

메뚜기 (*Euprepocnemis shirakii*) 성충의 혈구유형

장병수 · 한성식* · 여성문**

Hemocyte Types in Adult Grasshopper, *Euprepocnemis shirakii* Bolivar

Chang, Byung Soo, Sung Sik Han* and Sung Moon Yoe**

(Received March 12, 1993)

ABSTRACT

Six types of hemocytes were identified in adult grasshopper, *Euprepocnemis shirakii* Bolivar. The morphological and ultrastructural characteristics of these cells were characterized by phase contrast, scanning and transmission electron microscope.

The prohemocytes are small and spherical cells with large nucleus. The plasmatocytes are spindle shaped or polymorphic cells which show numerous cytoplasmic processes on the cell surface and they have lysosomes and vesicles that may be involved in phagocytic function. Especially, multivesicular bodies are observed in the polymorphic cells. The granulocytes I are spherical shaped cells. They are characterized by a number of electron dense granules measuring 0.2-0.3 μ m in average diameter and marginal band of microtubules which are always in close proximity to the cell membrane. The granulocytes II are oval or spindle-shaped cells. They contain large electron dense granules measuring 0.5-0.8 μ m in average diameter. Their cytoplasm is filled with numerous granules. The spherulocytes contain large amounts of spherules that most of their cytoplasm. Spherules filled with fine granules or flocculent materials. The oenocytoids are large spherical cells with few cytoplasmic organelles. Their cytoplasm contains peculiar aspect of mitochondria and numerous polyribosome.

Key words: Insect, Hemocyte, *Euprepocnemis shirakii*

동남보건전문대학 임상병리과, *고려대학교 자연자원대학 농생물학과

**단국대학교 자연과학대학 생물학과

Department of Clinical Pathology, Dongnam Health Junior College, Suwon 440-714, Korea

*Department of Agricultural Biology, Korea University, **Department of Biology, Dankook University

서 론

곤충의 혈림프에는 혈구가 존재하며, 이들 혈구의 종류는 종 또는 혈구의 분화 등으로 인해서 척추동물의 혈구와 같이 정확하게 구분하기가 어렵고(Götz and Boman, 1985), 일부 종류는 발생과정의 특정 시기 또는 생활사의 일정 기간에만 나타나는 것으로 보고된 바 있다(Jones, 1975; Dorn, 1978). 지금까지 보고된 혈구의 종류는 Jones(1962)의 혈구 분류 개념을 기초로 하여 세포의 형태와 내부구조 및 함유물 등의 특징(François, 1974; Ratcliffe and Price, 1974; Ravindranath, 1977; Chiang *et al.*, 1988)과 조직화학적 특성(Ashurst, 1982; Chain and Anderson, 1982)에 따라 원시혈구(prohemocyte), 무정형혈구(plasmatocyte), 과립혈구(granulocyte), 소구혈구(spherulocyte), 응고혈구(coagulocyte), 낭상혈구(cystocyte), 지방혈구(adipohemocyte), 편도혈구(oenocytoid), podocyte 및 vermiform cell 등으로 분류되어 왔다. 그러나 이들의 기원이나 상관관계 등의 기본적인 문제에 대해서 아직까지 정확한 연구가 이루어지지 못한 실정이며, 학자들의 관점에 따라 동일 종류의 혈구들에 각각 다른 명칭을 부여하는 등 많은 논쟁을 일으켜 왔다(Devauchelle, 1971; Arnold, 1982).

본 연구는 등검은메뚜기의 조혈기관에서 생성되는 혈구들의 분화경로를 규명하기 위한 연구의 일환으로 혈림프를 순환하는 혈구의 형태 및 미세구조를 우선 관찰하여 그 유형을 구분하고자 한다.

재료 및 방법

야외에서 채집한 등검은메뚜기(*Euprepocnemis shirakii*)를 실험실(25±2°C)에서 사육하여 마지막 탈피가 끝난 성충을 실험재료로 사용하였다.

1. 광학현미경적 방법

메뚜기 앞다리의 기부를 절단하여 채취한 혈림프를 곤충 생리 식염수(0.45M sodium chloride, 0.1M glucose, 30mM sodium citrate, 26mM citric acid, 10mM EDTA)가 놓여 있는 slide glass에 도말한 후 위상차현미경으로 관찰하였다.

2. 투과전자현미경적 방법

혈림프를 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)가 들어있는 Eppendorf tube에서 2000r.p.m.으로 10분간 원심분리시켜 혈구만을 모은 다음 전고정하였고, 이어서 1% OsO₄ 용액으로 후고정하였다. 고정된 혈구덩어리는 통상방법에 따라 탈수과정을 거쳐 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 후 초박절편기로 초박절편을 제작하여 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색한 다음 JEOL 100 CX-II형 투과전자현미경으로 100kV에서 관찰하였다.

3. 주사전자현미경적 방법

같은 재료를 상기의 방법으로 고정 탈수한 다음, isoamyl acetate로 치환하여 critical point dryer에서 건조시켰다. 건조된 혈구덩어리는 JFC-1100 ion coater를 사용하여 20nm 두께로 도금한 후, JSM-840 A형 주사전자현미경으로 20kV에서 관찰하였다.

결 과

등검은메뚜기에서 혈구는 형태 및 함유물의 특징에 따라 원시혈구(prohemocyte), 무정형혈구(plasmatocyte), I형 과립혈구(granulocyte I), II형 과립혈구(granulocyte II), 소구혈구(spherulocyte), 편도혈구(oenocytoid) 등으로 구분되었다. 혈구 유형의 구성비를 측정하기 위해서 hemocytometer를 사용해서 1mm³ 내에 존재하고 있는 각각의 혈구에 대한 분포와 전자현미경상에서 grid mesh 내에 존재하는 각각의 혈구 유형을 세어 그 평균 분포 비율을 구하였다(Table 1).

1. 원시혈구(Prohemocyte)

원시혈구는 대부분 구형이었고, 직경이 약 4-7µm로

Table 1. Mean percentage of each hemocyte type of *Euprepocnemis shirakii*.

PR	PL	GR I	GR II	SP	OE
15	26	25	23	3	8

PR: prohemocyte, PL: plasmatocyte, GR I: granulocyte I, GR II: granulocyte II, SP: spherulocyte, OE: oenocytoid

순환혈구 중 가장 작은 크기를 보여주었다(Fig. 1). 위상차현미경상에서 세포는 원형이었고, 주사전자현미경상에서 표면은 비교적 매끄러운 모양을 하고 있었다(Figs. 1, 2). 투과전자현미경상에서, 핵은 세포의 중앙에 위치하였고, 세포체적의 대부분을 차지하고 있었다. 세포질에는 유리 리보솜이 산재되어 관찰되었으며, 소수의 미토콘드리아와 조면소포체가 존재하였으나, 다른 세포소기관은 거의 발달되어 있지 않았다(Fig. 1).

2. 무정형혈구(Plasmotocyte)

무정형혈구는 방추형, 혹은 많은 세포질돌기들을 포함한 다형이었으며, 세포의 크기는 직경이 약 7-14 μ m로 다양하였다(Figs. 3, 4, 6).

전형적인 방추형 무정형혈구는 위상차현미경상에서도 뚜렷하게 관찰되었고, 주사전자현미경상에서 표면은 돌출된 부위가 적은 비교적 매끄러운 모양을 하고 있었다(Figs. 3, 4). 투과전자현미경상에서 핵은 세포의 장축을 따라 중앙부에 길게 위치하고 있었고, 세포막의 일부가 세포질돌기를 형성하고 있었다(Fig. 6). 세포질에는 다수의 식포(phagocytic vesicle)들이 산재되어 있었는데, 식포 내부에는 이미 소화된 잔유물로 채워져 있었으며, 주변에는 식포와 융합되지 않은 일차 리소조음과 골지체들이 발달되어 있었다(Fig. 5).

다형의 무정형혈구는 위상차현미경상에서 세포가 아메바 형태로 관찰되었고, 투과전자현미경상에서는 이들 혈구의 막 표면에 많은 세포질돌기들이 관찰되었으며, 이들 돌기의 길이는 세포의 직경과 동일한 경우도 확인되었다. 핵은 불규칙한 모양으로 세포의 중앙에 위치하고 있었으며, 세포질에는 다수의 식포들과 식포의 융합에 의해서 형성된 multivesicular body들이 존재하고 있었다(Fig. 6). 세포소기관은 방추형 무정형혈구에 비해 잘 발달되어 있었다. 즉, 세포질 전역에 걸쳐 유리 리보솜이 산재되어 있었으며, 조면소포체와 활면소포체 및 리소조음이 관찰되었고, 핵막과 인접한 부위에는 미세소관이 분포되어 있었다(Fig. 7).

3. I형 과립혈구(Granulocyte I)

I형 과립혈구는 직경이 약 10-12 μ m로 대부분 구형의 형태이나 일부 방추형의 형태도 관찰되었다. 주사전자현미경상에서 세포표면은 굴곡이 심하였다(Fig. 10). 세포 중앙에 존재하고 있는 핵은 엽상의 형태를 띠고 있

었다(Fig. 8).

I형 과립혈구의 가장 큰 특징으로, 이들 세포의 세포질에는 약 0.2-0.3 μ m 크기의 강한 전자밀도를 갖는 균질 과립들이 세포질 전역에 걸쳐 산재되어 있었다(Fig. 8). 또한, 길게 만곡되어 있는 조면소포체와 골지체 등이 잘 발달되어 있었으며, 골지체의 형성면에서부터 생성된 작은 골지낭들이 존재하고 있었다(Fig. 9). 세포의 원형질막 유연 부분에는 이 막과 평행하게 미세소관의 다발(marginal band of microtubules)이 존재하였다(Fig. 11). 이 미세소관 다발은 약 30-40개 정도의 미세소관으로 구성되어 있었고, 각 미세소관의 직경은 약 20 nm 정도로 관찰되었다(Fig. 12).

4. II형 과립혈구(Granulocyte II)

II형 과립혈구는 특징적으로 세포질내에 약 0.5-0.8 μ m 크기의 직경을 갖는 과립들을 함유하고 있었다.

II형 과립혈구는 주로 난형 또는 방추형으로 관찰되었다. 난형의 혈구는 직경이 약 11 μ m의 크기였고(Fig. 13), 방추형 혈구는 직경이 최장 25 μ m로 관찰되었으며(Fig. 15), 핵은 세포 중앙에 위치하고 있었다. 위상차현미경상에서 세포의 표면은 돌출 부위의 빛 반사에 의해서 밝은 부분과 어두운 부분으로 구별되어 관찰되었으며(Fig. 13), 주사전자현미경상에서 이들의 표면은 원형질막 밑에 존재하고 있는 과립들에 의해서 돌출되어 있었다(Fig. 14). 세포질에는 과립들이 세포질의 대부분을 차지하고 있었는데, 과립들의 모양은 대부분 구형으로 전자밀도가 강한 균질한 물질로 채워져 있었다. 또한, 세포소기관은 I형 과립혈구에 비해 발달되지 않았고, 밀집되어 있는 과립들 사이에 미토콘드리아가 산재되어 있었으며, 골지체와 식포 등도 존재하고 있는 것이 관찰되었다(Fig. 16).

5. 소구혈구(Spherulocyte)

소구혈구는 장축 직경이 약 15 μ m의 크기로 난형 또는 방추형이었으며, 핵은 분지되어 불규칙한 모양을 하고 있었고, 세포의 중앙에 위치하고 있었다(Fig. 17). 세포질은 대부분 소구(spherule)들로 채워져 있었으며, 다른 세포 소기관은 발달되어 있지 않았다. 소구는 직경이 1.2-1.5 μ m 크기로서, 소구내에는 전자밀도가 낮은 미세과립들로 채워져 있었다(Fig. 18). 또한, 원형질막과 경계하여 존재하고 있는 소구는 원형질 밖으로

Table 2. Fine structural characteristics of *Euprepocnemis shirakii* hemocytes

Hemocyte type	Cell shape	Cell size (μm) (in dia.)	Granule or spherule size (μm) (in dia.)	Other characteristics
PR	Spherical	4-7		Nucleus large in relation to cell size
PL	Spindle or polymorphic	7-14		Spreads out and forms cytoplasmic process
GR I	Spherical	10-12	0.2-0.3	Well-developed marginal bundles of microtubules
GR II	Oval or spindle	11-25	0.5-0.8	Cytoplasm packed with large granules
SP	Oval or spindle	10-20	1.2-1.5	Number of spherules filling the cytoplasm
OE	Spherical	25-30		Nucleus relatively small. Cytoplasm with dumb-bell, rod-like mitochondria

PR: prohemocyte, PL: plasmatocyte, GR I: granulocyte I, GR II: granulocyte II, SP: spherulocyte, OE: oenocytoid.

그 일부가 돌출되어 있었다(Fig. 17). 한편, 이들 혈구는 순환혈구 중 약 3% 이하로서 가장 낮은 비율을 차지하였다.

6. 편도혈구(Oenocytoid)

편도혈구는 구형이고 직경이 25-30 μm 로 순환혈구 중에서 가장 컸다. 핵은 분열되어 세포의 한쪽에 치우쳐 존재하였고, 일부 절단면에서는 두 개의 핵이 존재하고 있었다(Fig. 19). 세포 표면은 돌출 부위가 적었으며, 따라서 비교적 매끄러운 모양을 하고 있었다. 이 혈구의 특징으로서, 세포질 전체에 걸쳐 유리 리보솜과 다수의 미토콘드리아가 관찰되었는데, 미토콘드리아 내부의 cristae는 확장되어 있었고, 모양은 원반모양 혹은 길게 신장된 곤봉모양이었다(Fig. 20). 또한, 핵막 근처에는 활면소포체가 분포되어 있었고, 소수의 지방 소적과 소포 등도 관찰되었다(Fig. 21).

이상과 같은 결과를 종합하여 등점은메뚜기 혈구의 미세구조적 특징을 표 2에 나타내었다.

고 찰

곤충 혈구는 세포의 형태와 내부구조 및 함유물 등의 특징에 따라 다양한 종류의 혈구로 분류되어 왔다

(Jones, 1962; Gupta, 1979).

원시혈구는 순환혈구 중에서 크기가 가장 작은 혈구로서, 구형 또는 난형으로 매끄러운 세포 표면을 가지고 있다(Wago and Kitano, 1985). 또한, 핵이 세포질의 대부분을 차지하고 있고, 세포소기관은 잘 발달되어 있지 않은 것으로 보고되어 왔다(Chiang *et al.*, 1988). 본 연구에서 원시혈구는 Wago와 Kitano(1985), Chiang 등(1988)이 보고한 바와 같은 일반적인 특징을 가지고 있었다. 핵은 세포의 체적에 비해 상대적으로 높은 비율을 나타냈고, 세포질에는 유리 리보솜 이외에 다른 소기관이 거의 관찰되지 않기 때문에 이들 혈구는 다른 유형의 혈구와 쉽게 구별되었다.

무정형혈구는 방추형과 다형의 형태로 구분되는데, 다형형태(polymorphic)를 하고 있는 무정형혈구의 원형질막은 미세돌기(micropapillae), 위족(filopodia) 또는 불규칙한 세포질 돌기(irregular process)를 가지고 있다(Raina, 1976; Gupta, 1985). 본 실험에서 무정형혈구는 방추형과 세포의 표면에 많은 세포질돌기를 가지고 있는 다형의 형태를 하고 있었다. 다형의 무정형혈구는 방추형의 무정형혈구가 혈림프를 순환하는 과정에서 세포의 표면에 많은 세포질돌기를 형성한 것으로 생각되는데, Carter와 Green(1987)에 의하면 파리목의 *Tipula paludosa* 유충에서 방추형의 무정형혈구와 아메

바형 무정형혈구는 모양이 상호 변화된다고 언급한 바 있다.

무정형혈구의 미세구조적 특성으로 세포질에는 일반적으로 유리 리보솜과 미토콘드리아, 조면소포체 등의 세포소기관이 잘 발달되어 있다(Beeman et al., 1983; Han, 1989). Brehelin 등(1978)은 노랑초파리 등 9종류의 곤충에서 무정형혈구의 세포질에는 작은 리소조음들이 채워져 있고, 이들 주변에는 식포들이 다수 관찰된다고 보고한 바 있으며, Gupta(1985)는 세포의 특성으로 세포질에 조면소포체가 잘 발달되어 있고, 골지체와 리소조음이 존재한다고 보고하였다. 본 실험에서 무정형혈구의 세포질은 Brehelin 등(1978)이 보고한 바와 같이 다수의 식포들이 형성되어 있었고, 이들 주변에는 리소조음들이 산재되어 있었으며, 특히 식포들이 융합되어 형성된 것으로 보이는 multivesicular body가 잘 관찰되었다.

과립혈구는 대부분 곤충에 존재하고 있는 혈구 유형으로 세포질에 많은 과립을 가지고 있다. 이들 혈구는 형태와 기능적인 역할 및 과립의 미세구조적 특징 등에 의해서 몇가지 아형(subtype)으로 분류되어 왔다(Brehelin and Zachary, 1986; Han, 1989). 한편, Chang 등(1990)에 의하면 등검은메뚜기의 과립혈구는 조혈기관에서 형성되는 과정을 통하여 과립의 크기가 0.2-0.3 μ m인 세포와 0.5-0.8 μ m인 세포로 각각 분화되는 것을 확인하였으며, 이들은 혈림프에서 서로 다른 기능과 미세구조적 특징을 나타내기 때문에 각각 I형 과립혈구와 II형 과립혈구로 구분하였다.

본 실험에서 I형 과립혈구와 II형 과립혈구에 존재하고 있는 과립들은 El Shoura(1986)가 진드기류(*Argas arboreus*) 혈구에서 보고한 과립들과 같이 전자밀도가 강한 무 구조물로 구성되어 있는데, 과립의 특징을 보면, 바퀴 종류(*Leucophaea maderae*)의 경우 melanosome과 비슷한 구조를 가지고 있는 과립(Hagopian, 1971)과 명나방류(*Galleria mellonella*)의 경우 미세소관과 비슷한 구조로 채워져 있으며, 산성의 점액물질로 구성되어 있는 과립이 보고된 바 있다(Neuwirth, 1973). 이와 같이 과립혈구내에 존재하고 있는 과립들은 무 구조물(amorphous structure)의 전자밀도가 강한 과립과 구조물(morphous structure)이 존재하고 있는 과립 등으로 종에 따라 다른 특징을 나타내고 있다.

Baerwald와 Boush(1970)는 이질바퀴(*Periplaneta americana*)의 과립혈구에서 척추동물의 혈소판에 있는 미세소관과 유사한 미세소관이 존재하고 있는 것을 처음 확인하였고, Hagopian(1971)은 바퀴의 과립혈구에서 세포막 가장자리에 미세소관을 가지고 있다고 보고하였으며, Chiang 등(1988)은 바퀴(*Blattella germanica*)에 관한 연구에서, 과립혈구는 세포질 주변에 미세소관 다발(marginal band of microtubules)을 가지고 있다고 보고하였다. 본 실험에서 I형 과립혈구에 존재하고 있는 미세소관은 세포질 가장자리에서 역시 상기와 동일한 미세소관 다발을 형성하고 있었고, Chiang 등(1988)이 보고한 바와 같이 세포의 원형질막 근처에 존재하고 있었다. 또한, 이들의 기능은 위축의 형성과 식세포작용(Baerwald and Boush, 1970), 세포내 골격유지와 물질수송(Hagopian, 1971), 단백질 합성(Akai and Sato, 1976) 및 피낭형성(Han and Gupta, 1988) 등에 관여한다고 보고된 바 있는데, 본 실험에서 II형 과립혈구에는 존재하지 않고, I형 과립혈구에만 존재하고 있는 미세소관 다발은 원형질막과 인접한 부위에 존재하고 있는 것으로 보아 세포의 모양과 골격유지에 관여하는 것으로 추측된다.

소구혈구는 섬유상이나 미세한 직물상 또는 깃털모양의 물질로 채워져 있는 소구(spherule)들을 가지고 있고(Raina, 1976), 소구들은 조면소포체에서 합성되어 골지체에서 만들어지며, 이들이 함유하고 있는 물질들은 외포작용에 의해서 혈림프로 방출된다고 보고된 바 있다(Gupta, 1979). 소구의 성분은 산성의 점액다당류이거나(Akai and Sato, 1973; Neuwirth, 1973), heparin 분자로 추정되는 glycosaminoglycan과 같은 중합체(Ashhurst, 1982)라고 보고된 바 있다.

본 연구에서 소구혈구에 존재하는 소구는 직경이 약 1.2-1.5 μ m 크기로서 세포질의 대부분을 차지하고 있었으며, Raina(1976)의 보고와 같이 전자밀도가 낮은 물질들로 채워져 있었다. 한편, 이들은 혈림프에서 순환혈구 중 가장 적은 수로 존재하고 있었고, 세포의 원형질막과 소구의 한계막의 융합에 의한 외포작용으로 일어나는 물질의 분비 등은 확인되지 않았으나, 일부 소구는 원형질 밖으로 돌출되어 있는 것이 관찰되었다.

편도혈구는 구형 또는 난형으로 세포 표면에 세포질돌기를 가지고 있지 않고, 순환혈구 중 가장 큰 크기를 나타내며, 때때로 2개의 핵을 가지고 있다(Gupta, 1979).

세포질의 특징에 관해서 Lai-Fook (1970)는 *Rhodnius prolixus*에서 섬유성기질 (fibrous matrix)로 된 세포질은 유리 리보솜과 polysome을 가지고 있다고 보고하였다. 또한, 명나방 (*Galleria mellonella*) 5령 유충의 경우 세포질에는 유리 리보솜과 미세소관이 존재하고 있으며 (Neuwirth, 1973), 솜벌레 (*Pectinophora gossypiella*)의 경우, 소포와 지방소적 (lipid droplet)이 존재하고 있다고 보고된 바 있다 (Raina, 1976). 본 실험에서 편도혈구는 직경이 25-30 μ m로서 순환혈구 중에서 가장 크고, Lai-Fook (1970)와 Gupta (1979)의 보고와 비슷한 특징을 나타내지만, 다른 곤충 종에서와 달리 미토콘드리아가 신장되어 아령형태나 원반모양을 하고 있고, cristae가 확장되어 관찰되었다. 이와 같은 특징은 미토콘드리아의 활성에 의한 에너지 대사작용에 관여하는 것으로 사료되나, 이들 혈구의 기능에 대해서 cuticle 형성 (Wigglesworth, 1979)에 관여하거나 혈액의 단백질 공급원 (Raina, 1976)으로서 역할을 할 것으로 보고된 바 있다.

결 론

등검은메뚜기 (*Euprepocnemis shirakii*)의 혈구 유형과 미세구조를 광학 및 전자현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

혈구는 미세구조적 특징에 따라 원시혈구, 무정형혈구, I형 과립혈구, II형 과립혈구, 소구혈구 및 편도혈구로 구분되었다. 원시혈구는 순환혈구 중에서 가장 작은 혈구로 핵이 세포질의 대부분을 차지하고 있었다. 무정형혈구는 방추형 또는 많은 세포질돌기를 형성하고 있는 다형으로 세포질에는 리소조음과 식포가 관찰되었으며, 식포의 융합에 의해서 형성된 multivesicular body가 존재하고 있었다. I형 과립혈구는 구형으로서 세포질에 약 0.2-0.3 μ m 크기의 과립을 함유하고 있었으며, 특히 원형질막 가장자리에 세포의 골격을 유지하는 미세소관 다발을 가지고 있었다. II형 과립혈구는 난형 또는 방추형으로 세포질에 약 0.5-0.8 μ m의 과립이 세포질의 대부분을 차지하고 있었다. 소구혈구는 난형 또는 방추형으로 세포질에 비교적 전자밀도가 낮은 소구들로 채워져 있었다. 편도혈구는 구형이고 직경이 25-30 μ m 정도로 혈구 중에서 가장 크며, 세포질에는 환상의 미토콘드리아와 polyribosome이 존재하고 있었다.

참 고 문 헌

- Akai, H. and S. Sato, 1973. Ultrastructure of the larval hemocytes of the silkworm, *Bombyx mori* (L.) (Lepidoptera: Bombycidae). *Int. J. Insect Morphol. Entomol.* 2 : 207-231.
- Akai, H. and S. Sato, 1976. Surface ultrastructure of the larval hemocytes of the silkworm, *Bombyx mori* (L.) (Lepidoptera: Bombycidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 5 : 17-21.
- Arnold, J.W., 1982. Larval hemocytes in Noctuidae (Insecta: Lepidoptera). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 11 : 173-188.
- Ashhurst, D.E., 1982. Histochemical properties of the spherulocytes of *Galleria Mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 11 : 285-292.
- Baerwald, R.J. and G.M. Boush, 1970. Fine structure of hemocytes of *Periplaneta americana* (Orthoptera: Blattidae) with particular reference to marginal bundles. *J. Ultrastruct. Res.* 31 : 151-161.
- Beeman, S.C., M.E. Wilson, L.A. Bulla, and R.A. Consigli, 1983. Structural characterization of the hemocytes of *Plodia interpunctella*. *J. Morphol.* 176 : 1-16.
- Brehelin, M. and D. Zachary, 1986. Insect hemocytes: A new classification to rule out the controversy. *In: Immunity in Invertebrate* (Brehelin, M., ed.). Springer-Verlag, New York. pp. 36-48.
- Brehelin, M., D. Zachary, and J.A. Hoffmann, 1978. A Comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders. *Cell Tiss. Res.* 195 : 45-57.
- Carter, J.B. and E.I. Green, 1987. Hemocytes and granular cell fragments of *Tipula paludosa* larvae. *J. Morphol.* 191 : 289-294.
- Chain, B.M. and R.S. Anderson, 1982. Observations on the cytochemistry of the hemocytes of an insect, *Galleria mellonella*. *J. Histochem. Cytochem.* 31 : 601-607.
- Chiang, A.S., A.P. Gupta, and S.S. Han, 1988. Arth-

- ropod immune system: I. Comparative light and electron microscopic accounts of immunocytes and other hemocytes of *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Morphol.* 198 : 257-267.
- Chang, B.S., M.J. Moon, S.S. Han, and S.M. Yoe, 1990. Ultrastructure of the hemopoietic organ in *Euprepocnemis shirakii* Bolivar (Orthoptera: Locustidae). *Korean J. Electron Microscopy* 20 : 46-56.
- Devauchelle, G., 1971. Etude ultrastructurale des hémocytes du Coléoptère *Melolontha melolontha* (L.). *J. Ultrastruct. REs.* 34 : 492-516.
- Dorn, A., 1978. Ultrastructure of differentiating hemocytes in the embryo of *Oncopeltus fasciatus* Dallas (Insecta, Heteroptera). *Cell Tiss. Res.* 187 : 479-488.
- El Shoura, S.M., 1986. Fine structure of the hemocytes and neprocytes of *Argas (Persicargas) arboreus* (Ixodoidea: Argasidae). *J. Morphol.* 189 : 17-24.
- François, J., 1974. Etude ultrastructurale des hémocytes du Thysanoure *Thermobia domestica* (Insecta, Aptérygote). *Pedobiologia* 14 : 157-162.
- Götz, P. and H.G. Boman, 1985. Insect immunity. In: Comprehensive Insect Phylogeny, Biochemistry and Pharmacology (Kerkut, G.A. and L.I. Gilbert, eds.). Pergamon Press, New York, pp. 453-485.
- Gupta, A.P., 1979. Arthropod hemocytes and phylogeny. In: Arthropod Phylogeny (Gupta, A.P., ed.). Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 669-735.
- Gupta, A.P., 1985. Cellular elements in the hemolymph. In: Comprehensive Insect Phylogeny, Biochemistry and Pharmacology (Kerkut, G.A. and L.I. Gilbert, eds.). Pergamon Press, New York, pp. 401-451.
- Hagopian, M., 1971. Unique structures in the insect granular hemocytes. *J. Ultrastruct. Res.* 36 : 646-658.
- Han, S.S., 1989. Insect immunity. *Korean J. Appl. Entomol.* 28 : 175-191.
- Han, S.S. and A.P. Gupta, 1988. Arthropod immune system. V. Activated immunocytes (granulocytes) of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.) (Dictyoptera: Blattellidae) show increased number of microtubules and nuclear pores during immune reaction to foreign tissue. *Cell Struct. Funct.* 13 : 333-343.
- Jones, J.A., 1962. Current concepts concerning insect hemocytes. *Amer. Zool.* 2 : 209-246.
- Jones, J.A., 1975. Forms and function of insect hemocytes. In: Invertebrate Immunity (Maramorosch, K. and R.E. Shoppe, eds.). Academic press, New York, pp. 119-129.
- Lai-Fook, J., 1970. Haemocytes in the repair of wounds in an insect (*Rhodnius prolixus*). *J. Morphol.* 130 : 297-314.
- Neuwirth, M., 1973. The structure of the hemocytes of *Galleria mellonella* (Lepidoptera). *J. Morphol.* 139 : 105-124.
- Raina, A.K., 1976. Ultrastructure of the larval hemocytes of the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 5 : 187-195.
- Ratcliffe, N.A., and C.D. Price, 1974. Correlation of light and electron microscopic hemocyte structure in the Dictyoptera. *J. Morphol.* 144 : 485-498.
- Ravindranath, M.H., 1977. A comparative study of the morphology and behaviour of granular haemocytes of arthropods. *Cytologia* 42 : 743-751.
- Wago, H. and H. Kitano, 1985. Morphological and functional characterization of the larval hemocytes of the cabbage white butterfly, *Pieris rapae crucivora*. *Appl. Ent. Zool.* 20 : 1-7.
- Wigglesworth, V.B., 1979. Secretory activities of plasmatocytes and oenocitoids during the molting cycle in an insect (*Rhodnius*). *Tissue & Cell* 11 : 69-71.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** A prohemocyte showing large nucleus (N) and poorly developed organelles. Inset: Phase contrast micrograph of prohemocyte.
- Fig. 2.** Scanning electron micrograph of a prohemocyte showing spherical shape.
- Fig. 3.** Transmission electron micrograph of a plasmatocyte showing concentric nucleus (N). Inset: Phase contrast micrograph of a plasmatocyte in a whole blood mount.
- Fig. 4.** Scanning electron micrograph of a plasmatocyte showing spindle shape with smooth surface.
- Fig. 5.** Part of a plasmatocyte containing phagocytic vesicle (PV) filled with digested material. G: Golgi complex, Arrows: lysosome.
- Fig. 6.** A polymorphic plasmatocyte with numerous cytoplasmic processes (CP) showing nucleus (N), phagocytic vesicle (PV) and multivesicular body (MB). Inset: Phase contrast micrograph of a polymorphic plasmatocyte. The peripheral cytoplasm of this cell is extended in the cytoplasmic processes.
- Fig. 7.** High magnification electron micrograph of a polymorphic plasmatocyte. The microtubules (arrows) are located at the periphery of their nuclear membrane. M: mitochondria.
- Fig. 8.** Granulocyte I with lobed nucleus (N), small granules, rough endoplasmic reticulum, mitochondria and vesicles. Granules are 0.2-0.3 μ m in average diameter. Inset: Phase contrast micrograph of a granulocyte I.
- Fig. 9.** High magnification electron micrograph of a granulocyte I. Note the presence of long curved rough endoplasmic reticulum (RER) and Golgi complex (G).
- Fig. 10.** Scanning electron micrograph of a granulocyte I showing irregular surface.
- Fig. 11.** Part of a granulocyte I. The marginal bundles of microtubules (arrows) appear to encircle the cell and are suggestive of a cytoskeletal function. GR: granule, N: nucleus.
- Fig. 12.** Marginal bundles of microtubules about 20nm in diameter are loosely assembled in close proximity to the plasma membrane of the granulocyte I. GR: granule, M: mitochondria.
- Fig. 13.** Granulocyte II with eccentric nucleus (N) and conspicuously granular cytoplasm. Granules (GR) are 0.5-0.8 μ m in diameter and occupy much of the cytoplasm. Inset: Phase contrast micrograph of a granulocyte II in a whole blood mount showing numerous phase light and phase dark surface.
- Fig. 14.** Scanning electron micrograph of a granulocyte II showing oval shape with nodulose surface.
- Fig. 15.** Transmission electron micrograph of a spindle shaped granulocyte II. Inset: Phase contrast micrograph of a granulocyte II in a whole blood mount.
- Fig. 16.** High magnification electron micrograph of a granulocyte II showing large granules (GR), Golgi complex (G) surrounded by dense granules, mitochondria (M).
- Fig. 17.** Spherulocyte showing eccentric nucleus (N) and numerous spherules and vacuoles. Inset: Phase contrast micrograph of a spherulocyte.
- Fig. 18.** Portion of a spherulocyte. Spherules (SP) filled with fine granules or flocculent contents.
- Fig. 19.** Oenocytoid with bilobate nucleus (N), numerous free ribosome and elongated mitochondria. The cytoplasm show low electron density. Inset: Phase contrast micrograph of a oenocytoid showing oval shape.
- Fig. 20.** Portion of a oenocytoid. Note peculiar aspect of mitochondria (M) and numerous free ribosome.
- Fig. 21.** High magnification electron micrograph of a oenocytoid showing lipid droplet (L) and long elongated mitochondria (M).







