



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

昆虫生理生化学

● 王荫长 主编

● 农业昆虫专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

昆虫生理生化学

王荫长 主编

农业昆虫专业用

中国农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材
昆虫生理生化学

王荫长 主编

* * *

责任编辑 张洪光

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 中国农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 14.5 印张 290 千字

1994年11月第1版 1994年11月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 8.35元

ISBN 7-109-02797-X/S·1783

前 言

昆虫生理生化学是我国农业院校农业昆虫专业的必修课，它既是普通昆虫学的发展和提高，又是农业昆虫学与害虫防治学的基础，虽然同分类学、生态学来比它是一门较为年轻的课程，但它的发展之快，却是很多老传统课程无法相比的，因此迫切需要一本教材，不但能掌握本学科的基本理论体系，又能反映学科新的发展，这样对教与学都能带来方便。

我们在十年的教学实践中，先后编印了一些讲义与补充教材。这本书便是在这样的基础上发展起来的，其中与普通昆虫学中内部解剖与生理部分有少数重复，这是为了使两门课相互衔接得好而保留的，在生化部分也尽可能不同于普通生物化学，因此所占篇幅不大，而且大多是结合昆虫生理功能进行叙述和讨论的。

昆虫生理生化学实际上是昆虫纲的生理学与生化学，但昆虫种类如此之多，进化程度和生活方式又各不相同，如果在教材中举例太多，必须会给学生学习带来困难，所以书中尽可能讲述一般原理，避免过多的罗列例子。同时限于篇幅和字数，书中叙述的论点也必有注明出处，为了便于进一步查考，把重要参考书籍都列在书后。

本书消化与营养、生殖两章由陈长琨同志编写，循环与防卫、肌肉与运动以及呼吸与能量代谢三章由韩召军同志编写，其余各章均由王荫长同志编写。

本书的编写得到本校尤子平教授的热心指导，西北农业大学张克斌教授给予积极支持，两位教授的认真审稿和提出的各种修改意见，对提高教材的质量起了很大的作用。本书插图由王金堂、许昉和王荫长同志绘制。在编写过程中，程若兰、苏建亚、许晨和卢其渝等同志给予多方面的协助，一并表示衷心的感谢。

这次编写昆虫生理生化学教材是初步尝试，并由于我们的水平有限时间仓促，不妥或错误之处，望读者批评指正。

编著者

1991年5月1日

主编 王荫长 (南京农业大学)
编者 陈长琨 (南京农业大学)
 韩召军 (南京农业大学)
审稿 尤子平 (南京农业大学)
 张克斌 (西北农业大学)

目 录

前言	
绪论	1
第一章 体壁	4
第一节 体壁的组成	4
一、皮细胞	4
二、底膜	9
三、表皮	9
第二节 表皮的化学组分	12
一、几丁质	12
二、蛋白质	15
三、脂类	15
四、色素	17
第三节 脱皮	19
一、皮层溶离	19
二、新表皮的沉积	21
三、脱皮	21
第四节 表皮的鞣化和骨化作用	22
一、鞣化作用	22
二、骨化作用	23
三、鞣化剂	23
第五节 脱皮和鞣化的激素调控	24
一、脱皮的激素调控	24
二、鞣化作用的激素调控	24
第六节 体壁的功能	25
一、穿透性	25
二、硬度和强度	27
第二章 消化与营养	28
第一节 消化器官的结构和功能	28
一、前肠	28
二、中肠	29
三、后肠	34

四、唾腺	34
第二节 择食与取食	36
一、择食过程	36
二、影响昆虫取食的因子	37
第三节 消化与吸收	38
一、肠外消化	39
二、肠内消化	39
三、影响消化酶活性的因素	43
四、消化酶的合成和分泌	44
第四节 营养物质的吸收和利用	44
一、吸收过程	44
二、营养物质的“液流循环”	45
三、食物的利用效率	46
第五节 昆虫的营养需求	47
一、营养成分	48
二、昆虫的营养平衡	50
三、共生与营养的关系	51
第三章 循环与防卫	54
第一节 循环器官的结构和功能	54
一、背血管	54
二、背膈与腹膈	56
三、辅搏动器	56
四、造血器官	57
五、肾细胞	58
第二节 血液的组成和物理性状	58
一、血细胞	58
二、血浆	60
三、血液的渗透压与 pH 值	62
第三节 血液的防卫系统	63
一、止血作用	63
二、免疫作用	63
三、解毒作用	66
四、阻止天敌捕食	66
第四节 血液的代谢功能	67
一、形成结缔组织	67
二、参与表皮形成	67
三、合成防卫物质	67
四、解离幼虫组织	67

五、合成酶类	68
第五节 血液循环及其生理功能	68
一、心脏的组织学与心搏	68
二、血液循环	69
三、循环与血压	70
四、循环与物质运输	70
五、循环与体温调节	71
第四章 排泄与水分盐分平衡调节	72
第一节 马氏管和直肠	72
一、马氏管的结构	72
二、直肠的结构	73
三、隐肾复合体	75
第二节 尿的组分与产生	76
一、原尿的形成	77
二、含氮代谢物	77
三、糖和脂类	80
四、离子和无机盐	80
第三节 马氏管的运输机制	81
一、离子的主动运输	81
二、静止梯度模式和电内渗流假设	82
三、囊胞运输机制	83
第四节 水分和盐分的平衡调节	84
一、直肠对水分和盐分的调节	84
二、隐肾复合体的水分回吸功能	86
三、昆虫在不同栖境中的适应性	86
第五节 激素在排泄和水分、盐分平衡调节中的作用	87
一、利尿激素	87
二、抗利尿激素	88
第六节 其它排泄方式	88
一、围心细胞	88
二、大胞囊体	89
三、中肠	89
四、贮存排泄	89
第五章 感觉与信息联系	90
第一节 感受器的结构	90
一、化学机械感受器	91
二、光感受器	93
第二节 机械感受器与听觉	96

一、机械感受功能	97
二、机械感受的反应特征	98
三、听觉通讯	99
第三节 视觉感受	100
一、视觉转换作用	101
二、视觉反应特性	101
三、形象感觉	102
四、光谱反应	103
第四节 化学感受器与信息素	104
一、化学感受器的功能	104
二、感受特性	105
三、信息素与化学通讯	106
四、性信息素	112
第五节 其它感受作用	113
一、温度感受作用	113
二、湿度感受作用	114
三、地磁感受作用	114
第六节 定向行为	114
一、趋性	114
二、动态	115
第六章 神经生理	116
第一节 神经系统的组成和结构	116
一、神经细胞	117
二、突触与神经递质	119
三、神经胶细胞	121
四、神经节的结构	122
五、脑的结构	123
第二节 神经系统的电活动	124
一、静息电位	124
二、动作电位	126
三、感受器电位及其特性	128
四、突触传导	129
五、传导的不应期	130
六、单神经元联接与多神经元联接	131
七、自发性神经电活动	132
第三节 神经系统中信息的处理	132
一、综合作用	132
二、总和与易化	133

三、快神经与慢神经	133
第四节 行为的神经调控	134
一、反射动作	134
二、中枢神经的运动输出模式	134
三、节律模式发生器	136
四、神经振荡发生器	136
五、兴奋与抑制的偶联	137
六、感觉神经的修饰作用	138
七、交感神经系统的功能	138
八、神经与内分泌的协同作用	138
第五节 杀虫剂对神经系统的作用	139
一、对轴突传导的影响	139
二、对乙酰胆碱受体的影响	139
三、对乙酰胆碱酯酶的影响	139
第七章 肌肉与运动	140
第一节 昆虫肌肉的主要类型	141
第二节 肌肉的组织结构	142
一、肌纤维	142
二、肌原纤维	143
第三节 肌纤丝的结构与收缩机制	144
一、粗纤丝	144
二、细纤丝	144
三、肌肉的收缩机制	145
第四节 肌肉兴奋的调控机制	146
一、神经的分布	146
二、神经突触的调控	147
三、其它因子的调节作用	148
第五节 肌膜兴奋与肌肉收缩	148
一、肌膜的去极化与兴奋的传导	148
二、肌肉的收缩特性	149
第六节 肌肉与运动	150
一、飞行运动	150
二、跳跃运动	153
第八章 呼吸与能量代谢	155
第一节 开放式呼吸系统	155
一、气门及其开闭机制	155
二、气管及其分布	157
第二节 开放式呼吸生理	158

一、氧气的输送	159
二、二氧化碳的排除与水分控制	159
三、气门开闭的调控	160
四、通风作用	160
第三节 其它呼吸形式	161
一、封闭式气管系统	161
二、卵呼吸	162
三、血红蛋白的作用	162
第四节 能量代谢	162
一、糖类的代谢	162
二、脂肪的代谢	166
三、氨基酸的代谢	167
四、代谢途径与呼吸商	168
第五节 能源物质的供应	168
一、糖类	169
二、脂肪	170
三、氨基酸	171
第六节 能量代谢的调控	172
一、能源物质的主要动态	173
二、激素的调控作用	174
三、基质的调节作用	175
第九章 激素与生长发育	177
第一节 内分泌细胞和器官	178
一、神经分泌细胞	178
二、心侧体	179
三、咽侧体	179
四、前胸腺	179
第二节 激素的分类和功能	180
第三节 促前胸腺激素	181
一、化学结构	181
二、效应与滴度变化	182
第四节 蜕皮激素	182
一、化学结构	183
二、效应与滴度变化	184
第五节 保幼激素	185
一、化学结构	185
二、效应与滴度变化	187
第六节 昆虫生长发育的激素调控	183

一、保幼激素与蜕皮激素的协调机制	188
二、促前胸腺激素的作用模式	190
三、蜕皮激素的作用模式	190
四、保幼激素的作用机制	190
五、生长调节剂在害虫防治中的应用	192
第七节 滞育与迁飞的激素控制	193
一、卵滞育	193
二、幼虫与蛹滞育	193
三、成虫生殖滞育	194
四、迁飞的激素控制	194
第十章 生殖	195
第一节 生殖器官的结构	195
一、雌性生殖器官	195
二、雄性生殖器官	198
第二节 卵子的发生与成熟	200
一、卵子的发生	200
二、滋养细胞的产生	201
三、滤泡细胞的分化	202
四、卵黄发生	202
五、卵壳	204
第三节 精子的发生与形成	206
一、精子发生	206
二、真核精子与无核精子	207
三、精子的形成	207
四、精子的结构	208
五、精子运动	209
第四节 交配与受精	209
一、交配	210
二、授精	211
三、受精	213
四、性别的分化	213
五、单性生殖	214
六、昆虫的不育及其在害虫防治中的应用	214
第五节 生殖的神经激素控制	215
一、激素对卵黄发生与附腺的作用	215
二、激素与精子发生和形成的关系	215
三、激素和神经对交配与产卵的调控	216

绪 论

昆虫是动物界中数量最多的类群，迄今为止已定名的种类就逾 100 多万种，它们几乎随时随地都与我们的生活发生着联系：夏季蚊蝇的滋扰，田间害虫的肆虐，无论在乡村或城市，都使我们感受到昆虫的威胁和危害；春蚕吐丝和蜜蜂酿蜜又为人类提供了大量可供穿着的丝绸和营养丰富的蜂蜜；彩蝶纷飞总是和花香袭人联系在一起，令人享受到大自然的绚丽多姿和盎然生机；还有很多不为一般人注意的昆虫，它们是害虫的天敌，自然界的清道夫，在维持生态平衡中担负着重要角色。

千百年来，人们一直都在设法了解昆虫是怎样生活的。在古代，我们的祖先就从养蚕过程中知道了昆虫的变态（从卵孵化到幼虫，幼虫化蛹再羽化为蛾子），他们已经掌握一些昆虫生理知识。随着近代生物学的发展，昆虫学也逐步发展起来，相继形成了昆虫形态学、分类学、生物学、解剖学和生态学等多门学科。进入 20 世纪以后，通过昆虫结构和功能的研究与阐明，昆虫生理学也逐渐得到发展和完善，它的内容日益丰富，可以和一般动物生理学相匹敌。但是，昆虫种类之多，生活方式千差万别，凡是昆虫生理生化学，都是比较生理生化学。如果目的只在说明昆虫生理学和生化学中最基本的原理，那么我们的重点就应该去寻找典型的模式，来说明昆虫纲中的共同特征，例如：体壁和脂肪体的功能，变态和脱皮的生理机制，血液的开放式循环和免疫机制，激素的种类和它们的调控作用……等。

近一个世纪来，许多昆虫学家已经发现了很多合适的昆虫，用它们来探明昆虫的各种生理机制，例如用蝗虫和蜚蠊来阐明昆虫体内的消化、吸收和排泄的液流循环，用黄粉甲来阐明隐肾复合体的水分盐分调节机制，用吸血蝽和天蚕蛾来阐明变态的激素调控作用，用蝗虫和蚊子等来阐明激素对生殖的调控机制。凡此种种，构成了众多的经典模式。因此，当今的昆虫生理生化学，也就是这 10 多种模式昆虫为主的生理学及生化学。

在昆虫生理学的发展过程中，英国昆虫学家 Wigglesworth 做出了卓越的贡献，他从 20 年代开始，研究昆虫生理学，以吸血蝽为材料，揭示了昆虫内分泌系统和变态生物学的含义，1934 年出版世界上第一部《昆虫生理学》专著，经历 50 多年，陆续修订八版，综合了大量研究成果，他的成绩富有开创性，他用经典的研究方法，为现代理论奠定了基础。

19 世纪中期以后，一度否定了昆虫体内内分泌系统的存在和对生殖的控制作用。到 20 世纪 20 年代，波兰生物学家 Kopec 以舞毒蛾 (*Lymantria dispar*) 为材料，用试验证实了昆虫脑的内分泌功能和激素的存在。以后 Frankel、Wigglesworth、Fukada 和 Williams 等人的工作，在蝇类、吸血蝽、家蚕和天蚕蛾中相继证实了脑激素、保幼激素和

蜕皮激素对生长发育、变态和生殖的调控作用。从此，昆虫生理学逐渐进入到了迅猛发展阶段。特别是在二次大战以后，德国昆虫学家 Karlson 经过长期的探索和研究，终于分离和提取了蜕皮激素，建立了 Karlson 激素-基因作用理论，又使昆虫内分泌学有了一个新突破。激素化学结构的确定，为昆虫生理学向分子水平迈进奠定了基础。在我国，昆虫生理学及生化学的研究，已有50多年的历史，近年来在昆虫的营养、生殖、激素调控等领域内，都有了长足的进展，在天敌的人工饲料、赤眼蜂的人工卵、害虫的激素防治和蚕繁育与饲养以及生长发育的激素控制，蓖麻蚕的人工诱导滞育、昆虫的抗菌肽和凝集素的研究、昆虫卵黄蛋白的合成、蜕皮激素的分析与测定以及夜蛾科昆虫的视觉生理、昆虫的鸣声与信息联系的研究等方面都取得了举世瞩目的成就。并在家蚕饲育、天敌利用和害虫防治中得到了应用。

随着电子显微镜的应用，昆虫的组织结构研究发展到了细胞和亚细胞水平，同时，昆虫变态与生殖的激素调控机制的研究，神经和激素对生长发育与行为的控制作用的研究，都使我们对昆虫的认识，能够建立在辩证唯物论的基础上，不断深化和发展。昆虫复杂而巧妙的行为，曾经使人陷入目的论的困境。一头埋葬虫似乎有意识地能为它的后代准备食料，它能神奇地把死虫埋葬起来，供它产卵和让子代享用；蚂蚁能有组织地倾巢而出去搬运食物，蜜蜂能建立起一个有分工有秩序的昆虫王国，所有这些都使人惊讶和费解，不知有多少人发问过：当昆虫正在进行某一动作时，它的脑筋在思考吗？它们的所作所为都是有目的的吗？而今昆虫生理生化学的发展，为我们解开了一个一个疑团。实验告诉我们，昆虫进行的各种动作或行为，不过是按一定的行为程序产生的反射动作而已，种种结构的合理性，只是漫长的进化旅程中造成的一种适应性。人们利用信息论和控制论等方法实现复杂的工艺流程自动化的时候，能从昆虫的行为程序中得到不少启示；相反，智能科学的发展，也为我们阐明昆虫的神经生理和行为动作提供了线索。

传统的昆虫生理学都按组织器官分门别类进行叙述，如消化系统、循环系统、呼吸系统和生殖系统等都可形成分支生理学，本书基本上也遵循这个系统，但实际上各种复杂的功能是很多组织器官联合完成的，从功能角度可以形成一个新的系统概念，如表皮和血液等构成防卫系统，消化道、马氏管构成运输系统，消化道、脂肪体、血液和肌肉等构成代谢系统，肌肉、体壁等构成运动系统、神经、内分泌器官构成控制系统。我们研究昆虫，既要看到昆虫有许多组织和器官，也应该看到昆虫本身就是由很多功能不同的小系统构成的一个大系统。19世纪生理学家 Bernard 曾经提出过生物保持内环境稳定的概念，认为生物是一个开放的热力学系统，用这个概念来看待昆虫，它是环境的一部分，要不断与外界进行物质与能量的交换，但又要通过交换来保持自身内部环境的稳定，这种稳定系统实际上就类似于工程学中的控制系统。象其它动物一样，昆虫以感受器作为检测器，以神经、激素作为控制器、肌肉和与之相联的组织就是效应器。从效应器到检测器的控制过程中，还有反馈回路进行必要的修饰和调整，它们工作的基本原理，犹如一台温度控制仪，但虫体内任何一部分，都比现有的自动控制仪要复杂得多，因为昆虫作为一个活体，它要

生长发育, 每个龄期、每个世代的出现, 都不是简单的重复, 而是螺旋式的前进, 所以它的内部环境的稳定是动态中的稳定, 它对系统的控制是变化中的控制。在这样一个控制系统中, 昆虫是如何实现它的调控机制的呢? 这就是我们昆虫生理生化所要研究的任务。

学习昆虫生理学及生化学, 不但能够帮助我们理解昆虫生理机制的奥妙, 而且能直接或间接地为我们利用益虫和控制害虫服务。利用激素改善或破坏昆虫的生长发育, 用信息素来干扰昆虫的行为, 利用抑制剂来破坏昆虫的脱皮和生长, 都已经产生了很好的效果。但是, 昆虫种类如此之多, 要阐明它们的各种机制, 并且能够利用它们, 实在不是件容易的事, 例如粘虫和小地老虎, 它们都是具有迁飞习性的夜蛾, 但一些杀虫剂或抑制剂往往只对粘虫有效, 而对小地老虎无效或效果很差, 这里就有很多值得研究的生理生化问题, 只要细心注意一下就会发现, 有很多昆虫生理生化问题等待我们去学习、研究和开发。

昆虫生理生化学是普通昆虫学的发展又是应用昆虫学的基础, 它和细胞生物学、分子生物学、生物化学、生态学、遗传学都有非常密切的关系。而且由于供试昆虫能够大批饲养和廉价供应, 它的生理机制从细胞水平或分子水平上看, 又具有普遍性, 因此不少生物学家、生理学家、生化学家和生物物理学家都对昆虫产生了浓厚的兴趣。可以想象, 今后昆虫生理生化的发展, 会变得愈来愈迅速, 愈来愈受到重视。

昆虫生理生化学是一门以实验为基础的学科, 当年 Butenandt 与 Karlson 为了取得 250mg 的脱皮激素, 曾花费了 1000 kg 的蚕蛹; 为了提取促前胸腺激素, 人们曾经解剖过 10 万头蚕蛹的脑, 其工作量之大, 可想而知。当今, 随着超微量分析器仪的使用和高灵敏生测技术的发展, 分离鉴定激素已经毋需这样多的材料了, 但实验工作的重要性始终没有下降。在学习昆虫生理生化学时, 我们一定要联系实际, 重视实验, 并利用昆虫生理生化的原理来指导实践, 反过来利用实验结果来推动昆虫生理生化学科的发展。

第一章 体 壁

昆虫的体壁 (Integument) 又称外骨骼, 它具有高等动物皮肤和骨骼的双重功能, 使虫体具有坚强的支撑, 并为肌肉提供了着生点, 但在体壁的某些区域, 仍然有柔软的性质, 关键部位有许多关节, 保证虫体能行动自如。

体壁对昆虫来说虽有良好的保护性能, 但对体躯的生长是一个限制, 因此昆虫必须周期性脱皮。皮细胞特有的分泌功能, 不断地产生出新表皮来替代旧表皮, 其中有大量的脂类、氨基酸、蛋白质和糖类参与代谢, 并不时将含氮的代谢物和矿物质贮存到表皮中, 有的能再度利用, 有的则随脱皮而被排除, 因此体壁也是一个复杂的代谢库, 这些过程都受到激素的调节与控制。

体壁又是虫体与环境之间的界面, 是抵御外界异物和阻止杀虫剂渗透的屏障, 特别是对保持水分有很大的作用。

昆虫体壁结构有多种多样, 它不仅赋予昆虫形形色色的外形, 还使昆虫获得了多种机械功能, 如甲虫金光闪烁的翅鞘, 蝴蝶翅面上色彩斑斓的鳞片, 各种透明的薄翅和复眼表面的角膜, 以及散布在体表的毛和刺, 都是表皮特化而成的; 又如嚼咀式口器中坚硬的上颚能咬破木材和金属, 蝗虫的翅能在长距离飞行时持续振动, 跳蚤惊人的弹跳能力, 无不与体壁结构有关。昆虫的各种生理生化过程大都与体壁有密切的关系。因此在这本书中我们首先介绍体壁的结构与生理生化特点。

第一节 体壁的组成

昆虫体壁包括皮细胞、表皮和基底膜三部分。表皮是皮细胞分泌的产物, 但基底膜则是由血细胞分泌的 (图1-1)。

一、皮细胞

昆虫的皮细胞主要分布在虫体外围, 局部区域已在胚胎发育时随着外胚层的内陷, 成为前肠、后肠、气管或生殖道的管壁细胞; 另

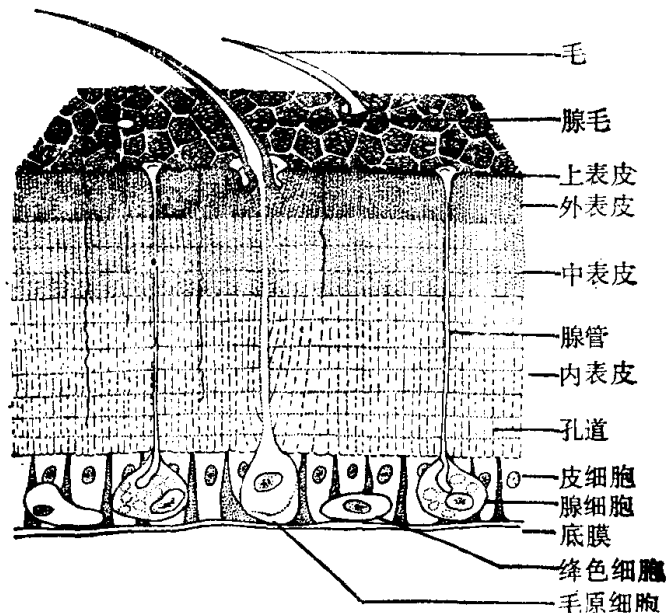


图 1-1 昆虫体壁的模式结构

(仿Hackman, 1971)

外还有一部分特化成为腺细胞、毛原细胞和膜原细胞。皮细胞的生理特点是具有周期性吸收、合成与分泌的能力。

在极大多数昆虫中，皮细胞都是以单层形式排列的(迄今为止只发现长蝽 *Oncopeltus* 有多层皮细胞)，从表面看，细胞呈多角形紧密排列，幼虫或蛹外表皮的多角形花纹就是内部细胞形态的反映。细胞的纵切面大多呈柱状，也有不规则的，尤其在脱皮之前，由于新表皮尚未伸展，细胞层是曲折的，部分细胞也因此互相重叠、质膜内陷，只有在脱去老皮以后，细胞才能得到伸展，成为有规则的排列。

皮细胞的大小与密度因虫种和发育阶段不同而异，并且与生长期是否进行有丝分裂有关。双翅目环裂亚目和部分膜翅目昆虫的幼虫生长过程中皮细胞不进行有丝分裂，细胞数较为恒定，细胞的体积增大明显，如绿蝇 (*Lucilia*) 幼虫的皮细胞，在初龄期的切面为 $10.4 \times 4.6 \mu\text{m}$ ，至后期增大到 $74.2 \times 13.0 \mu\text{m}$ ，麻蝇科 (*Sarcophagidae*) 幼虫的皮细胞，从初龄长到3龄，体积增大11倍。家蚕 (*Bombyx*) 幼虫的皮细胞经过有丝分裂，细胞数增加明显，体积的增大就不明显，从细胞直径来看，初龄时为 $2.9 \mu\text{m}$ ，末龄时为 $8.7 \mu\text{m}$ ，只增加3倍。又如伊蚊 (*Aedes*) 幼虫，在初龄时皮细胞不分裂，细胞直径可从 $5.4 \mu\text{m}$ 增到 $8.5 \mu\text{m}$ ，但开始分裂以后，直径反而减到 $5.6 \mu\text{m}$ 。

(一) 形态结构 昆虫皮细胞的形态结构是随变态和脱皮周期而不断变化的，皮细胞在脱皮期间分泌作用较弱，顶膜与底膜平直，侧膜不明显，细胞核不清晰。沉积新表皮开始时期顶膜弯曲，常有原生质丝突入表皮层内，侧膜出现，胞核明显。在溶离旧表皮与沉积新表皮期间，细胞的合成、分泌和吸收都很旺盛，这时，顶膜微绒毛发达，基膜褶深陷，底膜也常随基膜一起内陷，并有血淋巴进入到内褶中，增加了基膜与血淋巴接触机会和吸收面积。核出现清晰的双层膜，核内有电子致密的大形核仁与电子致密度较低的染色质，部分染色质与核膜相连。胞内细胞器数量增多，出现众多的核糖核蛋白体、粗面内质

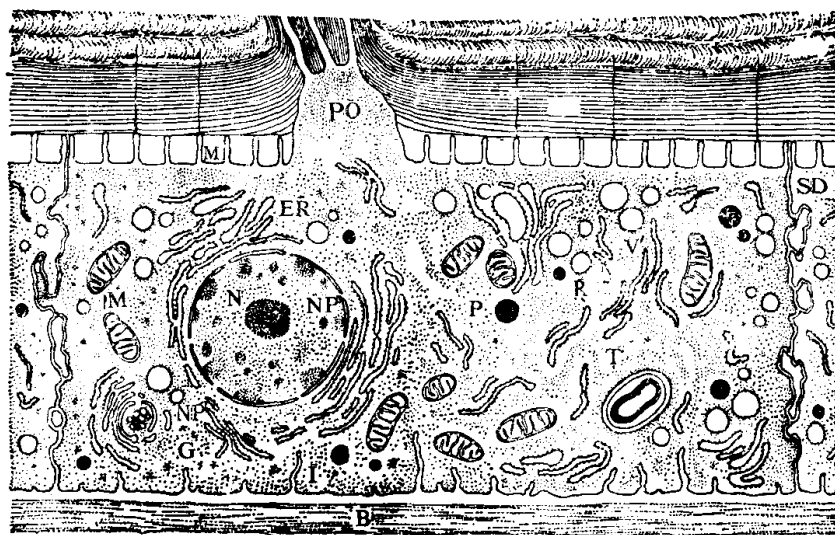


图 1-2 昆虫皮细胞的模式超微结构

B 底膜 ER 粗面内质网 G 高尔基体 I 基膜内褶 M 线粒体 Ml 微绒毛 N 细胞核 NP 核孔 R 溶酶体 P 色素颗粒 PO 孔道 SD 侧膜 T 微气管 V 囊泡
(仿森精, 1971)