

黑翅痼蝗血细胞形态学的研究*

任彩红** 李小玉 吴 哲 张小民***

(山西大学生命科学学院 太原 030006)

摘 要 【目的】蝗虫血细胞的研究以及不同血细胞类型间的演化关系,是蝗虫细胞免疫学的依据,也是防蝗治蝗的重要依据。【方法】本研究通过 Wright-Giemsa 对黑翅痼蝗 *Bryodema nigroptera* Zheng 血细胞进行了混合染色,并使用光学显微镜进行了观察。【结果】发现黑翅痼蝗血细胞包括原血胞、浆血胞、粒血胞、类绛色血细胞、囊血胞、脂血胞、蠕形细胞和巨核血细胞 8 种类型。【结论】在成虫体内,原血胞占细胞总数的 1%,浆血胞占 32.2%,粒血胞占 57.3%,类绛色血细胞占 1%,囊血胞占 6%,脂血胞占 1%,蠕形细胞占 1%,巨核细胞占细胞总数的 0.5%,粒血胞数量最多,巨核细胞最少。

关键词 黑翅痼蝗,血细胞,形态学

Morphology of the hemocytes of *Bryodema nigroptera* Zheng

REN Cai-Hong** LI Xiao-Yu WU Zhe ZHANG Xiao-Min***

(School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract [Objectives] To describe the characteristics and morphology of the hemocytes of *Bryodema nigroptera* Zheng and describe the evolutionary relationships between the different types of hemocytes in order to further understanding of the cellular immunology of locusts and provide a basis for locust prevention and control. [Methods] Hemocytes of *B. nigroptera* were stained with Wright-Giemsa and observed under an optical microscope. [Results] *B. nigroptera* has 8 types of hemocytes; prohaemocytes, plasmatocytes, granulocytes, oenocytoids, cystocytes, adipohemocytes, vermiform cells and megakaryocytes. [Conclusion] In adults, prohaemocytes accounted for 1%, plasmatocytes for 32.2%, granulocytes for 57.3%, oenocytoids for 1%, Cystocytes for 6%, adipohemocytes for 1%, vermiform cells for 1% and megakaryocytes for 0.5% of all hemocytes. Granulocytes were the most abundant followed by plasmatocytes, and megakaryocytes were the least abundant.

Key words *Bryodema nigroptera*, hemocytes, morphology

早在 1845 年,Newport 就对无脊椎动物的血细胞和脊椎动物、人的血细胞形态做了比较。Barratt 和 Arnold (1910) 对鞘翅目昆虫 *Dytiscus marginalis* 和 *Hydrophilus piceus* 的血细胞形态进行了研究。Mathur 和 Soni (1937) 对直翅目沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 的血细胞做了描述。Tauber 和 Griffiths (1943) 对蜚蠊目 *Blattaorientalis* 的血细胞形态做了研究并

描述了多核血细胞现象。Yeager (1945) 观察了亚热带夜蛾 *Prodenia eridania* 的血细胞并将其分为 10 类 32 型。Bessis (1950) 运用电子显微镜研究了血细胞的形态。Arnold (1952) 对鳞翅目昆虫 Mediterranean flour moth 的血细胞进行了描述,指出 4 种血细胞类型,原血细胞、浆血细胞、珠血细胞和囊血细胞。Pauly (1955) 研究了笨蝗组织学。Gregoire (1959)

* 资助项目:国家自然科学基金项目(30770239);山西省自然科学基金项目(2009011048)

**E-mail: rencaihong8822@126.com

***通讯作者, E-mail: zhangxm@sxu.edu.cn

收稿日期:2013-10-16,接受日期:2013-12-05

运用电子显微镜观察了昆虫血淋巴。Jones (1962) 总结前人的经验将昆虫血细胞分为 9 种类型以及 2 种罕见类型。刘崇乐和傅贻玲 (1964) 研究了粘虫 *Pseudaletia separata* 的血细胞形态并进行了分类。Harpaz 等 (1969) 运用电子显微镜观察了棉贪夜蛾 *Spodoptera littoralis* 的血细胞。Price 和 Ratcliffe (1974) 对 15 个目 28 个种的昆虫血液进行了相差显微镜的观察, 并对 Jones 的分类做了修改, 将昆虫血细胞种类归纳为 6 种基本类型, 而 Price 认为 Jones 叙述的其他几种类型则是血细胞的中间类型。Jones (1977) 按照 1962 年的分类方法以及前人的研究, 在光学显微镜和电子显微镜的基础上做了更详细的描述, 将血细胞分为 7 种常见类型(1)原血细胞(Prohemocytes), (2)浆血细胞(Plasmatocytes), (3)粒血细胞(Granular hemocytes), (4)囊血细胞(Cystocytes), (5)珠血细胞(Spherule cells), (6)拟绛色细胞(Oenocytoids), (7)脂血细胞(Adipohemocytes), 以及 3 种罕见类型:足形细胞(Podocytes)、蠕形细胞(Vermiform cells)和颗粒吞噬细胞(Granulocytophagus), 自此对血细胞的分类有了一个较为统一的标准。Brehelin 等 (1978) 对 9 个目的昆虫做了透射电子显微镜的观察, 并观察到 5 种主要的血细胞类型和 3 种不常见的血细胞类型。Laekie 等 (1985) 对直翅目 Orthoptera 沙漠蝗和网翅目 Dictyoptera 美洲蜚蠊的血细胞进行了研究。Azambuja 等 (1991) 对半翅目的 6 种昆虫血细胞形态做了描述并进行了比较。Luckhart 等 (1992) 从功能和形态两个方面对双翅目昆虫 *Simulium vittatum* 的血细胞做了分类。Butt 和 Shields (1995) 研究了舞毒蛾 *Lymantria dispar* 血细胞的结构和行为。文夏玲等 (1998) 对澳洲大蠊 *Australian cockroach* 的血细胞进行了初步观察并发现 6 种血细胞类型。莫非等 (2001) 观察了致倦库蚊 *Culex quinquefasciatus* 幼虫的血淋巴, 并观察到 5 种血细胞类型。Chang 等 (2002) 对直翅目长翅黑背蝗造血器官进行了研究。Brayner 等 (2005)

对双翅目致倦库蚊 *Culex quinquefasciatus* 的血细胞形态进行了描述。王世贵等 (2007) 等描述红褐斑腿蝗 *Catantops pinguis* 的血细胞形态, 记录了 5 种血细胞。贾雷坡等 (2010) 对东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 血细胞进行了形态学观察。Ademolu 等 (2010) 研究了胚后发育期臭腹腺蝗 (Orthoptera: Pyrgomorphidae) 血细胞种类, 包括原血胞、粒血胞、浆血胞、类绛色血细胞、珠血胞和脂血胞。王强等 (2011) 对中华稻蝗 *Oxya chinensis* 血细胞的两种染色方法进行了比较。Mohammed (2012) 对昆虫血细胞做了概括总结, 认为昆虫一般包含 3 种基本血细胞: 原血胞、浆血胞和粒血胞, 此外还有珠血胞或囊血胞、类绛色细胞和脂血胞 3 种类型。浆血胞和粒血胞被称为免疫细胞。

本实验对黑翅痲蝗 *Bryodema nigroptera* Zheng 进行了 Wright-Giemsa (W-G) 混合染色和光学显微镜的观察。黑翅痲蝗血细胞的形态学研究目前尚未见文献报道, 本文不仅为昆虫血细胞的形态分类提供依据, 同时也为蝗虫的细胞免疫和防蝗治蝗提供了依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黑翅痲蝗雌雄成虫于 2011 年 8 月 12 日采自银川贺兰山, 北纬: $37^{\circ}29' \sim 38^{\circ}53'$, 东经: $105^{\circ}49' \sim 106^{\circ}53'$ 。

1.2 方法

取黑翅痲蝗雌雄成虫各 20 只, 用清水将后足基部洗净, 再用 75% 的乙醇消毒, 然后在黑翅痲蝗的后足基部取血一滴, 将血滴在载玻片上, 涂片。待血膜干燥后, 经 Wright-Giemsa (W-G) 染液染色, 中性树胶封片。Olympus BX-51 光学显微镜下观察并拍照。

2 结果与分析

通过光学显微镜观察, 黑翅痲蝗雌雄成虫的

血细胞在种类、形态和大小上没有太大差异,均包括原血胞(Prohaemocytes)、浆血胞(Plasmatocytes)、粒血胞(Granulocytes)、类绦色细胞(Oenocytoids)、囊血胞(Cystocytes)、脂血胞(Adipohemocytes)、蠕形细胞(Vermiform cells)和巨核细胞(Megakaryocytes),共8种细胞类型。

2.1 原血胞(Prohaemocytes, PR)

原血胞也称原始血细胞,紫红色或红色,多数均质细致,为圆形或卵圆形,直径约为10~12 μm ,单核,较大,几乎看不到细胞质,细胞表面较光滑,轮廓清晰。数量较少,约占血细胞总数的1%(图1:A)。

2.2 浆血胞(Plasmatocytes, PL)

浆血胞也称原生质细胞,细胞形态多种多样,有球形、椭圆形、梭形、星型和不规则形等,平均大小约为13 μm ×32 μm 。细胞核被染成深红色或深蓝色,单核,核直径约为8~18 μm 。细胞质均一,为红色(嗜酸性)、蓝色(嗜碱性)或透明色(中性),还有少许绿色,无颗粒内含物。有的细胞表面有丝状或者钝的伪足。浆血胞数量较多,约占细胞总数的32.2%。(图1:B,C)

2.3 粒血胞(Granulocytes, GR)

粒血胞形态多种多样,有球形、卵形、纺锤形和不规则形等,细胞平均大小约为15 μm ×32 μm 。细胞核为单核,位于细胞中央,有红、蓝两色,直径约为8~22 μm 。该类细胞的细胞质被染成红紫色、蓝紫色或透明色。细胞质中含有颗粒绝大多数为红色(嗜酸性颗粒),也有较少的蓝色(嗜碱性颗粒),多数颗粒直径约 $\leq 1 \mu\text{m}$,个别较大的颗粒能达到3 μm 。颗粒在细胞质中的分布有的较为密集,可布满整个细胞并覆盖了细胞核,有的颗粒分布较为稀少,零星排列于胞质中。细胞表面常常伸出丝状或钝的伪足。粒血胞数量最多,占细胞总数的57.3%(图1:D)。

2.4 类绦色血细胞(Oenocytoids, OE)

类绦血胞是血液中的大型血细胞,大多为圆形、卵圆形或三角形。大小约为22 μm ×25 μm ~35

μm ×46 μm 。经W-G染色,细胞核被染成红、蓝两种颜色,圆形或椭圆形,偏离细胞中央,核直径约为10~18 μm 。细胞质中有的有稀少的颗粒物。核质比很大,数量较少,占血细胞总数的1%。细胞表面没有伪足(图1:E)。

2.5 囊血胞(Cystocytes, CY)

在光学显微镜下还观察到许多崩解的细胞,有圆形、椭圆形或不规则形,大小约为20 μm ×25 μm ~30 μm ×45 μm 。细胞核轮廓鲜明,直径约15~25 μm ,多被染成粉色,细胞核外围有一圈类似双层膜的透明环带,环带外还有厚层粉色环带。有的细胞中只能看到胞质轮廓,有的细胞质散尽,只能看到胞质中的颗粒物,颗粒物大多分散,排列无序,稀疏不等。黑翅痲蝗中囊血胞约占细胞总数的6%(图1:F)。

2.6 脂血胞(Adipohemocytes, AD)

在光学显微镜下观察到的脂血胞常为圆形、椭圆形和梭形,平均大小约为13 μm ×30 μm 。细胞核为单核,圆形,被染成紫红色或蓝色,直径约8~15 μm 。细胞质中有许多轮廓清晰、大小不等、多少不一、无色透明的液泡,有些细胞质中还有类似于粒血胞中的颗粒。一些种类的脂血胞表面可以看到细长的伪足。脂血胞含量较少,所占比例不到1%(图1:G)。

2.7 蠕形细胞(Vermiform cells, VE)

蠕形细胞是一类细长型细胞,平均大小约为7 μm ×80 μm ,最长的可达150 μm ,形似蠕虫。细胞核扁长,染色较深,长径平均为6~20 μm 。细胞质成线形,较均质,暗红色居多,且在有些胞质边缘可观察到少许颗粒物。蠕形细胞是一类特殊的细胞,形态细长,很容易识别,所占比例约1%(图1:H)。

2.8 巨核血细胞(Megakaryocytes, ME)

在黑翅痲蝗血涂片中还发现了一类巨型血细胞,圆形,直径约 $\geq 30 \mu\text{m}$,有的能达到55 μm 。该细胞几乎看不到细胞质,有的细胞表面有少许丝状的膜。细胞核几乎占据了整个细胞,核一般

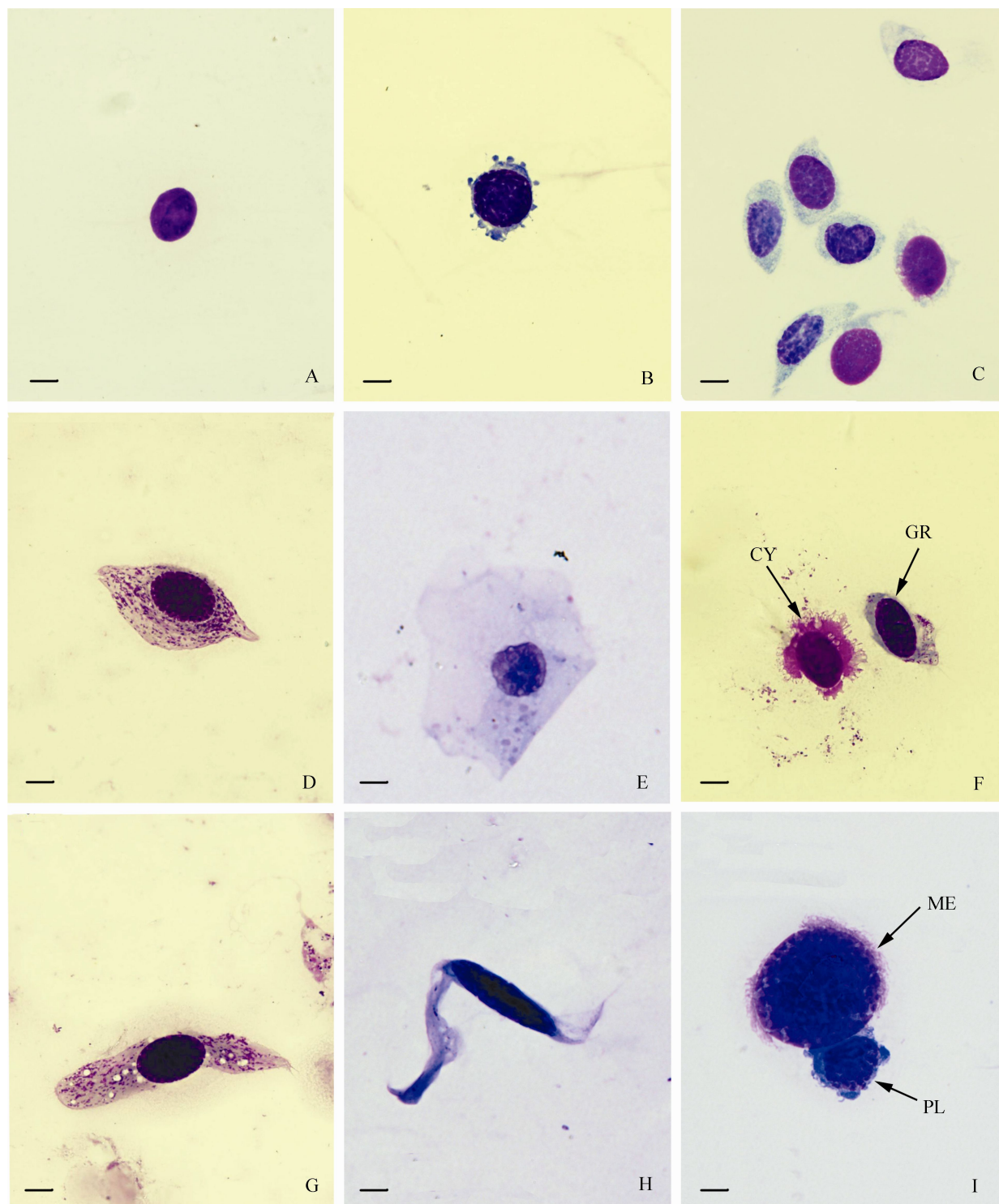


图 1 黑翅痼蝗血细胞光学显微镜图像

Fig. 1 The optical microscope's image of the hemocyte of *Bryodemella nigroptera* Zheng

A. 原血胞 Prohemocytes, PR×1 000; B. 幼浆血胞 Proplasmotocytes, PPL×1 000; C. 浆血胞 Plasmotocytes, PL×1 000; D. 粒血胞 Granulocyte, GR×1 000; E. 类绛血胞 Oenocytoids, OE×1 000; F. 囊血胞 Cystocytes, CY×1 000; 粒血胞 Granulocyte, GR×1 000; G. 脂血胞 Adipohemocytes, AD×1 000; H. 蠕形细胞 Vermiform cells, VE×1 000; I. 巨核细胞 Megakaryocytes, ME×1 000. 标尺 Scale bar=10 μm.

被染成紫红色或深蓝色,细胞核着色不均匀,较为粗糙。此类血细胞的形态类似于原血胞。巨核血胞所占比例约 0.5% (图 1:I)。

3 讨论

3.1 染色方法

前人研究昆虫血胞使用过多种染色方法,有 Giemsa、Wright's、中性红、曙红 (Eosin)、苏木精 (Hematoxylin)、甲苯胺蓝、Alcian blue 等,但 Jones (1977) 在前人研究的基础上是通过 Giemsa 和 Wright's 染色来确定昆虫血胞形态的,并为后人所接受。染色的方法对昆虫血胞类型的确定是非常重要的。最近,Şapcalıu 等 (2009) 运用 3 种方法对蜜蜂血胞的形态进行了研究,认为 Giemsa 染色效果最佳,并将血胞分为 7 种类型。贾雷坡等 (2010) 运用 Wright's 染色研究了东亚飞蝗血胞的形态,将血胞分为 4 种类型。王强等 (2011) 运用 Giemsa、Wright's 和 Wright-Giemsa 3 种方法对中华稻蝗的血胞进行了比较学研究,认为 Wright-Giemsa 染色最佳。故本研究使用了 Giemsa-Wright 混合染色方法对黑翅痼蝗血胞进行了分类研究,无论是细胞核和细胞质,还是细胞质中的颗粒成分,着色效果均较为清晰和理想,通过该方法将黑翅痼蝗血胞分为 8 种类型,并能明确地区分出囊血胞、脂血胞和蠕形细胞 (图 1:F~H) 等争议较大的细胞,该染色方法可能是目前昆虫血胞染色的一种较好方法。

3.2 黑翅痼蝗血胞形态

本研究观察到黑翅痼蝗 8 种类型的血胞,原血胞、浆血胞和粒血胞这 3 种细胞几乎在所有研究过的蝗虫中都能观察到,如笨蝗、沙漠蝗、血黑蝗、长翅黑背蝗、红褐斑腿蝗、臭腹腺蝗、东亚飞蝗等。这 3 种基本血胞形态特征没有争议。

在黑翅痼蝗血涂片中发现了核质比很大的类绛色血胞, Jones (1977) 认为拟绛色血胞可以很大,有独特的形态,如三角形、弯刀形

或曲颈葫芦形等,缺乏伪足。许再福 (2009) 认为类绛血胞是昆虫血液内最大型的血胞,且核质比大。本研究在黑翅痼蝗的血涂片中发现了一类大型血胞,大多为圆形、卵圆形或三角形,细胞质中有稀少的颗粒物,核质比很大,数量较少,故该类细胞在特征上应该定为类绛色血胞 (图 1:E)。

在光学显微镜下还看到一类轮廓分明,有粉色厚带,并极易破裂的囊血胞 (图 1:F), Jones (1977) 认为血淋巴涂在玻片上即使迅速固定,囊血胞也会很快地崩解,在姬氏和瑞氏染料的涂片上可看到轮廓分明的核,但无细胞质,染色质细颗粒愈合成厚带或棒状。傅贻玲 (1982a, 1982b) 认为类绛血胞可以转化为囊血胞,易爆破。王世贵等 (2007) 认为囊血胞细胞质内具有大小不一的带有折光性的颗粒或块状物,细胞边缘比较光滑。因此在黑翅痼蝗血胞中也发现了这类极易爆破的细胞,类似于类绛色血胞,该类细胞核外围有透明环带及厚层粉色环带,呈车轮状,还能看到细胞质中分散的颗粒物,故称这类细胞为囊血胞。

在黑翅痼蝗血涂片中发现了胞质中有透明液泡的脂血胞 (图 1:G), Jones (1977) 记录了一类脂血胞,内含典型的、透明的囊泡,常常含有各种不同大小的非脂颗粒内含物,可以遮掩位于中心的小形核,未成熟期细胞只有少量液泡。在黑翅痼蝗血胞中也观察到这类细胞,其细胞质中含有轮廓清晰、大小不一、数目不等的液泡结构,该类细胞占血胞总数的 1%,由于细胞质中有较多无色透明的液泡,故极易与粒血胞和浆血胞区分开,在形态学上这类细胞是典型的脂血胞。

本研究还发现一种细胞形态呈线形、细胞核较长的蠕形细胞 (图 1:H), 据 Yeager (1945) 记载,在夜蛾幼虫中观察到呈线性的蠕形细胞,细胞核较长,差别显著,难以归入浆血胞。Jones (1977) 也描述到,相差显微镜下观察到的蠕形细胞细胞质呈暗灰色,在致密的核周围含有少许颗粒。Ribeiro 和 Brehélin (2006) 在

鳞翅目中也观察到了该种细胞,其形态与本实验观察到的完全相同,之前这些细胞在粘虫中也观察到,细胞内充满了小的颗粒属于另一细胞类型,而不同于粒细胞和浆血胞。黑翅痼蝗血涂片中这类形似蠕虫的细胞,也是黑翅痼蝗血细胞中最细、最长的细胞,通常长是宽的 10 倍。细胞核呈线形,细长,细胞质均一,或有较少的颗粒,其长度是宽的 3 倍,是其形态区分的主要特征之一。

黑翅痼蝗血细胞中最少的是巨核细胞,贾雷坡(2011)在斑翅蝗科的多个种群中观察到了该类细胞,呈圆形或椭圆形,细胞中几乎看不到细胞质,此类血细胞的形态类似于原血胞。以前并没有其他学者对此类细胞进行过描述。该细胞为体形硕大的细胞,其直径 $\geq 30\text{ }\mu\text{m}$,细胞核较为粗糙,占据了整个细胞,故几乎观察不到细胞质,将该细胞归类为巨核细胞(图 1:I)。

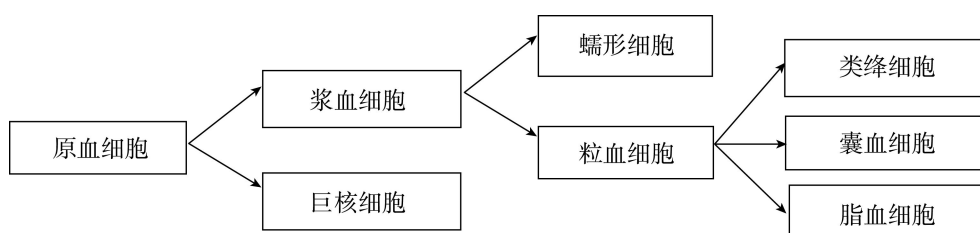
3.3 黑翅痼蝗血细胞之间的演化关系

黑翅痼蝗的血细胞共包括 8 种类型,由于在不同的发育阶段细胞间有分化、转化、衰老、死亡等变化,有一些类型也可能是发育过程的中间状态。Gupta 和 Sutherland(1966)对蜚蠊、蜡螟和黄粉甲的血细胞进行了研究,认为浆血胞是昆虫血细胞的基本形态,是由原血胞分化而来,并认为粒细胞由浆血胞演变而来,类绛血胞由浆血胞演变来,珠血胞由浆血胞和粒细胞变来,囊血胞由浆血胞和粒细胞分裂而来,脂血胞则是由粒细胞转化来的,足血胞及蠕形血胞由浆血胞变来。傅贻玲(1982a)认为囊血胞是由类绛色血细胞转化而来,脂血胞由粒细胞转化而来,蠕形细胞是由梭形浆血胞转化

而来。

通过对黑翅痼蝗血细胞的形态观察,原血胞细胞表面光滑,染色质均匀细腻,几乎看不到细胞质,可能是血液中最原始的血细胞,占血细胞总数的 1%(图 1:A)。随着原血胞的发育和分化,一部分细胞表面逐渐扩张,细胞质形成一圈钝的嗜碱性伪足,分裂、分化为幼浆血胞(图 1:B),细胞质继续伸展变成轮廓清晰的浆血胞(图 1:C),占血细胞总数的 32.2%;另一部分原血胞发育形成细胞核相当于原先 4 倍的巨核细胞,几乎占满整个细胞,看不到细胞质,占细胞总数的 0.5%(图 1:I)。随着浆血胞的发育和分化细胞质中逐渐出现大小不一、数量不等、颜色多样的嗜酸性或嗜碱性颗粒,成为粒细胞,占细胞总数的 57.3%(图 1:D);而另一部分梭形浆血胞则发育和演变,细胞核扁化,形成长宽比很大且形似蠕虫的蠕形细胞,占细胞总数的 1%(图 1:H)。粒细胞在分化和演变过程中,形态功能逐渐变化,可以继续转化为三类细胞:一部分粒细胞细胞质逐渐伸展扩大,形成核质比很大的类绛色血细胞,占细胞总数的 1%(图 1:E);另一部分颗粒分散甚至外溢,形成核外围具有粉色厚带且呈车轮状的囊血胞,占细胞总数的 6%(图 1:F);还有一部分粒细胞中形成无色透明的液泡,成为脂血胞,占细胞总数的 1%(图 1:G)。故在黑翅痼蝗的血液中原血胞是干细胞,经过发育、分化和演变形成 8 种细胞类型:原血胞、浆血胞、粒细胞、类绛色血细胞、囊血胞、脂血胞、蠕形细胞和巨核血细胞。其中数量最多的是粒细胞,其次是浆细胞,最少的是巨核细胞。

黑翅痼蝗 8 种血细胞演化关系如下:



参考文献 (References)

- Arnold J, 1952. The haemocytes of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae). *Canad. J. Zool.*, 30(6): 352–364.
- Azambuja PD, Garcia ES, Ratcliffe NA, 1991. Aspects of classification of Hemiptera hemocytes from six triatomine species. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 86(1): 1–10.
- Ademolu KO, Idowu AB, Olatunde G, 2010. Hemocyte populations in *Zohocerus variegatus*(L.)(Orthoptera: Pyrgomorphidae)during post-embryonic development. *Acta Entomologica Sinica*, 53(4): 470–473.
- Barratt JOW, Arnold G, 1910. A study of the blood of certain Coleoptera: dytiscus marginalis and Hydrophilus piceus. *Quart. J. Micros. Sci.*, 2(221): 149–165.
- Bessis M, 1950. Studies in electron microscopy of blood cells. *Blood*, 5(12): 1083–1098.
- Brehelin M, Zachary D, Hoffmann JA, 1978. A comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders. *Cell and Tissue Research*, 195(1): 45–57.
- Butt TM, Shields KS, 1996. The structure and behaviour of gypsy moth (*Lymantria dispar*) hemocytes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 68(1): 1–14.
- Brayner FA, Araujo HRC, Cavalcanti MG, Alves LC, Peixoto CA, 2005. Ultrastructural characterization of the hemocytes of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Micron*, 36(4): 359–367.
- Chang BS, Yeo SM, Wago H, Kang SK, Han SS, 2002. Hematopoiesis in Hematopoietic Organ in *Euprepocnemis shirakii* (Orthoptera, Insecta). *Entomological Research*, 32(1): 49–56.
- Gregoire C, 1959. Recordings of clotted hemolymph of insects by electron microscopy. *Arch. Intern. Physiol. Biochim.*, 67(2): 329–332.
- Gupta AP, Sutherland DJ, 1966. In vitro transformations of the insect plasmatocyte in some insects. *J. Insect Physiol.*, 12(11): 1369–1375.
- Harpaz I, Kislev N, Zelcer A, 1969. Electron-microscopic studies on hemocytes of the *Egyptian cottonworm*, *Spodoptera littoralis* (Boisduval) Infected with a nuclear polyhedrosis virus, as compared to noninfected hemocytes. I. Noninfected hemocytes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 14(2): 245–257.
- Jones JC, 1962. Current concepts concerning insect hemocytes. *Amer. Zoologist*, 2(1): 209–246.
- Jones JC, 1977. The Circulatory System of Insects. Charles C & Thomas Publisher. 144–194.
- Laekie AM, Takle G, Tefley L, 1985. Haemocytic encapsulation in the locust *Schistocerca gregaria* (Orthoptera) and in the cockroach *Periplaneta americana* (Dictyoptera). *Cell and Tissue Research*, 240(2): 343–351.
- Luckhart S, Cupp MS, Cupp EW, 1992. Morphological and functional classification of the hemocytes of adult female *Simulium vittatum* (Diptera: Simuliidae). *J. Med. Entomol.*, 29(3): 457–466.
- Mathur CB, Soni BN, 1937. Studies on *Schistocerca gregaria* Forsk. IX. Some observations on the histology of the blood of the desert locust. *Ind. J. Agric. Res.*, 7: 317–325.
- Mohammed IS, Mohammed Saleh Al-Khalifa, 2012. Circulating Haemocytes in insects: phylogenic review of their types. *Pakistan J. Zool.*, 44(6): 1743–1750.
- Newport G, 1845. On the structure and development of the blood. First series. The development of the blood-corpuscles in insects and other Invertebrata, and its comparison with that of man and the Vertebrata. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 15: 281–284.
- Pauly LK, 1955. Serological relationships among orthopteroid insects as determined by their whole “blood”. *Journal of the New York Entomological Society*, 63: 83–93.
- Price CD, Ratcliffe NA, 1974. A reappraisal of insect haemocyte classification by the examination of blood from 15 different insect orders. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, 147(4): 537–549.
- Ribeiro C, Brehelin M, 2006. Review insect haemocytes: what type of cell is that? *Journal of Insect Physiology*, 52(5): 417–429.
- Şapcaliu A, Rădoi I, Pavel C, Tudor N, Căuia E, Siceanu A, Meiu F, 2009. Research regarding haemocyte profile from *Apis mellifera* carpatica bee haemolymph originated in the south of Romania. *Lucrari Stiintifice Medicina Veterinara*, 42(2): 393–397.
- Tauber OE, Griffiths JT, 1943. Multinucleate hemocytes in the roach, *Blatta orientalis*. *Trans. Am. Micros. Soc.*, 62: 91–93.
- Yeager JF, 1945. The blood picture of the southern armyworm(*Prodenia eridania*). *J. Agric. Res.*, 71: 1–40.
- 傅贻玲, 1982a. 昆虫的血细胞(一). 昆虫知识, 19(3): 45–47. [Fu YL, 1982a. Insect blood cells(一). *Insect Knowledge*, 19(3): 45–47.]
- 傅贻玲, 1982b. 昆虫的血细胞(二). 昆虫知识, 19(4): 37–41. [Fu YL, 1982b. Insect blood cells(二). *Insect Knowledge*, 19(4): 37–41.]
- 贾雷坡, 崔智芳, 王强, 吴昊, 张小民, 2010. 东亚飞蝗血细胞形态学研究. 应用昆虫学报, 48(4): 835–840. [Jia LP, Cui ZF,

- Wang Q, Wu H, Zhang XM, 2010. Morphological study on hemocytes of locusta migratoria manilensis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 835-840.]
- 贾雷坡, 2011. 斑翅蝗科蝗虫血细胞形态比较学研究. 硕士学位论文文. 太原: 山西大学. [Jia LP, 2011. Comparative study on the morphology of hemocytes of grasshoppers in oedipodidae. Master Degree Thesis. Taiyuan: Shanxi University.]
- 刘崇乐, 傅贻玲, 1964. 粘虫血细胞的类型辨识和病态变化. 昆虫学报, 13(4): 544-547. [Liu CL, Fu YL, 1964. Type identification and pathological changes of blood cells of armyworm. *Acta Entomologica Sinica*, 13(4): 544-547.]
- 文夏玲, 林慧贤, 潘小军, 1998. 澳洲大蠊血细胞形态的初步观察. 广州师范学院学报, 19(6): 95-97. [Wen XL, Lin HX, Pan XJ, 1988. Preliminary observation of *Periplaneta Australasiae* blood cell morphology. *Journal of Guangzhou Normal University*, 19(6): 95-97.]
- 莫非, 包怀恩, 罗福田, 2001. 致倦库蚊幼虫期血淋巴细胞的观察. 贵州医学院学报, 26(4): 283-286. [Mo F, Bao HE, Luo FT, 2001. Analysis of hemocytes in the larvae of culex pipien quinquefasciatus. *Journal of Guiyang Medical College*, 26(4): 283-286.]
- 王世贵, 周志军, 郑哲民, 2007. 红褐斑腿蝗血细胞的形态和分类. 昆虫知识, 44(2): 241-244. [Wang SG, Zhou ZJ, Zheng ZM, 2007. The morphology and classification of hemocytes in a locust catantops pinguis. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2): 241-244.]
- 王强, 崔智芳, 王云丽, 申旭燕, 张小民, 2011. 中华稻蝗血细胞染色方法的比较. 应用昆虫学报, 48(4): 841-844. [Wang Q, Cui ZF, Wang YL, Shen XY, Zhang XM, 2011. Comparison among three staining methods to hemocytes of *Oxya chinensis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 841-844.]
- 许再福, 2009. 普通昆虫学. 北京: 科学出版社. 110-113. [Xu ZF, 2009. General entomology. Beijing: Science Press. 110-113.]