

헴프종자 자엽세포의 저장과립에 관한 형태학적 연구

이 나 영^{1,2}, 김 동 민¹, 김 은 수^{1,2,*}

¹건국대학교 이과대학 생명과학과, ²한국헴프과학연구소

Morphological Study of Storage Granules of Cotyledon Cells in *Cannabis sativa* cv. Chungsam

Na Young Lee^{1,2}, Dong Min Kim¹ and Eun-Soo Kim^{1,2,*}

¹Department of Biological Sciences, College of Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

²Korea Hemp Institute, Seoul 143-701, Korea

(Received March 11, 2011; Revised March 24, 2011; Accepted March 25, 2011)

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the hemp (*Cannabis sativa* cv. Chungsam) seed structure and ultrastructure of food reserves by scanning and transmission electron microscopy. We examined the seed coat and embryo consisting of a hypocotyl-radicle axis and two cotyledons. The seed coat consisted of exotesta and endotesta. The exotesta was a mechanical layer with lignified and elongated cells, while endotesta of the underlying layers of the exotesta was consisted of two separated cell layers. The collapsed outer layer of endotesta showed the unique reticulate structures. In cotyledon cells, protein and lipid bodies occupied most of cytoplasm. Protein bodies varied in diameter from 1.8 to 5.0 μm and possessed a protein matrix containing electron-dense globoid crystals. Numerous lipid bodies ranged from 0.8 to 3.0 μm in diameter were distributed around the protein bodies. During the early stages of breakdown, protein bodies rapidly changed their shape into the granular feature, however, lipid bodies were gradually degraded and fused each other. The degeneration process of protein bodies and lipid bodies of cotyledon cells might be correlated with the reports which hemp seeds rapidly lose their ability to germinate.

Keywords : *Cannabis sativa*, Hemp, Cotyledon, Lipid body, Protein Body

서 론

종자는 발아와 유묘(seedlings)의 성장을 위해 3대 영양물질인 단백질, 지질, 탄수화물 등의 저장물질을 배(embryo)의 자엽(cotyledon) 또는 배유(endosperm)와 같은 저장조직에 저장한다(Fosket, 1994). 종자는 이들의 함유량에 따라서 단백질종자, 지방종자, 탄수화물종자 등으로 구분하거나, 배유의 유무에 따라서 유배유종자(albuminous seed)와 무배유종자

(exalbuminous seed)로 구분한다. 배유세포에 양분을 저장하는 유배유종자와는 달리, 무배유종자는 양분을 자엽에 저장한다(Fahn A, 1990). 무배유종자인 헴프(*Cannabis sativa* L.) 종자는 인간의 식품과 동물사료로서 수 천년동안 이용되어 왔다. 헴프종자는 단백질, 지방, 탄수화물, 식이섬유 등과 함께 비타민과 인, 포타슘, 마그네슘, 황, 칼슘, 철, 아연 등을 풍부하게 함유한다. 특히 철과 아연은 지방산 대사에 필수적인 조효소로 역할을 하기 때문에 헴프종자는 영양학적으로 가

본 연구는 2008년도 농림기술개발연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

* Correspondence should be addressed to Dr. Eun-Soo Kim, Department of Biological Sciences, College of Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Ph.: (02) 450-3430, Fax: (02) 3436-5432, E-mail: kimes@konkuk.ac.kr

장 완전한 식품의 하나라고 알려지고 있다(Callaway, 2004).

헴프종자의 단백질은 필수아미노산을 모두 포함한 단순단백질로서 구성된 edestine과 albumin으로 이루어져 있어서 소화가 빠르다. 아울러, 헴프종자에는 양질의 불포화지방산(polyunsaturated fatty acids, PUFAs)이 80% 정도 포함되어 있다. 특히 필수지방산인 리놀산(18:2 omega-6), 알파-리놀렌산(18:3 omega-3)이 2:1에서 3:1의 비율로 함유되어 있어서 건강균형을 잘 조절하는 것으로 알려져 있다(Callaway, 2004). 헴프종자는 이처럼 각종의 양분물질이 이상적으로 함유되어있기 때문에 인간과 포유동물뿐 아니라 곤충과 조류의 성장과 생리활성에 영향을 미친다(Karimi & Hayatghaibi, 2006). 헴프종자의 저장단백질은 초파리를 비롯한 동물의 성장을 촉진시킨다(Lee et al., 2010). 또한, 헴프종자의 불포화지방산은 곤충의 변태와 생식 및 생리(Rees, 1985; Svoda & Thompson, 1985)에 영향을 미치고, 내한성의 증진(McKechnie & Geer, 1993; Overgaard et al., 2005), 광수용기의 흥분 촉진(Chyb et al, 1999)등에 관여할 뿐 아니라, 순환장애 개선(Al-Khalifa et al., 2007), 혈소판 응집의 억제(Prociuk et al., 2006) 및 아토피 피부염 치료(Callaway et al., 2005) 등에도 매우 효과적인 것으로 밝혀졌다. 이처럼 헴프종자는 다른 식물의 종자에 비해 유용성이 크고 다양한 산업분야의 소재로서 효용성이 높기 때문에 기본적인 연구수행의 필요성은 매우 크다. 본 연구는 이러한 기대에 부응하기 위해 투과 및 주사전자현미경을 이용하여 헴프종자의 구조적 특성을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

충청남도 당진군 청삼영농조합연구회로부터 구입한 청삼헴프(*Cannabis sativa* cv. Chungsam)종자를 해부현미경하에서 분리하여 두께 1×1 mm로 자르고, 2시간 동안 실온에서 전고정(25 mM sodium phosphate buffer, 2% glutaraldehyde)하였다. 이들을 동일한 sodium phosphate buffer로 5분씩 3회 세척한 후, 2% osmium tetroxide로 1시간 동안 후고정한 뒤에 5분씩 3회 증류수를 이용하여 세척하였다. 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope) 관찰을 위해서는 농도상승순 ethanol로 40분씩 탈수한 후 isoamylacetate에 보존한 뒤, 임계점건조기(Bioradical E3000)에서 liquid CO₂에 의한 임계점건조(critical point drying, CPD) 과정을 거쳐 조직을 건조시켰다. stub에 고정시킨 조직은 JFC 1110E ion coater(JEOL)를 이용하여 10분간 gold coating한 후, S-3500N SEM(Hitachi)으로 관찰하였다. 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope) 관찰을 위해서는 고정이 끝난 시료를 ethanol 농도상승순으로 탈수한 뒤, Spurr 혼합액에 포매하고 Reichert-Ultracut S ultramicrotome(Leica)으로 semi-section하여 부위

를 확인한 후 은색절편을 200-mesh grid에 수집하였다. 이후 절편조직을 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색시켜 LEO-912AB TEM(LEO)으로 관찰하였다.

결 과

헴프의 열매는 식물학적으로 견과(nut)에 속하지만, 외형적으로 종자처럼 보이기 때문에 관습적으로 열매를 종자로 통칭한다. 열매의 가장 바깥 부분은 포엽(bract)이 싸고 있는데, 한쪽 일부는 열려서 외부로 노출되며 가느다란 관상의 돌출 구조를 이루고 있었다(Fig. 1a). 포엽의 바깥 표면은 많은 비분비모(non-glandular trichome)와 분비모(glandular trichome)로 덮혀 있었으며, 분비모들은 유병분비모(stalked glandular trichome)와 무병분비모(sessile glandular trichome)의 2가지 유형으로 구분되었다(Fig. 1b). 열매의 길이는 보통 2~6 mm, 직경은 2~4 mm의 크기를 갖는데, 포엽이 벗겨진 열매의 바깥 껍질인 과피(pericarp)는 목화된 각두(cupule)에 의해 부분적으로 덮혀 있었다(Fig. 1c). 과피의 바깥에 위치한 파편상의 각두는 과경의 부차혼적인 함몰된 기부쪽에서 모두 융합되어 있었다(Fig. 1d). 과피의 아래쪽에는 두껍고 단단한 종피(seed coat)가 종자 내부의 배(embryo)를 보호하고 있었다. 종피는 두껍고 단단하게 목화된 외종피(exotesta)와 얇은 막상의 내종피(endotesta)로 구성되어 있었다(Fig. 1e). 종피의 안쪽에는 2장의 자엽과 하배축-유근(hypocotyl-radicle) 주축을 이루는 U자형의 배가 종자 내부 전체를 차지하였다(Fig. 1f). 외종피는 목화되고 신장된 파상의 세포들로 구성되어 있었다(Fig. 1g). 그러나, 내종피는 얇은 망상구조를 지니는 외부의 막과 배와 직접 맞닿고 있는 내부의 막 등 2개의 층으로 구성되어 있었다(Fig. 1h).

배는 막상의 내종피를 제거하면 표면이 매끄러워 쉽게 분리되었다(Fig. 2a). 배의 표면은 크기가 다른 장방형의 세포들로 구성되어 있었다(Fig. 2b). 자엽세포(cotyledon cell)에는 구형의 단백질과립(protein body)과 지질과립(lipid body)이 다수 분포하고 있었다. 지질과립은 표면이 매끈한 구형이었지만, 단백질과립은 표면이 불규칙한 형태로 관찰되었다(Fig. 2c, d). 단백질과립은 자엽세포 전체에 모두 분포하면서, 세포 면적의 약 20%를 차지하고 있었다. 단백질과립은 1.8~5.0 μm 크기로서 구형 또는 타원형을 이루었는데 중앙부위의 전자밀도가 높은 globoid crystal 구조와 전자밀도가 낮은 이질적인 주변부위로 구성되어 있었다. globoid crystal 구조의 내부는 격자상을 이루고 있는 경우가 대부분이었다(Fig. 2e~g). 단백질과립의 주변 세포질에는 0.8~3.0 μm 크기의 지질과립이 분포하였다. 종자의 저장기간이 경과되면서 단백질과립은 점차 과립의 주변부위부터 분해되는 양상

이 나타났다(Fig. 2h). 단백질과립의 분해가 일어난 뒤 지질과립도 부정형의 형태를 이루는 분해현상을 나타내었고, 결국 단백질과립과 함께 점차 액포를 형성하였다(Fig. 2i).

고 찰

약 8,000년의 재배 역사를 가지고 있는 헵프는 오랫동안 섬유, 의약, 제지, 건축용 등의 소재로서 다양하게 이용되어 왔지만, 20C 초에 이르러 marijuana로서 남용되면서 이의 사용에 대한 법적 규제가 엄격하게 이루어졌고 헵프의 사용도 급격하게 감소되었다(Bocsa & Karus, 1998). 그러나 21C 초에 서유럽 국가들을 중심으로 환각물질인 tetrahydrocannabinol(THC)의 함량을 현저하게 줄인 신품종이 개발되면서 헵프는 섬유 채취 목적의 줄기와 의약용 물질 목적의 분비모 등에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔지만, 식품 이용 목적인 종자에 대해서는 상대적으로 연구가 거의 이루어지지 않았다(Grotenhermen & Russo, 2002).

대부분의 식물의 종피는 suberin, cutin 등의 지방성 식물 고분자들의 침적이 이루어져 병원균의 침투를 막고 배를 보호하지만 결과적으로 수분의 침투는 저해된다(Kolattukudy, 1980). 일반적으로 종피의 색깔이 어두운 경우는 이러한 소수성 물질의 함량이 높지만, 색깔이 밝은 경우는 이들 물질의 함량이 낮아 물의 침투성이 커지는 경향이 있다(Beisson et al., 2007). 헵프종자는 얇은 갈색의 과피가 종피에 밀착되어 있기 때문에 열매가 아닌 종자로서 잘못 인식되어 왔다. 종자를 둘러싸는 종피는 과피 아래의 단단한 외종피와 육안으로 관찰할 때 녹색을 띠는 막상의 내종피로 구성되어 있다. 실제 종피로서의 기능은 진한 갈색을 나타내고 긴 장방형의 세포들로 치밀하게 구성된 외종피가 담당하는 것으로 사료된다. 밝은 녹색의 내종피는 Fig. 1h와 같이 독특한 망상구조를 이루며 수 많은 공극을 지니고 있어서 투과성을 극대화시키고 있는데, 이러한 구조는 배를 보호하는 동시에 흡수된 물과 산소를 배에 원활하게 공급하기 위한 방안이라고 사료된다.

헵프종자의 자엽세포는 단백질과립과 지질과립이 가득 차 있었지만, 배축세포의 세포질에는 액포로 차있고, 이들 저장과립은 드물게 분포하였다. 이러한 양상은 *Salix*속 식물의 경우와 매우 유사하였다(Maroder et al., 2003). 헵프종자의 단백질과립은 중앙에 전자밀도가 매우 높은 globoid crystal을 지니며 격자 또는 판상구조를 나타내었다. *Pisum*속과 같이 대부분의 식물 종자에서는 globoid crystal이 일부 단백질과립에서만 관찰되지만(Lott et al., 1984), 헵프종자는 모든 단백질과립에서 이 구조가 관찰되었다. 또한, 헵프종자에서는 단백질과립 내에 phytoferritin과립이 전혀 관찰되지 않

았다(Prego et al., 1998). 때때로 Fig. 2f, 2g처럼 단백질과립 간에도 matrix의 크기와 성상에 차이를 갖는 경우도 있었는데, 이런 형태적 차이는 이들이 지닌 단백질의 종류와 분해양상과 상관관계가 있을 것으로 추측된다.

한편, 식물세포내의 지질을 포함하는 과립은 oil body, oil droplet, lipid body, spherosome, oleosome 등으로 다양하게 지칭되는데, 이들은 주로 세포소기관인 지질과립에 저장된다(Huang, 1992). 지질과립은 종자세포 내에서와 추출된 상태에서 구형의 형태를 갖는다. 그러나 성숙한 많은 종자의 세포에서는 주변의 압력에 의해 다소 다른 형태를 지니기도 한다. 지질과립은 0.2~2.5 μm 크기를 갖지만 영양적, 환경적인 요인에 의해서 크기가 달라진다. 또한 같은 종에 있어서도 조직의 종류에 따라 그 속에 포함된 지질과립의 크기가 다소 차이를 갖지만 기본적인 구조는 매우 유사하다고 알려져 있다(Tzen et al., 1993). 일반적으로 성숙한 종자의 지질과립 표면은 인지질 단일층이 둘러싸고 있어서 친수성을 나타낸다. 이러한 지질과립은 세포 안에서나 또는 이들 과립을 세포로부터 분리해 내어도 매우 안정적이며 응집되지 않는다(Huang, 1992). 헵프종자의 지질과립도 배유 세포내에서 단백질과립과 밀착하고 있고 서로 응집되는 양상은 나타내지 않았는데, 이 두 가지 저장과립 표면은 모두 친수성 분자들이 포함되어 있다고 사료된다.

헵프종자는 채종 이후 대부분의 저장과립들이 분해과정에 들어가기 시작한다. 특히 단백질과립은 빠르게 분해되기 시작하여 그 형태와 구조를 소실하지만 지질과립은 단백질과립만큼 분해과정이 빠르지 않다. 이러한 사실은 종자의 저장과립인 지질과립, 단백질과립, 탄수화물과립 등의 합성과 분해과정은 서로 독립적으로 이루어지며 과립간 상관관계가 크지 않다는 타 연구결과와 일치하는 것이다(Finkelstein & Somerville, 1990; Borek et al., 2009). 많은 식물들은 종자가 성숙할 때, 수분소실이 일어나 배의 생리활성을 낮추거나 휴면상태에 들어가도록 한다. 완두종자도 자엽의 내부 세포로부터 외부 세포 쪽으로 점차적인 수분 소실이 일어나고 전분과립이 축적됨으로써 종자성숙이 이루어진다(Garnczarska et al., 2008).

헵프종자는 채종 첫해의 발아율이 가장 높고 그 이후 점차 감소하여 채종 후 2년부터는 전혀 발아하지 않는다고 보고되었다(Bocsa & Karus, 1998), 본 연구의 결과에서 나타난 것과 같이 단백질과립의 급격한 소실과 점진적인 지질과립의 소실현상은 채종 이후 2년까지 계속적으로 일어나는 현상으로서 이들 저장과립이 발아에 직접 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 헵프종자는 콩과식물 다음으로 많은 단백질과 지질을 지니고 있는 식물이다. 앞으로 오존층 파괴가 광범위하게 진행 될수록 자외선 및 우주선의 유입이 증가하면서, 자외선에 민감한 콩과식물의 생산감소가 예상되고 있다. 헵프는 환경적응력이 탁월할 뿐 아니라 생장이

매우 빠르고 재배가 어렵지 않아서 향후 인류의 식량문제 해결에 공헌할 수 있으리라 예상된다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 헴프종자에 관한 보다 깊이있는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Al-Khalifa A, Maddaford TG, Chahine MN: Effect of dietary hempseed intake on cardiac ischemia-reperfusion injury. *Amr J Phusiol* 292 : 1198-1203, 2007.
- Beisson F, Li Y, Bonaventure G, Pollard M, Ohlrogge JB: The acyltransferase GPAT5 is required for the synthesis of suberin in seed coat and root of *Arabidopsis*. *Plant Cell* 19 : 351-368, 2007.
- Bocsa I, Karus M: The cultivation of hemp. Hemptech, California, pp. 36-38, 1998.
- Borek S, Pukacka S, Michalaski K, Ratajczak L: Lipid and protein accumulation in developing seeds of three species: *Lupinus luteus* L., *Lupinus albus* L., and *Lupinus mutabilis* Sweet. *J Exp Bot* 60(12) : 3453-3466, 2009.
- Callaway JC: Hempseed as a nutritional resource: an overview. *Euphytica* 140 : 65-72, 2004.
- Callaway JC, Schwab U, Harvima I, Halonen P, Mykkanen O, Hyvonen P, Jarvinen T: Efficacy of dietary hempseed oil in patients with atopic dermatitis. *J Dermatolog Treat* 16 : 87-94, 2005.
- Chyb S, Raghu P, Hardie RC: Polyunsaturated fatty acids activate *Drosophila* light-sensitive channels TRP and TRPL. *Nature* 397 : 255-259, 1999.
- Fahn A: Plant anatomy. pp. 490-531, Pergamon Press, Oxford, 1990.
- Finkelstein RR, Somerville CR: Three classes of abscisic acid (ABA)-insensitive mutations of *Arabidopsis* define genes that control overlapping subsets of ABA responses. *Plant Physiol* 94 : 1172-1179, 1990.
- Fosket DE: Plant Growth and development. Academic Press, San Diego, pp. 441-450, 1994.
- Garczarska M, Zalewski T, Wojtyla L: A comparative study of water distribution and dehydrin protein localization in maturing pea seeds. *Plant Physiol* 166(12) : 1207-1220, 2008.
- Grotenhermen F, Russo E: Cannabis and cannabinoids. The Haworth Integrative Healing Press, New York, pp. 411-426, 2002.
- Huang AH: Oil bodies and oleosins in seeds. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 43 : 177-200, 1992.
- Karimi I, Hayatghaibi H: Effect of *Cannabis sativa* L. seed (hempseed) on serum lipid and protein profiles of rat. *Pakistan Journal Nutrition* 5 : 585-588, 2006.
- Kolattukudy PE: Biopolyester membranes of plants: Cutin and suberin. *Science* 208 : 990-1000. 1980.
- Lee MJ, Park MS, Hwang S, Hong YK, Choi G, Suh YS, Han SY, Kim D, Jeun J, Oh CT, Lee SJ, Han SJ, Kim D, Kim ES, Jeong G, Cho KS: Dietary hempseed meal intake increases body growth and shortens the larva stage via the upregulation of cell growth and sterol levels in *Drosophila melanogaster*. *Mol Cells* 30 : 29-36, 2010.
- Lott JN, Goodchild DJ, Craig S: Studies of mineral reserves in pea (*Pisum sativum*) cotyledons using low-water-content procedures. *Aust J Physiol* 11 : 459-469, 1984.
- Maroder H, Prego I, Maldonado S: Histochemical and ultrastructural studies on *Salix alba* and *S. matsudana* seeds. *Trees* 17 : 193-199, 2003.
- McKechnie SW, Geer BW: Long-chain dietary fatty acids affect the capacity of *Drosophila melanogaster* to tolerate ethanol. *J Nutr* 123 : 106-116, 1993.
- Overgaard J, Sorensen JG, Petersen SO, Loeschcke V, Holmstrup M: Changes in membrane lipid composition following rapid cold hardening in *Drosophila melanogaster*. *J Insect Physiol* 51 : 1173-1182. 2005
- Prego I, Maldonado S, Otegui M: Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Ann Bot* 82 : 481-488, 1998.
- Prociuk M, Edel A, Gavel N, Deniset J, Ganguly R, Austria J, Ander B, Lukas A, Pierce G: the effects of dietary hempseed on cardiac ischemia/reperfusion injury in hypercholesterolemic rabbits. *Exp Clin Cardiol* 11 : 198-205. 2006.
- Rees HH: Biosynthesis of ecdysone. *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Pergamone Press, Oxford, pp. 249-294, 1985.
- Svoda JA, Thompson MJ: *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Pergamon Press, Oxford, pp. 137-176, 1985.
- Tzen JT, Cao Y, Laurent P, Ratnayake C, Huang AHC: Lipids, protein, and structure of seed oil bodies from diverse species. *Plant Physiol* 101 : 267-276, 1993.

< 국문초록 >

헴프종자는 보통 길이 2~6 mm, 직경 2~4 mm의 크기를 갖는 무배유종자로서 두껍고 단단한 외종피와 얇은 녹색의 내종피에 의해 둘러싸여 있었다. 외종피의 외부는 과피가 이를 전체적으로 둘러싸고 있었으며 과피의 표면은 부분적으로 목화된 각도가 덮고 있었다. 파편상의 각두는 과경의 부착흔적인 함몰된 기부쪽에서 합쳐있었다. 종피의 내부에는 2장의 자엽과 하배축-유근 주축으로 구성된 U자형의 구부러진 배가 발달하였다. 배의 표피조직은 크기가 다른 장방형 세포들로 구성되어 있었으며 자엽을 이루는 세포는 1.8~5.0 μm의 단백질과립과 0.8~3.0 μm의 지질과립이 분포하였다. 단백질과립의 중심부에는 전자밀도가 높은 globoid crystal 구조가 형성되어 있었고, 내부는 격자구조를 이루고 있었다. 한편, 단백질과립의 가장자리는 전자밀도가 낮은 이질적인 matrix로 구성되어 있었다. Globoid의 단백질과립은 이후 주변부로부터 분해되는 양상이 나타났다. 단백질과립이 분해가 일어난 뒤 지질과립은 불규칙한 형태로 분해, 소실되었다. 이들은 이후 단백질 과립과 융합되어 큰 액포를 형성하였다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1a.** A whole bract with numerous glandular and non-glandular trichome on the external surface.
- Fig. 1b.** Higher magnification of a bract showing a large number of peltate glandular trichomes (PT) on the surface.
- Fig. 1c.** An entire seed showing cupule (CP) and pericarp (PR).
- Fig. 1d.** Proximal region of a seed bottom exhibiting fused cupules (CP) originate from the receptacle position. Note the pitted scar of a fruit stalk (SF) on the bottom of seed.
- Fig. 1e.** Transverse section of a seed showing parts of the hypocotyl- radicle (HY) axis and cotyledons (CO) encompassing exotesta (XT), pericarp (PR) and cupules (CP).
- Fig. 1f.** Transverse section of a seed showing two cotyledons (CO) surrounded with exotesta (XT).
- Fig. 1g.** Higher magnification of a seed coat revealing the layers of the testa. Note the outer layer of pericarp and the middle thick layer of exotesta (XT) and the inner endotesta (NT).
- Fig. 1h.** Higher magnification of a layer of endotesta underlying exotesta having thin-walled and reticulate structure with large pits.
- Fig. 2a.** An isolated embryo (EM) from a seed showing a part of cotyledon surface.
- Fig. 2b.** Close-up of cotyledon surface consisting of long and short rectangular cells.
- Fig. 2c.** Cotyledon cells containing numerous protein and lipid bodies.
- Fig. 2d.** Higher magnification of cotyledon cells showing protein bodies (PB) and lipid bodies (L).
- Fig. 2e.** Protein bodies consisting of a proteinaceous matrix containing one globoid crystal.
- Fig. 2f.** Two protein bodies (PB) of a cotyledon cell consisting of protein matrix and a globoid crystal (GL). Note the difference of electron density of periphery region between two protein bodies.
- Fig. 2g.** A protein body containing a prominent globoid crystal (GL). A large number of lipid bodies (L) are found around a protein body.
- Fig. 2h.** Periphery region of the protein bodies appeared granular during the early stages of breakdown.
- Fig. 2i.** Degeneration of storage granules and the formation of vacuoles during the later stage of breakdown.



