2.5	农药的环境生物化学与毒理学参数 (Environmental biochemistry and toxicology constants of pesticide)	34
2.5.1	生物富集因子	34
2.5.2	农药生物降解速率常数	35
2.5.3	农药的一般毒性	35
2.5.4	农药对人类的毒性	39
2.5.5	农药对水生生物的毒性	40
2.5.6	农药对陆生生物的毒性	41
	参考文献	43

第3章 农药环境样品的近代分析、检测技术 (Analysis and determination of pesticide in environment)

3.1	样品准备的新技术 (New technology of sampling)	45
3.1.1	固相萃取	45
3.1.2	固相微萃取	48
3.1.3	超临界流体萃取	49
3.1.4	微波萃取	52
3.1.5	基质固相分散	53
3.1.6	膜萃取	56
3.1.7	加速溶剂萃取	57
3.2	色谱技术 (Technology of chromatography)	58
3.2.1	基本概念	58
3.2.2	检测器的基本性能参数	62
3.2.3	气相色谱	63
3.2.4	高效液相色谱	69

3.2.5 超临界流体色谱·····	77
3.2.6 毛细管电泳·····	78
3.3 同位素示踪技术 (Technology of radioisotope tracer) ·····	81
3.3.1 放射性同位素的探测·····	82
3.3.2 同位素技术在农药环境样品研究中的应用·····	86
3.4 其他近代分析、检测新技术 (Other new technology of analysis and determination) ·····	92
3.4.1 免疫分析法·····	92
3.4.2 传感器法·····	96
参考文献 ·····	97

第4章 农药在土壤环境中的滞留、迁移 (Persistence and transference of pesticide in soil) ·····	103
4.1 农药滞留、迁移的基础理论 (Principle on persistence and transference of pesticide) ·····	103
4.1.1 农药滞留、迁移的物理化学原理 ·····	103
4.1.2 平衡吸附模型 ·····	108
4.1.3 表面沉淀 ·····	117
4.1.4 解吸 ·····	118
4.2 农药吸附-脱附的研究方法 (Research methods for adsorption-desorption of pesticide) ·····	119
4.2.1 吸附研究方法 ·····	119
4.2.2 脱附研究方法 ·····	121
4.2.3 影响吸附、脱附的因素 ·····	121
4.2.4 农药与土壤活性组分作用机理研究方法 ·····	124
4.3 农药与黏土-水的相互作用 (Interaction between pesticide with clay-water) ·····	129
4.3.1 作为吸附剂的土壤黏土 ·····	129
4.3.2 作为吸附质的农药 ·····	132
4.3.3 吸附机理 ·····	134
4.3.4 水的影响 ·····	137
4.4 农药与土壤有机质的相互作用 (Interaction between pesticide with soil organic matter) ·····	141
4.4.1 作为吸附剂的土壤有机质 ·····	141
4.4.2 吸附机理 ·····	143

4.4.3 农药的吸附	146
4.5 农药在土壤-水环境中的迁移 (Transference of pesticide in soil-water environment)	151
4.5.1 迁移的基本理论	152
4.5.2 迁移的研究方法	152
4.5.3 常见农药在土壤中的迁移研究	155
4.5.4 农药迁移的控制	155
4.6 农药在环境中的挥发 (Volatilization of pesticide in environment) ...	156
4.6.1 农药挥发的基本因素	156
4.6.2 农药施撒时的挥发	156
4.6.3 农药在土壤中的挥发	157
参考文献	160
第5章 农药在环境中的水解 (Hydrolysis of pesticide in environment) ...	169
5.1 农药在环境中的水解类型 (Type of pesticide hydrolysis in environment)	169
5.2 水解反应机理 (Mechanism of hydrolysis)	171
5.2.1 亲核取代反应	171
5.2.2 亲核酰基取代反应	173
5.3 水解反应动力学 (Kinetics of hydrolysis)	173
5.3.1 特定酸碱催化水解	174
5.3.2 pH 的影响	175
5.3.3 温度的影响	177
5.3.4 亲核试剂的影响	179
5.3.5 其他因素的影响	180
5.4 典型农药在环境中的水解代谢 (Hydrolysis of typical pesticides in environment)	181
5.4.1 有机磷酸酯类农药	181
5.4.2 磺酰脲类农药	184
5.4.3 氨基甲酸酯类农药	188
5.4.4 拟除虫菊酯类农药	190
5.4.5 三嗪类除草剂	191
5.4.6 酰胺类除草剂	191
5.4.7 单甲脒碱	192
5.4.8 灭幼脲	193

5.4.9 吡虫啉	195
参考文献	195

第6章 农药在环境中的光降解 (Photodegradation of pesticide in environment)

6.1 光化学反应基础 (Fundamentals of photochemical reaction)	199
6.1.1 太阳辐射与光的吸收	200
6.1.2 光化学定律	200
6.1.3 光化学和热化学	201
6.2 农药在环境中的光化学反应动力学 (Photochemical kinetics of pesticide in environment)	202
6.2.1 直接光解条件下的反应动力学	202
6.2.2 间接光解反应动力学	203
6.3 农药的光化学反应实验研究 (Experimental study of pesticide's photochemical reaction)	203
6.3.1 农药光解实验研究的设计	204
6.3.2 光化学反应的主要类型	204
6.3.3 农药光化学转化的环境意义	207
6.3.4 影响农药光降解的因素	207
6.4 农药在水体和土壤中的光化学反应 (Photochemical reaction of pesticide in water and soil)	209
6.4.1 农药在水体中的光解	209
6.4.2 农药在土壤中的光解	213
6.4.3 农药光解研究的意义	219
6.5 农药在自然环境中的光降解 (Photochemical degradation of pesticide in natural environment)	219
6.5.1 百菌清在自然环境中的光解	220
6.5.2 多菌灵的自然光解	221
6.5.3 农药双氧磺草胺在自然水体和土壤中的光解	221
6.5.4 农药在自然环境中的催化光解	221
6.6 典型农药的光化学降解 (Photochemical degradation of typical pesticides)	223
6.6.1 磺酰脲类除草剂	223
6.6.2 氨基甲酸酯类杀虫剂	224
6.6.3 三氮苯类除草剂	225

6.6.4	有机磷类农药	225
6.6.5	有机氯农药	227
6.6.6	苯氧羧酸类除草剂	228
6.6.7	吡虫啉	229
6.6.8	灭幼脲	230
参考文献		232

第7章 农药环境生物化学与毒理学 (Environmental biochemistry and toxicology of pesticide)

7.1	土壤和水体中的微生物 (Microorganisms in soil and water)	237
7.1.1	土壤中的微生物	237
7.1.2	水体中的微生物	238
7.2	农药对土壤中微生物的影响 (Effect of the pesticide on the microorganisms in soil)	239
7.2.1	农药对土壤微生物群落和数量的影响	241
7.2.2	农药对土壤生化过程的影响	242
7.3	土壤微生物对农药的降解作用 (Biodegradation of the pesticide in soil)	245
7.3.1	微生物降解农药的途径	246
7.3.2	农药降解菌	247
7.3.3	土壤微生物对几种典型农药的降解	248
7.3.4	降解酶及其基因的克隆与表达	264
7.4	农药的环境毒理学及其试验 (Environmental toxicology and it's assay of pesticides)	266
7.4.1	农药毒理学的主要研究内容	267
7.4.2	农药毒性参数与毒性分级	267
7.4.3	农药毒作用机理	268
7.4.4	农药毒理学试验方法	275
7.5	农药在植物体内的代谢 (Metabolism of pesticide in plant)	279
7.5.1	有机磷杀虫剂	279
7.5.2	氨基甲酸酯类农药	280
7.5.3	拟除虫菊酯类农药	281
7.5.4	磺酰脲类除草剂	281
7.6	农药在动物体内的代谢 (Metabolism of pesticide in animal)	285
7.6.1	农药在动物体内的吸收	285