

變態에 따른 슬나방(*Dendrolimus spectabilis* Butler)

中腸上皮의 形態的 考察

김 정 상\* · 김 우 갑 · 김 창 환

(대전대 생물학과\*, 고려대 생물학과)

The Morphological Study of the Midgut Epithelium during  
the Metamorphosis of Pine Caterpillar

Jeong-Sang Kim,\* Woo-Kap Kim and Chang-Whan Kim

(Dept. of Biology, Daejeon Col\*, Dept. of Biology, Korea Univ.)

(1985. 4. 16. 접수)

---

ABSTRACT

The morphological changes of the midgut epithelium during the metamorphosis of pine caterpillar are observed with light and electron microscope, being divided into 5 stages from the 8th instar larva to just after pupation.

The midgut epithelium of the 8th instar larva is composed of columnar cell, goblet cell, regenerative cell, and endocrine cell. The secretorials are arranged on the nuclear membrane in the columnar cell of the midgut epithelium in the 8th instar larva, and lysosomes are augmented in the apical portion. Cytoplasmic extrusions are observed in the apical surface of columnar cell but they have no cell organells.

Nucleus, mitochondria, rER, Golgi complex, and free ribosomes are observed in the regenerative cell. Regenerative cells are differentiated into the form of goblet cell, and vacuoles are gradually increased in the cytoplasm.

Just pupa stage, the materials, which appears to be mainly composed of Ca, are observed in the circular form and goblet cavity of regenerative cell are detached to lumen.

As a result, it reflects the process of the degeneration of the midgut epithelium that lysosomes are gradually augmented in the columnar cell, that nuclear materials are removed to cytoplasm, and that cytoplasmic extrusions are observed in the apical surface. And though regenerative cells are differentiated into the form of the goblet cell, it is believed that goblet cavity is detached from regenerative cell to the lumen and midgut epithelium of pupa stage is formed.

## 緒 論

곤충의 前腸은 먹이를 분쇄하고 저장하며 (Davey and Treherne, 1963; Berridge and Gupta, 1967; Oschman and Wall, 1969), 中腸은 소화효소의 분비와 영양물질을 흡수한다 (Wigglesworth, 1965).

곤충의 소화관의 일반적인 구조에 관하여 연구 보고된 바 있으며 (Snodgrass, 1935; Chapman, 1982; Ross, 1982), 근래에는 전자현미경을 이용한 微細構造的 研究 (Anderson and Harvey, 1965; Smith *et al.* 1969; Akai, 1969; Cioffi, 1979)와 變態에 따른 호르몬의 生理的 機作 (Gilbert, 1969; Radoford and Misch, 1971; Akai, 1975) 및 中腸上皮의 微細構造的 變化에 관하여 연구 보고된 바 있다 (Priester, 1972; Akai, 1978; Kobayashi, 1978; Yu, 1982).

微細構造的 研究結果의 보고에 의하면 곤충의 中腸上皮는 圓柱狀細胞, 杯狀細胞 및 再生細胞로 구성되어 있다고 하였으며 (Priester, 1971; Cheung and Low, 1975; Cioffi, 1979), 그 밖에도 內分泌細胞가 기재되고 있다 (Yu, 1982).

본 연구의 실험재료인 솔나방은 70년대 이후로 松林에 막대한 피해를 주고있는 해충으로서 아직 소화기관에 관하여 밝혀진 바 없다. 저자들은 솔나방중령유충에서 蛹직후까지 中腸上皮의 構造變化를 관찰하여 결과를 이에 보고한다.

## 材料 및 方法

실험에 사용한 솔나방幼蟲은 경기도 이천군 일대에서 채집하여 실험실 내 ( $25^{\circ}\text{C}\pm 3$ )에서 솔잎을 먹여 사육했다.

사육한 솔나방幼蟲은 8령 (중령유충)에서 蛹化直後까지 12시간 간격으로 20개체 씩 재료로 사용했다. 채택된 재료는 생리식염수 (pH 6.8) 내에서 中腸을 적출하여 2% paraformaldehyde-glutaraldehyde ( $4^{\circ}\text{C}$ , phosphate buffer pH 7.2)로 前固定 한후 1%  $\text{O}_3\text{O}_4$  ( $4^{\circ}\text{C}$ , phosphate buffer pH 7.2)로 後固定하여 acetone 농도 상승순으로 탈수하였으며, Epon-Araldite mixture에 포매하였다. 포매된 시료를 Sorvall MT-II 형 및 LKB-V ultramicrotome을 사용,  $1\mu\text{m}$  두께로 절편을 제작하여 Toluidine blue로 염색한 후, 광학현미경으로 관찰하였다. 동일 부위에서 은색 절편을 제작하여 uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 JEM 100CX-II 전자현미경으로 관찰하였다.

## 結 果

### 1) 終齡幼蟲期

중령유충기의 中腸은 단층인 圓柱狀細胞와 杯狀細胞가 腸內腔쪽으로 주름을 형성하고, 점막 하조직 내측에는 縱走筋과 橫走筋에 의하여 둘러싸여 있다 (Fig. 2).

圓柱狀細胞: 圓柱狀細胞의 核은 굴곡이 심하고, 核孔을 통해 細胞質로 유출된 직경이 약  $1.1\sim 1.3\mu\text{m}$ 인 물질들이 核膜에 규칙적으로 배열되어 관찰되었다. 특히 核 주변 및 頂端細

胞質部에서는 microtubule과 lysosome이 다수 나타났다(Fig. 8).

細胞 중앙부에서는 팽대된 滑面小胞體와 粗面小胞體 및 cristae가 잘 발달된 mitochondria가 다수 나타나며, 그밖에 lysosome 및 polysome이 소수 관찰되었다(Fig. 9). 頂端面에서는 細胞小器官이 관찰되지 않는 細胞質突起(cytoplasmic extrusions)가 微細絨毛 사이로 팽출되어 타원형으로 나타나며, 微細絨毛내에서 頂端部 細胞質로 縱走하는 microfilament가 관찰되었다(Fig.10).

基底部 細胞膜은 주름을 형성하면서 細胞質 깊숙히 함입되어 있고, 주름 사이에서는 細長된 mitochondria와 粗面小胞體가 다수 나타났다(Fig. 11).

杯狀細胞: 杯狀細胞의 頂端部는 腸內腔쪽으로 열려있고, 頂端面 微細絨毛는 관찰되지 않았다. 杯狀細胞 중앙은 電子密度가 비교적 낮은물질로 충만되어 있는 커다란 杯胞(goblet cavity)를 갖고있다. 杯胞의 기저부에는 杯狀細胞 微細絨毛가 밀집하여 관찰되었으며, 각각의 미세융모내에서는 한개씩의 細長된 mitochondria가 관찰되었다(Fig. 11). 杯狀細胞의 정단면의 開口는 絨毛들이 마주 보면서 좁은 관을 형성하고 있는 모양의 특수한 구조를 하고 있었다(Fig. 12). 基底部 가까이에 核을 가지고 있으며, 原形質膜은 약간 불규칙하게 나타났다. (Fig. 11).

再生細胞: 圓柱狀細胞와 杯狀細胞 사이, 圓柱狀細胞들 사이의 基底膜上에서 1~2개의 再生細胞가 관찰되었다. 再生細胞는 細胞質에 비하여 비교적 큰 核과 mitochondria, Golgi체, 粗面小胞體 및 유리 ribosome을 가지고 있었으며, 항상 基底膜에 접해있었다(Fig. 13).

內分泌細胞: 원추형으로 基底膜上에 길게 접하고 있거나, 두 圓柱狀細胞 사이에서 관찰되었다. 비교적 큰 核을 중심으로 電子密度가 높고, 직경이 약 0.8~1.4  $\mu\text{m}$ 인 圓型顆粒이 內쪽과 外쪽에 集積되어 나타났다. 細胞小器官으로 mitochondria, Golgi체, 粗面小胞體 및 유리 ribosome이 관찰되었다(Fig. 14).

## 2) 吐絲期

取食을 중단한 吐絲期가 되면 基底膜上에 낮은 再生細胞層이 형성되므로서 幼蟲期의 上皮細胞層과 구분되어 2층으로 나타났다(Fig. 3).

퇴화되어 가는 幼蟲期 上皮細胞 核의 核膜은 굴곡이 매우 심하며 染色質은 응축되어 산재해 있다. 核의 유출물질들은 核膜에 규칙적으로 배열되어 있고 核 주변 電子密度는 비교적 낮게 관찰되었다. 또한 頂端部는 lysosome이 응집되어 細胞質 대부분을 차지하고 있으며, 頂端面的 微細絨毛는 드물게 배열되어 있고, 微細絨毛 사이에서는 分泌小胞가 관찰되었다(Fig. 15).

分化가 활발한 再生細胞는 基底膜쪽에 核을 갖고 있으며, 核 주변 細胞質에서는 다수의 液胞와 粗面小胞體 및 mitochondria가 관찰되었다. 核 內쪽에는 비교적 電子密度가 높은 물질을 함유하고 있는 조그만 杯胞(goblet cavity)가 있다(Fig. 16).

## 3) 前蛹期 1日

幼蟲期 上皮細胞層은 점차 퇴화되어 감으로써 分化되어 가는 再生細胞層과 뚜렷하게 구분되어 나타났으며, 모든 再生細胞는 杯胞가 頂端部 細胞質 대부분을 차지하고 있는 杯狀細胞型으로 관찰되었다(Fig. 4).

再生細胞의 核은 基底膜에서 細胞 중앙쪽으로 조금 이동하였고, 細胞質에서는 液胞, glycogen granules 및 mitochondria가 점차 증가되어 간다(Fig. 17).

頂端部 杯胞는 비교적 電子密度가 높은 물질로 충전되어 있으며, 杯胞 주위 細胞質에서는 다수의 mitochondria, 液胞 및 粗面小胞體가 나타났다(Fig. 18).

#### 4) 前蛹期 2日

幼蟲期의 上皮細胞層이 再生細胞層에서 완전히 이탈되었고, 모든 再生細胞의 頂端部 細胞質에서 관찰되었던 杯胞 또한 腸內腔으로 밀려났다. 한편 再生細胞의 頂端面에서는 새로운 條紋線이 관찰되었다(Fig. 5, 6).

再生細胞의 頂端部 細胞質에는 많은 glycogen granules이 밀집되어 있고, 비교적 電子密度가 낮은 등심원과립을 지닌 液胞가 관찰되었다(Fig. 19).

核 주변에는 등심원 과립을 함유하고 있는 液胞와 융합되어 있는 液胞 그밖에 粗面小胞體 및 脂質이 관찰되었다(Fig. 20).

#### 5) 蛹化直後

上皮細胞의 核은 細胞 중앙부에 위치하고 세포질은 다수의 液胞로 충전되어 있었다(Fig. 7).

上皮細胞의 頂端部에는 다수의 mitochondria와 glycogen granules이 集積되어 있으며, 소수의 lysosome과 粗面小胞體가 관찰되었다. 또한 頂端部 세포질에는 분비될 小胞와 微細絨毛 사이에서는 다수의 分泌小胞가 관찰되었다(Fig. 21).

基底部의 細胞膜은 매우 불규칙하게 나타나며 mitochondria, 脂質, 粗面小胞體 및 glycogen granules을 함유하고 있는 커다란 液胞가 관찰되었다(Fig. 22).

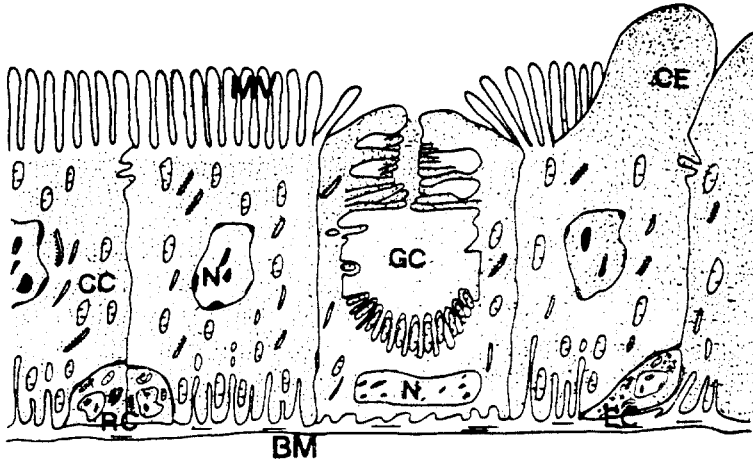
## 考 察

솔나방 終齡幼蟲期의 上皮細胞는 圓柱狀細胞, 杯狀細胞, 再生細胞 및 內分泌細胞로 구분된다. 圓柱狀細胞의 頂端面은 細胞小器官이 관찰되지 않은 타원형의 細胞質突起가 다수의 微細絨毛 사이로 팽출되었고, 基底部의 細胞膜은 심하게 주름져 함입되어 있다. 杯狀細胞는 세포 중앙부에 粘液物質로 충전되어 있는 커다란 杯胞를 갖고 있으며 腸內腔쪽으로 열려 있다. 杯胞의 基底部에 밀집되어 있는 微細絨毛 내에는 각각 한개씩의 細長된 mitochondria가 있다. 또한 基底膜상에는 蛹期의 中腸上皮를 구성할 미분화된 再生細胞와 分泌顆粒을 함유하고 있는 內分泌細胞가 나타난다(Fig. 1).

솔나방은 變態에 따라 幼蟲期 中腸上皮細胞의 基底膜上에서 관찰되었던 再生細胞가 分化되어 감으로서, 前蛹期末에 幼蟲期의 上皮細胞는 腸內腔으로 이탈되고, 再生細胞가 蛹期의 새로운 中腸上皮를 구성함을 확인하였다. 이 결과는 Judy and Gilbert(1969)의 *H. cecropia* (산누에나방 科)나, Waku and Sumimoto(1971, 1974), Akai(1978), Kobayashi(1978)의 누에나방(*B. mori*) 및 Yu(1980)의 배추흰나비(*Pieris rapae*)의 變態過程과 대체로 일치하였다.

Priester(1971), Cioffi(1979), Cheung and Low(1975)에 의하면 中腸上皮는 圓柱狀細胞, 杯狀細胞 및 再生細胞로 구성되어 있다고 한 바 있고, Yu(1982)는 특특이, 바퀴, 배추흰나비의 中腸上皮를 관찰한 결과 이 밖에도 內分泌細胞도 갖고 있다고 한 바 있다. 본 연구의 실험재료인 솔나방 終齡幼蟲의 中腸上皮細胞는 후자와 일치하였다.

終齡幼蟲期 圓柱狀細胞의 遊離緣 微細絨毛는 條紋線을 형성하고 있으며, 基底部 細胞膜은 심한 주름을 이루면서 細胞質 안쪽 깊숙히 함입되어있는 전형적인 흡수세포 형태를 하



**Fig. 1.** Diagram of the midgut epithelium in the 8th instar larva. The midgut epithelium is composed of columnar cell, goblet cell, regenerative cell, and endocrine cell. BM: basement membrane, CC: columnar cell, CE: cytoplasmic extrusions, EC: endocrine cell, GC: goblet cell, MV: microvilli, N: nucleus, RC: regenerative cell.

고있다. 한편, 上皮細胞가 퇴화되어 감에 따라 autolysis에 관여하는 것으로 사료되는 lysosome이 점차 증가되어 가는데 이 물질은 Couch and Mills(1968)가 미국바퀴(*P. americana*)를 굽겨 上皮細胞의 변화를 관찰했을때 autophagic vacuoles 즉 lysosome이 증가됨을 확인하였고, Radford and Mish(1971)는 쉬파리(*S. bullata*)의 3齡蟲과 終齡幼蟲에 ecdysterone을 주사하여 lysosome이 증가되어 가는 것을 확인한 바 있다.

終齡幼蟲期の 圓柱狀細胞 核에서는 核物質로 생각되는 직경이 약  $1.1\sim 1.3\mu\text{m}$ 인 물질들이 핵내에서 응집되어 核孔을 통하여 細胞質쪽으로 유출되며, 核膜에 규칙적으로 배열되어 관찰된다. 細胞質로 유출된 분비물질 주변은 電子密度가 낮게 관찰되며, 또한 이 물질은 점차 핵 주변 lysosome에 흡수되어 갔다. 이것은 Akai(1967)가 *Drosophila*의 成蟲中腸의 正常細胞와 tumour cell의 核과 細胞質에서 동시에 관찰해서 virus-like particle이라고 하였던 것과는 차이점이 있었다. 이들 분비물질은 幼蟲期 上皮細胞가 퇴화될 때 까지 核 주변에서 계속 관찰되며, 再生細胞에서는 전혀 관찰되지 않는 것으로 보아 幼蟲上皮細胞의 退化現象이라고 사료된다. 그러나, 이물질의 규명과 기능에 관해서는 앞으로 연구를 계속 할 필요가 있다고 생각된다.

終齡幼蟲期 圓柱狀細胞의 遊離緣 微細絨毛사이에서는 細胞質로 충전되어 있는 細胞質突起가 나타난다. 이와 유사한 돌출물질은 여러 昆蟲들의 成熟幼蟲에서 관찰된 바 있다. 즉 Anderson and Harvey(1966)는 산누에나방(*H. cecropia*)에서 관찰하여 세포의 부분적 팽출이라 했고, Priester(1971)는 털검정금파리(*C. erythrocephala*)에서 관찰하여 세포의 팽출은 조직해리를 반영하고 있는 것이라고 했다. 또한 Kobayashi(1978)는 누에나방(*B. mori*)에서 관찰하여 細胞質突出物(cytoplasmic extrusions)이라 한 바 있다. 슬나방에서의 細胞質突出物은 變態前의 上皮細胞에서 관찰되는 것으로 보아 變態過程을 반영하고 있다고 사료된다.

終齡幼蟲의 中腸上皮에서 관찰되는 전형적인 杯狀細胞는 杯胞를 둘러싸고 있는 細胞質部는 mitochondria와 粗面小胞體等 細胞小器官을 갖고 있으며, 杯胞內에는 비교적 전자밀도

가 낮은 점액물질로 충만되어 있고, 基部에는 편평한 타원형의 핵을 갖고 있다. 또한, 杯胞의 基部에는 각각 한 개씩의 細長된 mitochondria를 함유하는 細胞質突起 즉 微細絨毛가 밀집되어 있으며, 遊離緣으로 갈수록 드물고 길이 또한 짧게 관찰되었다. 이 결과는 Anderson and Harvey(1966), Schultz and Jungries(1977)가 관찰한 산누에나방(*H. cecropia*)이나, Akai(1978)가 관찰한 누에나방(*B. mori*)과 전반적으로 일치됨을 확인하였다.

Priester(1971)에 의하면 昆蟲의 中腸上皮에 있어서 再生細胞는 일반적으로 基底膜상에 집단(nidi)을 이루고 있고, 圓柱狀細胞에서 단 관찰되며, 종단절편을 제작 했을시 1~2개의 再生細胞들이 관찰된다고 한 바 있다. 또한 Kobayashi(1978)에 의하면 再生細胞는 基底膜상에 산재해 있다고 했다. 그러나 본 연구에서는 횡단절편을 제작하여 透過型 電子顯微鏡으로 관찰한 결과 再生細胞는 圓柱狀細胞와 杯狀細胞사이와 圓柱狀細胞사이의 基底膜상에서 1~2개씩 나타났다.

솔나방 終齡幼蟲期の 基底膜상에서는 電子密度가 높은 직경이 약 0.8~1.4  $\mu\text{m}$ 크기의 分泌顆粒을 갖고 있는 細胞가 관찰되었다. Priester(1971)는 털검정금파리(*C. erythrocephala*)의 成蟲 中腸上皮細胞에서 電子密度가 높은 顆粒이 있는 細胞를 관찰하여 "electron dense granules cell"이라 한 바 있고, Yu(1982)는 툭툭이, 바퀴, 배추흰나비에서 관찰하여 內分泌細胞라 한 바 있다. 한편, 본 연구의 솔나방 終齡幼蟲에 관찰되었던 內分泌細胞는 細胞小器官으로서 발달되지 않은 mitochondria, 粗面小胞體, Golgi體 및 유리 ribosome이 나타나는데 이는 再生細胞의 細胞小器官과 유사했다. 內分泌細胞의 機能과 分化過程에 관해서는 앞으로 더 연구되어야 할 것 같다.

終齡幼蟲期에서 관찰되었던 再生細胞는 미분화된 상태로 基底膜상에 산재해 있다가 吐絲期가 되면 分化가 활발해진다. 前蛹期末에 幼蟲期の 퇴화되어 가는 上皮細胞가 腸內腔으로 이탈되고, 또한 再生細胞의 杯胞內 물질이 유출됨으로서 杯胞가 腸內腔으로 밀려나고 再生細胞가 蛹期の 새로운 中腸上皮를 구성함을 확인하였다. 이 결과는 Kobayashi(1978)가 누에나방(*B. mori*)에서 관찰하였던 中腸의 變態過程과 전반적으로 일치하였다.

Waku and Sumimoto(1974)에 의하면, 누에나방(*B. mori*)의 5齡末期 上皮細胞에서 관찰되는 同心圓狀顆粒은 終齡幼蟲期再生細胞의 Golgi體에서 유래된 液胞內의 膜構造 안에 Ca의 침착물이 형성된 것이라고 하였으며, Akai(1978)는 누에나방(*B. mori*)의 終齡幼蟲 192시간에 液胞內에 Ca 顆粒이 축적 된다고 한 바 있다. 이 결과는 본 실험재료인 솔나방 前蛹期 2日과 일치하는 것으로 液胞內에 Ca 顆粒 축적은 蛹化 직전에 일어난다고 생각된다. 이와같은 Ca 顆粒은 中腸上皮細胞가 血漿에서 腸內腔으로 Ca의 운반에 관여하고 있고, 이 운반과정에서 Ca이 농축되기 때문에 液胞內에 同心圓狀顆粒이 형성된다고 하였다(Kobayashi, 1978).

## 要 約

솔나방의 變態에 따른 中腸上皮的 形態的 變化를 終齡幼蟲期에서 蛹化直後 까지 5단계로 나누어 光學 및 電子顯微鏡을 사용하여 관찰하였다.

終齡幼蟲의 中腸上皮는 圓柱狀細胞, 再生細胞 및 內分泌細胞로 구성되어 있다. 終齡幼蟲의 圓柱狀細胞에서는 핵으로부터 유출되는 분비물질이 核膜에 규칙적으로 배열되어 관찰되

며, 정단부에서는 lysosome이 점차 증가해 간다. 또한, 遊離緣에서는 微細絨毛사이로 팽출한 細胞質突起가 나타나는데 細胞小器官은 관찰되지 않는다.

再生細胞는 비교적 큰 核과 mitochondria, 粗面小胞體, Golgi體 및 유리 ribosome이 관찰된다. 再生細胞는 分化가 활발해짐에 따라 杯胞가 있는 杯狀細胞型으로 관찰되며, 細胞質에서는 液胞가 점차 증가한다. 蛹化直前에는 Ca의 주성분으로 사료되는 물질이 동심원상으로 나타나며 杯胞는 腸內腔으로 분리된다.

幼蟲期의 圓柱狀細胞에서 관찰되는 lysosome의 증가, 核物質의 細胞質로 유출, 遊離緣의 細胞質突起는 幼蟲期 中腸上皮의 退化過程을 반영하고 있다고 사료되며, 再生細胞는 杯狀細胞型으로 分化되지만 杯胞가 腸內腔으로 분리되고서 蛹化期의 새로운 中腸上皮를 구성한다고 믿어진다.

## REFERENCES

- Akai, H., 1969. Ultrastructural localization of phosphatase in the mid-gut of the silkworm, *Bombyx mori*. *J. Insect physiol.*, 15:1623-1628.
- Akai, H., 1975. Characteristic ultrastructural changes in the midgut cells of *Bombyx* larva following administration of calcium chloride. *Appl. Ent. Zool.*, 10(2):67-76.
- Akai, H., 1978. Ultrastructural changes of insect digestive organ during larval-pupal metamorphosis. *Cell*, 10(10):2-14.
- Akai, H., E. Gateff, L.E. Cavis and H.A. Schneiderman, 1967. Virus-like particles in normal and tumorous of *Drosophila*. *Science*, 157:810-813.
- Anderson, E. and W.R. Harvey, 1966. Active transport by the *cecropia* midgut. II. Fine structure of the midgut epithelium. *J. Cell Biol.*, 31:107-134.
- Berridge, M.J. and B.L. Gupta, 1967. Fine-structural changes in relation to ion and water transport in the rectal papillae of the blowfly, *Calliphora*. *J. Cell Sci.*, 2:89-112.
- Chapman, R.F., 1982. The Insects; Structure and Function, 3rd, English Univeristy Press, London, pp. 50-53.
- Cheung, W.W. K., Low, 1975. Ultrastructural and functional differentiation of the midgut of the sugarcain beetle, *Protaetia acuminata*(F.) (Coleoptera: cetonidae). *J. Insect Morphol. & Embryol.* (4):349-361.
- Cioffi, M., 1979. The morphology and fine structure of the larval midgut of a moth(*Menduca sexta*) in relation to active ion transport. *Tissue & Cell*, 11(3):467-479.
- Couch, E.F., and R.R. Mills, 1968. The midgut epithelium of the american cockroach: Acid phosphomonoesterase activity during the formation of autophagic vacuoles. *J. Insect physiol.*, 14:55-62.
- Cavey, K.G., and J.E. Trehern, 1963. Studies on crop function in the cockroach (*Periplaneta* L.). I. The mechanism of crop-emptying. *J. Exp. Biol.* 40:763-773.
- Davey, K.G., and J.E. Trehern, 1963. Studies on crop function in the cockroach (*Periplaneta americana* L.). II. The nervous control of crop-emptying. *J. Exp. Biol.*, 40:775-780.
- Gilbert, L.I., 1969. The chemistry of insect hormones. III. Int. Cong. Endocrinology, pp. 304-310.
- Gupta, B.L. and M. Berridge, 1966. Fine structural organization of the rectum in the blowfly *Calliphora erythrocephala* (Meig.) with special reference to connective tissue, tracheae, and

- neurosecretory innervation in the rectal papillae. *J. Morph.*, **120**:23-82.
- Kobayashi, M., 1978. Structural changes of midgut epithelial cells during metamorphosis in the silkworm *Bombyx mori* L. *Cell*, **10**:15-23.
- Jones, J.C., and V.H. Zeve, 1968. The fine structure of the gastric caeca of *Aedes aegypti* larvae. *J. Insect Physiol.*, **14**:1567-1575.
- Judy, K. J., and L.I. Gilbert, 1969. Morphology of the alimentary canal during the metamorphosis of *Hyalophora cecropia*(L.) *Ann. Ent. Soc. Am.*, **62**:1438-1446.
- Judy, K.J. and L.I. Gilbert, 1970a. Histology of the alimentary canal during the metamorphosis of *Hyalophora cecropia* (L.). *J. Morph.*, **131**:277-300.
- Oschman, J.T., and B.J. Wall, 1969. The structure of the rectal pads of *Periplanta americana* L. with regard to fluid transport *J. Morph.*, **127**:475-510.
- Oschman, J.L., and B.J. Wall, 1972. Calcium binding to intestinal membrane. *J. Cell Biol.*, **55**:58-73.
- Priester, W. de, 1971. Ultrastructure of the midgut epithelial cells in the fly *Calliphora erythrocephala*. *J. Ultrastruct. Res.*, **36**:783-805.
- Priester, W. de, 1972. Ultrastructural changes in the developing midgut epithelium of *Calliphora erythrocephala* Meigen. *Z. Zellforsch.*, **129**:278-289.
- Radford, S.V. and D.W. Misch, 1971. The cytological effect of ecdysterone on the midgut cells of the fleshfly *Sarcophaga bullata*. *J. Cell Biol.*, **49**:701-711.
- Ross, H.H., C.A.A. Ross, and J.R.P. Ross, 1982 A textbook of entomology. pp. 107-110.
- Schultz, T.W. and A.M. Jungeris, 1977. The goblet cavity matrix in the larval midgut of *Hyalophora cecropia*, *J. Insect physiol.*, **23**:29-32.
- Smith, D.S., K. Compher, M. Janers, C. Lipton and L.W. Wittle, 1969. Cellular organization and ferritin uptake in the midgut epithelium of a moth. *Ephestia kuhniella*. *J. Morph.*, **127**:41-72.
- Snodgrass, R.E., 1935. Principles of insect morphology. McGrawhill Book Co., Inc., New York, pp. 667.
- Waku, Y. and K.I. Summimoto, 1971. Metamorphosis of midgut epithelial cells in the silkworm (*Bombyx mori* L.) with special regard to the calcium salt deposits in the cytoplasm. I. Light microscopy. *Tissue & Cell*, **3**(1):127-136.
- Waku, Y. and K.I. Summimoto, 1974. Metamorphosis of midgut epithelial cells in the silkworm (*Bombyx mori* L.) with special regard to the calcium salt deposits in the cytoplasm. II. Electron microscopy. *Tissue & Cells*, **6**(1):127-136.
- Wigglesworth, V.B., 1965. The principles of insect physiology, 6th Ed., London: Methuen & Co., Ltd., New York, pp. 741.
- Yu, C.H., W.K. Kim. and C.W. Kim, 1980. Histology of the midgut during the metamorphosis of *Pieris rapae* L. Commemoration papers for professor C.W. Kim's 60th Birthday Anniversary, pp. 179-186.
- Yu, C.H., 1981. Morphology of the midgut epithelial cells in the cabbage butterfly, *Pieris rapae* L. *Bull. Insect. Basic Sci., Inha Univ.*, **2**:93-99.
- Yu, C.H., 1982. Morphology of the alimentary canal of insects. Thesis for Degree of philosophy.
- Yu, C.H., K.O. Lee, Kim and C.W. Kim, 1983. Histology of the midgut epithelium during the metamorphosis in the silk moth, *Bombyx mori* L. *Bull. Inset. Basic Sci., Inha Univ.*, **4**:101-106.



### Explanation of Figures

**Fig. 2-7.** Light micrographs of the midgut epithelium from 8th instar larva to just after pupation.

**Fig. 2.** The transverse section of the midgut epithelium of the 8th instar larva. BS: blood side, LS: Lumen side. (X340)

**Fig. 3.** The transverse section of the midgut epithelium in cocoon-spinning, showing the degenerative cell layer and regenerative cell layer. BS: blood side, LS: lumen side. (X340)

**Fig. 4.** The transverse section of the midgut epithelium in 1 day's prepupa. Regenerative cells are differentiated into the form of goblet cell. RC: regenerative cell. (X700)

**Fig. 5.** The transverse section of the midgut epithelium in 2 day's prepupa, showing the degenerative cells are detached to lumen. DC: degenerative cell. (X700)

**Fig. 6.** The transverse section of the midgut epithelium in 2 day's prepupa, showing the new epithelium. (X700)

**Fig. 7.** The transverse section of the midgut epithelium in just after pupation, many vacuoles are showing in the cytoplasm. BM: basement membrane. (X700)

**Fig. 8-22.** Electron micrographs of the midgut epithelium.

**Fig. 8.** The electron micrographs of the columnar cell that secreting materials of the nucleus are observed in the peripheral portion of the nucleus (arrow), LY: lysosomes, MT: microtubules. (X 32,000)

**Fig. 8-1.** The detailed structure of the secreting materials. (X 90,000)

**Fig. 9.** The electron micrographs of the columnar cell in the 8th instar larva. M: mitochondria, LY: lysosomes, P: polysomes, distended sER (arrow). (X 40,000)

**Fig. 10.** The cytoplasmic extrusions in the columnar cell of the 8th instar larva. No microvilli are present on the extrusions itself. They have no cell organelle. CE: cytoplasmic extrusions, LS: lumen side, MV: microvilli. (X 32,000)

**Fig. 11.** The columnar cell and goblet cell of the 8th instar larva. Basal portion of the columnar cell shows deep infolding of the plasma membrane (arrow). Basal portion of the goblet cell shows microvilli. BM: basement membrane, CC: columnar cell, GC: goblet cell.

**Fig. 12.** The apical portion of the goblet cell showing the cavity containing flocculent materials. The large protoplasmic projection is divided into numerous microvilli-like units, and they are formed small channel. CC: columnar cell, GC: goblet cell. (X 16,000)

**Fig. 13.** The regenerative cells are observed in the basal portion of the midgut epithelium, mitochondria (M), nucleus (N), golgi complex (G), rER, and free ribosomes are observed. CC: columnar cell. (X 13,000)

**Fig. 14.** The electron dense granules, mitochondria, rER, Golgi complex, and free ribosomes are observed. BM: basement membrane, G: Golgi complex, N: nucleus, CC: columnar cell. (X 13,000)

**Fig. 14-1.** The detailed structure of the endocrine cells. (X 24,000.)

**Fig. 15.** The degenerative cells of the cocoon-spinning larva. microvilli and aggregated lysosomes of the apical portion are observed. LY: lysosomes, MV: microvilli, N: nucleus, V: vacuole. (X 32,000)

**Fig. 16.** The regenerative cell of the midgut epithelium in the cocoon-spinning larva. The regenerative cavity is observed. M: mitochondria, N: nucleus, RER: rough endoplasmic reticulum, RGC:

goblet cavity of the regenerative cell, V: vacuole. (X 10,000)

**Fig. 17.** The electron micrographs of the midgut epithelium in the 1 day's prepupa. BM: basement membrane, GL: glycogen granule, N: nucleus, V: vacuole, (X 5,000)

**Fig. 18.** The electron micrographs of the midgut epithelium in 1 day's prepupa. The mitochondria are observed in the peripheral portion of the cavity. M: mitochondria, RGC: goblet cavity of the regenerative cell, V: vacuole. (X 10,400)

**Fig. 19.** The electron micrographs of the midgut epithelium in 2 day's prepupa. Accumulated glycogen granules and lysosomes are observed. Circular form materials are observed in the vacuole (arrow). LY: lysosomes, MV: microvilli, V: vacuole. (X 8,400)

**Fig. 20.** The electron micrographs of the midgut epithelium in 2 day's prepupa. A small vacuole contain materials, which they are mainly composed of Ca (arrow). L: lipid droplet, N: nucleus. (X 8,500)

**Fig. 21.** The electron micrographs of the midgut epithelium in just after pupation. Glycogen granules and mitochondria are accumulated in the apical portion of the epithelial cell. M: mitochondria, SV: secretory vesicle. (X 5,500)

**Fig. 22.** The electron micrographs of the midgut epithelium in just after pupation. The wined plasma membrane are showing in the basal portion of the epithelial cell (arrow). BM: basement membrane, L: lipid droplet. (X 8,500)

