



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

饲料毒物学

附毒物分析

● 于炎湖 主编

● 动物营养与饲料加工、畜牧专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材

饲料毒物学附毒物分析

于炎湖 主编

动物营养与饲料加工、畜牧专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材
饲料毒物学附毒物分析
于炎湖 主编

责任编辑 刘振生
出版 农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)
发行 新华书店北京发行所
印刷 农业出版社印刷厂

* *

开本 787×1092mm16 开本
印张 19 字数 396 千字
版、印次 1992 年 10 月第 1 版
1996 年 10 月北京第 3 次印刷
印数 3,801—6,800 册 定价 14.85 元

书号 ISBN 7-109-02250-1/S·1482

前 言

本书是根据1989年6月农业部制定的“高等学校农科本科七五（1989—1990）教材建设规划”而编写的。作为高等农业院校的基本教材，主要供动物营养与饲料加工专业及畜牧专业使用。

随着我国畜牧业和饲料工业的发展，以及饲料资源的广泛开发利用，饲料毒物的问题逐渐引起人们的重视，饲料毒物学作为一门独立的学科已日益显得重要。近年来，我国在饲料毒物学的理论研究和实践方面都取得了重要的进展，一些高等农业院校的动物营养与饲料加工专业及畜牧专业相继开设了饲料毒物学课程。但目前国内还缺少比较系统的、适合我国情况的相应教材。笔者根据自己多年来教学与科研的实践，并参阅了近年来国内外的有关文献资料，认真学习吸取各家所长，编写成本书。

本书对饲料中天然存在的及由外环境污染的有毒有害物质作了较全面、系统的论述，并对含毒饲料的去毒与合理利用，以及饲料卫生质量的监督管理等问题作了较详细的介绍。全书共十二章，并附饲料毒物分析方法。第一至十二章由于炎湖编写，饲料毒物分析方法由吴谋成编写。

在本书的编写过程中，始终得到全国高等农业院校教材指导委员会畜牧学科组及华中农业大学领导的重视与支持，得到校内外同仁的热情帮助。本书承蒙北京农业大学杨胜教授及华中农业大学马承融教授审阅并提出具体修改意见。对此，笔者谨表衷心的感谢。

本书涉及的学科领域较广，笔者的学术水平有限，加之编写时间仓促，难免有不少缺点和错误，恳请专家学者及广大读者批评指正。

编 者

1990年12月

主 编 于炎湖 (华中农业大学)

编 者 于炎湖 (华中农业大学)

吴谋成 (华中农业大学)

主审人 杨 胜 (北京农业大学)

审稿人 马承融 (华中农业大学)

目 录

第一章 绪论	1
第一节 饲料毒物学的研究对象、任务、内容和方法	1
第二节 有关毒物毒性的基本概念	4
一、毒性、剂量、效应和反应	4
二、表示毒性的常用指标	5
三、毒物的致突变、致癌和致畸作用	6
第三节 毒物在体内的生物转运和转化	7
一、吸收	7
二、分布	8
三、生物转化	8
四、排泄	9
第四节 影响毒物对机体作用的因素	9
一、毒物本身的特性	9
二、动物机体的状况	10
第二章 饲用植物中有毒化学成分概述	12
第一节 生物碱	13
一、生物碱的分类	13
二、生物碱在植物体中的存在形式与分布情况	14
三、生物碱的一般性质与毒性	15
第二节 甙类	16
一、甙类概述	16
二、氰甙	17
三、硫甙	17
四、皂甙	18
第三节 非蛋白氨基酸、毒肽和毒蛋白	19
一、非蛋白氨基酸	19
二、毒肽和毒蛋白	20
第四节 酚类衍生物	21
一、香豆素	21
二、黄酮类化合物	22
三、鞣质	22
第五节 萜类及其他成分	24
一、萜类	24
二、有机酸	24

三、有机硝基化合物	25
四、聚炔类化合物	25
五、无机成分	26
第六节 影响饲用植物中毒物含量的因素	26
一、饲用植物本身的状况	26
二、植物生长的环境条件	27
第三章 青绿饲料中的有毒物质	28
第一节 硝酸盐与亚硝酸盐	28
一、饲料中硝酸盐与亚硝酸盐的含量及其影响因素	28
二、硝酸盐转化为亚硝酸盐的条件	29
三、硝酸盐、亚硝酸盐的毒性与危害	31
四、预防硝酸盐与亚硝酸盐危害的措施	32
第二节 生氰糖甙	33
一、植物中生氰化合物的合成及水解	33
二、常见生氰糖甙的结构及其在植物中的分布	34
三、生氰糖甙的毒性	36
四、含生氰糖甙饲料的合理利用与去毒处理	37
第三节 光敏物质和草酸盐	38
一、光敏物质	38
二、草酸盐	40
第四节 某些豆科作物中的有毒物质	41
一、草木樨	41
二、苜蓿	44
三、沙打旺	45
四、猪屎豆属植物	47
第五节 某些禾本科及其他科属作物中的有毒物质	47
一、藜草	47
二、聚合草	48
第四章 豆类、谷实类及块根块茎类饲料中的有毒物质	51
第一节 共同存在的有毒物质	51
一、酶抑制剂	51
二、植物性红细胞凝集素	54
三、植酸与植酸盐	57
四、胃肠胀气因子	60
五、抗维生素	61
第二节 豆类饲料中的有毒物质	62
一、大豆	62
二、山豆	64
三、箭筈豌豆	67
四、羽扇豆	68
五、银合欢	69
第三节 谷实类饲料中的有毒物质	71

一、高粱	71
二、荞麦	74
三、毒麦	74
第四节 块根块茎类饲料中的有毒物质	75
一、马铃薯	75
二、木薯	77
三、饲用甜菜	79
第五章 饼粕类和糟渣类饲料中的有毒物质	80
第一节 棉子饼粕中的有毒物质	80
一、棉酚	80
二、环丙烯类脂肪酸	85
三、棉子及棉子饼粕的去毒措施	86
四、棉子饼粕的合理利用	88
第二节 菜子饼粕中的有毒物质	89
一、硫葡萄糖甙及其降解产物	89
二、芥子碱、芥酸与其他有害物质	92
三、菜子及菜子饼粕的去毒措施	94
四、菜子饼粕的合理利用	95
第三节 大豆饼、亚麻子饼及其他饼粕中的有毒物质	96
一、大豆饼与花生饼	96
二、亚麻子饼	98
三、蓖麻子饼	100
四、油茶子饼	103
五、其他饼粕	104
第四节 糟渣类饲料中的有毒物质	106
一、酒精	106
二、渣类	107
第六章 矿物质饲料、动物性饲料和饲料添加剂的毒性问题	109
第一节 矿物质饲料的毒性问题	109
一、食盐	109
二、饲料用磷酸盐类	110
三、饲料用碳酸钙类	111
四、骨粉	111
第二节 动物性饲料的毒性问题	111
一、鱼粉	111
二、某些鱼类、贝类与甲壳类动物	113
三、生鸡蛋清	114
四、蚕蛹	115
第三节 饲料添加剂的毒性问题	115
一、维生素添加剂	115
二、微量元素添加剂	116
三、抗生素添加剂	119

四、其他饲料添加剂	121
第七章 霉菌毒素对饲料的污染	122
第一节 概述	122
一、霉菌与霉菌毒素的基本概念	122
二、霉菌繁殖与产毒的条件	123
三、主要的产毒霉菌与霉菌毒素	124
四、霉菌与霉菌毒素污染饲料的危害性	124
五、饲料的防霉与去毒	125
第二节 曲霉毒素类	126
一、黄曲霉毒素	126
二、杂色曲霉毒素	134
三、赭曲霉毒素	135
第三节 镰刀菌毒素类	136
一、单端孢霉毒素类	136
二、玉米赤霉烯酮	138
三、丁烯酸内酯	139
第四节 青霉毒素类	140
一、展青霉素	140
二、桔青霉素	141
三、红色青霉毒素	141
四、黄绿青霉素	142
五、岛青霉毒素类	142
六、青霉酸毒素	143
第五节 其他真菌毒素	143
一、甘藷黑斑病毒素类	143
二、葡萄状穗霉毒素	145
三、蕈孢毒素	145
四、豆类丝核菌素	146
五、麦角生物碱	146
第八章 农药对饲料的污染	148
第一节 农药污染饲料的途径	148
一、农药在作物中的残留	148
二、其他来源的污染	150
第二节 常用农药在饲料中的残留及其毒性	150
一、有机氯杀虫剂	150
二、有机磷杀虫剂	152
三、氨基甲酸酯类杀虫剂	154
四、拟除虫菊酯类杀虫剂	154
五、熏蒸剂	155
六、杀菌剂	155
七、除草剂	157
第三节 饲料中农药残留的控制	158

一、农药残留与农药残毒的概念	158
二、控制饲料中农药残留的措施	158
第九章 有毒金属元素对饲料的污染	161
第一节 概述	161
一、有毒金属元素污染饲料的途径	161
二、饲料中有毒金属元素的毒性特点及其影响因素	161
第二节 几种有毒金属元素对饲料的污染及其危害	163
一、铅	163
二、砷	165
三、汞	168
四、镉	170
五、铬	173
六、硒	174
七、钼	176
第十章 其他有害化学物质对饲料的污染	178
第一节 N-亚硝基化合物	178
一、N-亚硝基化合物的种类及来源	178
二、N-亚硝基化合物的致癌性及一般毒性	179
三、预防N-亚硝基化合物危害的措施	180
第二节 多环芳烃类	181
一、苯并(a)芘	181
二、其他多环芳烃类	183
第三节 多氯联苯与氟化物	183
一、多氯联苯	183
二、氟化物	185
第十一章 饲料卫生质量的监督管理	189
第一节 饲料卫生标准	189
一、饲料卫生标准的内容及制订原则	189
二、饲料毒物的卫生标准的制订方法	191
第二节 饲料卫生质量鉴定	193
一、饲料卫生质量鉴定的目的	193
二、饲料卫生质量鉴定的步骤和方法	193
第三节 饲料安全性毒理学评价	195
一、饲料安全性毒理学评价的意义	195
二、食品安全性毒理学评价程序	195
第十二章 饲料毒物的毒性试验方法	199
第一节 一般毒性试验	199
一、急性毒性试验	199
二、亚慢性毒性试验	202
三、慢性毒性试验	204
四、蓄积毒性试验	205
第二节 致突变、致癌和致畸试验	207

一、致突变试验	207
二、致癌试验	211
三、致畸试验	212
第三节 繁殖试验、迟发性神经毒性试验与代谢试验	214
一、繁殖试验	214
二、迟发性神经毒性试验	215
三、代谢试验	215
饲料毒物分析	217
一、棉子饼粕中游离棉酚含量的测定	217
(一) 苯胺比色法	217
(二) 国家标准方法	218
(三) 间苯三酚法	220
二、菜子饼粕中硫葡萄糖甙含量的测定	221
(一) 硫葡萄糖甙总量的测定——氯化钡法	222
(二) 硫葡萄糖甙分量的测定——高效液相色谱法	223
三、菜子饼粕中噻唑烷硫酮和异硫氰酸酯含量的测定	224
(一) 噻唑烷硫酮和异硫氰酸酯的气相色谱、紫外吸收联用法	225
(二) 噻唑烷硫酮的单独测定	226
四、饲料中亚硝酸盐的定性与定量测定	227
定性检验	227
(一) 对氨基苯磺酸重氮法	227
(二) 联苯胺法	227
(三) 安替比林法	227
定量检验	228
(一) 盐酸萘乙二胺法	228
(二) α -萘胺法	228
五、饲料中硝酸盐的定性与定量测定	229
定性检验	229
(一) 二苯胺法	229
(二) 酚二磺酸法	230
定量检验	230
(一) 镉柱法	230
(二) 硝酸根电极法	232
六、饲料中氰化物的定性与定量测定	233
定性检验	233
(一) 普鲁士蓝法	233
(二) 苦味酸试纸法	233
定量检验	234
(一) 吡啶盐酸联苯胺比色法	235
(二) 氰离子选择电极法	236
(三) 硝酸银滴定法	237
七、大豆饼粕中尿素酶活性的测定	238

(一) 滴定法	238
(二) 比色法	240
(三) pH增值法	242
八、饲料中单宁含量的测定	242
钨钼酸比色法	242
九、饲料中黄曲霉毒素B ₁ 的定性与定量测定	244
定性检验	244
(一) 微柱层析第一法	244
(二) 微柱层析第二法	245
定量检验	245
薄层层析法	245
附：黄曲霉毒素B ₁ 标准溶液浓度及纯度的检定方法	248
十、饲料中苯并(a)芘含量的测定	250
(一) 荧光分光光度法	250
(二) 目视比色法	252
(三) 薄层扫描法	253
(四) 高效液相色谱法	254
十一、饲料中氟含量的测定	255
(一) 扩散-氟试剂比色法	255
(二) 灰化蒸馏-氟试剂比色法	257
(三) 盐胶提取-氟离子选择电极法	258
(四) 灰化处理-氟离子选择电极法	259
十二、饲料中砷含量的测定	260
(一) 砷蓝法	260
(二) 银盐法	262
十三、饲料中汞含量的测定	263
(一) 冷原子吸收法	264
(二) 双硫脲比色法	265
十四、饲料中铅含量的测定	266
(一) 双硫脲比色法	267
(二) 原子吸收分光光度法	268
十五、饲料中镉含量的测定	269
(一) 原子吸收分光光度法(碘化钾-甲基异丁酮法)	270
(二) 原子吸收分光光度法(双硫脲-乙酸丁酯法)	271
(三) 6-溴苯并噻唑偶氮萘酚比色法	272
十六、饲料中铬含量测定	273
(一) 二苯胺基脲比色法	273
(二) 原子吸收分光光度法	274
十七、饲料中硒含量的测定	275
(一) 3,3'-二氨基联苯胺比色法	275
(二) 2,3'-二氨基萘荧光法	276
十八、饲料中有机氯农药残留量的测定	277

(一) 六六六、滴滴涕的气相色谱法	277
(二) 六六六、滴滴涕的薄层色谱法	279
十九、饲料中有机磷农药残留量的测定	280
气相色谱法	280
二十、饲料中西维因残留量的测定	282
(一) 对硝基苯偶氮氟硼酸盐比色法	282
(二) 高效液相色谱法	283
参考文献	286

第一章 绪 论

第一节 饲料毒物学的研究对象、任务、内容和方法

饲料毒物学 (feed toxicology) 是研究饲料中出现的有毒有害物质及其作用机理与预防措施的一门科学。

饲料是发展畜牧业的物质基础。饲料中的各种营养物质为维持动物正常生命活动和最佳生产性能所必需。但是, 饲料在生长 (饲用植物) 与生产、加工、贮存、运输等过程中都可能出现某些有毒有害物质, 它们对动物会带来多种危害和不良影响, 轻者降低饲料的营养价值, 影响动物的生长和生产性能, 重者引起动物急性或慢性中毒, 甚至死亡。而且饲料中的有毒物质有相当一部分可以通过食物链 (food chain), 即饲料→畜、禽及其产品 (肉、蛋、乳) →人体, 从而对人体健康产生有害的影响。因此, 对饲料中的有毒有害物质, 应当加以研究和重视。我国饲料资源丰富, 种类繁多。过去, 有一些出产量大、营养物质丰富的饲料资源, 由于含有某种有毒有害成分, 对它们长期未能充分加以利用, 甚至不敢用作饲料, 以致大批饲料资源被用作肥料、燃料, 甚至白白浪费。这是非常可惜的。随着现代畜牧业生产集约化和饲料工业的发展, 更需要不断地开发利用各种新的饲料资源, 这当中都涉及到“毒”的问题, 即饲料安全性问题。因此, 饲料毒物学作为一门独立的学科日益显得重要。

毒物 (toxicant) 是指较小剂量就能引起动物机体功能性或器质性损害的化学物质。毒物的概念是相对的, 其中剂量大小是很重要的。例如, 食盐是无毒的, 是日粮的组成成分, 但如过量给予, 也能引起动物发生严重的中毒, 甚至死亡。因此毒物与非毒物之间并无绝对的界限。至于饲料毒物, 其含义则较为广泛。虽然有些饲用植物能产生毒性很强的物质, 但对大多数含有毒物的饲用植物来说, 只有当动物在较长时间不断地采食这些植物或其产品后才能表现出各种各样的毒效应 (毒物对动物机体所产生的损害总称为毒效应或毒作用), 其中包括饲料消化率降低、生长停滞、生产性能下降以及其他功能性或器质性的病理变化等。因此, 饲料中凡是能够引起动物机体产生一切不良反应的有毒有害物质, 均属饲料毒物学所讨论的范畴。

饲料毒物学的研究对象主要是饲料中可能出现的各种有毒有害物质。这些物质可大致归纳为以下四类:

(1) 饲料中的天然有毒有害物质。它们大多数是在植物体内的代谢过程中, 由糖类、脂肪和氨基酸等基本有机物代谢衍生出来的, 属于次生代谢产物。例如某些青绿饲料中含

有的生氰糖甙、草酸盐和一些生物碱，棉子饼中含有的棉酚，豆类子实中含有的蛋白酶抑制剂、植物红细胞凝集素等。

(2) 饲料的正常组成成分或无害成分在某些情况下发生分解或转化而形成的有毒有害物质。例如：当叶菜类饲料调制与贮存不当时，可使其中所含的硝酸盐还原而形成亚硝酸盐；马铃薯贮存不当而变绿发芽时，可形成大量茄碱。

(3) 各种性质的饲料污染物(feed contaminants)。主要是化学性污染物和生物性污染物。化学性污染物包括各种农用化学品(如农药、化肥等)、工业化学品、有毒金属(如铅、砷、汞、镉、铬等)和其他有毒化学物质(如N-亚硝基化合物、多环芳烃、多氯联苯等)。生物性污染物包括真菌与真菌毒素、细菌及其毒素、饲料害虫等。真菌毒素也可归属于化学性污染物。

(4) 饲料添加剂(feed additives)不合卫生要求(如含多量有害杂质)或使用不当，也可导致人为的污染，对动物造成危害。

上述有毒有害物质因其性质不同，可对动物机体造成多种危害。例如，降低饲料中某些营养素的消化吸收和代谢利用效率(这类有害成分常称为抗营养因素antinutritional factors)，抑制动物的生长和增重，影响生产性能、繁殖能力或遗传过程，引起急性或慢性中毒，诱发癌肿等等。饲料中有毒有害物质所引起的危害具有长期性和群发性的特点，因而对畜牧业的发展可造成严重的不良影响。

饲料毒物学的任务是研究和阐明饲料中可能出现的有毒有害物质的种类、来源、含量水平、性质、对动物机体的毒性及其作用机理，并在此基础上研究相应的预防措施，以提高饲料的卫生质量，确保饲用安全，预防饲料源性疾病及其他危害。

饲料毒物学的研究内容，主要包括以下几个方面：

(1) 饲料毒物毒性的基本概念和饲料毒物与机体相互作用的一般规律。

(2) 各类饲料中天然存在的有毒有害物质的种类、来源、对机体的危害及其机理，以及有关预防措施。

(3) 主要的饲料污染物(包括真菌毒素、农药、有毒金属及其他有毒化学物质)的来源、污染饲料的途径、对机体的危害及其机理，以及预防污染与危害的措施。

(4) 制订饲料卫生标准及进行饲料卫生质量鉴定的步骤和方法，以及对新的饲料资源和新的加工、去毒措施进行安全性评价的方法。

饲料毒物学的研究方法主要有：

(1) 化学检验 利用化学方法对饲料中可能存在的有毒有害物质进行提取，研究其化学结构、物理、化学性质以及含量水平等。

(2) 动物毒性试验 使动物摄入怀疑含有有毒有害物质的饲料或其提取物，观察动物可能出现的各种形态的和功能的异常变化。根据试验时间长短或主要观察指标的不同，可分为急性、亚慢性、慢性、致突变、致癌、致畸试验等多种方法。饲料毒物学的动物毒性试验方法虽与一般毒理学试验方法基本相同，但由于饲料中有毒物质的含量常相对较低

并可能被动物长期食用,故在毒性试验中必须包括较为长期的慢性毒性试验,且一般采取经口摄入的途径。此外,也可进行一些特殊试验,如利用昆虫、微生物、细胞培养或组织培养等方法。

(3) 畜群健康调查 是在已采食含有有毒物质的饲料的畜群中,利用流行病学调查方法,调查畜群的一般健康状况、发病率、死亡率以及可能与被检有毒物质有关的其他特殊疾病或体征。通过畜群健康调查,可以直接了解含有有毒有害物质的饲料对畜、禽的危害,也可将动物毒性试验的结果加以验证。此外,在必要时还应对畜群的生产性能和生长发育情况进行统计分析,以便全面了解饲料毒物所造成的危害与影响。

饲料毒物学是在畜牧生产和饲料工业生产实践中产生和发展起来的一门新学科。它所研究的问题实际上是有关饲料卫生质量的问题,或通常所说的饲料卫生问题。畜牧业及饲料工业发达的国家都十分重视饲料卫生问题。很多国家制订了饲料卫生标准,规定了全国统一的饲料卫生检验方法,并且颁布了饲料(或饲料卫生)法规,依法施行饲料卫生监督制度。在研究饲料有毒有害因素的来源、性质、作用、检测手段和控制措施等方面,取得了重大进展。特别是由于饲料毒理学理论与方法以及各种先进的、精确的化学分析方法的应用,使饲料毒物学取得了飞速的发展。

在我国,近十余年来随着现代畜牧业生产集约化经营的发展和饲料工业的蓬勃兴起,饲料卫生工作及其有关学科已在逐步建立和发展。我国已逐步建立起国家级及省、市各级饲料质量监督检验测试机构、饲料科学研究机构及行政管理机构,这些专业机构对饲料卫生工作也逐渐重视,并在逐步开展饲料中有毒有害物质的监测与监督管理工作。我国的饲料卫生标准以及统一的有毒有害物质的检验方法已陆续制订。我国在饲料毒物学的理论与技术方面也取得了一些重要的进展,如农药、霉菌毒素及其他污染因素的调查、研究与控制,饲料毒理学方法和理论的研究与应用等。饲料毒物学作为一门独立的学科在我国正在逐步建立,我国一些高等农业院校的動物营养与饲料加工、畜牧等专业已作为专业课开设。

随着我国畜牧业和饲料工业的发展,以及饲料资源的广泛开发利用,在饲料毒物学的学科领域和饲料卫生工作方面,将会出现越来越多的新问题,需要加以研究和解决。目前,这方面的工作和问题主要是:继续制订和完善各类饲料的卫生标准,确定并统一饲料卫生质量鉴定方法;进一步对各地区某些可利用饲料中的有毒有害物质的毒性、作用机理及其去毒利用措施开展研究,以推动这些饲料的广泛利用;对新开发的饲料资源作好卫生质量鉴定和作出安全性评价;研究和解决新的饲料添加剂在使用中可能带来的毒性问题及其他有关的卫生问题;推广应用饲料毒物毒性试验方法,并进一步探索短期快速毒性试验方法。此外,随着工农业的发展,工农业生产过程中使用和排放的各种新污染物日益增多,饲料遭受污染的可能性不断增加,对此也应加以研究,寻求预防污染饲料和去除污染物的方法。总之,今后应当从理论与实践两个方面进一步努力探讨,使饲料毒物学不断发展和深化,更好地服务于畜牧生产和饲料工业生产,以保障和促进畜牧业的发展。

第二节 有关毒物毒性的基本概念

一、毒性、剂量、效应和反应

(一) 毒性 毒性 (toxicity) 是指某种化学物质对机体造成损害的能力。毒性高的物质以极小的剂量即可造成机体的一定损害; 毒性低的物质则需较大的剂量才呈现毒性。毒性高低是相对的, 关键在于剂量。引起某种有害效应的剂量, 是衡量毒性的指标。

(二) 剂量 剂量 (dose) 的概念较为广泛, 可指给予机体或与机体接触的量, 也可指化学物被吸收入机体的量, 或化学物在靶器官或体液中的浓度。一般系指给予机体或与机体接触的量, 并以每单位体重给予受试物的重量来表示, 即毫克/公斤体重 (mg/kg b. w.), 可简称为毫克/公斤 (mg/kg)。

摄入机体的化学物质, 往往不能全部被吸收入血, 而只有一部分被吸收。摄入量 and 收入血液量的比值, 称为吸收系数或吸收率。各种化学物质在同一种动物的吸收系数和吸收速度各不相同。饲料毒物经口摄入时, 要考虑胃肠的吸收系数。

(三) 效应和反应 效应 (effect) 是指机体在接触一定剂量的化学物后所引起的生物学变化。例如, 摄入有机磷农药可引起胆碱酯酶的活性降低, 即为有机磷农药所引起的效应。

反应 (response) 是指接触一定剂量的化学物后, 表现某种效应并达到一定强度的个体在群体中所占的比例。例如, 将一定剂量的化学物给予一群试验动物, 引起50%的动物死亡, 则该死亡率为该化学物在此剂量下引起的反应。

所以, 效应仅涉及个体, 而反应则涉及群体。效应可用一定的计量单位表示其强度, 例如若干单位的酶活力, 若干个白细胞等; 反应的强度则用百分率或比值表示。

在过去的文献中, 对于效应与反应两个概念往往未加以区分, 统称为“作用”, 近年才开始明确区分。但在笼统提及化学物质在机体内引起的生物学变化时, 亦有将效应与反应统称为“作用”, 或简单地用“效应”一词代表。

(四) 剂量-效应关系和剂量-反应关系 剂量-效应关系 (dose-effect relationship) 表示一种化学物的剂量与其在某一个体所呈现的效应之间的关系。

剂量-反应关系 (dose-response relationship) 表示一种化学物的剂量与群体中呈现某种效应并达到一定强度的个体在群体中所占比例的关系。例如半数致死量 (LD_{50}) 就是表示剂量-反应关系。

剂量-反应 (或效应) 关系, 通常可用剂量-反应 (或效应) 曲线来表示, 主要有三种类型 (图1-1)。

1. 直线关系 剂量与反应 (效应) 成正比, 表现为直线关系。这种类型实际上较为少见。

2. S 状曲线关系 即两端较平缓、中间陡峭的曲线。此种类型在剂量-反应关系中较