

N1504115

全国高等农业院校教材

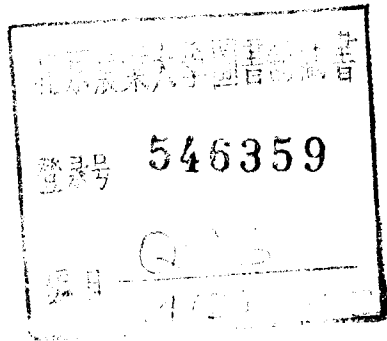
昆虫学通论

下册

(第二版)

北京农业大学主编

植物保护专业用



农业出版社

目 录

第四篇 昆虫的内部解剖和生理

第一章 昆虫体壁的结构和脱皮生理	1
第一节 昆虫的体壁	2
一、底膜	2
二、皮细胞层	2
三、表皮层	2
第二节 昆虫体壁的色彩	6
一、色素色	6
二、结构色	7
三、结合色	7
第三节 脱皮、脱皮液的作用和脱皮过程	7
一、脱皮	7
二、脱皮液的作用	7
三、脱皮过程	8
第四节 昆虫体壁的蒸腾作用和通透性及其与杀虫剂渗透的关系	8
第五节 昆虫的外胚层或皮细胞层特化结构	9
一、昆虫体壁的外长物	9
二、皮细胞腺	10
第二章 昆虫的内部解剖	11
第一节 血窦和隔膜	11
第二节 内部器官和生理系统的位置	11
第三章 食物道的结构、营养和消化生理	12
第一节 消化道的一般构造和机能	12
一、前肠的组织、区分和机能	13
二、中肠的组织 and 机能	14
三、后肠的组织、超微结构和机能	16
第二节 与消化道有联系的腺体及其功能	18
第三节 各类昆虫消化道的变异	18
第四节 消化道的消化作用和吸收机制	19
一、消化作用	19
二、吸收机制	21
第五节 昆虫的肠外消化	23
第六节 消化作用以及中肠酸碱度对药剂发挥毒效的影响	23
第四章 昆虫的循环系统和循环生理	23

第一节 背血管的构造	24
第二节 心脏的搏动与血液循环	24
一、心脏的搏动	24
二、血液循环	26
第三节 昆虫的血液	27
一、血液的组成	27
二、血液的功能	31
第四节 杀虫剂对循环系统的影响	32
第五章 昆虫的排泄器官及排泄生理	32
第一节 马氏管及其排泄机能	33
一、马氏管	33
二、马氏管的排泄机制	36
第二节 马氏管在昆虫脱皮和变态过程中的变化	38
第三节 其他排泄器官	38
第四节 杀虫剂对排泄器官的影响	39
第六章 昆虫的呼吸系统和呼吸生理	39
第一节 气管系统和气管呼吸	40
第二节 气管系统的呼吸机制和控制	44
一、微气管中的呼吸机制	44
二、呼吸代谢	46
第三节 昆虫的体温和对体温的调节	48
第四节 杀虫剂对昆虫呼吸代谢的影响	49
第五节 昆虫的其他适应性呼吸方式	49
第七章 昆虫的肌肉系统和生理	51
第一节 肌肉的发生和类型	52
第二节 肌肉与体壁的联系	53
第三节 肌肉的解剖和组织	54
第四节 肌肉收缩及滑行学说	55
第五节 昆虫肌肉的生理性状和能量代谢	57
第六节 昆虫肌肉的力量	60
第八章 昆虫的神经系统	60
第一节 神经系统的基本构造	60
第二节 中枢神经系统	63
第三节 交感神经系统	66
第四节 周缘神经系统	67
第五节 神经原传导冲动的机制	67
第九章 昆虫的激素和外激素	69
第一节 昆虫体内几个重要的内分泌器官	70
第二节 与变态有关的激素及其对生长发育的控制	72
第三节 激素的作用过程	74
第四节 几种主要激素对昆虫生长发育和变态的控制机理	75

第五节 昆虫的外激素与化学通讯	76
第六节 昆虫激素类似物的应用	77
第十章 昆虫的感觉器官和行为	78
第一节 昆虫感觉器感受刺激的机理	80
第二节 感触器或机械感觉器	80
第三节 听觉器	81
第四节 化感器	82
第五节 视觉器	84
第六节 昆虫的行为	88
第七节 昆虫的群集性和社会性行为	90
第八节 昆虫的迁飞行为	91
第十一章 昆虫的生殖系统和生理	91
第一节 雌性生殖器官	92
第二节 雄性生殖器官	98
第三节 昆虫的交配和受精	101
第四节 昆虫卵巢的生理活动及环境因素与成虫滞育的关系	103

第五篇 昆虫生态学

第一章 昆虫的种群	108
第一节 有关种群数量动态的特征	108
一、种群密度	108
二、种群出生率	109
三、种群死亡率(或存活率)	110
四、种群增长率	110
五、种群迁移率	110
六、种群平均寿命	111
第二节 种群结构特征	111
一、性状	111
二、年龄组配	111
第三节 种群的增长模型	111
一、不连续的增长模型	112
二、连续增长模型	112
第四节 昆虫的空间分布特征	113
第二章 环境因素分析	113
第一节 气候条件	114
一、温度对昆虫生长发育的影响	114
二、湿度、降水对昆虫的作用	130
三、温、湿度的综合作用	134
四、光在昆虫活动中的意义	137
五、风对昆虫的影响	142
六、昆虫生态学上的微气候问题	142

第二节 生物因素	144
一、食物	145
二、天敌	150
第三节 土壤环境	162
一、土壤气候	163
二、土壤的理化性状	164
三、土壤生物	165
第三章 昆虫的地理分布和害虫的为害地带	165
第一节 世界陆地动物地理区划	165
一、地球上大陆的移动历史	166
二、动物的发展历史	167
三、陆地动物区系与大陆移动历史的联系	169
第二节 我国昆虫的地理区系	170
第三节 影响昆虫地理分布及害虫为害地带形成的环境条件	171
一、地形条件	171
二、气候条件	172
三、土壤条件	172
四、人类活动的影响	172
第四节 害虫的为害地带	172
第四章 昆虫生命表	175
第一节 概述	175
第二节 特定时间生命表	176
一、特定时间生命表的结构	176
二、种群内禀自然增长率的计算	179
第三节 特定年龄生命表	181
一、特定年龄生命表的结构	181
二、平均生命表的编制	183
三、生命表数据的分析	185
第四节 昆虫种群动态数学模型	191
一、最优回归预测模型	192
二、以平均生命表为基础的昆虫种群生命系统模型	193
第五章 生态系统和农业生态系统	196
第一节 生态系统	197
一、种群	197
二、生物群落	197
三、生态系统	197
第二节 农业生态系统	203
一、农业生态系统的特点	203
二、农业生态系统中各种基本因素的联系	203
三、害虫与农业生态系统中其他因素的联系	204
第六章 害虫种群数量的控制	207
第一节 害虫防治	207

第二节 协调防治	209
第三节 害虫种群数量控制	210
一、害虫种群数量控制的可能性	211
二、害虫种群数量控制的研究途径	213
三、害虫种群数量控制方案的制订	219

第四篇 昆虫的内部解剖和生理

这一部分主要介绍昆虫内部器官的基本结构、组织、机能以及它们在生命活动中的作用。这些器官系统均以神经系统和内分泌系统相互协调和控制。

昆虫的种类繁多，不仅外部形态有差异，其内部器官、生理功能、生物化学和生活习性也各不相同，但种间的差异，是由祖先细胞在演化过程中，分别向一定功能专一化而发生的。所以，只要研究清楚同源关系和变化的规律，就不难把形形色色的变异归纳成基本的模式。例如，鳞翅目体上和翅面上的各种鳞片，和体色是同源的，因为它们都是体壁中毛原细胞特化的外长物；又如消化道随着口器和食性的不同而发生变异，但都是由一种比较原始的咀嚼式口器类型特化形成的。有了同源的概念，不论昆虫的内部器官和组织发生多大的变异，都可以从一个祖先的模式出发，明确其变异程度，并探索其演化途径。

植保工作者学习和研究“昆虫的内部解剖和生理”的目的，主要在于获得有关昆虫生命活动和表现各种行为的基本知识。为学好农业昆虫学、昆虫生态学、植物化学保护、昆虫生理、生化和毒理学打好基础，更有效地解决农业生产中发生的害虫和防治问题。例如，学习昆虫生长发育和生殖过程的机制，是害虫预测预报和综合防治的理论基础；学习昆虫体壁的组成和超微结构、化学组成和脱皮机制，是了解昆虫生长发育和变态、体壁通透性和药剂渗透性以及昆虫的抗药性等不可少的理论根据；学习呼吸代谢以及激素控制变态、滞育、生殖等机制，是研究昆虫种群发生、数量变动以及迁飞等机制的理论基础；学习神经系统的结构和功能以及冲动传导机制和感觉器的功能，是了解和分析昆虫行为、药剂作用和研制新药剂及引诱剂、拒避剂等的理论基础。

第一章 昆虫体壁的结构和脱皮生理

昆虫体壁，是体躯最外层组织，由胚胎的外胚层一部分未分化的细胞形成的皮细胞层及其分泌物（表皮）组成。表皮硬化成外骨骼以保持昆虫的体形和着生体壁肌，体壁还有保护作用，一方面可防止体内水分的蒸发，以保持体内水分平衡，另一方面可防止外来物质的侵入。如防止杀虫剂和菌类物质的侵入，因此在使用杀虫剂防治害虫中考虑如何破坏体壁，以使体内水分蒸发，失去水分平衡，还要考虑到使用通透性强的溶剂，破坏体壁上表皮和外表皮中化学分子的组成，以增强杀虫的效力。

体壁内陷而形成的内骨骼，则用以附着体壁肌的肌纤维，未硬化的表皮层，对体躯的弯曲和伸缩活动起着重要作用，而在新表皮形成过程中或饥饿情况下，一部分可被溶化和内吸时，又是供应生化合成所需原料的贮存体；另一些细胞可特化成各种感觉器和腺体，

用以接受环境刺激和分泌各种化合物，调节昆虫的行为。此外，皮细胞还接受内激素的控制，进行周期性脱皮和变态等胚后发育现象。

第一节 昆虫的体壁

昆虫的体壁 (Body wall, integument) (图4—1) (由里向外) 可分为底膜、皮细胞层和表皮层三部分。

皮细胞层是单层的细胞层，皮细胞的大小和机能的变化，其形状也各有不同。此外，皮细胞还向外引出许多原生质丝，而形成贯穿表皮中的孔道 (pore canal)，皮细胞不但以其分泌形成表皮，而且本身发出许多特化的构造，如伸在表皮外的刚毛、鳞片以及向体壁内发生专门分泌的腺体等。

表皮层既然是皮细胞的产物，所以它不仅包被着整个虫体，而且覆盖一切由外胚层内陷形成的构造，如前肠、后肠、气管以及一部分生殖道，和开口在表皮外的腺体。

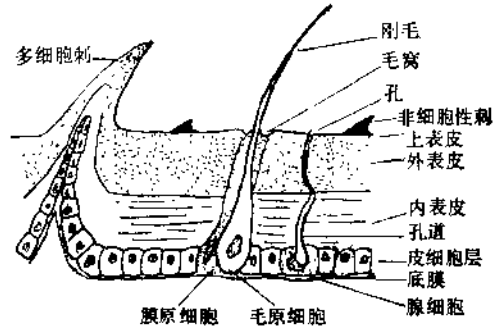


图4—1 昆虫体壁模式构造的切面图

一、底 膜

底膜 (Basement membrane) 是紧贴在皮细胞层下的薄膜，韦格勒斯华司 Wigglesworth 在 1956 年发现底膜是一种吞噬细胞分泌的，主要含有中性粘多糖，底膜使皮细胞和血腔分隔。在电镜观察下，底膜是一层无定形的颗粒状层次，血细胞、剑梢感觉器、神经末梢及微气管等常附着在底膜里边的表面，神经末梢及微气管延伸在底膜及皮细胞之间。底膜具有选择通透性，使血液中部分化学物质和激素进入皮细胞。

二、皮细胞层

皮细胞层 (Epidermis) 是单层细胞，下面是底膜，上面是表皮层，平时这层细胞很薄，但在形成新表皮时，细胞则多呈柱形，细胞质也比较浓，上端的突起，与表皮内的孔道相连。皮细胞在发育期中，常转化成腺体和色素细胞等。

皮细胞的主要生理功能有：控制昆虫的脱皮作用；分泌表皮层，组成昆虫体躯的外骨骼，以及外长物；分泌脱皮液，在脱皮过程中消化旧的内表皮，并吸收其产物合成新表皮物质；修补伤口；分泌色素细胞等。

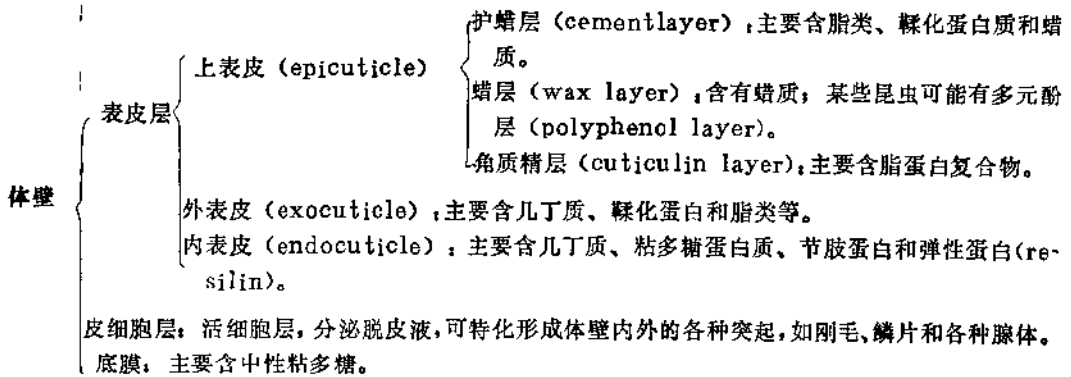
皮细胞内含有橙色和红色的颗粒，除使虫体表现色彩外，主要有氧化还原作用，可以控制某些昆虫的色彩变化。

三、表皮层

表皮层 (Cuticula) 是几层性质很不相同的、由皮细胞向外分泌而形成的非细胞性组

织。表皮层自外向内还可区分为上表皮、外表皮和内表皮三层，其中贯穿许多细微的孔道。

体壁的各层次及内含物可列式如下：



(一) 上表皮 是表皮层最外的一层，一般不超过1微米，上表皮虽薄，但还可以分为3—4层，即护蜡层、蜡层和角质精层，在吸血蝽 (*Rhodnius prolixus*) 中，在蜡层及角质精层之间，还有一层叫多元酚层。上表皮对脱皮液中的酶具有抗性。在光学镜下观察，上表皮层呈现一条屈曲的线条，而在电镜下观察，则可看到许多充满脂类的蜡质孔道黑点，以及含有“脂—水液晶”形成的网状匀质上表皮内层 (图4—2)。

1. 护蜡层 一般含有脂类、鞣化蛋白质和蜡质，具有疏水性和亲水性两重性质，其主要功能是：用以保护蜡层，贮有类脂，修补表皮损伤，防止水分蒸散等。护蜡层是由皮细胞腺的一种威氏腺 (Verson's glands) 经孔道而分泌的，如弄蝶 *Calpodex ethlius* 幼虫喜欢生活在卷叶中的水里，护蜡层就是亲水性的。

2. 蜡层 蜡层的厚度约在0.2—3微米，蜡层内蜡质的性质因虫而异，但是蜡质分子在内层作紧密的定向排列，成为防止体内水分向外蒸发和外界水分渗入体内的主要防线，构成体壁的不透水性。由于蜡质有一定的溶化点 (一般为30—60℃)，因此，如以适当温度或有机溶剂进行处理，以扰乱其分子排列，就能使水分迅速蒸发或使药物进入体内。

蜡层可区分为三个区域，最里面是脂类的单分子层，其上是排列比较不规则的脂类层，常伸入护蜡层，最外面的脂类则形成蜡粉。最内层的蜡质分子作紧密的定向排列，且与下面的角质精层形成化学结合，水分无法通过此层，进入虫体。

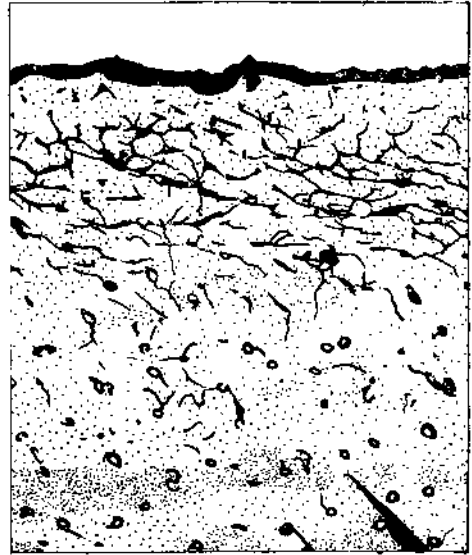


图4—2 黄粉甲 *Tenebrio* 幼虫上表皮的斜切面，示角质精层及其下方的蜡质孔道黑点 (右方为孔道的近似横切面 × 33000)

3. 角质精层（表皮质层） 由棕色细胞分泌的脂蛋白复合物，它是上表皮中最先形成的层次，厚度约与细胞膜差不多，覆盖在整个虫体的表面，角质精层含有脂蛋白和鞣化蛋白，常呈琥珀色，矿物酸和有机溶剂不能使之溶解，其主要功能有：

（1）是表皮层通透性的屏障 以隔离原表皮和旧内表皮，对脱皮液有很强的抗性，以保护下面新分泌的原表皮不被溶化和消化。

（2）限制体躯的过度生长 体躯的生长，受到脱皮前复盖在新表皮上面的角质精层的限制，所以刚脱皮的幼体表面具有深褶。

（3）决定虫体体表的模式 体表的刻纹、小刺、刚毛和鳞片等的形成，以及气管的模式等都由角质精层决定。

（4）决定虫体的表面化学性质 角质精层的鞣化与否，以及体表或蜡层脂类分子排列的方式，均可影响上表皮层的疏水性或亲水性，一般说鞣化的角质精层，上面排列的层单分子，其长链醇呈OH-CH₃，为疏水性；而非鞣化的角质精层，上面单分子的长链倒置而呈CH₃-OH，为亲水性的表面。

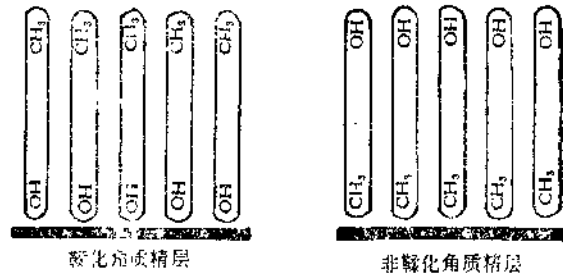


图4—3 角质精层的化学性质和表面脂类分子的排列方式，及其对上表皮通透性的影响

上表皮的蜡质不但是阻止水分的主要屏障，也是阻止杀虫剂进入虫体的屏障。药剂要进入虫体，必须先展布在虫体上，但上表皮中的蜡质愈硬，熔点愈高，药滴在体壁上的接触角愈大，药剂展布的能力愈小，反之则大（图4—4）。

表皮蜡质可以阻止很多无机杀虫剂的穿透，但多数有机杀虫剂都有脂溶性的特点，故可通过蜡层进入虫体，很多油类物质也能与蜡层接触，破坏蜡层分子的排列结构，有利于药剂的进入。



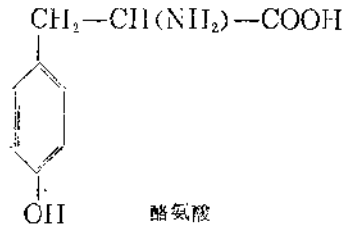
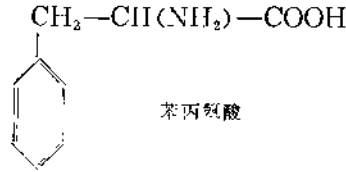
图4—4 药滴的展布图

在应用矿物惰性粉防治仓库害虫时，主要利用粉粒的硬度，把上表皮中护蜡层和蜡层磨损，使体内水分得以迅速蒸发而致死。在使用化学农药时，常应用有机溶剂配成乳剂以破坏或溶解蜡质层，而促使毒剂更易渗入昆虫体内，以提高毒效。

（二）外表皮 靠近上表皮的一部分原表皮，经特殊的化学反应转变成坚硬的外层，主要含有鞣化蛋白质，几丁质以及脂类等化合物。由于鞣化蛋白质及酪氨酸等形成的黑色素等的存在，而使外表皮呈现琥珀色或暗色。刚脱皮的昆虫，上表皮层的角质精层下面都是新分泌的原表皮，尚未形成外表皮，所以体壁的颜色很浅，质地柔软。很快由于多元酚氧化酶和酪氨酸酶的作用，使原表皮外层的蛋白质鞣化和暗化，待外表皮形成后，虫体就变成坚硬和色暗了。外表皮的形成，使昆虫体躯形成了后生分节。

（三）内表皮 表皮层中最下方的一层，较上表皮和外表皮都厚，约有10—200微米，含有很多平行薄片及纵行孔道，这些平列薄片是由很多弧状微纤维平行排列而成。

内表皮一般无色而柔软，主要含有几丁质—蛋白质复合体，有些昆虫几丁质的含量在内表皮中高达60%左右，而在外表皮中仅有约22%。蛋白质有能溶解于热水中的节肢蛋白和与糖类结合的蛋白质，称弹性蛋白，具有橡胶一样的特性，可能是多肽键中的两种芳香氨基酸(苯丙氨酸和酪氨酸)，连接成稳定的主体网状结构。在内表皮中还含有30—50%的水分。



(四) 孔道 在上表皮和原表皮中都有极细微的管道，呈直线形或螺旋形贯穿上下，它们是皮细胞的细胞质向外伸出的细丝，在分泌活动结束后缩入皮细胞后留下的细管道(图4—5)。在原表皮中叫孔道，在上表皮中叫蜡道。

孔道分泌的几丁质、蛋白质和脂类等沉积在原生质丝的周围，形成表皮层。孔道对上表皮和外表皮的形成，具有重要作用，比如孔道运送形成修补蜡层的脂类和原表皮上层进行鞣化和暗化反应所需的多元酚和相应的酶类。在表皮形成以后，孔道中即充塞着硬化物质，作为表皮层的支柱。麻蝇 *Sarcophaga* 幼虫表皮层中的孔道较粗，每一平方毫米面积约有15000条，而蜚蠊表皮层中的孔道较细，每一平方毫米面积约有120万条。

表皮层中的化学成份，主要有蛋白质、多元酚、脂类、色素和酶类等。其性质和作用如下：

(1) 蛋白质 根据化学分析表明，表皮蛋白质中不含半胱氨酸、胱氨酸及蛋氨酸，但是表皮中存在有别的游离氨基酸。昆虫表皮层中的重要蛋白质是多糖蛋白质及弹性蛋白，弹性蛋白可用0.1N HCl在97℃温度下从蛋白质—几丁质结合体中抽提出来，它的氨基酸组成也显著不同于其它蛋白质，但与昆虫表皮中的其它蛋白质一样，分子中没有含硫的氨基酸。

(2) 几丁质 是昆虫纲和其它节肢动物表皮中的特征性成分，一般以几丁—蛋白质

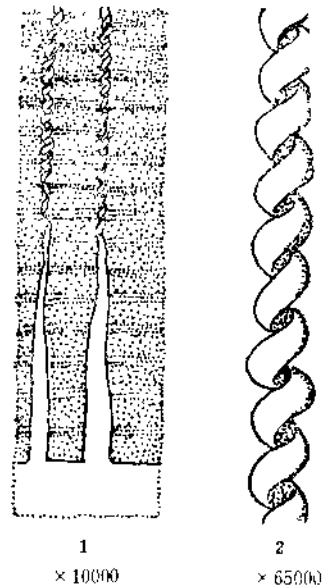
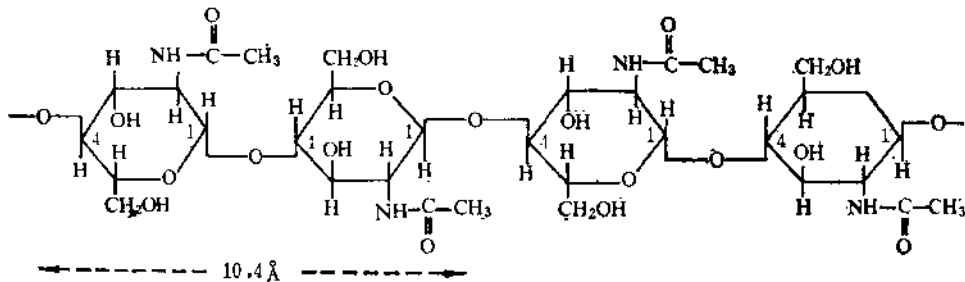


图4—5 美洲蜚蠊 *Periplaneta americana* 前胸背板的横切面，1、2示放大的螺旋形孔道(按电子显微镜照片重绘)

的复合体存在，自然界没有游离的几丁质。几丁质是一种无色含氮的多糖类，由几百个乙酰氨基葡萄糖单位联合而成，化学式是 $(C_8H_{13}O_5N)_x$ ，其结构式是



几丁质 (Chitin)

几丁质的化学性质很稳定，不溶于水、酒精、乙醚等有机溶剂，也不溶于稀酸和浓碱，但在浓矿酸中不但能溶解而且能水解为氨基葡萄糖、分子链较短的多糖和醋酸等，这说明几丁分子是由很多乙酰氨基葡萄糖组成。

如采用KOH或NaOH在高温下（160℃）处理，几丁分子进行水解脱去乙酰基而形成几丁醇和醋酸，但是被处理的表皮其外貌不改变。几丁醇遇碘产生紫红色。此法可以测定几丁质。在室温下，几丁质可用含5%氯的次氯酸钠氧化而被溶解。表皮层的硬化，过去认为是因几丁质存在而造成的，而实则是鞣化蛋白质的结果。

(3) 多元酚和脂类及色素 它们是昆虫上表皮中的角质精层和外表皮硬化和暗化起主要作用的化合物；而脂类是形成上表皮蜡层中蜡质的主要物质。脂类的主要成分是碳氢化合物，它可使体壁有强大的疏水性；色素则以颗粒的形式存在于体壁的皮细胞中，并受激素的控制，可以产生暂时性的颜色改变，表皮呈现的黑色是由于黑色素(melanin)存在的缘故，它是酪氨酸酶的氧化物，类胡萝卜素(carotenoids)使表皮呈现黄色、橙色和红色。这类色素，昆虫只能从食物中获得，而本身不能合成。摇蚊幼虫的红色是由于血液中含有血红蛋白的缘故。

表皮中主要的酶是“酪氨酸酶系”，酪氨酸酶是一种铜蛋白。在昆虫的脱皮液中还含有蛋白酶、淀粉酶和几丁酶。

第二节 昆虫体壁的色彩

昆虫的体壁通常具有不同的色泽，如各种线条、斑纹等。昆虫的颜色，因其形成方式不同而分以下三类：

一、色素色

色素色(Pigmentary colours) 又称化学色，由于昆虫体内存在某种色素，可以吸收一部分波长的光波和反射一部分光波，即呈现某种颜色。色素都是代谢的产物，如许多黑色或褐色的昆虫，由于外表皮内存在有黑色素，这是由于酪氨酸和“多派”经血液中

酪氨酸酶和多派氧化酶 (dopa-oxydase) 结合催化而成的, 它是和表皮的骨化同时产生的; 白粉蝶和黄粉蝶的白色和黄色是由于尿酸盐类色素的存在; 而许多幼虫的绿色, 则是由于体内存在有吞入植物的叶绿素和花青素所致。

色素一般存在于皮细胞或脂肪细胞以及血液内, 因此, 昆虫死亡, 有机体腐败而色素也就消失; 色素在体壁内的分布是有一定位置的, 而且形成一定的图形, 在蛾蝶类的翅上表现得极为明显, 因此常可依此来鉴定昆虫类别。色素可经漂白或热水处理而消失。

二、结构色

结构色 (Structural colours) 又称物理色, 这是由于昆虫体壁上有极薄的蜡层、刻点、沟缝或鳞片等细微结构, 使光波发生折射、反射或干扰而产生的各种颜色。如甲虫体壁表面的金属光泽和闪光等, 是永久不褪的, 也不能为化学药品或热水处理而消失。

三、结合色

结合色 (合成色 Combination colour) 这是一种普遍具有的色彩, 它是由色素色和物理色相混合而成。如一种紫闪蝶 *Apotusavis*, 其翅面呈黄褐色 (色素色), 而有紫色 (结构色) 的闪光。

环境因素对色彩改变的影响是很大的, 如温度、湿度和光等。高温使色彩变深暗, 低温则变淡, 因此在不同的季节中, 同一种蝶类颜色深浅是不同的。湿度大使色彩深暗, 而干燥则使色变淡, 例如在山上的蝶比山下的蝶颜色要深些。光的强度也能使色彩改变, 如菜白蝶蛹的体色随化蛹场所的色泽而改变, 短光波能使之产生黑色素而长光波可以消除黑色素。除了以上环境因素可影响昆虫体壁的色彩外, 还可受体内咽侧体所分泌激素的影响。

第三节 脱皮、脱皮液的作用和脱皮过程

一、脱皮

昆虫的体壁由于外表皮的硬化, 形成了外骨骼, 骨化了的体壁没有延展性, 所以昆虫体躯的生长、发育都必须在脱皮的过程中进行, 脱了皮, 昆虫才能生长, 并且增加一龄, 因此, 周期性的脱皮, 就成为昆虫胚后发育中的一个普遍现象。脱下的皮叫“蜕”。

昆虫的脱皮受激素控制, 在昆虫体内, 前胸两侧有一对腺体, 称前胸腺, 可以被脑激素激活而分泌脱皮激素。另外脑激素还可以激活咽侧体分泌保幼激素, 在两种激素的共同作用下, 可使之改变脱皮的方式和延迟成虫特征的出现。

二、脱皮液的作用

由皮细胞分泌的脱皮液中含有各种特殊的水解酶, 可以溶化旧的内表皮, 使旧表皮被消化掉80—90%, 不被消化的是上表皮和鞣化的外表皮。被消化的物质大部分由皮细胞吸收。脱皮液中主要含有蛋白酶、淀粉酶、转化酶和几丁酶。

三、脱皮过程

脱皮的步骤：

①皮细胞逐渐长大，皮细胞及其附近组织贮存和积累必要的物质，皮细胞增大体积。不久，表皮和皮细胞分离，细胞质突起从孔道中收缩回来。

②当旧表皮和皮细胞分离，皮细胞经过细胞分裂而增大和增多，并分泌角质精层和脱皮膜 (ecdysial membrane)，绛色细胞扩大综白脂蛋白，供形成角质精层。

③在皮细胞的表面分泌出新物质即含有几丁质和蛋白质的混合物，沉积在角质精层下面即原表皮层。不久，大量的脱皮液由皮细胞、脱皮腺等分泌于新旧表皮之间。

④含几丁质的原表皮分泌的同时，角质精层为孔道所贯穿，分泌多元酚层。

⑤在脱皮前几小时，蜡层被分泌并经由孔道覆盖于新表皮上，而且大部分脱皮液被皮细胞所分泌。

⑥在上表皮形成的同时或脱去旧表皮时，原表皮的外层逐步转化为外表皮，使原表皮分化为内表皮与外表皮。

由于昆虫体躯的收缩运动，昆虫从蜕裂线的裂开处出来，此时体躯柔软，为无色或乳白色，并立即从周围环境中吸收大量空气或水分，使柔软的部分膨大，体壁肌保持在收缩状态，使血液保持在高压水平，也就是身体在此时长大，但不久酪氨酸的酚类衍生物分泌于表皮内。经过酚氧化酶氧化形成醌类，它鞣化外表皮的蛋白质形成琥珀色的骨质。在身体的一些特定部位，以同样的氧化过程产生黑色素，使身体逐渐变暗变硬 (图4-7)。

体表的硬化与暗化是由于蛋白质的鞣化，由于表皮中蛋白质同酪氨酸的衍生物——醌相互作用的结果，醌是由相应的二酚在酚氧化酶 (酚酶) 存在时氧化而成。鞣化蛋白质由肽链的交链作用，形成蛋白质和几丁质的网，使昆虫体壁骨化。

第四节 昆虫体壁的蒸腾作用和通透性及其与杀虫剂渗透的关系

陆生昆虫由于体躯小，相对的表面积大，容易发生因体内水分过度蒸发而死亡。因此体壁的蒸腾作用和通透性，支配着昆虫生命和正常生理代谢作用。



图4-6 一种蝶的脱皮

A. 新表皮的形成 B. 旧表皮已被消化
(仿 Imms)

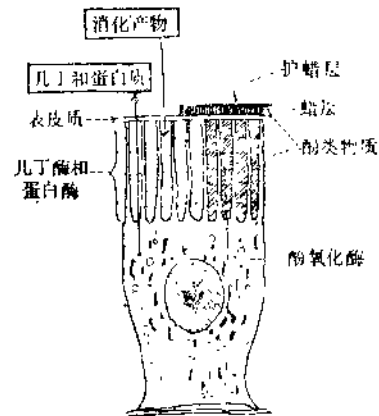


图4-7 昆虫表皮形成时皮细胞活动程序图解

(仿 Wigglesworth)

上表皮中的蜡层和角质精层是抵抗蒸腾的结构。如果把温度升高到昆虫蜡质溶点的临界点，扰乱蜡质分子的排列或使蜡质溶化，或者用花生油、氯仿等溶剂移去蜡质，或使用矿物质性粉摩擦去掉蜡层后，可使虫体水分的蒸腾率大大提高而死亡。

昆虫的表皮虽有不易通透的特性，但并不是所有部位的表皮层都没有蒸腾作用，如将棉胶和无水氯化钴溶在酒精中，把它涂在昆虫体壁上，蓝色的钴盐遇到体内蒸腾出来的水汽，就会变成玫瑰色。

水分经由昆虫体壁的蒸散量是比较小的，但比电解质盐类的渗透量要高出几百倍至千倍以上，无机盐类中则以氯化钾的渗透量最高。一般分子的渗透力大于带电荷的离子。水溶性大的物质，由于上表皮中蜡层和角质精层而不易渗透，但由于蜡层在体壁表面分布是不均匀的，像在感化器和感湿器的表面，就没有蜡层，很容易被水溶性物质渗入。这样，那些脂溶性的杀虫剂就容易渗透上表皮层。在蜡层和角质精层下面，有一层含有几丁一蛋白质的层次，其中含有一定的水分，因此，水溶性物质能通透，所以触杀药剂既要有高度的脂溶性，又要兼有一定的水溶性，才能按照脂/水分配系数逐步渗入昆虫体壁，进入血腔。

第五节 昆虫的外胚层或皮细胞层特化结构

一、昆虫体壁的外长物

昆虫体壁的表面，一般具有细微的突起，如刻点、棘、小疣，以及被复有刚毛、刺和鳞片等，这些外长物可以区分为细胞性和非细胞性两类（图4—8）：

（一）刚毛（Seta或bristle）的结构 刚毛属于单细胞外长物，是由一个皮细胞所形成，周围有一个由皮细胞转化成的膜原细胞所包围，而且延伸到体壁表面。在刚毛的基部形成毛窝膜，因此刚毛能自由活动。如果毛原细胞和邻近的一个毒腺细胞相连接，就形成毒毛。如毛原细胞和感觉细胞相连，便成为感觉毛。如外长物成为囊状扁平突起，即成为鳞片（图4—9）。

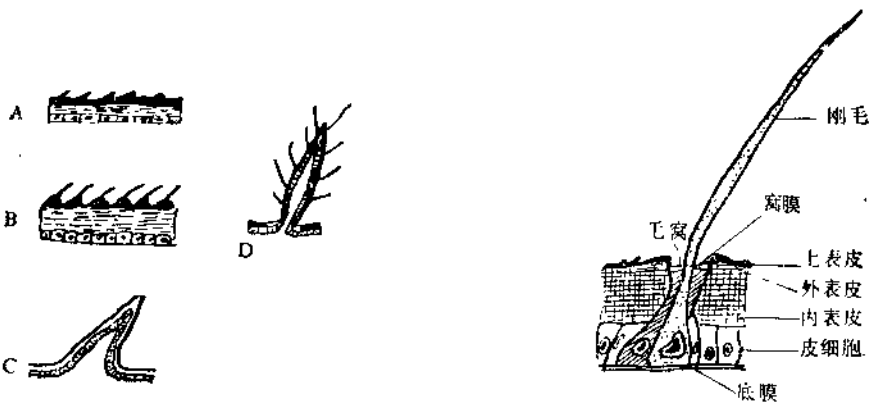


图 4—8 昆虫体壁的外长物

A—B, 非细胞性突起 C—D, 多细胞突起 C, 刺 D, 距
(仿 Imms)

图 4—9 刚毛的模式构造
(仿 Imms)

(二) 刺 (Spine) 和距 (spur) 刺是体壁向外突出形成的中空刺状物。外长物的内壁仍含有一层皮细胞, 基部与体壁固着不动, 如许多昆虫后足胫节上的刺列。有的刺状突起在基部周围有薄膜与体壁相连, 因而可以活动, 名曰距。距常着生在昆虫足的胫节顶端, 如飞虱后足顶端的距。昆虫的侧爪, 也是一种可活动的距。不论是刺或距, 它们都是多细胞的外长物, 其上还可着生单细胞的刚毛。

二、皮细胞腺

所有的皮细胞都能分泌含氮的表皮物质, 凡是由外胚层形成的器官, 包括前肠、生殖道等都常具有腺体。按腺体的功能可以分为唾腺、丝腺、胶腺、臭腺和脱皮腺等。

按结构上来分, 这些腺体都是由皮细胞特化而成, 或是由外胚层内陷而成, 腺体可分为单细胞型和多细胞型。腺细胞的细胞核一般比较大或呈不规则的分枝。细胞核分泌物是原生质产生分泌的激发剂。昆虫大部分的腺体都是多细胞型的, 它们也都是由外胚层内陷而成, 成管状或在基部成囊状, 内壁是一层极薄的表皮, 以贮藏分泌物。

昆虫体壁的皮肤层, 起源于胚胎发育中的外胚层, 它所衍生的结构和分泌功能, 可分为三类 (图 4—10)。

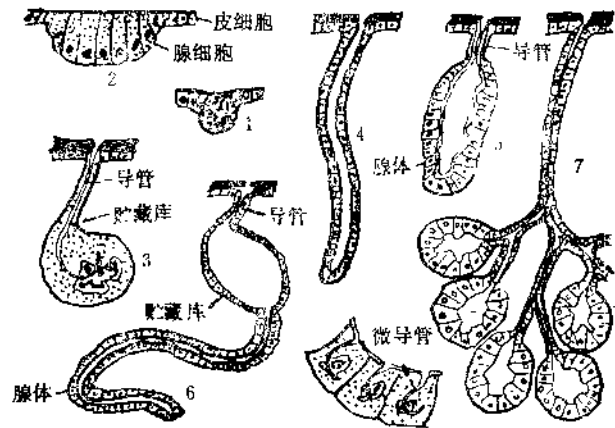


图 4—10 皮细胞腺的类型
(仿 Snodgrass)

(一) 能够分泌表皮层的细胞或组织 如体壁皮细胞层中的一般皮细胞, 气管内的管壁细胞以及感觉器的皮细胞等。

(二) 能生物合成大量特殊化合物和分泌细胞群或组织 如皮细胞腺、缘色细胞、丝腺及唾腺等。

(三) 能生物合成微量特殊化合物 (昆虫激素) 和分泌、调节细胞的代谢组织 如前胸腺和咽侧体等。

昆虫体壁的皮肤层, 实际上是外胚层的一组未经分化的细胞群。所以具有特化和分泌的性能, 所有的皮细胞都能分泌含氮的表皮物质, 而有一些特化的皮细胞, 则能分泌各种特殊的化合物, 统称皮细胞腺。因此, 凡是由外胚层形成的器官包括前肠、后肠、生殖道等, 都常附有各种不同功能的腺体。如唾腺、丝腺、蜡腺、脱皮腺、胶腺、交哺腺、臭腺及防御腺等。

引起昆虫各类细胞发生一系列生命活动的外因, 是环境因素。它们通过感觉器官和神经系统传导到作用单位, 所以体壁皮细胞及其它细胞的一切生理代谢, 都是由神经及激素控制和调节的。

第二章 昆虫的内部解剖

节肢动物的体腔是一个纵贯的通腔，由中胚层演发的体腔 (coelomic cavity) 演变而成。由于昆虫的背血管是开口式的，血液在循环过程中要流经体腔，再回到心脏，所以这种体腔又叫做血腔 (haemocoele)。昆虫所有内部器官都位于血腔内，直接浸没在血液中。氧和二氧化碳的交换，主要由分布在各器官、组织上的气管系统进行 (图 4—11)。

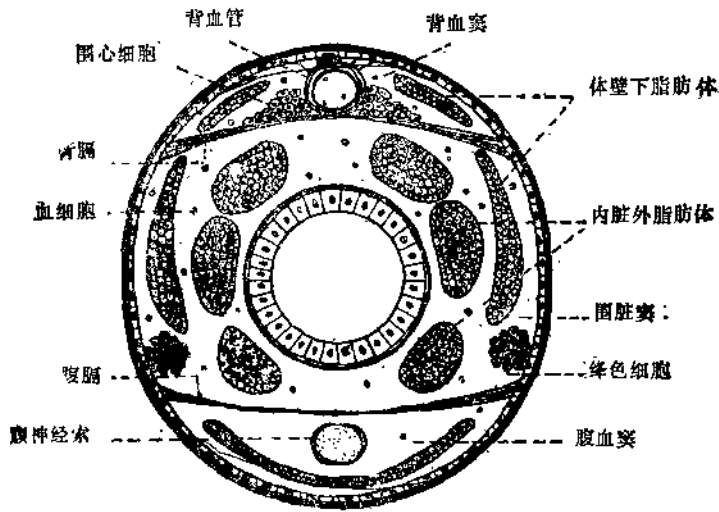


图 4—11 昆虫体躯的横切面，示膈膜和血窦
(取自黄其林等)

第一节 血窦和膈膜

昆虫的血腔常由肌纤维和结缔组织纵向分为2—3个小腔，称之为血窦。在腹部背面，背血管底下的一层膈膜，称为背膈 (dorsal diaphragm)。把血腔分隔成背面的背血窦 (dorsal sinus) 和腹面的围脏窦 (perivisceral sinus)。蜉蝣目、蜻蜓目、直翅目和膜翅目昆虫的腹板两侧之间，有一层腹膈 (ventral diaphragm)，腹膈的腹面血窦叫腹血窦 (ventral sinus)。围脏窦与背血窦之间的通道，有赖于背膈两侧，前后翼肌或背膈末端的空隙使血液流通，腹膈两侧，亦复如此。

第二节 内部器官和生理系统的位置

根据内部器官特殊的机能，可以把内部器官分为“个体生命器官”和“种族繁衍器