

·综述·

·死亡时间推断专题·

法医昆虫学标准化应用及我国主要嗜尸性昆虫应用数据

王 禹,王江峰

(苏州大学法医系,江苏 苏州 215000)

摘要: 死亡时间推断是法医学的百年难题,又是命案侦破的关键指标。法医昆虫学为死亡时间推断另辟蹊径,尤其是对高度腐败及白骨化尸体死亡时间推断的优越性已经被大量案例证实。法医昆虫学技术目前日趋成熟,本文将对法医昆虫学用于死亡时间推断的机制进行阐述,强调技术的标准化应用,并列出国基层法医应用的数据。

关键词: 法医病理学;法医昆虫学;死亡时间;标准化应用;综述

中图分类号: DF795.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.12116/j.issn.1004-5619.2018.05.003

文章编号: 1004-5619(2018)05-0468-07

Standardized Application of Forensic Entomology and Application Data of Sarcosaprophagous Insects in China

WANG Yu, WANG Jiang-feng

(Department of Forensic Medicine, Soochow University, Suzhou 215000, Jiangsu Province, China)

Abstract: Postmortem interval (PMI) estimation is a major problem in forensic medicine and a vital indicator of crime investigations. Forensic entomology provides a new way to the PMI estimation, and its superiority has been confirmed through many cases, especially in relation to the cadaver at the stage of advanced decomposition even skeleton. The technologies of forensic entomology have become more mature. This review describes the mechanism of forensic entomology used for PMI estimation, emphasizes the standardized application of technology, and lists the data for the reference of forensic experts in China.

Keywords: forensic pathology; forensic entomology; postmortem interval; standardized application; review

法医昆虫学是应用昆虫学及其他自然科学的理论与技术,研究并解决司法实践中有关昆虫学问题的一门学科,其中死亡时间推断是法医昆虫学的主要研究内容^[1]。本文将对法医昆虫学用于死亡时间推断的理论基础、技术操作规范以及应用数据进行阐述和总结。

1 昆虫用于死亡时间推断的机制

目前,我国已有多本出版物^[1-3]阐述了法医昆虫学的机制,但因偏重于理论知识,可操作性不强,严重影响了一线工作者对法医昆虫学的应用。昆虫推断死亡时间的机制^[4-5]:蝇类昆虫能够很快到达尸体,到达尸体后会很快产下下一代,子代取食尸体并在尸体上生长,子代的年龄充当了尸体存在时间(死亡时间)的计时器。尸体上的子代昆虫大小(年龄)不一,法医昆虫学是根据最老的幼期(卵、幼虫和蛹)个体估算死亡时

间。例如,对于一个种类的昆虫,若在现场发现了该种类的蛹,则同种类幼虫不再有死亡时间推断价值,如果现场出现了空蛹壳,则同种类的幼虫和蛹不再有死亡时间推断价值^[6]。在大多数情况下,一种蝇类昆虫只能在尸体上繁殖一代,这一代不同种类的昆虫足以将尸体的软组织消耗干净,但这一代包含了不同时间到达的不同批次^[7]。

昆虫是变温动物,其体内的化学反应速度严格受环境温度的影响:高温下发育快,相应的发育所经历时间则短;而低温下发育慢,相应的发育所经历时间长;在一个指定的温度下昆虫完成一个发育阶段所经历时间(发育历期)较为恒定^[8]。昆虫在生长发育过程中,须从外界摄取一定的热量才能完成某一阶段的发育,昆虫各个发育阶段所需要的总热量是一个常数,这个热量通过温度和时间的乘积来衡量,而不是通过卡路里来衡量。昆虫的发育基本上都是从某一个零上

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31872258);中国博士后基金资助项目(2017M621819)

作者简介:王禹(1988—),男,博士后,从事法医昆虫学研究;E-mail:yuw@suda.edu.cn

通信作者:王江峰,男,教授,主要从事法医昆虫学、植物学及微生物学研究;E-mail:jfwang@suda.edu.cn

温度开始的,而不是从零摄氏度开始的。昆虫开始发育的温度即发育起点温度。只有当环境温度高于某种昆虫的发育起点温度时,该昆虫才能有效地摄取热量进行生长发育,昆虫在发育起点温度之上所累积的热值为发育有效积温^[8]。对于一个昆虫物种来说,相同虫态的发育起点温度和发育有效积温是恒定的^[9]。

自然变温有很多种表现形式,在实验室很难模拟,因此法医昆虫学通常利用在实验室获取的恒温数据来计算昆虫在变温环境中的发育^[4]。大多数情况下,命案现场的昆虫是在一个波动的温度(变温)下生长,白天温度高而夜晚温度低,大致按照正弦曲线的趋势波动,在标准时区时间的13:00~14:00气温最高,而在太阳出来前的1~2h气温最低。由于变温有各种各样的表现形式,即使平均值相同但不同变温条件下各时间点的温度可能不同,如果某一天上午艳阳高照而中午突降大雨则该天变温可能不符合正弦曲线。通常情况下,昆虫在恒温下的发育与平均值一样的变温下的发育基本一致的,只有当变温的阈值达到或超过昆虫的最高或最低耐受温度区间时,变温与恒温的发育才会出现差异。但由于一般的嗜尸性昆虫对温度的适应性很强,绝大多数案件中的变温不会超过昆虫的适温范围(若超过,则应根据昆虫的发育有效积温计算死亡时间)。因此,国际上的通用做法是用恒温下取得的结果来实现对于变温下昆虫发育的估算^[10]。

影响嗜尸性昆虫的因素很多,如温度、湿度、光照、地域、尸体死亡原因等,其中湿度主要影响尸体的干化速度和微生物生长,从而间接影响昆虫的生长发育,但湿度对于昆虫的发育速率没有显著影响。光照主要影响昆虫在尸体上的分布。而地域主要影响昆虫的种类及各种类昆虫的发育速率,这里主要是指大的地域(如广东、陕西),对于小的地域(如深圳、中山和广州),昆虫种类基本没有差异。实际上影响昆虫的主要因素是温度,其他因素的影响可以忽略,推断死亡时间时只把温度作为环境参数^[5]。

法医昆虫学推断死亡时间的另一种方法是根据昆虫在尸体上的演替规律,限于篇幅故不在本文中赘述。

2 常用昆虫用于死亡时间推断的指标

法医昆虫学者已经开发出一系列死亡时间推断的昆虫学指标,分别为发育历期与等虫态线图、体长与等长线图、蛹内形态变化等^[11-13]。

2.1 发育历期

昆虫在胚后发育过程中,幼期发育为成虫,所有的外部形态、内部器官、生理、生活习性及行为和本能上的一切变化总和,叫作变态^[10]。昆虫的发育要经过卵

期、幼虫期、蛹期、成虫期四个阶段,而幼虫期也可以根据蜕皮次数分为若干龄期^[14]。卵期是一个不活动的虫态,从卵孵化出的幼虫通常很小,取食生长后不断长大,当长大到一定程度时,由于坚韧的几丁质体壁限制了其生长,就必须退去旧皮,代之以新表皮^[10]。昆虫从前一个幼虫期向后一个幼虫期的转变过程称为蜕皮。蝇类的幼虫期一般有3个龄期^[15],甲虫的幼虫期因种类而不同,其中皮蠹有5~11个龄期^[16]。蛹期是指完全变态类的昆虫,在幼虫变化成蛹,蛹变为成虫之前的一段时期。昆虫在该虫态时往往不吃也不动,蛹壳表面几乎没有变化,但蛹壳内部却发生着天翻地覆的改变^[17]。蛹羽化后进入成虫期,昆虫成虫期的主要任务是交配和繁殖,新羽化的成虫通常需要经历一段时间的性成熟期才能交配和繁殖。大多数种类一旦完成繁殖,成虫就会很快死亡。

昆虫每个发育阶段所经历的时间,即发育历期,就一个特定的昆虫物种来说,在特定的温度下,昆虫的发育历期是恒值。不仅整个发育期是恒值,而且每个阶段,包括卵期、幼虫期、蛹期都是恒值,幼虫期的每个龄期也是恒值。昆虫的发育历期常常被法医昆虫学用来判断昆虫的年龄^[1]。通常情况下,发育历期是在实验室梯度恒温^[18-19](如12、16、20、24、28、32、36℃)下通过观察得到。在应用时,测量现场温度,用最接近的实验室温度来计算昆虫年龄,即最短死亡时间。

目前,我国有12种具法医学重要意义的昆虫发育历期已经被系统研究,包括大头金蝇^[19]、绯颜裸金蝇^[18]、亮绿蝇^[20]、乌足锡蝇^[21]、家蝇^[22]、巨尾阿丽蝇^[23]、丝光绿蝇^[13]、棕尾别麻蝇^[24]、野亚麻蝇^[25]、瘦叶带绿蝇^[26]、黑水虻^[27]和大隐翅甲^[28](附表1~12)。

2.2 体长

尸体上的蝇类幼虫,除少数体扁和体节上有棘突外,多数为圆柱形,前尖后钝^[29]。随着幼虫的生长,体长逐渐增长,这种体长变化可以准确反映幼虫的日龄。通过回归方程可以模拟体长与发育时间的关系。幼虫体长的增长呈S型,也就是说,低龄的时候体长增长比较缓慢,随着幼虫生长进入中等大小,体长开始迅速增长,接近成熟时,体长变化又进入缓慢阶段,最后进入平台期。临近化蛹,幼虫体长还会缩短^[18,30]。值得注意的是,法医昆虫学在推断死亡时间时只采取取食期(平台期之前)的幼虫体长作为指标,进入离食期后(平台期后)幼虫体长不再变化甚至缩短,此时的幼虫体长一般不作为死亡时间推断的指标^[13]。另外,需要特别说明的是,幼虫的体长变化不是均匀的,在实际应用中不能定义为幼虫体长增长趋势是每天增长1mm^[9]。

我国具法医学重要意义昆虫的体长变化规律见附表 13~19。

2.3 发育起点温度和发育有效积温

昆虫的生长发育遵循有效积温法则,即昆虫各个发育阶段所需要的总热量是一个常数,其计算公式^[31]为:

$$K=N(T-C), \tag{1}$$

式中, K 是总积温 (常数), N 为发育历期即生长发育所需时间, T 为发育期间的平均温度, C 为发育起点温度。公式经推演可得:

$$T=C+K/N=C+KV, \tag{2}$$

式中, V 是发育速率,为 N 的倒数。一般测定 K 和 C 的方法是通过实验得到不同温度(T)时的相应 V ,然后推算求得 K 、 C 值^[7]。目前,获取 K 和 C 值的方法有人工恒温法、多级人工变温法和自然变温法 3 种方法,其中最常用的方法为人工恒温法^[32]。

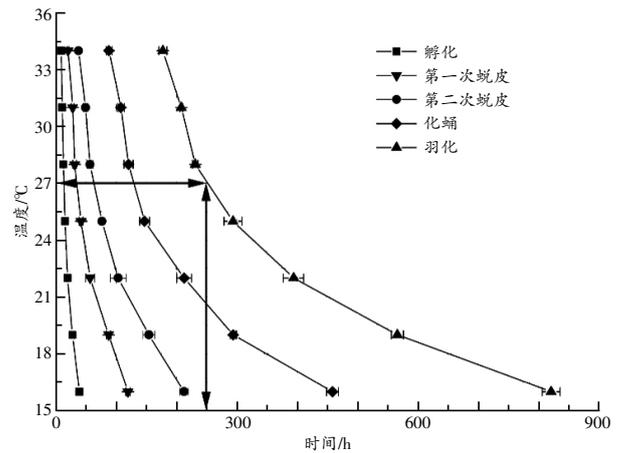
我国具重要法医学意义的昆虫发育起点温度及积温常数见附表 20~26。

2.4 等虫态线图与等长线图

等虫态线图是根据不同恒温下(y 轴)不同发育节点所经历的时间建立的散点图。图中每一条曲线表示昆虫在不同恒温下发育至一个特定发育节点所需的时间。图中的发育节点实际上是发育历期的另一种表示方法。例如,第一次蜕皮的时间即为一龄幼虫的发育历期,第二次蜕皮的时间即为一龄幼虫的发育历期与二龄幼虫的发育历期之和^[5,33]。

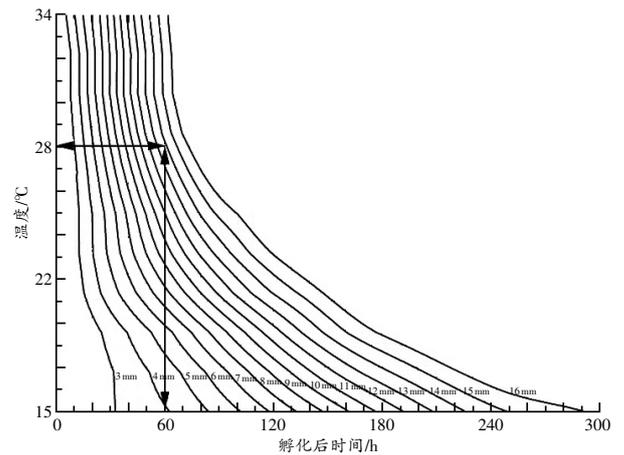
等长线图是一个等差线图,图中包含孵化后时间(x 轴)、温度(y 轴)及幼虫大小(z 轴)三个变量。图中每一条等差线对应一个幼虫体长,即幼虫体长为 3 mm、4 mm、5 mm 等时不同温度下所对应的幼虫孵化后的生长发育时间^[5,33]。

利用等虫态线图与等长线图能够方便、快速、准确地推断出最短死亡时间。例如,在一个平均环境温度为 27℃ 的死亡现场中发现了大头金蝇的幼虫、蛹和新羽化成虫。显然,新羽化的大头金蝇成虫是该现场最老的虫态。在推断最短死亡时间时,只需要在等虫态线图中以 y 轴的 27℃ 为起点,作与 x 轴的平行线并与“羽化”的等虫态线相交,则可直接读出最短死亡时间为 250h(图 1)。另一个平均环境温度为 28℃ 的死亡现场中,发现尸体上活跃着大量的大头金蝇幼虫,而在现场未发现大头金蝇的离食期幼虫和蛹。测量采集到的最老的幼虫,得到最大平均体长为 14mm。则根据等长线图,以 y 轴 28℃ 为起点,作与 x 轴平行的线并与“14 cm”的等长线相交,直接读出最短死亡时间为 60h(图 2)。



各发育里程碑(孵化、第一次蜕皮、第二次蜕皮、化蛹和羽化)的时间是以产卵后时间为起点至各发育里程碑所经历的时间;不同的曲线代表不同的发育里程碑,误差线代表各发育里程碑的标准差;图中双向箭头指示的数据表明,在平均温度为 27℃ 的条件下,大头金蝇完成从卵到羽化的发育过程需要 250h

图 1 大头金蝇等虫态线图^[19]



每个等高线左下方的数字(从 3~16 mm)分别对应不同的幼虫体长;图中双向箭头指示的数据表明,在平均温度为 28℃ 的条件下,大头金蝇幼虫从孵化到体长达到 14mm 所经历的时间为 60h

图 2 大头金蝇幼虫从卵孵化到取食高峰的等长线图^[19]

由于图片版权限制,本文只列举了大头金蝇的等虫态线和等长线图,其他具法医学重要意义的种类,包括绯颜裸金蝇^[18]、亮绿蝇^[20]、家蝇^[22]、巨尾阿丽蝇^[23]、丝光绿蝇^[13]、棕尾别麻蝇^[24]、野亚麻蝇^[25]、瘦叶带绿蝇^[26]和大隐翅甲^[28]的等虫态线和等长线图可以根据文中所列的参考文献进行查阅。

3 现场标准化操作

3.1 昆虫证据采集工具和设备

在进入死亡现场前,法医昆虫学工作者应根据法医昆虫学标准化准则准备各种法医昆虫学采集工具和设备^[4]。携带进入现场的工具箱中应配备:(1)捕虫

网,用于捕捉蝇类成虫;(2)毒瓶(用棉花蘸取少量乙酸乙酯置于其中,使用前准备),毒杀昆虫;(3)黑色防水记号笔和标签纸,写标签、做记录;(4)不锈钢镊子,夹取昆虫;(5)铁铲,挖掘和收集蝇蛆或蝇蛹;(6)软毛笔,采集卵、收集微小或较柔软的昆虫;(7)≥90℃的热水或乙醇-二甲苯混合溶液(xylene-alcohol solution, XA液),处理蝇类幼虫,使虫体尽量伸长;(8)烧杯,用于处理幼虫样本或扣捕昆虫;(9)装有80%乙醇溶液的塑料瓶(≥10个),用于昆虫样本保存;(10)具通风功能的养虫盒(≥5个),用于盛放和饲养采集到的活虫样本;(11)防护服、头套、口罩、手套及鞋套,自身防护同时防止污染现场;(12)摄像机和照相机,记录昆虫活动、现场环境、尸体情况以及保证昆虫证据链的完整性;(13)警用标尺,拍照时使用;(14)普通温度计,用于环境、尸体及蛆群温度的直接测量;(15)电子温度计,用于环境、尸体及蛆群温湿度的长期监测;(16)记录文件夹,现场情况详细记录。

3.2 昆虫标本采集

法医昆虫学工作者应穿戴防护服、头套、口罩、手套及鞋套,在得到勘验现场的许可后方可进入现场。进入现场后,应对以下情况进行调查、记录以及拍照:(1)尸体所处的环境类型,昆虫的生长发育和演替规律主要受环境影响,进入现场后应首先确定现场环境。室内案件要及时检查门窗的封闭情况,而室外现场则要明确尸体所处的生境(如森林、农田、草地或水域)。(2)详细了解尸体概貌以及尸体上昆虫的分布、数量及生长发育情况。昆虫与尸体密切相关,切勿脱离尸体单纯分析昆虫证据,若昆虫发生与尸体腐败情况不一致,则很可能揭示其他案情。(3)简要案情,案情对于法医昆虫学分析至关重要。

3.2.1 昆虫证据及分布

卵、幼虫、虫蜕、蛹、蛹壳及成虫是现场最重要的昆虫证据。此外,昆虫残肢、粪便以及活动形成的昆虫血痕、化蛹孔及羽化孔也具有非常重要的价值。昆虫证据绝不仅存在于尸体上,而是广泛分布于以尸体为中心10m的范围内^[34]。例如,大多数蝇类的幼虫在进入离食期后会大批量离开尸体钻入周围的泥土中化蛹。此外,有些种类的甲虫,如大隐翅甲的成虫和幼虫常隐藏于尸体周围的泥土中捕食离食期的蝇类幼虫。因此,在昆虫证据采集时,不仅要调查尸体上的昆虫,还要仔细搜寻尸体周围的地面及地下。值得注意的是,蝇类成虫有时会钻入口鼻腔深处产卵,昆虫证据很难发现,特别是卵孵化干瘪且幼虫钻入更深处取食时。因此,在面对一具较为新鲜但已经有蝇类成虫活动的尸体时,应加倍仔细检查尸体的天然开口,以作

出正确的判断。

3.2.2 蝇类成虫

新羽化的成虫是非常关键的昆虫证据,可以用于准确地推断最短死亡时间。新羽化的成虫通常很好辨认:有的刚刚从蛹壳中钻出,额囊膨大、体表呈灰白色且羽翅尚未舒展,只能在地面上爬行;有的体表已经完全着色且羽翅已经舒展,但仍不善飞行且虫体洁净,很容易与老熟成虫分区。新羽化的成虫由于活动能力较弱可以直接用烧杯扣捕或戴手套抓捕。

从周围环境中被尸体引来觅食、交配及产卵的成虫,其发生和消失遵循昆虫群落演替规律,也具有死亡时间推断价值。挥动捕虫网在成虫大量活动的尸体上方挥动数下,使昆虫进入网兜底部,随后迅速用手密闭网兜,将网兜放入毒瓶中约5min处死成虫。对于微小的蝇类,如蚤蝇和酪蝇,可用洗耳球配合吸虫管吸取。蝇类每种采集10头左右即可,采集过程需拍照并做记录^[6]。

3.2.3 甲虫成虫

甲虫成虫的出现和消失遵循昆虫群落演替规律,可以用于推断死亡时间。甲虫成虫在现场的数量通常较少,建议尽量全部采集,采集时可以用镊子夹取或直接戴手套捕捉。采集到的甲虫成虫直接放入80%乙醇溶液中并做好标识。

3.2.4 卵

用镊子小心夹取或用蘸过水的毛笔蘸取后放入80%乙醇溶液中保存。此外,建议采集一些卵放入养虫盒中带回实验室饲养观察,养虫盒内一定要添加新鲜肉类以供孵化后的幼虫取食。

3.2.5 蝇类幼虫

进入现场后首先采集离食期的幼虫,再收集取食期幼虫。建议尽可能多地采集幼虫样本,收集时,可以用铁勺舀取或用镊子夹取。尸体上不同部位的蝇蛆分开采集。切记要把幼虫先放入盛有≥90℃的热水或XA液的烧杯中处理30s,再转移至装有80%乙醇溶液的塑料瓶中。将注明采集时间、地点以及采集部位的标签贴于瓶身。另外,建议采集一些活的幼虫放入养虫盒中带回实验室饲养观察。养虫盒中要及时添加瘦肉供蛆虫取食。养虫盒必须具密封性,以防幼虫逃脱。不同种类的蛆虫要分开放置,以防相互残杀。

3.2.6 甲虫幼虫

甲虫幼虫通常行动迅速且身形隐秘,调查时需仔细寻找,采用镊子夹取或戴手套捕捉。尸体上甲虫幼虫的数量通常较少,但尽量保证每种幼虫的个体数≥10头。采集的幼虫一部分直接放入80%乙醇溶液中保存,剩余的放进养虫盒中饲养。对于皮蠹及郭

公甲这类以干燥食物为食的昆虫,放入干肉以供其取食。而对于大隐翅甲及阎甲这类捕食性昆虫,则放入蝇蛆或蝇蛹。活的甲虫幼虫绝不能混合放置,以防互相残杀。

3.2.7 蝇类蛹

蝇类蛹期时间约占整个发育过程的 50%, 具有重要的最短死亡时间推断价值^[11]。室外现场中, 大多数种类的蝇蛹隐蔽于尸体周围 10 m 范围的泥土中, 而在地面坚硬室内现场, 幼虫则会在墙角、门缝、地毯、桌椅下等隐蔽的地方化蛹。此外, 死者衣服的口袋或缝处也经常会发现蝇蛹。个别种类, 如乌足锡蝇金蝇和蚤蝇会直接在尸体残骸上化蛹^[35]。

蝇蛹大都分布在地下 0~10 cm 的土壤中, 在调查时应充分挖掘尸体周围的泥土并仔细检查。采集到的蝇蛹一部分先放入装有 ≥ 90 °C 热水的烧杯中处理 30 s 后, 再放到 80% 乙醇溶液中保存^[11]。其余的放入底层铺有沙土的养虫盒中带回实验室内饲养。以上过程均需拍照及做好标签。

3.2.8 甲虫蛹

甲虫的蛹数量少且化蛹场所隐蔽, 通常很难发现, 在调查过程中务必耐心寻找。甲虫的蛹通常会分布于胸腔中、颅骨内、衣服内侧或者尸体周围的石块下方及土壤中。甲虫蛹的处理方法与蝇类相同, 一部分放入 80% 乙醇溶液中保存, 其余放入养虫盒中带回实验室恒温饲养^[34-35]。

3.2.9 昆虫证据实验室处理

采集到的昆虫样本应第一时间带回实验室处理。昆虫证据的运输和处理过程应在摄像机的监控下进行, 以确保证据链的完整性。成虫样本一般做成针插标本后进行种类鉴定, 标签中详细注明采集时间、采集地点、案例号、采集部位及拉丁学名。幼虫样本在体视显微镜下鉴定种类和确定龄期, 采用电子游标卡尺进行体长测量。采集的活虫添加食物后要放入恒温培养箱内培养, 每隔 4 h 观察一次, 记录虫体的化蛹及羽化时间。

3.3 气象数据获取和校正

相关气象数据(最主要是日平均温度)从距案发地最近的气象站调取。根据预估死亡时间确定需要调取气象数据的时间范围。例如, 根据昆虫生长发育情况估计尸体死亡了 20 d, 那么可向气象站调取近一个月的日平均温度数据。考虑到气象站的温度数据与现场可能存在差异, 为了得到更为准确的温度数据, 需要调查现场 3~5 d 的环境温度, 与气象站的温度数据对比, 建立回归方程找出差异, 得到案发时间内准确的环境温度^[4]。

4 小 结

本文阐述了法医昆虫学利用昆虫生长发育规律推断死亡时间的理论基础和操作方法, 归纳列举出我国 12 种最常见嗜尸性昆虫的发育数据, 以期为我国法医昆虫学实践提供参考和指导。

昆虫生长发育规律是法医昆虫学最主要的研究方向之一, 虽然在此方面我国已经开展了较多研究, 但从文中列举的发育数据可以看出, 目前发育研究的重点是蝇类, 而有关在尸体腐败晚期及白骨化阶段出现的甲虫的研究很少, 这使得法医学工作者在遇到相关案件时无数据可以参考。在今后的法医昆虫学研究中应当加强甲虫生长发育规律的研究。

此外, 近年来已经有研究证实了差异基因表达技术用于推断嗜尸性蝇类年龄的价值^[36-39], 而形态学和差异基因表达相结合有望实现更加精确的死亡时间推断^[37,40]。此方面必将成为近年来法医昆虫学发育研究的热点。

(全文附表见官网电子版全文。)

参考文献:

- [1] 胡萃. 法医昆虫学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2000.
- [2] 陈禄仕. 中国尸食性蝇类[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2013.
- [3] 刘耀, 丛斌, 侯一平. 实用法医学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [4] AMENDT J, CAMPOBASSO C P, GAUDRY E, et al. Best practice in forensic entomology-standards and guidelines[J]. Int J Legal Med, 2007, 121(2): 90-104.
- [5] AMENDT J, RICHARDS C S, CAMPOBASSO C P, et al. Forensic entomology: applications and limitations[J]. Forensic Sci Med Pathol, 2011, 7(4): 379-392.
- [6] HASKELL N H, LORD W D, BYRD J H. Forensic entomology. The utility of arthropods in legal investigations[M]. New York: CRC Press, 2001: 92-98.
- [7] WANG J, LI Z, CHEN Y, et al. The succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in South China[J]. Forensic Sci Int, 2008, 179(1): 11-18.
- [8] RICHARDS C S, VILLET M H. Data quality in thermal summation development models for forensically important blowflies[J]. Med Vet Entomol, 2009, 23(3): 269-276.
- [9] KOTZÉ Z, VILLET M H, WELDON C W. Effect of temperature on development of the blowfly, *Lucilia cuprina* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae)[J]. Int J Legal Med, 2015, 129(5): 1155-1162.
- [10] BYRD J H, CASTNER J L. Forensic entomology: the utility of arthropods in legal investigations[M]. New York: CRC Press, 2009.

- [11] BROWN K, THORNE A, HARVEY M. *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) pupae: a timeline of external morphological development and a new age and PMI estimation tool[J]. *Int J Legal Med*,2015, 129(4):835-850.
- [12] MIDGLEY J M, VILLET M H. Development of *Thanatophilus micans* (Fabricius 1794) (Coleoptera: Silphidae) at constant temperatures[J]. *Int J Legal Med*,2009,123(4):285-292.
- [13] GRASSBERGER M, REITER C. Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen- and isomorphen-diagram[J]. *Forensic Sci Int*,2001,120(1/2):32-36.
- [14] GREENBERG B, KUNICH J C. Entomology and the law: flies as forensic indicators[M]. New York: Cambridge University Press,2002.
- [15] ROE A, HIGLEY L G. Development modeling of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae)[J]. *PeerJ*, 2015,3:e803.
- [16] MARTÍN-VEGA D, DÍAZ-ARANDA L M, BAZ A, et al. Effect of temperature on the survival and development of three forensically relevant *Dermestes* species (Coleoptera: Dermestidae)[J]. *J Med Entomol*, 2017,54(5):1140-1150.
- [17] DEFILIPPO F, BONILAURI P, DOTTORI M. Effect of temperature on six different developmental landmarks within the pupal stage of the forensically important blowfly[J]. *J Forensic Sci*,2013,58(6):1554-1557.
- [18] YANMANEE S, HUSEMANN M, BENBOW M E, et al. Larval development rates of *Chrysomya rufifacies* Macquart, 1842 (Diptera: Calliphoridae) within its native range in South-East Asia[J]. *Forensic Sci Int*,2016,266:63-67.
- [19] ZHANG Y N, WANG Y, YANG L J, et al. Development of *Chrysomya megacephala* at constant temperatures within its colony range in Yangtze River Delta region of China[J]. *Forensic Sci Res*,2018, 3(1):74-82.
- [20] WANG Y, LI L, WANG J F, et al. Development of the green bottle fly *Lucilia illustris* at constant temperatures[J]. *Forensic Sci Int*,2016,267:136-144.
- [21] LI L L, WANG Y, WANG J F, et al. Temperature-dependent development and the significance for estimating postmortem interval of *Chrysomya nigripes* Aubertin, a new forensically important species in China[J]. *Int J Legal Med*,2016,130(5):1363-1370.
- [22] WANG Y, YANG L J, ZHANG Y N, et al. Development of *Musca domestica* at constant temperatures and the first case report of its application for estimating the minimum postmortem interval[J]. *Forensic Sci Int*,2018,285:172-180.
- [23] WANG Y, ZHANG Y N, LIU C, et al. Development of *Aldrichina grahami* (Diptera: Calliphoridae) at constant temperatures[J]. *J Med Entomol*,2018. doi:10.1093/jme/tjy128.
- [24] WANG Y, WANG J F, ZHANG Y N, et al. Forensically important *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae) in China: development pattern and significance for estimating postmortem interval[J]. *J Med Entomol*,2017,54(6):1491-1497.
- [25] YANG L J, WANG Y, LI L L, et al. Temperature-dependent development of *Parasarcophaga similis* (Meade 1876) and its significance in estimating postmortem interval[J]. *J Forensic Sci*,2017,62(5):1234-1243.
- [26] YANG Y Q, LYU Z, LI X B, et al. Technical note: Development of *Hemipyrellia ligurriens* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) at constant temperatures: applications in estimating postmortem interval[J]. *Forensic Sci Int*,2015,253:48-54.
- [27] LI L L, WANG Y, WANG J F. Intra-puparial development and age estimation of forensically important *Hermetia illucens* (L.)[J]. *J Asia-Pac Entomol*, 2016,19(1):233-237.
- [28] WANG Y, YANG J B, WANG J F, et al. Development of the forensically important beetle *Creophilus maxillosus* (Coleoptera: Staphylinidae) at constant temperatures[J]. *J Medical Entomol*,2017,54(2):281-289.
- [29] 范滋德. 中国常见蝇类检索表[M].北京:科学出版社, 1992.
- [30] VILLET M H, MACKENZIE B, MULLER W J. Larval development of the carrion-breeding flesh fly, *Sarcophaga (Liosarcophaga) tibialis* Macquart (Diptera: Sarcophagidae), at constant temperatures[J]. *Afr Entomol*,2006,14(2):357.
- [31] VOSS S C, SPAFFORD H, DADOUR I R. Temperature-dependant development of *Nasonia vitripennis* on five forensically important carrion fly species[J]. *Entomol Exp Appl*,2010,135(1):37-47.
- [32] FRATCZAK-ŁAGIEWSKA K, MATUSZEWSKI S. Sex-specific developmental models for *Creophilus maxillosus* (L.) (Coleoptera: Staphylinidae): searching for larger accuracy of insect age estimates[J]. *Int J Legal Med*,2018,132(3):887-895.
- [33] VILLET M H, AMENDT J. Advances in entomological methods for death time estimation[M]// TURK E. Forensic pathology reviews. Berlin: Springer,2011: 213-237.
- [34] 马孟云,王禹,董玉友,等. 法医昆虫学检验现场操作标准探讨[J].*刑事技术*,2016,41(2):142-146.
- [35] 王禹,王江峰,王敏,等. 嗜尸性昆虫证据在案发现场

的分布研究[J].政法学刊,2014,31(2):72-76.

[36] BAQUÉ M, AMENDT J, VERHOFF M A, et al. Descriptive analyses of differentially expressed genes during larval development of *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae)[J]. Int J Legal Med,2015, 129(4):891-902.

[37] TARONE A M, FORAN D R. Gene expression during blow fly development: improving the precision of age estimates in forensic entomology[J]. J Forensic Sci,2011,56:S112-S122.

[38] TARONE A M, JENNINGS K C, FORAN D R. Aging blow fly eggs using gene expression: a feasibility study[J]. J Forensic Sci,2007,52(6):1350-1354.

[39] BOEHME P, SPAHN P, AMENDT J, et al. Differential gene expression during metamorphosis: a promising approach for age estimation of forensically important *Calliphora vicina* pupae (Diptera: Calliphoridae)[J]. Int J Legal Med,2013,127(1):243-249.

[40] WANG Y, GU Z, XIA S, et al. Estimating the age of intra-puparial period of *Lucilia illustris* using two approaches: morphological changes and differentially expressed genes[J]. Forensic Sci Int,2018,287: 1-11.

(收稿日期:2018-07-20)
(本文编辑:邹冬华)

附表 1 大头金蝇在七个恒温下各阶段的发育历期^[19]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	蛹	总历期
16	38.9±2.1	81.3±4.1	84.0±3.8	248.2±5.2	342.5±17.2	794.8±14.7
19	27.2±2.3	57.3±4.0	58.7±6.1	148.2±14.4	241.8±13.9	533.2±10.1
22	19.2±1.6	35.2±6.1	40.2±6.1	108.6±8.3	174.7±8.6	377.8±16.8
25	14.8±0.9	28.6±2.3	32.2±2.3	68.0±8.3	138.8±9.1	280.8±15.1
28	12.2±0.9	18.0±2.3	22.5±4.2	61.2±4.0	105.2±6.1	218.9±8.5
31	10.3±1.0	13.3±2.3	16.2±2.3	56.8±3.3	94.6±4.2	190.8±10.1
34	8.5±0.5	11.3±1.2	13.3±2.3	49.6±2.3	89.3±4.9	171.8±6.8

附表 2 绯颜裸金蝇在九个恒温下各阶段的发育历期^[18]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	蛹	总历期
15	27.14±1.46	60.14±4.20	73.15±2.19	144.15±10.48	314.04±15.51	618.62±33.84
18	26.49±2.48	50.37±2.17	52.40±10.52	129.18±5.46	289.08±6.16	547.52±27.59
21	16.08±1.12	27.17±0.25	35.01±2.29	66.49±2.11	193.29±9.02	338.44±10.35
24	13.59±0.40	22.06±0.49	26.52±1.18	64.04±0.26	139.07±2.02	266.09±3.04
27	10.29±1.39	19.23±0.45	26.18±0.46	43.13±4.15	118.13±4.19	216.96±10.64
30	9.25±1.14	15.56±0.60	20.01±1.23	31.16±0.58	111.11±6.22	187.09±10.33
33	8.27±0.18	12.26±0.19	14.29±0.23	30.15±1.56	103.06±2.80	168.03±4.96
36	7.10±0.39	10.39±0.20	13.52±1.22	26.15±3.50	115.11±4.00	172.63±9.13
39	6.14±0.40	11.37±0.38	12.07±0.14	24.37±0.10	-	-

注:“-”表示在该温度下该阶段未能完成发育

附表 3 亮绿蝇在九个恒温下的发育历期^[20]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	离食	蛹	总历期
15.0	42.8±1.3	58.7±2.3	55.5±1.3	128.2±9.1	180.8±20.1	489.5±8.8	955.5±16.9
17.5	28.3±1.6	38.0±2.6	35.5±4.0	86.2±2.8	102.0±10.4	335.7±5.5	625.7±16.9
20.0	22.5±0.5	33.7±3.2	31.3±1.2	54.7±5.0	84.3±7.5	282.8±9.6	509.3±18.3
22.5	17.5±1.5	29.8±3.8	22.8±3.0	41.7±2.5	72.0±9.2	226.2±5.4	410.0±17.0
25.0	14.9±0.8	24.0±2.0	20.3±3.5	34.3±2.1	60.7±4.2	192.5±8.5	346.7±12.2
27.5	12.7±0.6	19.3±2.3	15.7±2.1	31.3±3.5	57.2±2.8	154.0±3.5	290.2±6.7
30.0	11.7±1.1	15.7±3.5	13.7±1.5	29.5±1.3	54.0±6.0	132.5±2.8	257.1±8.9
32.5	10.5±0.5	14.2±2.0	12.3±2.5	26.7±3.5	50.3±3.8	118.8±10.1	234.8±3.2
35.0	9.2±0.3	12.0±1.3	10.8±1.0	23.7±1.5	61.3±7.0	-	-

注:“-”表示在该温度下该阶段未能完成发育

附表4 乌足锡蝇在不同温度下的发育历期^[21]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	蛹	总历期
20	32.0±0.6	52.0±5.0	97.0±24.0	259.0±32.0	168.0±32.5	608.0±68.0
24	23.0±0.4	30.0±2.5	40.0±4.0	122.0±15.5	112.0±26.8	327.0±53.8
28	18.0±0.5	24.0±4.8	36.0±6.5	96.0±21.9	80.0±20.5	254.0±36.5
32	14.0±0.5	18.0±8.5	30.0±8.4	78.0±14.6	77.0±16.0	217.0±28.0

附表5 家蝇在七个恒温下各阶段的发育历期^[22]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	蛹	总历期
16	50.6±2.3	66.2±6.8	77.4±2.3	194.0±2.3	497.8±12.4	884.6±7.4
19	36.0±2.0	53.4±5.0	60.0±7.3	153.2±10.6	325.2±14.4	627.2±23.0
22	24.5±0.6	37.0±3.8	41.2±2.3	108.4±3.3	227.8±11.0	437.5±11.0
25	18.5±0.9	26.2±2.3	28.5±2.0	67.2±3.8	157.0±3.8	297.0±8.8
28	15.4±0.5	19.5±1.0	24.4±1.2	52.2±3.3	115.0±3.8	226.4±6.3
31	12.9±1.0	16.0±0.0	19.6±1.2	44.6±3.3	98.0±2.3	190.4±4.2
34	10.5±0.6	13.5±1.9	16.3±0.5	41.2±2.3	74.0±2.3	155.3±5.5

附表6 巨尾阿丽蝇在六个恒温下的发育时间^[23]

温度/°C	孵化	第一次蜕皮	第二次蜕皮	离食	化蛹	羽化
16	39.3±2.5	83.0±5.0	136.3±5.5	251.0±13.0	305.7±9.7	685.5±18.8
19	31.3±1.5	65.3±3.0	106.3±3.1	189.8±8.3	245.8±8.9	540.3±15.9
22	25.5±1.5	53.3±2.8	86.5±4.0	166.1±9.5	206.0±7.8	454.3±19.4
25	20.8±1.0	43.4±2.6	69.8±4.3	144.0±17.6	173.8±16.7	388.8±19.0
28	17.5±0.6	37.4±0.6	59.5±2.4	108.5±9.9	160.4±16.8	335.5±8.7
31	15.0±1.0	32.4±2.5	51.0±3.6	92.3±2.5	165.7±10.7	-

注：“-”表示在该温度下该阶段未能完成发育

附表7 丝光绿蝇在十个恒温下的最短发育历期^[13]

温度/°C	卵	一龄	二龄	三龄	离食	蛹期	总历期
15	31	56	70	115	340	-	-
17	28	39	54	79	200	442	842
19	24	27	42	60	118	293	564
20	22	24	35	53	108	209	451
21	19	23	29	47	103	158	379
22	17	19	26	46	94	137	339
25	14	16	19	36	87	125	297
28	11	11	16	30	87	120	275
30	10	10	15	27	87	119	268
34	8.5	9.5	12	27	82	120	259

附表8 棕尾别麻蝇在七个恒温下的发育历期^[24]

温度/°C	一龄	二龄	三龄	离食	蛹期	总历期
16	56.0±2.8	53.6±2.2	170.0±4.4	74.2±2.3	713.3±30.0	1064.7±34.8
19	40.5±5.3	43.0±2.0	121.3±4.7	61.3±7.2	490.0±16.2	756.0±19.0
22	29.0±1.0	28.6±3.0	95.2±1.8	40.0±2.8	366.8±2.7	559.6±5.5
25	20.3±0.5	19.5±1.0	70.0±1.6	34.5±1.9	270.0±5.2	414.3±3.9
28	16.8±1.8	15.6±0.9	59.6±2.2	22.4±2.2	200.6±0.9	315.0±2.0
31	14.5±1.7	13.6±2.2	53.5±2.3	19.4±1.9	177.0±1.7	278.0±4.0
34	12.4±0.9	12.2±0.4	48.4±3.0	16.0±2.8	170.0±3.8	258.0±3.5

附表9 野亚麻蝇在不同温度下的发育历期^[25]

温度/°C						($\bar{x}\pm s, h$)
	一龄	二龄	三龄	蛹期	总历期	
15.0	52.0±5.8	56.8±7.5	161.2±15.2	759.0±16.8	1029.0±26.6	
17.5	33.3±5.5	30.8±5.6	136.0±13.7	521.0±12.6	731.0±20.4	
20.0	23.0±3.7	26.0±5.2	111.0±16.1	408.5±15.0	568.5±20.8	
22.5	19.3±2.8	20.0±4.8	94.0±9.8	324.5±9.0	457.8±19.8	
25.0	16.3±2.5	14.0±3.0	78.0±7.0	239.3±9.2	347.7±14.6	
27.5	16.0±1.3	14.8±3.5	64.0±5.7	209.5±7.4	304.5±10.4	
30.0	10.0±1.0	9.7±1.7	60.7±5.0	186.7±6.1	267.0±9.2	
32.5	11.3±1.3	10.0±1.4	55.0±4.4	173.8±6.0	250.0±7.3	
35.0	10.3±1.5	8.0±1.7	53.0±6.2	166.0±9.2	237.3±7.7	

附表10 瘦叶带绿蝇在七个恒温下的发育时间^[26]

温度/°C							($\bar{x}\pm s, h$)
	孵化	第一次蜕皮	第二次蜕皮	离食	化蛹	羽化	
16	39.5±0.8	40.5±3.1	100.8±4.9	210.4±5.0	321.4±15.9	704.1±17.5	
19	26.8±0.5	31.4±1.0	72.6±1.9	140.5±9.0	221.4±5.6	512.9±8.2	
22	20.8±0.7	22.6±2.0	51.1±1.5	109.6±4.6	163.9±8.9	398.2±7.3	
25	15.5±0.7	18.1±0.9	42.6±1.7	94.6±4.6	148.6±10.1	321.9±12.7	
28	13.4±0.7	14.8±1.5	35.5±1.4	84.9±4.8	137.0±6.6	281.3±6.0	
31	11.4±0.6	10.8±1.2	27.3±1.8	66.2±6.6	163.7±20.3	288.4±19.8	
34	9.7±0.3	8.9±0.4	22.8±1.5	54.4±5.0	161.6±25.2	269.2±22.1	

附表11 黑水虻在三个恒温下的发育历期^[27]

温度/°C						($\bar{x}\pm s, h$)
	卵	幼虫	预蛹	蛹	总历期	
24	4.8±0.5	17.0±3.8	13.0±3.1	11.0±2.5	45.8±8.6	
28	2.8±0.3	14.0±2.6	12.0±2.5	7.0±2.0	35.8±4.5	
32	2.7±0.2	11.0±2.2	11.0±1.8	4.5±1.5	29.2±3.0	

附表12 大隐翅甲在七个恒温下的发育历期^[28]

温度/°C								($\bar{x}\pm s, h$)
	卵	一龄	二龄	三龄	预蛹	蛹期	总历期	
17.5	110.7±12.2	112.7±14.2	106.7±15.1	286.7±42.4	349.1±60.0	472.7±16.0	1438.4±129.8	
20.0	95.3±7.0	76.7±12.1	75.7±8.1	231.3±32.5	288.0±41.6	411.2±12.3	1178.2±76.8	
22.5	70.7±8.3	66.7±4.6	62.7±8.3	202.7±41.1	231.7±44.2	290.4±8.3	924.8±77.4	
25.0	52.3±5.9	54.3±7.8	57.3±10.1	175.3±18.6	197.3±34.5	255.0±13.1	791.7±52.0	
27.5	47.3±5.8	51.3±5.8	50.0±7.2	154.7±12.2	136.0±36.7	218.4±9.8	657.7±55.7	
30.0	39.7±4.0	29.7±4.0	46.0±2.0	130.7±25.7	114.7±20.1	196.8±6.3	557.5±51.9	
32.5	38.7±4.6	29.3±6.1	52.0±4.0	149.3±18.5	128.0±34.9	187.2±8.7	584.5±56.0	

附表13 七个恒温下大头金蝇幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[19]

温度/°C	方程	R ²
16	$L=-1.1\times 10^{-6} T^3+5.1\times 10^{-4} T^2-0.010 T+2.836$	0.997
19	$L=-3.0\times 10^{-6} T^3+9.6\times 10^{-4} T^2-6.7\times 10^{-4} T+2.313$	0.998
22	$L=-5.0\times 10^{-6} T^3+9.6\times 10^{-4} T^2+0.062 T+2.319$	0.996
25	$L=-1.9\times 10^{-5} T^3+0.003 T^2+0.046 T+2.048$	0.998
28	$L=-4.0\times 10^{-5} T^3+0.005 T^2+0.059 T+1.961$	0.995
31	$L=-5.3\times 10^{-5} T^3+0.005 T^2+0.091 T+2.014$	0.996
34	$L=-7.4\times 10^{-5} T^3+0.006 T^2+0.120 T+2.093$	0.998

注:L, 幼虫体长(mm); T, 孵化后时间(h)

附表14 九个恒温下亮绿蝇幼虫体长随孵化后时变化的方程^[20]

温度/°C	方程	R ²
15.0	$L=3\times 10^{-9}T^4-3\times 10^{-6}T^3+0.0007T^2-0.003T+2.400$	0.993
17.5	$L=3\times 10^{-8}T^4-2\times 10^{-5}T^3+0.003T^2-0.069T+3.052$	0.992
20.0	$L=7\times 10^{-8}T^4-3\times 10^{-5}T^3+0.004T^2-0.042T+2.405$	0.982
22.5	$L=2\times 10^{-7}T^4-6\times 10^{-5}T^3+0.006T^2-0.029T+2.089$	0.980
25.0	$L=5\times 10^{-7}T^4-0.0001T^3+0.011T^2-0.107T+2.499$	0.978
27.5	$L=8\times 10^{-7}T^4-0.0002T^3+0.015T^2-0.207T+3.135$	0.978
30.0	$L=1\times 10^{-6}T^4-0.0002T^3+0.016T^2-0.204T+3.314$	0.972
32.5	$L=1\times 10^{-6}T^4-0.0002T^3+0.014T^2-0.026T+2.005$	0.983
35.0	$L=3\times 10^{-7}T^4-2\times 10^{-5}T^3-0.005T^2+0.529T-0.976$	0.980

注:L, 幼虫体长(mm);T, 孵化后时间(h)

附表15 四个恒温下乌足锡蝇幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[21]

温度/°C	方程	R ²
20	$L=1.282+0.692T+0.036T^2-0.002T^3$	0.994
24	$L=1.176+0.824T+0.489T^2-0.054T^3$	0.977
28	$L=2.671-0.194T+0.673T^2-0.066T^3$	0.997
32	$L=3.120-2.374T+1.730T^2-0.183T^3$	0.992

注:L, 幼虫体长(mm);T, 孵化后时间(d)

附表16 七个恒温下家蝇幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[22]

温度/°C	方程	R ²
16	$L=-0.02T^3+0.31T^2-0.24T+2.18$	0.993
19	$L=-0.06T^3+0.72T^2-0.85T+2.26$	0.996
22	$L=-0.12T^3+1.12T^2-0.57T+2.23$	0.997
25	$L=-0.38T^3+2.34T^2-0.62T+2.16$	0.997
28	$L=-0.76T^3+3.87T^2-1.46T+2.40$	0.997
31	$L=-1.26T^3+5.10T^2-0.88T+2.46$	0.997
34	$L=-2.17T^3+7.41T^2-1.36T+2.56$	0.998

注:L, 幼虫体长(mm);T, 孵化后时间(d)

附表17 巨尾阿丽蝇幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[23]

温度/°C	方程	R ²
16	$L=-0.08T^3+0.97T^2-0.52T+2.43$	0.99
19	$L=-0.16T^3+1.49T^2-0.28T+2.47$	0.99
22	$L=-0.32T^3+2.49T^2-0.90T+2.40$	0.99
25	$L=-0.48T^3+3.14T^2-0.63T+2.46$	0.99
28	$L=-1.13T^3+5.87T^2-1.95T+2.39$	0.99

注:L, 幼虫体长(mm);T, 孵化后时间(d)

附表18 棕尾别麻蝇幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[24]

温度/°C	方程	R ²
16	$L=-1.3\times 10^{-6}T^3+3.2\times 10^{-4}T^2+0.049T+2.239$	0.986
19	$L=-4.1\times 10^{-6}T^3+8.7\times 10^{-4}T^2+0.050T+2.426$	0.997
22	$L=-7.7\times 10^{-6}T^3+9.9\times 10^{-4}T^2+0.117T+1.888$	0.981
25	$L=-1.6\times 10^{-5}T^3+0.001T^2+0.157T+2.189$	0.991
28	$L=-3.0\times 10^{-5}T^3+0.002T^2+0.197T+2.247$	0.987
31	$L=-3.8\times 10^{-5}T^3+0.002T^2+0.223T+2.278$	0.991
34	$L=-4.7\times 10^{-5}T^3+0.002T^2+0.249T+2.286$	0.996

注:L, 幼虫体长(mm);T, 孵化后时间(h)

附表19 大隐翅甲幼虫体长随孵化后时间变化的方程^[28]

温度/°C	方程	R ²
17.5	$L=0.0008 T^3-0.078 T^2+2.149 T+4.773$	0.985
20.0	$L=0.002 T^3-0.136 T^2+2.908 T+4.176$	0.989
22.5	$L=0.003 T^3-0.187 T^2+3.400 T+3.796$	0.992
25.0	$L=0.005 T^3-0.267 T^2+4.204 T+3.449$	0.992
27.5	$L=0.007 T^3-0.354 T^2+4.958 T+2.294$	0.991
30.0	$L=0.0004 T^3-0.241 T^2+4.429 T+3.453$	0.989
32.5	$L=0.006 T^3-0.342 T^2+4.864 T+3.032$	0.990

注:L,幼虫体长(mm);T,孵化后时间(d)

附表20 大头金蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[19] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
卵	207.2±7.2	10.91±0.34	0.99
一龄	272.0±33.9	13.35±0.79	0.98
二龄	332.8±37.3	12.68±0.83	0.97
三龄	1 077.6±56.2	11.57±0.45	0.99
蛹	2 007.2±81.4	10.31±0.43	0.99
总历期	3 418.7±137.0	11.41±0.32	0.99

附表24 棕尾别麻蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[24] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
一龄	286.8±15.5	11.29±0.50	0.99
二龄	269.3±23.3	11.71±0.67	0.98
三龄	1 155.4±40.2	9.31±0.41	0.99
离食期	391.0±44.8	11.68±1.03	0.95
蛹	3 616.9±240.4	11.25±0.58	0.99
总历期	5 809.7±291.4	10.87±0.49	0.99

附表21 亮绿蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[20] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
卵	234.7±4.1	9.43±0.19	0.996
一龄	337.4±22.8	9.52±0.74	0.953
二龄	280.1±11.6	10.10±0.42	0.986
三龄	535.5±25.1	10.83±0.41	0.988
离食	993.0±90.9	9.10±0.94	0.939
蛹期	2 859.3±111.9	9.30±0.42	0.986
总历期	5 367.2±98.3	9.30±0.19	0.996

附表25 野亚麻蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[25] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
一龄	238.20±15.45	10.39±0.62	0.97
二龄	202.81±12.33	11.50±0.48	0.98
三龄	1 449.31±57.89	6.47±0.59	0.94
蛹期	3 859.29±143.28	10.07±0.33	0.98
总历期	5 675.32±179.88	9.60±0.33	0.99

附表22 家蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[22] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
卵	253.3±11.6	11.33±0.41	0.99
一龄	321.3±33.4	12.03±0.88	0.97
二龄	390.7±31.0	11.60±0.71	0.98
三龄	879.3±96.4	12.32±0.88	0.97
蛹	1 813.8±150.8	12.80±0.59	0.99
总历期	3 658.9±301.3	12.42±0.64	0.98

附表26 大隐翅甲各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[28] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
卵	788.4±57.4	10.93±0.82	0.97
一龄	635.0±87.5	12.31±1.32	0.93
二龄	954.5±73.4	8.17±1.06	0.92
三龄	3 192.6±136.1	6.44±0.67	0.94
预蛹	2 261.5±325.5	11.83±1.39	0.91
蛹	4 130.8±272.0	9.09±0.88	0.94
总历期	11 809.5±566.8	9.60±0.58	0.98

附表23 巨尾阿丽蝇各发育阶段及总发育过程的

发育阶段	发育起点温度和积温常数 ^[23] ($\bar{x}\pm s$)		
	积温常数/(°C·h)	发育起点温度/°C	R ²
卵期	383.9±13.3	6.50±0.47	0.98
一龄	446.6±9.8	5.78±0.32	0.99
二龄	455.8±19.6	7.69±0.53	0.98
三龄	2 421.4±16.6	1.77±0.12	0.99
蛹期	3 549.3±65.7	6.58±0.23	0.99
总历期	7 985.9±104.5	4.33±0.21	0.99