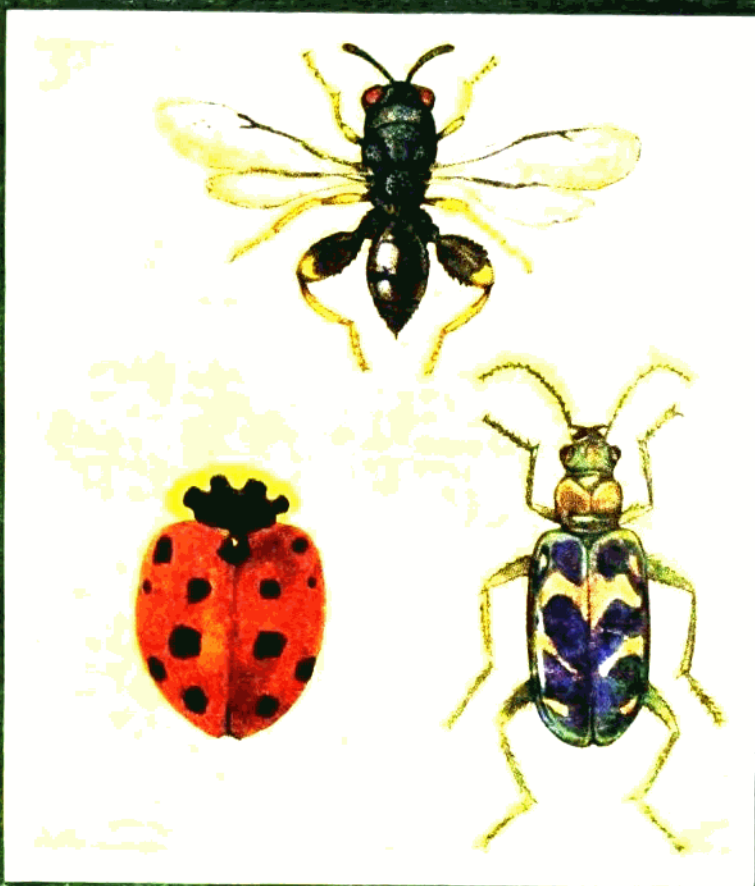


高等学校试用教材

昆虫学

下册

南开大学 中山大学 北京大学 四川大学 复旦大学 合编



人民教育出版社

内 容 提 要

本书为综合性大学昆虫专业的试用教材。全书包括绪论、昆虫的外部形态、昆虫的分类、昆虫生理和昆虫生态五个部分，分上、下两册出版。

下册的内容有昆虫生理和昆虫生态两篇，共13章。生理部分较详细地介绍了昆虫的消化、循环、呼吸、排泄等各系统的生理功能，并讲述了神经、感官和行为的机理。生态部分除基本知识外也介绍了国外有关环境因素对昆虫的影响、种群、群落、生态系统和系统分析、害虫的科学管理方面的科研成就及动态。

高等学校试用教材

昆 虫 学

下 册

南开大学 中山大学 北京大学 合编
四川大学 复旦大学

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 470,000

1980年9月第1版 1981年16月第1次印刷

印数 00,001—10,500

书号 13012·0520 定价 1.50 元

目 录

第三篇 昆 虫 生 理

第十一章 体壁及其生理	3	二、气体的交换	45
一、体壁的构造	3	三、水生昆虫和寄生昆虫的呼吸	46
1. 基膜	3	四、昆虫的呼吸代谢	47
2. 真皮层	3	1. 虫体内物质降解代谢的基本概况	48
3. 表皮层	4	(1) 糖的代谢	48
(1) 内表皮	4	(2) 蛋白质的代谢	49
(2) 外表皮	4	(3) 脂肪的代谢	50
(3) 上表皮	5	2. 昆虫生命活动的能量来源	51
二、表皮的化学成分	6	(1) 无氧代谢的能量产生	51
1. 几丁质	6	(2) 有氧代谢的能量产生	51
2. 蛋白质	8	3. 昆虫不同发育期呼吸代谢的特点	54
3. 多元酚及其氧化酶	10	4. 影响昆虫呼吸代谢的因素	56
4. 脂类	12	第十四章 循环	57
5. 无机盐类	12	一、昆虫的循环器官及有关构造	57
6. 色素	14	二、昆虫的血淋巴及其功能	58
三、表皮的渗透性	16	1. 血淋巴的物理性质	58
1. 水分	16	2. 血淋巴的化学成分	59
2. 气体	17	(1) 水分	59
3. 电解质和杀虫剂	17	(2) 含氮化合物	59
四、体壁的内突和外突	18	(3) 碳水化合物	63
五、昆虫体壁的颜色及适应意义	19	(4) 脂类	64
1. 色素色	19	(5) 无机盐类	64
2. 结构色	20	(6) 有机酸	65
第十二章 消化和营养	22	(7) 色素	65
一、昆虫消化道的基本构造及其与食性的相互适应	22	(8) 激素	65
二、消化道在机能上的分工	25	3. 血细胞及有关组织	66
1. 消化细胞	25	(1) 血细胞的起源	66
2. 原始细胞	27	(2) 血细胞的类型	66
三、食物的消化和吸收	27	(3) 血细胞的总数	67
1. 昆虫食物的含义及营养需要	27	(4) 血细胞的功能	67
2. 食物的消化和利用	36	(5) 与血细胞有关的其他组织	68
四、杀虫剂对消化系统的影响	39	三、血淋巴在虫体内的循环	69
1. 肠道 pH 与药剂的关系	39	1. 心脏的搏动及影响因素	69
2. 胃毒剂对消化酶的影响	40	2. 虫体内血淋巴循环的途径	71
3. 胃毒剂对昆虫肠道引起的病变	40	第十五章 排泄	72
第十三章 呼吸和代谢	41	一、昆虫的排泄器官和功能	72
一、昆虫气管系统的构造和功能	41	1. 马氏管及其生理	72
1. 气门	41	(1) 马氏管的解剖构造	72
2. 气管	42	(2) 马氏管的组织学和亚显微结构	73
3. 微气管	43	(3) 马氏管液的组成和形成方式	73
		(4) 马氏管的排泄机能	76
		2. 直肠及其生理	77

3. 昆虫的其他排泄方式及有关器官	80
二、昆虫排泄作用的生理特点	81
1. 含氮代谢产物的排泄	81
2. 水分的平衡	81

第十六章 昆虫肌肉及其生理

一、昆虫肌肉的类型及其在虫体的分布	86
1. 管心肌	87
2. 致密肌	87
3. 纤维肌	87
二、肌肉与体壁的联接	88
三、昆虫肌肉的细微结构	88
四、肌肉的神经分布	90
1. 神经支配	91
2. 神经肌肉接点	91
五、昆虫肌肉收缩的生物化学及生理特点	93
1. 肌原纤维的蛋白质组成	93
(1) 肌球蛋白	94
(2) 肌动蛋白	94
(3) 原肌球蛋白	94
(4) 肌钙蛋白	94
(5) α -辅肌动蛋白和 β -辅肌动蛋白	95
2. 线粒体的超微结构和酶系分布	95
(1) 线粒体的超微结构	95
(2) 线粒体的酶系分布	96
3. 肌肉的收缩机能	96
(1) 机械输出系统	96
(2) 肌膜-内膜调节系统	97
4. 肌肉的机械反应	97
5. 肌肉收缩的能量供应	98
(1) 肌肉收缩的能量来源	98
(2) ATP 的作用和离子的影响	99

第十七章 神经、感官和行为

一、神经系统的构造	102
1. 神经原	102
(1) 巨大轴突	103
(2) 神经节	103
2. 昆虫的神经系统	103
(1) 中枢神经系统	103
(2) 交感神经系统	105
(3) 周缘神经系统	105
3. 神经的组织学结构	106
二、神经传导的机理	107
1. 静息电位	107
2. 产生静息电位的离子基础	107
3. 动作电位	108
4. 产生动作电位的离子基础	108
5. 轴突的电导性质	109
(1) 轴突的电阻电容性质	109

(2) 轴突的等效电路	109
(3) 膜的时间常数(τ)和空间常数(λ)	110
6. 神经动作电位的传导	110
7. 突触的传导机制	111
8. 杀虫剂对神经活动的影响	112
三、昆虫的感觉器官	113
1. 光的感觉器官—视觉	113
(1) 复眼的构造	113
(2) 视觉生理	115
(3) 单眼	118
2. 机械力感受器官	119
(1) 毛状感受器	119
(2) 钟形感受器	120
(3) 毛板感受器	120
(4) 剑梢感受器	120
(5) 昆虫的发声和听觉	122
3. 化学物质感受器官	125
(1) 嗅觉	125
(2) 味觉	129
四、昆虫的各种神经活动和行为	129
1. 昆虫的各种神经活动和行为	129
(1) 简单反射	129
(2) 趋性	130
(3) 周期性节律活动	131
(4) 信息传递	131
(5) 本能	132
(6) 条件反射	132
2. 昆虫的信息素与行为	132
(1) 性信息素	132
(2) 追踪信息素	134
(3) 报警信息素	134
(4) 聚集信息素	134

第十八章 生殖、生长和发育

一、昆虫的生殖器官	137
1. 雌性生殖器官	137
2. 雄性生殖器官	140
二、昆虫的生殖方式	141
1. 两性生殖	141
2. 孤雌生殖	142
3. 多胚生殖	142
4. 幼体生殖	142
三、昆虫的生长发育	142
1. 昆虫的胚胎发育	142
(1) 卵的基本构造	142
(2) 发育卵与外界的物质交换	142
(3) 卵裂和囊胚形成	143
(4) 胚胎形成的动态	145
(5) 胚胎发生的代谢特点	146
2. 胚后发育	149
(1) 孵化	149
(2) 幼虫期的生长	149

(3) 幼虫组织分解和成虫组织发生	151
(4) 变态时的代谢特点	151
3. 休眠和滞育	154
(1) 休眠和滞育的区别	154
(2) 滞育的发生和解除	154
(3) 滞育的生理特征	157
4. 昆虫生长发育的激素控制	158
(1) 与昆虫生长发育有关的激素及	

其类似物	158
(2) 滞育的激素控制	169
(3) 多态现象与激素	170
(4) 激素对昆虫生长发育的协调作用	171
5. 引起昆虫不育的因素	171
小结	175
第三篇主要参考书目	177

第四篇 昆虫生态

第十九章 环境因素对昆虫的影响

一、环境的概念与分类	179
1. 环境的概念	179
2. 栖息地、生态位和生境幅度	179
3. 环境因素的分类	180
二、气候因素	181
1. 气候的生态学意义	181
2. 气候的季节性与昆虫的周期现象	182
3. 温度与热	182
(1) 温度对昆虫的生态学意义	183
(2) 有效积温法则	184
(3) 高温对昆虫的影响	187
(4) 低温对昆虫的影响	187
4. 湿度	188
(1) 湿度对昆虫的生态学意义	188
(2) 昆虫对湿度的反应	188
(3) 降雨、降雪对昆虫的影响	190
(4) 温湿度的综合作用	191
① 温湿度系数及其应用	191
② 气候图及其应用	192
5. 光	193
(1) 光的性质与昆虫对光的识别	193
(2) 光对昆虫活动的影响	194
(3) 光对昆虫生长、发育的影响	195
(4) 光与昆虫的滞育	195
6. 风	198
(1) 风对昆虫的一般意义	198
(2) 风与昆虫的迁飞	198
三、生物因素	201
1. 生物因素作用的特点	201
2. 昆虫食性与食性专门化	202
3. 昆虫与寄主植物的关系	202
(1) 昆虫对植物的选择与反应	202
(2) 寄主植物对昆虫的适应	203
4. 昆虫与其他动物的关系	204
(1) 捕食者和被食者	204
(2) 寄生生物与寄主	205
5. 昆虫与微生物的关系	206
(1) 病原真菌	206

(2) 病原细菌	206
(3) 病毒	207
四、作为昆虫居住地的土壤和水体	
1. 土壤	207
(1) 土壤作为昆虫栖息地的一般意义	207
(2) 土壤的物理特性与昆虫	208
(3) 土壤的化学特性与昆虫	209
2. 水体	210
(1) 水体对昆虫的意义	210
(2) 水体的一般特性	210
(3) 淡水生物物的生态类型	211

第二十章 种群

一、种群的一般概念与主要特征	212
1. 种群的定义及其研究内容	212
2. 种群的结构	213
(1) 性比	213
(2) 年龄组配	213
3. 种群的空间分布型	214
(1) 均匀分布	215
(2) 随机分布	215
(3) 核心分布	215
(4) 负二项分布	215
二、生命表与种群的生态对策	217
1. 生命表的一般概念	217
(1) 年龄特征生命表	218
(2) 时间特征生命表	221
2. 生态对策与K类及r类有机体	222
(1) K类有机体与r类有机体	222
(2) 栖境特性与生态对策的关系	223
(3) 生态对策的适应意义及K类有机体和r类有机体的一般特征	224
(4) 生态对策的形成: K选择与r选择	225
(5) 生态对策对种群动态的影响	226
(6) 害虫的栖境对策与防治策略的抉择	227
三、实验种群	228
1. 单种种群	228
(1) 单种种群数量动态的一般表现	228
(2) 简单生活史的单种种群的实验观察	229

(3) 简单生活史的单种群增长的 理论分析	229
(4) 具有复杂生活史或世代不重叠的单种群 虫种群的动态	231
2. 混合种群	234
(1) 种间竞争	234
(2) 捕食者与被食者的关系	237
(3) 寄生物与寄主的关系	239
四、自然种群	240
1. 昆虫自然种群的抽样调查	240
2. 昆虫自然种群生命表的编制与分析	240
3. 害虫大发生原因及致死因素主导因子的 分析	243
4. 确定影响昆虫种群趋势指数主要因子的 回归分析法	247
5. 昆虫种群动态的系统分析及其数学模型 的构成	248
五、种群的平衡与调节	249
第二十一章 生物群落	
一、群落的基本概念和一般特征	254
1. 群落的基本概念	254
2. 群落的命名和优势种	254
二、群落的组成和结构	254
1. 群落的结构和分化	254
(1) 垂直分层结构	255
(2) 水平分布格局的分化	255
(3) 时间结构的分化	256
2. 群落的生境梯度和种群的分布	256
3. 群落中物种数量的分布及其决定因素	259
4. 各物种在群落中的重要性	261
三、群落的发展和演替	262
1. 群落的演替形式	262
2. 群落演替的过程和特征	263
3. 群落不同演替阶段的特征	264
4. 群落的多样性和稳定性	266
第二十二章 生态系统和系统分析	
一、生态系统概论	271

1. 生态系统的概念	271
2. 生态系统的组成成分及其功能	271
3. 生态系统的分类	273
(1) 植物生态系统	273
(2) 动物生态系统	273
(3) 人类生态系统	273
4. 食物链、营养阶层和生态金字塔	274
二、生态系统中能量的流动	277
1. 能量和热力学定律	277
(1) 自由能	278
(2) 熵	278
2. 初级生产量	280
3. 生物量	283
4. 次级生产量	285
5. 能量流动的分析	286
(1) 生态系统水平的能流分析	287
(2) 食物链水平的能流分析	287
(3) 实验种群的能流分析	288
三、生态系统中的物质循环	289
1. 物质循环的概念和特点	289
2. 生物地化循环的类型	290
3. 生物地化循环举例	292
(1) 碳的循环	292
(2) 磷的循环	293
4. 杀虫剂和其他物质对环境的污染	295
四、生态系统的系统分析	297
1. 系统生态学的由来及基本概念	297
2. 系统分析方法	299
第二十三章 害虫的科学管理	
一、害虫综合防治的生态学基础	305
二、害虫的经济危害许可水平	306
三、害虫科学管理中的经济核算	307
四、各种治虫方法在害虫综合防治中的 作用	308
五、害虫科学管理的新进展和展望	309
第四篇主要参考书目	313

第三篇 昆 虫 生 理

第一、二篇介绍了昆虫形态和种类的多样性及其进化规律。昆虫种类如此繁多,生命活动及行为习性自属多种多样,在自然选择的长河中,作为一个自然的生物类群来讲,本身自有其发生发展的内在规律。本篇主要是对昆虫内部组织、器官、系统以及整体的机能规律进行综述,以便了解昆虫生命活动的必然程序。昆虫生理学是人类在生产实践中与害虫进行斗争和合理利用益虫的基础理论学科。在自然科学领域里,它也是比较生理学的一个组成部分,即以昆虫为研究对象来探讨生物进化过程中生理机能的进化规律。

在讲述有关章节之前,先就昆虫体内有关器官的部位作一简单介绍。

昆虫的外表包着一个由体壁组成的躯壳,躯壳内充塞着流动的血淋巴,所有的内脏皆浸浴在此血淋巴内。这个躯壳包成的腔,通称为昆虫的体腔,亦称血腔。其来源是胚胎发生时,在内、外胚层之间由中胚层形成的体腔囊发展成的。

昆虫的体腔通常由纤维肌膈(或称横膈)隔成几个部分,各称血窦(图§-1)。差不多所有昆虫腹部体躯的背面,约在背板两侧间,与背壁平行着皆有一层背横肌和结缔组织膜联合组成的背膈。背膈背面的体腔称为背血

窦。因为这是心脏所在的部位,所以又称为围心窦。有些昆虫腹部体躯的腹面,约在腹板两侧间,与腹壁平行也张着一层横肌纤维,纤维间亦有薄膜相联,形成腹膈。腹膈腹面的体腔称为腹血窦。又因为它是腹神经索所在部位,所以亦称围神经窦。背膈和腹膈之间的体腔,包含着主要的内脏,称为围脏窦。

昆虫的背膈在某些昆虫(如蝗虫)中,为连续性的一片横膈,上面没有孔隙,多数昆虫在背膈的侧缘常有孔隙,为背血窦和围脏窦之间血淋巴的通道。腹膈在昆虫中不象背膈那样普遍地存在。蜉蝣目、蜻蜓目、直翅类、膜翅目和鳞翅目的昆虫大多数具有腹膈。其他类昆虫多数没有此构造。有腹膈的种类,其侧缘也常有孔隙,为腹血窦和围脏窦之间血淋巴之通道。

由上述膈膜划分体腔的概况,大致可以看出几种内部器官的部位(图§-2),体腔中央是消化道,与消化道相连的还有司排泄的马氏管;消化道的上方,是主要的循环器官—背血官;消化道的下方是腹神经索。绝大部分昆虫的呼吸器官,在身体的两侧以气门向外开口,气管分布在身体侧

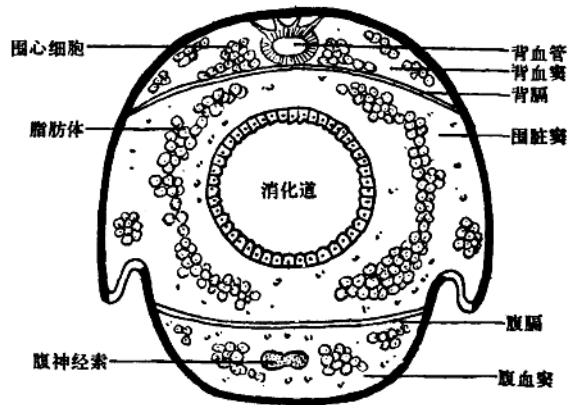


图 §-1 昆虫腹部的横切面(仿 Snodgrass, 1935)

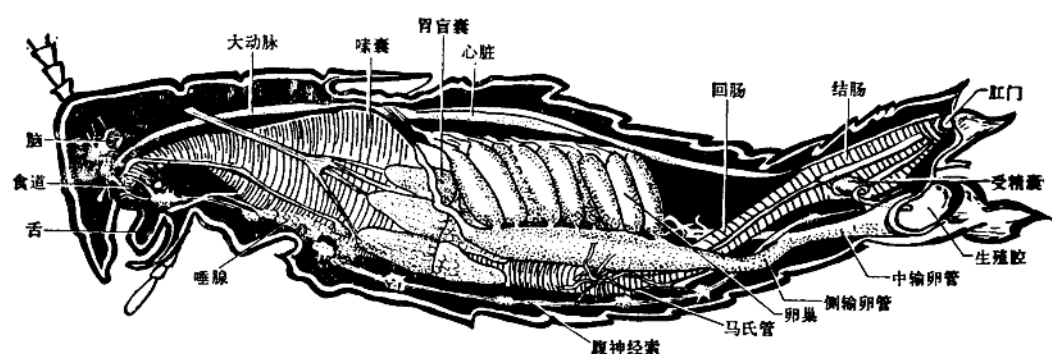


图 §-2 雌性蝗虫纵切面示内部器官的部位(仿 Matheson)

面、腹面、背面和内脏器官间；生殖器官(雌性为卵巢，雄性为精巢)在腹部消化道的背侧面，各以一根生殖管(输卵管和输精管)伸到消化道的下面，合并成一条共同的管子通到体外。肌肉附着在体壁上和组成各有关的内脏器官。

第十一章 体壁及其生理

昆虫体壁是虫体内部器官和外界环境之间的保护性屏障,由坚硬的表皮和单一的细胞层组成。昆虫的表皮像动物的皮肤,覆盖着体躯的全部,但它的功能远比其他动物的皮肤更为广泛。它既是皮肤,又是骨骼,因其大部分物质与虫体的代谢库相联系,所以也可看作营养成分的贮备场所。作为皮肤而言,它的坚韧性和精细的结构,控制着体内水分的蒸发,使昆虫免受干旱的威胁。它的特殊层次与组成成分形成了防御水分、化学离子、病原体以及杀虫剂等侵袭的屏障,起着重要的保护作用。作为骨骼而言,它起着决定虫体体形的作用,虫体各节之间具有韧性的膜质区,使之能活动自如,翅和附肢则以柔软部分连于体躯,虫体的一定部位则以坚韧而富有弹性的关节相连。口器的主要部分由特别坚硬的表皮形成。体躯的部分体壁向体内陷入而成为坚硬的“内骨骼”,以之附着肌肉,此外虫体的一部分器官或某些器官的一部分是由体壁内陷形成的,如气管系统,消化道的前肠和后肠,生殖系统的某些部分以及许多腺体等。作为营养成分的贮备库,体壁还可以贮存代谢物质,在饥饿和其他生命活动时不断消耗和更新。体壁也还是各类感受器官具物理性状的外部组成部分。

一、体壁 的 构 造

昆虫的体壁由外胚层来源。由基膜、真皮层和表皮层组成(图 11-1)。

1. **基膜(basement membrane)**: 为体壁的最内层,在真皮层之下方,直接与体腔中的淋巴接触,常常有各种血细胞及绛色细胞粘附在上面,神经和微气管穿过基膜而至真皮细胞层。

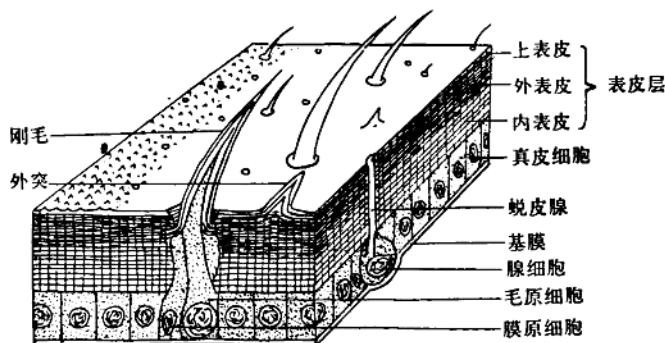


图 11-1 昆虫体壁构造模式图(仿 Richards, 1951)

它是由一类血细胞分泌成的中性粘多糖层,电子显微镜观察认为好似一层无定形的颗粒层,厚约 0.5 微米。

2. **真皮层(epidermis)**: 为单细胞层,细胞排列整齐。各相邻真皮细胞之间有桥粒结构,用

以巩固相互之间的联结。细胞近表皮一侧的质膜形成微绒毛，它和表皮的沉积活动有关。在昆虫发育的过程中真皮细胞经历着明显的变化。这层细胞平时很薄，在脱皮过程形成新表皮时，细胞则多呈柱状。真皮层若干细胞在此发育期中特化成腺体、色素细胞、毛原细胞及感受细胞等。

3. 表皮层(cuticle)，在真皮层的上方，是由真皮细胞分泌的一种异质的非细胞层。昆虫的表皮由内表皮、外表皮和上表皮三层组成(图 11-2)。

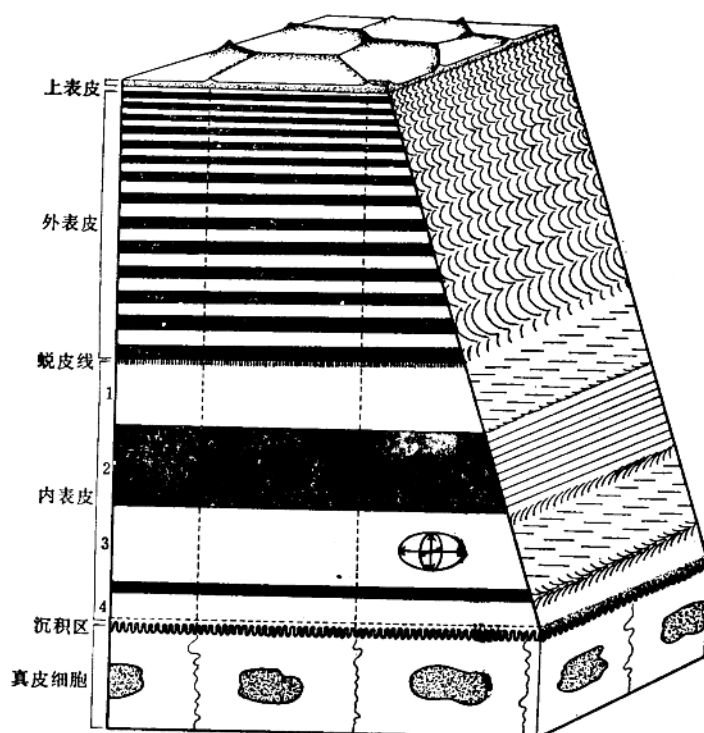


图 11-2 昆虫体壁表皮分层示意图(仿 Caveney, 1971)

(1) 内表皮(endocuticle)：由真皮细胞向外分泌最后形成的一层，该层是三层表皮中最厚的一层，厚度约 10—200 微米，内分许多平面层，每一片层是由很多弯曲成“G”字型排列的微纤维所构成，由于这些微纤维定向的规则排列，使表皮具特有的机械性能，便于弯曲和伸展(图11-3)。在许多昆虫中，内表皮当饥饿和脱皮时，可被消化重新吸收，因而认为内表皮具有贮备营养成分的生理功能。

(2) 外表皮(exocuticle)：在内表皮之外方，该层色较深且坚硬，是表皮中最硬的一层，厚度约占表皮的 $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{2}$ 。昆虫节间膜的外表皮一般很不发达，甚或缺如，因而能活动自如。外表皮分层较密。

内表皮和外表皮二者化学性质相似，皆含几丁质和蛋白质，但二者含量不同。

由真皮细胞开始，向外伸出孔道(pore canal)，贯穿于内表皮和外表皮之内，有的昆虫孔道

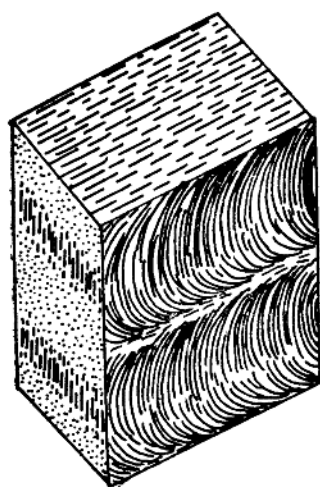


图 11-3 内表皮两个片层的模式图(仿 Bouligand, 1965)

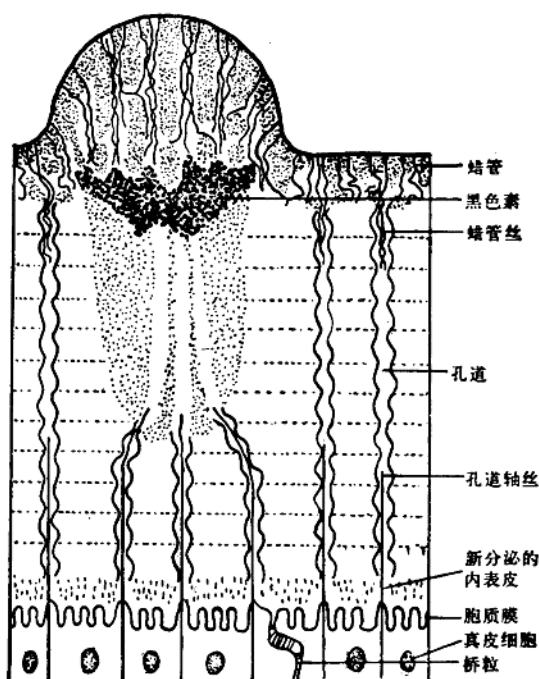


图 11-4 蜡螟幼虫表皮构造(仿 Locke, 1961)

可直达上表皮的表皮质层。孔道是当表皮面磨损后以及在表皮鞣化过程中由真皮细胞补充供应所需物质的通道。孔道的大小随昆虫种类而异, 蜡螟幼虫的孔道直径为 0.15 微米, 而麻蝇幼虫的则为 1 微米。有些昆虫的表皮或表皮的某些部分是没有孔道的, 例如蚊幼虫的表皮以及昆虫各种刚毛和感觉器官的表皮均无孔道。有些昆虫孔道内基部尚有孔道轴丝(pore canal filament), 在真皮细胞和内表皮之间起加固作用(图 11-4)。

(3) 上表皮(epicuticle), 系表皮的最外层。覆于昆虫的体表、气管壁及化学感受器的表面。厚度约为 1—3 微米, 该层不含几丁质。上表皮虽薄, 但它的构造相当复杂, 是由性质上很不相同的几层组成, 层次多少依昆虫种类而不同。

吸血蜡(Rhodnius)的上表皮可分为四层(图 11-5), 由内层向外依次为:

① 表皮质层(cuticulin)是由真皮细胞分泌的, 由鞣化后的高分子脂蛋白所组成, 内有孔道穿过。

② 多元酚层(polyphenol layer)由蛋白质和酚类组成。此层亦系真皮细胞所分泌, 初以液态流布表面, 而后硬化, 即最初此层中的蛋白质与酚类疏松地联接呈液态状, 待硬化后二者则紧密结合在一起。

③ 蜡质层(wax layer)亦由真皮细胞分泌所成, 内含蜡质, 初为乳化状, 当遍布虫体后则变硬。厚度约为 0.25 微米, 是表皮的防水层。此层在虫体上并非均匀分布, 如在湿度感受器和化学感受器上则无蜡质层。

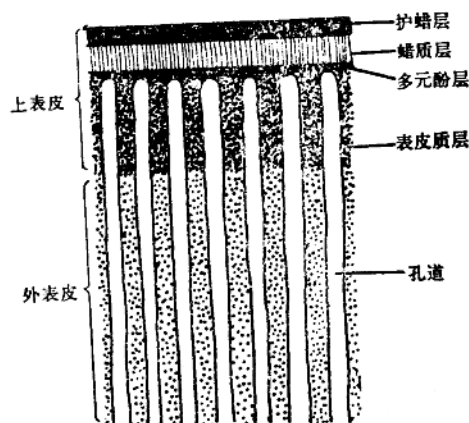


图 11-5 吸血蜡的上表皮构造(依Wigglesworth, 1948)

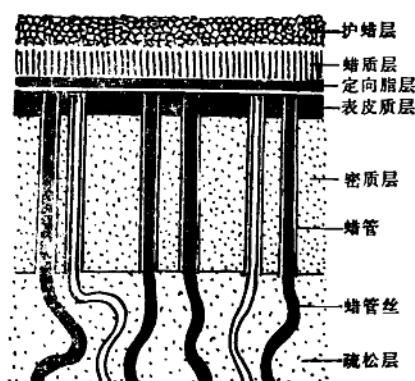


图 11-6 蜡螟幼虫上表皮构造(仿 Locke, 1961)

在许多昆虫中,蜡质层常常可以分为结构很不同的三层:即单分子蜡层、蜡层和蜡霜层。单分子蜡层是以液相存在的不稳定层次,而且不断地耗损和更新,其上是较厚的蜡层,蜡层常常渗透到护蜡层中去。蜡层外面常常形成疏松的蜡霜层。

④ 护蜡层(cement layer)是由真皮腺分泌到蜡质层外面的一层。厚度不超过 0.1 微米,其化学性质尚不完全清楚,含有蛋白质和脂类物质,可能是一种脂蛋白。此层有保护作用。

又如蜡螟(*Galleria*)上表皮由六层组成(图 11-6),依次为:

① 疏松层(loose layer)由真皮细胞上达的孔道终止于此,在此层内富有蜡管丝。蜡管丝为形成表皮脂类的先驱物质,即蜡管丝能与分布在蜡管内的脂酶相互作用形成表皮脂类。

② 密质层(dense layer)厚约 0.2 微米,占上表皮之大部分。

③ 表皮质层(cuticulin)比较厚,是不规则的一层。

④ 定向脂层(oriented lipids)厚约 80 埃,蜡管开口于此。

⑤ 蜡质层,厚度均匀,约为 60 埃。

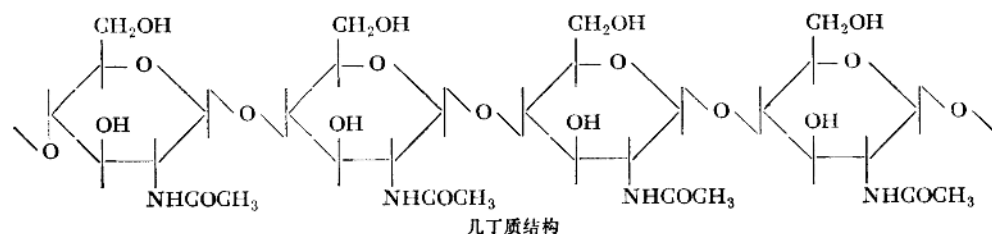
⑥ 护蜡层,系质地柔软而不规则的一层。

二、表皮的化学成分

1. 几丁质(Chitin):存在于内表皮和外表皮中。昆虫表皮的若干重要物理性质如弹性、韧度等,多半是由于几丁质的存在而形成的。但是不同的昆虫以及同一昆虫的不同部位的坚硬程度并非取决于几丁质含量的多少,例如:黄粉蛾(*Tenebrio*)成虫前胸背板几丁质含量为 28.8%,腹部腹面几丁质含量为 29.3%,幼虫表皮几丁质含量为 28%。又如马铃薯蛾(*Leptinotarsa*)的鞘翅几丁质含量为 32.2%,蜡螟的幼虫表皮几丁质含量为 33.7%,绿蝇(*Lucilia*)的蛹壳几丁质含量为 36.8%。

几丁质系高分子的含氮多糖物质,其构造类似纤维素,是由许多(至少数百个) N-乙酰-D-

葡萄糖胺的链状聚合物组成的,分子量很大。由于其组成链的长度并不完全相同,所以几丁质分子量也不一致。最小的描述单位是属于二糖类的几丁二糖,链长为 10.4 埃。我们在偏光显微镜下能看到的结晶状构造是乙酰葡萄糖胺的残基以氧原子联系起来的微团,并无分支,其长轴与纤维长度平行。



几丁质为无色无定型固体,不溶于水、稀酸、稀碱、酒精、乙醚等有机溶剂。以浓碱液在高温下(约 160°C)处理几丁质,虽然不能溶解,但可使其分子链上乙酰基的部分脱离,余下的部分为几丁糖(chitosan);而几丁糖能溶于稀酸中,一般借此法可测得几丁质的存在。近代 X 射线衍射分析法研究证明,在昆虫表皮中发现的几丁质属 α -几丁质(图 11-7)。几丁质是由血淋巴中的海藻糖合成的,几丁合成酶好似在真皮细胞向外的一面膜内,合成途径如图 11-8。对几丁合成酶起抑制作用的药剂有 1-(3,4-二氯苯基)-3-(2,6-二氯苯甲酰基)脲(即(DU 19111); 1-(4-氯苯基)-3-(2,6-二氯苯甲酰基)脲(即 TH 6038 或 PH 6038)和 1-(4-氯苯基)-3-(2,6-二氯苯甲酰基)脲(即灭幼脲(dimilin 或 diflubenzuron)TH 6040,或 PH 6040)。

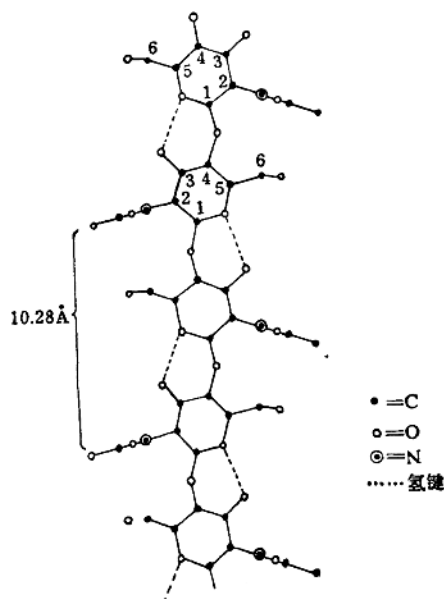


图 11-7 α -几丁质分子结构(仿 Neville, 1967)

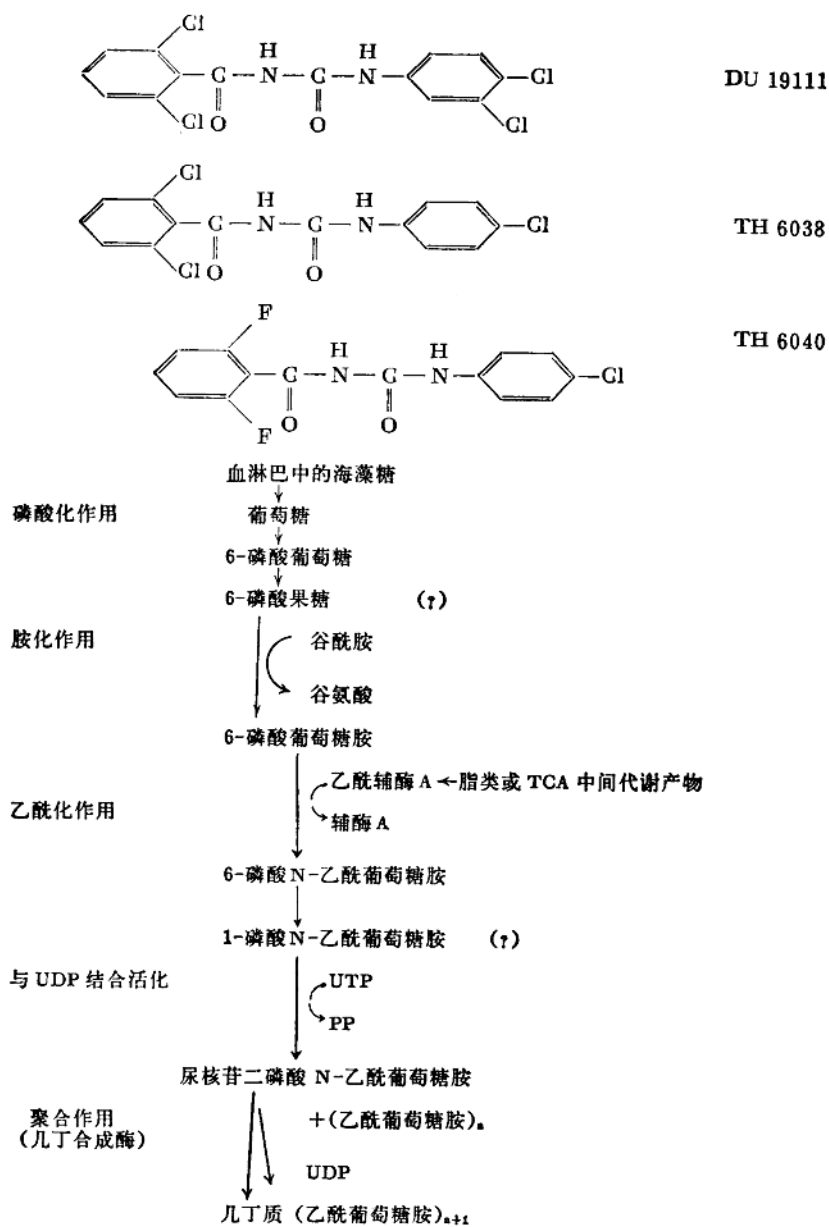


图 11-8 几丁质合成途径(Neville, 1975)

2. 蛋白质：是昆虫表皮各层的主要成分，约占表皮干重的一半以上，如一种天牛(*Agria-nome spinicollis*) 幼虫表皮中含 63% 的蛋白质。由于制备的困难，对于昆虫内表皮、外表皮和上表皮各自的蛋白质成分没有精确的报导。一般来讲，未硬化的表皮所含蛋白质种类较多。此外

由于发育阶段的不同,表皮蛋白质成分也不尽相同。如外生翅类昆虫,因为变态是逐渐进行的,幼虫和成虫表皮蛋白质的氨基酸组成没有明显的变化。相反地,在内生翅类昆虫中,由蛹到成虫因有变态和行为上的改变,其组成表皮蛋白质的氨基酸有着明显的变化。据早期分析研究证明,昆虫表皮蛋白质的许多氨基酸中没有含硫的氨基酸(胱氨酸、半胱氨酸和蛋氨酸)。但目前已知在许多昆虫表皮中均含少量含硫氨基酸(表 11-1)。借 X 射线衍射分析,有人(Fraenkel 和 Rudall,

表 11-1 几种昆虫表皮蛋白质的氨基酸分析

(Hackmann, 1976)

氨基酸*	虫 种 一种天牛幼虫 <i>Agrianome spinicollis</i>	吸血蜂若虫 <i>Rhodnius prolixus</i>	美洲蜚蠊成虫 <i>Periplaneta americana</i>
丙氨酸	106.2	229.1	242.5
β -丙氨酸	—	—	24.7
精氨酸	11.9	21.2	19.0
天门冬氨酸	22.8	23.0	91.2
半胱氨酸	—	—	5.7
谷氨酸	138.8	11.4	51.4
甘氨酸	119.1	158.0	101.2
组氨酸	微量	31.8	33.0
亮氨酸	48.6	67.4	40.7
异亮氨酸	58.9	1.3	19.9
赖氨酸	18.5	3.3	18.5
蛋氨酸	—	—	—
苯丙氨酸	23.5	5.4	15.6
脯氨酸	119.4	77.5	97.8
丝氨酸	85.7	51.0	51.4
苏氨酸	46.8	88.0	32.9
酪氨酸	44.5	86.5	76.6
缬氨酸	95.4	145.2	118.1

* 单位: 氨基酸毫克/1,000 毫克总残留物

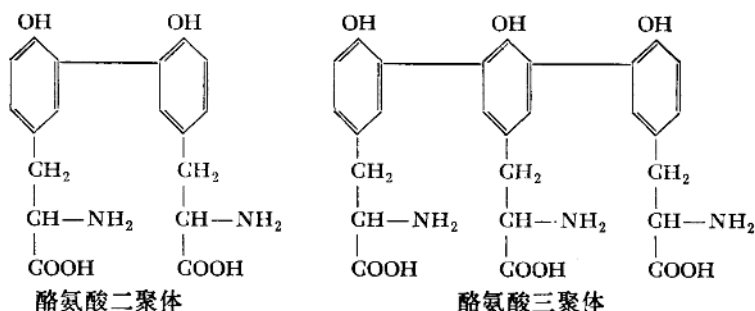
1947)认为表皮水溶性蛋白质分子为伸展状结构(即呈 β -型),近年有人(Neville 等,1975)提出并非如此,实际情况可能是球形构造,但尚需进一步证实。

昆虫表皮好似是一种多聚体的网络,其中几丁质以纤维丝状存在,借共价键和非共价键与其周围的蛋白质或其他物质相联接。昆虫表皮的性质将取决于其组成间各种键交联的数目和类型。

昆虫表皮蛋白质的不同溶解度可表明其与表皮中其他成分的构型关系,如对一种天牛(*Agrianome spinicollis*)幼虫表皮的研究表明,表皮含 63%蛋白质,其中 14%不与其他成分结合(这

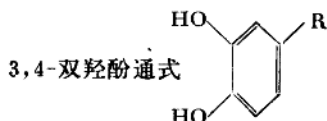
部分蛋白质可溶于水),2%是借范德瓦尔斯力结合(这部分可溶于0.16克分子浓度的硫酸钠),25%以氢键结合(这部分可溶于7克分子浓度的尿素),3%是以电价键或双共价键或二者以Schiff氏碱的形式结合(这部分溶于0.01克分子当量的氢氧化钠),其余56%的蛋白质与几丁质共价结合。

在飞行能力很强的一些昆虫中,如飞蝗的翅前桥和前翅主要的翅关节,蜻蜓后翅的弹性腱,和有弹跳能力昆虫的一定部位,皆有局部特化了的表皮,该处物理性状常似橡皮状,内含一种弹性硬蛋白,亦称弹力素(resilin),该物无色透明,遇水膨胀,用电子显微镜观察为无定形结构。飞蝗中的似橡皮表皮是以0.2微米厚的几丁质平行小板,间以0.3微米厚的类弹性硬蛋白粘合在一起组成的,经酸水解弹力素可形成两种聚合物:酪氨酸二聚体和酪氨酸三聚体。



昆虫表皮的硬度一般认为与高含量的丙氨酸有关。

3. 多元酚及其氧化酶: 在大多数,甚或全部昆虫的表皮中,都有酚类(主要是3,4-双羟酚类),已经鉴定的3,4-双羟酚类计有下列数种:



R=H 邻苯二酚

R=CH₃ 甲基邻苯二酚

R=COOH 双羟苯甲酸

R=CH₂-COOH 双羟苯乙酸

R=CH₂-CH₂-COOH 双羟苯丙酸

R=CH₃-CHOH-COOH 双羟苯乳酸

R=CH₂-CHNH₂-COOH 双羟苯丙氨酸(多巴)

R=CHO 双羟苯醛

R=CH₂-CH₂OH 双羟苯乙醇

R=CO-CH₂OH 2-羟-3,4-双羟乙酰苯

在许多昆虫的表皮中,先后发现了酚类的氧化酶,被认为与表皮的鞣化作用有关。

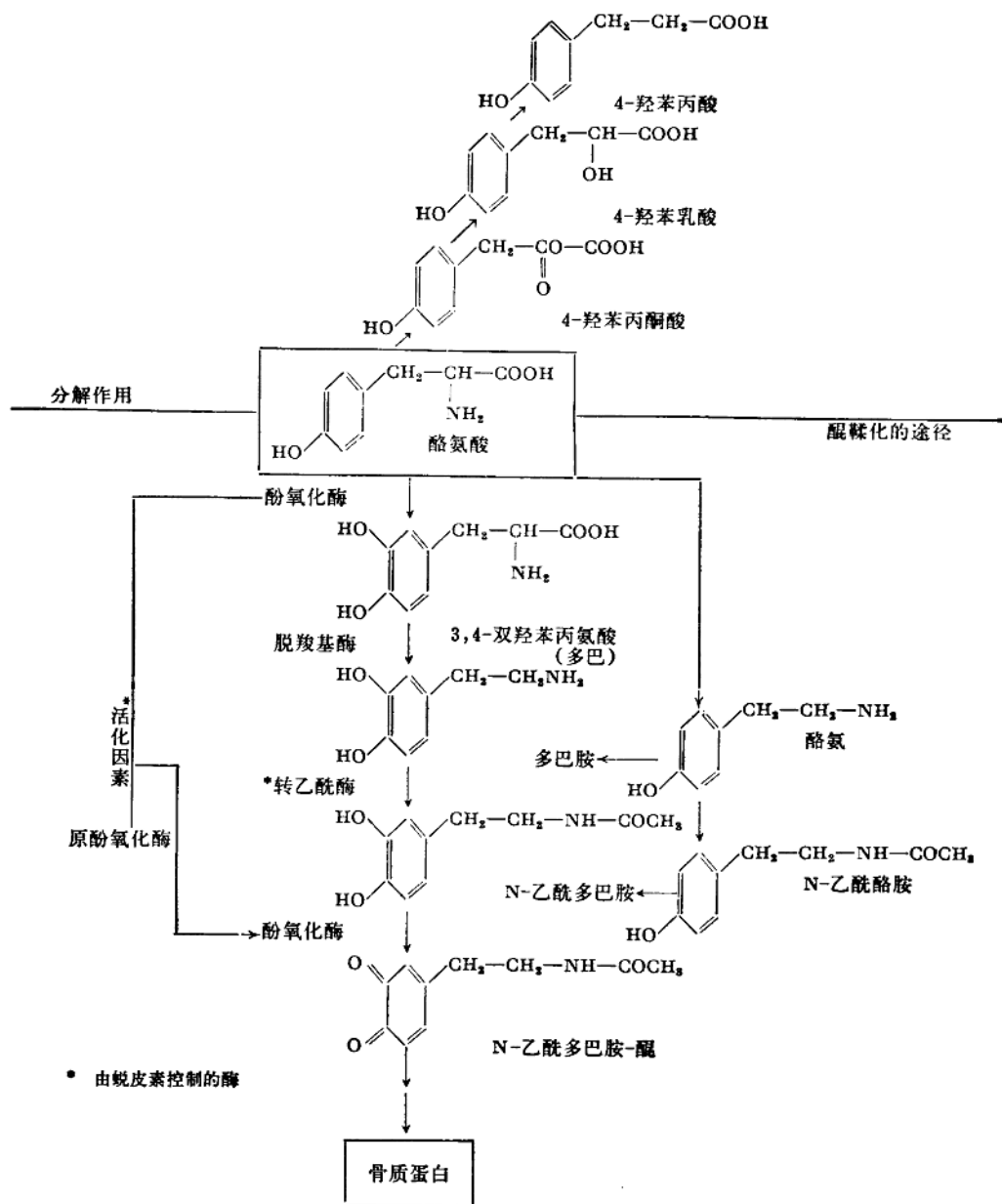


图 11-9 红头丽蝇(*Calliphora erythrocephala*)酪氨酸代谢和蛹皮硬化关系示意图
(仿 Sekeris & Karlson)

多元酚及其氧化酶在昆虫表皮硬化和暗化的过程中起重要的作用。对丽蝇和黄粉蚜的研究证明,其多元酚系血淋巴中酪氨酸经一系列氧化作用的衍生物。酪氨酸在虫体内的代谢及与表皮