

全国高等农林院校“十一五”规划教材

农 药 学

吴文君 罗万春 主编

中国农业出版社

编写组成员

主 编 吴文君 西北农林科技大学
罗万春 山东农业大学
副主编 纪明山 沈阳农业大学
王金信 山东农业大学
陶 波 东北农业大学

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 伟 西南大学
王金信 山东农业大学
刘西莉 中国农业大学
纪明山 沈阳农业大学
吴文君 西北农林科技大学
陈华保 四川农业大学
罗万春 山东农业大学
胡兆农 西北农林科技大学
陶 波 东北农业大学
姬志勤 西北农林科技大学

前 言

进入 21 世纪后,我国许多高等农业院校在植物保护学院增设了制药工程本科专业,主要培养农药等化工产品研发、生产、使用及经营管理方面的技术人才。按照培养规划,该专业开设农药学、农药合成、农药制剂加工、农药分析与残留分析、农药生物测定及田间试验、农药毒理学及农药管理与营销等专业课程。基于这一背景,中国农业出版社教材出版中心组织编写《农药学》等农药学科本科生使用的系列教材。

《农药学》在农药学科系列教材中起着提纲挈领的作用,是为后续课程如农药合成、农药制剂加工等课程的学习作知识铺垫的一本基础性教材。基于这样的定位,本教材不但在内容上需要高度概括,而且应力求不与其他农药学科教材重复。《农药学》围绕某一类农药(而不是某一个品种)本身的理化特点及生物活性特点展开论述,尽量少涉及或不涉及剂型加工、使用方法、残留及环境安全、有害生物抗药性、作用机理、生物测定及田间药效等内容,这也是《农药学》和现有相似教材《植物化学保护学》、《农药概论》在内容上的根本区别。

第一章农药的基本概念及农药学的研究范畴,高度概括地反映了本学科的学习和研究范畴,以引起学生对后继课程学习的兴趣。与此同时,第十章新农药的研究与开发,将学生引入系统的研究领域,健全学科体系。对其他章节的编写,则根据不同类别农药的发展特点与研究的深度及广度,采取了比较灵活的编写方法。如对杀

虫剂、杀菌剂及除草剂这样发展比较成熟、文献资料众多的农药类别，我们采取了按化合物的化学结构分类，按历史发展顺序编写的方法；对杀螨剂、杀线虫剂、杀鼠剂、杀软体动物剂和植物生长调节剂这样比较小的章节，因各部分内容都有其鲜明的特点，在理论与实践发展上又不太平衡，就采取了容易理解和便于学习的灵活的编写方式，如采取以防治对象分类的方法和以作用方式分类的方法等。总之，本教材强调系统性和新颖性原则，对基本概念的表达，力求科学、系统；对农药类别的介绍，力求具有历史系统性和新颖性。

《农药学》共分十章。第一章农药的基本概念及农药学的研究范畴（吴文君）；第二章杀虫剂（罗万春，其中胡兆农编写第12节）；第三章杀螨剂（丁伟）；第四章杀菌剂（刘西莉，其中姬志勤编写第5节）；第五章杀线虫剂（纪明山）；第六章除草剂（陶波）；第七章杀软体动物剂（陈华保）；第八章杀鼠剂（纪明山）；第九章植物生长调节剂（王金信）；第十章新农药的研究与开发（吴文君）。各章初稿草成后，主编两次召集编写组成员集体讨论、修改，定稿后又承蒙山东农业大学慕立义教授审阅，使本书避免了许多错误，特此致谢。此外，还要感谢西北农林科技大学的胡兆农博士和山东农业大学的薛超彬博士在本教材编排中付出的辛勤劳动。

尽管编写组成员均来自高等农业院校，多年从事农药学或植物化学保护学的教学和科研工作，积累了一定的教材编写经验，对本教材的编写格式和内容都作了一些新的探索，但由于编写组成员的学术水平所限，教材中的缺点和不妥之处在所难免，恳请读者及农药界同仁批评指正。

吴文君

罗万春

2007. 12. 10

目 录

前言

第一章 农药的基本概念及农药学的研究范畴	1
第一节 农药的基本概念	1
一、农药的含义与分类	1
二、毒力与药效	2
三、毒性与药害	3
四、农药剂型及施用方法	4
五、残留与残毒	6
六、有害生物抗药性	7
第二节 农药发展简史	8
一、无机及天然产物农药阶段	8
二、近代有机合成农药阶段	9
三、现代有机合成农药阶段	11
第三节 农药在国民经济中的地位	13
一、人类社会仍然需要农药	13
二、使用农药是综合防治中的重要措施	13
第四节 农药学的研究范畴	14
一、农药合成	14
二、剂型加工及施用技术	14
三、农药分析与残留分析	14
四、生物活性评价	15
五、农药毒理	15
六、农药环境毒理	15
七、农药应用技术	15
思考题	16
主要参考文献	16

第二章 杀虫剂	17
第一节 杀虫剂发展历史与现状	17
第二节 有机氯类杀虫剂	19
一、概述	19
二、有机氯杀虫剂的类别与特点	21
三、有机氯类杀虫剂的作用机制	22
第三节 有机磷类杀虫剂	22
一、概述	22
二、有机磷杀虫剂的化学结构与类型	23
三、有机磷杀虫剂的理化性质	28
四、有机磷杀虫剂的毒性	30
五、有机磷杀虫剂的作用方式、毒理和应用	31
第四节 氨基甲酸酯类杀虫剂	32
一、概述	32
二、氨基甲酸酯杀虫剂的化学结构与类型	34
三、氨基甲酸酯类杀虫剂的理化性质	35
四、氨基甲酸酯杀虫剂的毒性	36
五、氨基甲酸酯类杀虫剂的作用方式、毒理和应用	37
第五节 除虫菊酯类杀虫剂	38
一、概述	38
二、第一代拟除虫菊酯杀虫剂	40
三、第二代光稳定性拟除虫菊酯杀虫剂	42
四、光稳定性拟除虫菊酯杀虫剂的发展	43
五、拟除虫菊酯杀虫剂的异构体与生物活性	45
六、拟除虫菊酯杀虫剂的作用方式、毒理和应用	45
第六节 沙蚕毒素类与甲脞类杀虫剂	46
一、沙蚕毒素类杀虫剂	46
二、甲脞类杀虫剂	48
第七节 新烟碱类杀虫剂	48
一、概述	48
二、新烟碱类杀虫剂的化学结构与生物活性	50
三、新烟碱类杀虫剂的毒理、选择性和生态效应	51
四、新烟碱类杀虫剂的应用	52

第八节 吡咯、吡唑、吡啶类杀虫剂	52
一、吡咯类杀虫剂	52
二、吡唑类杀虫剂	56
三、吡啶类杀虫剂	57
第九节 苯甲酰苯脲类和噁类杀虫剂	58
一、概述	58
二、苯甲酰苯脲类杀虫剂的代谢降解和安全性	60
三、苯甲酰苯脲类与噁类杀虫剂的毒性与毒理	61
四、苯甲酰苯脲类与噁类杀虫剂的主要品种、作用方式及应用	62
第十节 邻苯二甲酰胺类和邻甲酰氨基苯甲酰胺类杀虫剂	63
一、概述	63
二、主要理化性质与生物活性	65
三、作用方式、毒理与应用	66
第十一节 保幼激素与蜕皮激素类杀虫剂	66
一、保幼激素类杀虫剂	66
二、蜕皮激素类杀虫剂	69
第十二节 天然产物杀虫剂	71
一、概述	71
二、天然产物杀虫剂	71
思考题	87
主要参考文献	88
第三章 杀螨剂	90
第一节 杀螨剂发展概况	90
第二节 以杀螨卵为主的杀螨剂	92
一、概述	92
二、主要理化性质	93
三、主要特性	93
四、应用技术	94
第三节 具有生长调节活性的杀螨剂	94
一、概述	94
二、理化性质	96
三、作用特点	96
四、应用技术	96

第四节 具有神经毒剂作用的杀螨剂	97
一、概述	97
二、主要理化性质	99
三、主要特性	100
四、应用技术	101
第五节 具有呼吸代谢抑制作用的杀螨剂	102
一、概述	102
二、主要理化性质	105
三、主要特性	105
四、使用技术	107
思考题	107
主要参考文献	107
第四章 杀菌剂	108
第一节 杀菌剂及其发展历史和现状	108
一、杀菌剂概述	108
二、杀菌剂发展简史	110
第二节 保护性杀菌剂	112
一、无机铜杀菌剂	113
二、无机硫杀菌剂	114
三、有机硫杀菌剂	115
四、取代苯类杀菌剂	116
五、酰亚胺类杀菌剂	117
第三节 内吸性杀菌剂	118
一、羧酰替苯胺类	118
二、苯并咪唑类	120
三、有机磷类	121
四、酰苯胺类	124
五、三唑类	126
六、啉球果伞素类或 QoI 杀菌剂	130
七、羧酸氨基化合物类杀菌剂	133
第四节 植物诱导抗病激活剂	135
一、概述	135
二、烯丙异噻唑	137

三、苯并噻二唑	137
四、寡糖	138
第五节 杀菌农用抗生素	139
一、概述	139
二、杀菌农用抗生素的特性	142
思考题	143
主要参考文献	144
第五章 杀线虫剂	145
第一节 熏蒸性杀线虫剂	145
一、概述	145
二、主要类型	147
三、生物活性与应用	148
第二节 非熏蒸性杀线虫剂	149
一、概述	149
二、主要类型与理化性质	151
三、生物活性与应用	153
思考题	154
主要参考文献	154
第六章 除草剂	155
第一节 除草剂的分类、特性及发展史	155
一、除草剂的分类、选择性和杀草特性	155
二、除草剂发展史	158
第二节 苯氧羧酸类除草剂	160
一、概述	160
二、主要物理和化学性质	161
三、生物活性和特点	163
四、作用特性	164
五、应用	164
第三节 苯甲酸类	165
一、概述	165
二、生物活性和作用特性	165
三、应用	166

第四节 联吡啶类.....	167
一、概述.....	167
二、主要物理和化学性质.....	167
三、生物活性、毒理与毒性.....	167
四、应用.....	168
第五节 酰胺类.....	168
一、概述.....	168
二、主要物理和化学性质.....	170
三、作用特性、毒性与毒理.....	170
四、生物活性与应用.....	171
第六节 氨基甲酸酯和硫代氨基甲酸酯类.....	172
一、概述.....	172
二、主要物理和化学性质.....	173
三、生物活性和作用特性.....	174
四、应用.....	174
第七节 二苯醚类.....	175
一、概述.....	175
二、主要的物理和化学性质.....	176
三、生物活性.....	177
四、作用特性与毒理、毒性.....	177
五、应用.....	178
第八节 脲类.....	178
一、概述.....	178
二、结构与活性.....	180
三、生物活性和作用特性.....	180
四、应用.....	181
第九节 三氮苯类.....	181
一、概述.....	181
二、结构与活性.....	182
三、生物活性与毒性.....	183
四、作用特性.....	184
五、应用.....	185
第十节 二硝基苯胺类.....	185
一、概述.....	185

二、主要物理和化学性质	186
三、生物活性	186
四、作用特性	187
五、应用	188
第十一节 有机磷类	188
一、概述	188
二、结构和活性	189
三、生物活性和作用特性	191
四、应用	192
第十二节 芳氧苯氧丙酸酯类	192
一、概述	192
二、主要物理和化学性质	195
三、生物活性和作用特性	195
四、应用技术	196
第十三节 磺酰脲类	196
一、概述	196
二、主要理化性质	199
三、生物活性和作用特性	200
四、应用	202
第十四节 咪唑啉酮类	203
一、概述	203
二、结构和活性	204
三、生物活性和作用特性	205
四、应用	206
第十五节 磺酰胺类	206
一、概述	206
二、主要性质和作用特性	209
三、应用	209
第十六节 嘧啶水杨酸类	209
一、概述	209
二、作用特点和应用	211
第十七节 环己烯酮类	212
一、概述	212
二、理化性质和作用特性	213

三、应用	213
第十八节 嘧啶类	213
一、概述	213
二、性质和作用特性	214
三、应用	214
第十九节 吡啶类	215
一、概述	215
二、作用特点	215
三、应用	215
第二十节 腈类	216
一、概述	216
二、作用特点和应用	216
第二十一节 N-苯基肽亚胺类	217
一、概述	217
二、理化性质和作用特点	217
三、应用技术	217
第二十二节 三酮类	218
一、概述	218
二、作用特点和应用	218
第二十三节 吡唑类	219
一、概述	219
二、作用特点和应用	220
第二十四节 其他重要品种	220
一、二氯喹啉酸	220
二、异噁草松	221
三、噁草酮	221
四、野燕枯	222
五、啶草特	223
思考题	224
主要参考文献	224
第七章 杀软体动物剂	225
第一节 无机杀软体动物剂	225
一、概述	225

二、主要特性	226
三、生物活性与应用	226
第二节 有机杀软体动物剂	226
一、概述	227
二、不同类型有机杀软体动物剂的主要特性、生物活性与应用	229
思考题	232
主要参考文献	232
第八章 杀鼠剂	234
第一节 急性杀鼠剂	234
一、概述	234
二、生物活性与应用	237
第二节 慢性杀鼠剂	238
一、概述	238
二、生物活性与应用	244
思考题	245
主要参考文献	245
第九章 植物生长调节剂	246
第一节 植物生长促进剂	247
一、生长素类	247
二、赤霉素类	250
三、细胞分裂素类	252
四、乙烯类	254
五、油菜素甾醇类	255
六、其他植物生长促进剂及复合植物生长促进剂	257
第二节 植物生长延缓剂	258
一、矮壮素	259
二、丁酰肼	259
三、甲哌鎓	259
四、吡啶醇	260
五、多效唑	260
第三节 植物生长抑制剂	260
一、脱落酸的结构与应用	260

二、其他植物生长抑制剂的结构与应用	261
思考题	262
主要参考文献	262
第十章 新农药的研究与开发	263
第一节 化学合成与工艺研究	263
一、先导化合物的发现和优化	263
二、小试研究和中试研究	266
第二节 生物筛选与作用机理	267
一、生物筛选在新农药研究与开发中的意义	267
二、供筛选的生物材料	267
三、筛选方法	268
四、作用方式及作用机理研究	270
第三节 农药安全评价	271
一、农药卫生毒理安全评价	271
二、农药环境安全评价	272
第四节 农药管理和农药登记	272
一、农药管理及其意义	272
二、国内外农药管理概况	273
三、农药管理的基本内容	273
四、我国农药登记管理的机构、内容和程序	275
思考题	277
主要参考文献	277

第一章 农药的基本概念及 农药学的研究范畴

第一节 农药的基本概念

一、农药的含义与分类

1. 农药的定义 农药 (Pesticide) 主要是指用于预防、消灭或者控制农业、林业的病、虫、草和其他有害生物以及有目的地调节植物、昆虫生长的化学品。这里所说的化学品可以是人工合成的,也可以是天然的动植物及微生物的代谢产物。但不论是人工合成的化合物,还是天然产物,作为农药都应具备两种基本属性:具有确定的分子结构和在一定剂量范围内对靶标生物有显著的生物活性。因此诸如寄生蜂、捕食螨、致病细菌、病毒等所谓“生物农药”不属于本书所述的农药范畴。

需要指出的是,对农药的含义和范围,不同的时代、不同的国家和地区都有差别。如美国,早期曾将农药称之为“有经济价值的毒剂”(Economic poison),后又称之为“农用化学品”(Agricultural chemicals),甚至称之为“农用化学调控剂”(Agricultural bioregulators),欧洲亦称之为“农用化学品”(Agrichemicals),当前在国际文献中已通用“Pesticide”一词。

2. 农药的分类 《农药手册》(The pesticide manual)第14版记录全世界商品农药1524种。为了便于研究与使用,可从不同的角度对其进行分类。一般是按功能和用途将农药分成杀虫剂、杀螨剂、杀菌剂、除草剂、杀鼠剂及植物生长调节剂等若干大类,然后再将每一大类按化学结构或作用方式细分。以杀虫剂为例,可以按化学结构分成若干类别,如:

有机氯类杀虫剂:如滴滴涕、六六六、狄氏剂等。

有机磷类杀虫剂:如敌敌畏、辛硫磷、马拉硫磷等。

氨基甲酸酯类杀虫剂:如西维因、速灭威、抗蚜威、涕灭威、克百威、双氧威等。

拟除虫菊酯类杀虫剂:如丙烯菊酯、甲氰菊酯、氰戊菊酯、溴氰菊酯等。

沙蚕毒素类杀虫剂：如杀螟丹、杀虫双、杀虫环等。

新烟碱类（氯化烟酰胺类）杀虫剂：如吡虫啉、啉虫脒等。

亦可按作用方式分成若干类别，如：

胃毒剂（Stomach poison）：药剂伴随害虫取食活动通过口器及消化系统进入体内起毒杀作用的一类杀虫剂。当代合成杀虫剂中，极少有纯粹的胃毒剂。

触杀剂（Contact poison）：药剂通过害虫体壁侵入体内起毒杀作用的一类杀虫剂。当代合成杀虫剂中绝大多数都可称作触杀剂。

熏蒸剂（Fumigant）：药剂以气体状态通过害虫的呼吸系统进入体内起毒杀作用的一类杀虫剂。

特异性杀虫剂（Special action insecticide）：这是一类并不直接杀死害虫，而是通过干扰昆虫的行为、影响昆虫的生长发育而控制其为害的药剂。如昆虫拒食剂、引诱剂、驱避剂或昆虫生长调节剂等。

二、毒力与药效

毒力（Toxicity）是指在一定条件下某种农药对某种供试有害生物作用的性质和程度，即内在的毒杀能力。杀虫剂毒力大小常以致死中量、致死中浓度表示，其值越小，毒力越大。

致死中量（Median lethal dose）是指杀死供试昆虫种群一半个体所需的剂量。常以 LD_{50} 表示，其单位有两种。一种是以供试昆虫个体所接受的药量为单位，如 μg （药量）/头（昆虫），另一种是以供试昆虫单位体重所接受的药量为单位，如 μg （药量）/g（昆虫）。

致死中浓度（Median lethal concentration）是指杀死供试昆虫种群一半个体所需的浓度。常以 LC_{50} 表示，单位为 μg （有效成分质量数）/mL（药液容积）。

杀菌剂和除草剂毒力大小常以有效中浓度表示，其值越小，毒力越大。

有效中浓度（Median effective concentration）是指引起供试生物群体的半数产生某种药剂反应的浓度。常以 EC_{50} 表示，单位为 mg （有效成分质量数）/L（药液容积）或 μg （有效成分质量数）/mL（药液容积）。

药效（Effectiveness of pesticide）是指某药剂在大田实际生产中对某种有害生物的防治效果。表示药效的指标有 3 类：①施药防治前后有害生物种群数量的变化；②施药前后有害生物为害程度的变化；③施药与不施药作物收获量变化。

毒力和药效都是药剂对有害生物作用强度的量度。一般来说，毒力是药效

的基础。但毒力并不等于药效，而且在某些情况下，一种农药的毒力强大并不一定药效就好。毒力是药剂本身（纯品或原药）对供试生物作用的结果，一般是在室内相对严格控制的条件下采用比较精密的标准化方法测定的结果，而药效则是在田间条件下施用某种农药制剂（除有效成分外，还有多种助剂）对有害生物的防治效果。显然，除了药剂本身外，某些因素如制剂形态、加工方法、喷施方法和质量，有害生物的生长发育阶段，特别是湿度、温度、光照、土壤等环境条件都对药效有显著影响。

三、毒性与药害

1. 毒性 毒性 (Toxicity) 实际上就是农药对高等动物的毒力。常以大鼠通过经口、经皮、吸入等方法给药测定农药的毒害程度，推测其对入、畜潜在的危险性。农药对高等动物的毒性通常分为 3 类：

(1) 急性毒性 (Acute toxicity)。指农药一次大剂量或 24 h 内多次小剂量对供试动物（如大鼠）作用的性质和程度。经口毒性和经皮毒性均以致死中量 LD_{50} 表示，单位为 mg/kg，而吸入毒性则以致死中浓度 LC_{50} 表示，单位为 mg/L 或 mg/m^3 。显然，某种农药的 LD_{50} 值或 LC_{50} 值越小，则这种农药的毒性越大。我国目前规定的农药急性毒性分级暂行标准如表 1-1 所示。

表 1-1 中国农药急性毒性分级标准

毒性分级	经口半数致死量 (mg/kg)	经皮半数致死量 (mg/kg)	吸入半数致死量 (mg/m^3)
剧 毒	<5	<20	<20
高 毒	5~50	20~200	20~200
中等毒	50~500	200~2 000	200~2 000
低 毒	>500	>2 000	>2 000

(2) 亚急性毒性 (Subacute toxicity)。指农药对供试动物多次重复作用后产生的毒性。给药期限为 14~28 d，每周给药 7 次。亚急性毒性主要是考察农药对供试动物引起的各种形态、行为、生理生化的变异。检测指标包括：①动物一般中毒症状表现、体重、食物消耗等；②血液学检查；③临床生化测定；④病理学检查。

(3) 慢性毒性 (Chronic toxicity)。指农药对供试动物长期低剂量作用后产生的病变反应。给药期限为 1~2 年。主要评估农药致癌、致畸、致突变的风险。除常规的病理检测、生理生化检测外，还要对其后代的遗传变异、累代