

人蔘(*Panax ginseng* C.A. Meyer) 種皮의 構造 및 分化에 관한 研究

金 宇 甲·金 恩 洙*·鄭 炳 甲

(高麗大學校 理科學科 生物學科·*順天鄉大學 理學部 生物學科)

A Study on Structure and Differentiation of Seed Coat of *Panax ginseng* C.A. Meyer

Kim, Woo-Kap, Eun-Soo Kim* and Byung-Kap Jeong

(Department of Biology, Korea University, Seoul and

*Department of Biology, Soonchunhyang University, Ohnyang)

ABSTRACT

Structure and differentiation mechanism of the seed coat of *Panax ginseng* are studied with light and electron microscopes to clarify the developmental processes of seed coat and the structural changes during the differentiation of the seed. The seed coat of ginseng is differentiated from the inner cell layers of ovary wall, which can be compared with the seed coat differentiated from integument(s) in other plants. The single integument is differentiated into endothelium, which is degenerated to one layer of 4 μm in thickness, composed of remnants of cell wall components in fully ripened seed. The ripened seed coat is composed of three layers; fringe layer, inner layer and palisade layer, and all of them are crossed at right angles with one another. This may be the cause of protection of the kernel from other mechanical injuries. The thickness of fully ripened seed coat is about 300~600 μm , and arrangements of sclereids are irregular. However the raphe region of seed coat is thin about 200 μm in thickness and sclereids in that region are arranged regularly. This is the important cause for the cleavage of the seed coat during post-maturation process. The vascular bundles on the raphe are still remaining after sarcocarps are removed, and one of the branches of vascular bundles entered into the seed coat through the hilum and extended to chalazal region. During post-maturation process, the supply of water being necessary for growth of embryo may be accomplished by the vascular bundles entered into the seed coat through the opened hilum.

緒 論

종자식물의 종피는 미생물, 곤충, 기계적인 상해 및 수분증발 등으로부터 종핵(kernel)

본 연구는 1984년도 한국 과학재단 학술 연구비 지원에 의하여 이루어 졌음.

을 보호하는 기능을 가지고 있는데, 종자의 산포를 돕는 역할을 할 수 있도록 특수하게 분화된 종류도 있다(Esau, 1977).

종자형성 과정에서 종피에 상처를 내면 배의 발생이 비정상적이 되거나 중지된다(Winter, 1960; Wolf and Baker, 1972). Martin(1946)은 배의 모양, 크기 및 위치를 기준으로 종자를 3군 12형으로 구분하였으며, 종피의 특징은 분류군의 형질로 많이 이용되어져 왔다(Gaube and Pryor, 1958; Vaughan and Whitehouse, 1971; Whiffin and Tomb, 1972). 주사형 및 투과형 전자현미경을 사용한 종피의 표면 및 내부의 미세구조는 분류군의 유연관계를 규명하는 중요한 형질이 될 수 있음이 제기되고 있다(Ramchandani *et al.*, 1966; Singh, 1967; Wunderlich, 1967; Heywood, 1969; Chuang and Heckard, 1972; Singh and Dathan, 1973). 특히 Chuang과 Heckard(1972)는 주사전현미경을 사용하여 Scrophulariaceae에서 23종의 종자를 종피의 형태에 따라 기본 4형으로 구분하였으며, Whiffin과 Tomb(1972)은 Melastomataceae의 종자를 5형으로 구분한 바 있다.

종피는 배주에서 유래한 한 층 또는 두 층의 주피에서 분화되는데(Esau, 1965, 1977; Kozolwski, 1972; Fahn, 1982), Cucurbitaceae (Singh, 1967; Singh and Dathan, 1972, 1973), *Magnolia* (Earle, 1938), *Indigofera enneaphylla* (Deshpande and Untawall, 1971), *Crotalaria* 및 *Tephrosia* (Narang and Chandra, 1977) 등은 외주피에서, *Tridax trilobata* (Kapil and Sethi, 1963), *Anisomeles indica* (Jaitly, 1966), *Browallia demissa* (Karuma, 1968), *Catharanthus pusillus* (Khan, 1970), *Ipomoea* (Kaur and Singh, 1970) 등은 단일주피에서, *Bergia odorata* (Dathan and Singh, 1971), *Viola tricolor* 및 *Ionidium suffruticosum* (Singh, 1962), Euphorbiaceae (Singh, 1954), *Turnera ulmifolia* (Raju, 1956), *Lepidium sativum* 및 *Thlaspi perfoliatum* (Prasad, 1977) 등은 내주피와 외주피 모두에서 종피가 분화된다.

한편 *Haplanthus tentaculatus* (Phatak and Ambegaokar, 1961) 및 *Elytraria acualis* (Johri and Singh, 1959)의 종자에서는 배유의 바깥층이 종피의 기능을 대신하며, Inoh(1970)은 내주피에서 유래한 종피를 내종피, 외주피에서 유래한 종피를 외종피로 구분하고 종에 따라서는 주피와 주심조직이 함께 종피형성에 참여하는 경우도 있다고 보고한 바 있다.

인삼은 결실한 홍숙종자를 채종하였을 때에는 배가 미성숙 상태이므로(Harn and Hwang, 1963; Hwang, 1966), 채종한 종자를 후숙조작(Kim, 1964; Hwang and Yang, 1973)을 거쳐야 하는 특수성을 지니고 있다. 한편 인삼의 종자에 관한 연구로는 배우체형성(Harn and Hwang, 1963; Hwang *et al.*, 1969; Kim, 1984), 배우형성의 초기발생(Kim, 1964), 후숙 과정에 따른 배 및 배유의 미세구조 변화(Kim *et al.*, 1979) 등이 있을 뿐이다.

또한 인삼은 분류학적 위치가 두릅나무과(Araliaceae)에 해당되는 바, 이 과에 속하는 종은 단일주피로서 주피는 endothelium으로 분화되며 종핵은 내과피에 의해서 둘러싸이고 이 내과피가 목질화되어 종피로서의 실제적인 기능을 하는데 일반적으로 종피라고 지칭되고 있다(Corner, 1976).

따라서 본 연구는 인삼의 종자형성 과정에서 종피의 분화를 추적하여, 주피에서 유래한 endothelium과 내과피에서 유래한 기능상의 종피와의 관계를 명확히 구분하고, 홍숙종자의 종피구조와 후숙 과정에 따른 종피의 구조변화를 연관지어 규명함으로써 배성숙과 종피구조의 상관관계, 종피의 수분투과 및 개갑기작을 규명하고자 본 실험을 실시하였다.

材料 및 方法

실험에 사용된 재료는 강화의 인삼 재배단지 및 인삼 연초 연구소 시험 경작장 실험포장(수원 소재)의 삼포에서 재배되고 있는 4~5년생 인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer)을 선정하여 사용하였다.

4월 하순 개화기 직전부터 7월 중순 과육이 홍숙될 시기까지는 수시로 현지 출장하여 실험군별로 적출하여 공시재료로 사용하였다. 채종후의 종자는 과육을 제거하고 2일간 음건시킨 후 종자와 모래를 1:5의 비율로 혼합한 지상부 설치법으로 개갑시켜서 사용하였다.

광학현미경적 방법. 공시 재료를 buffered neutral formalin, FAA 등에 고정하고 통상의 방법으로 절편을 제작하여 safranin-fast green으로 염색하였으며 일부 재료는 Hayat(1970)법에 따라 약 4°C의 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde(phosphate buffer, pH 6.8)에 2시간 전고정 한 후 완충용액(0.1 M phosphate buffer, pH 6.8)으로 20분씩 3회 세척하고 2% OsO₄로 4°C에서 2시간 후고정 하였다. 다시 동일한 완충용액으로 세척하여 ethanol로 탈수한 후 propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액(Anderson and Andre, 1968)에 포매하였다. 포매된 재료는 Sorvall Porter Blum MT-II형 및 LKB-V형 ultramicrotome으로 1 μm두께의 절편을 만들어서 methylene blue 및 basic fuchsin으로 염색하여 관찰하였다. 홍숙종자의 종피는 고정과 포매를 거치지 않고 직접 10 μm 두께로 잘라서 safranin과 fast green으로 염색하였고 종피의 보강세포와 유관속은 Jeffery용액을 사용하여 해리시킨 후 1% safranin으로 염색하여 관찰하였다.

한편 조직화학적 방법으로는 Sudan III, IV 및 Sudan Black B 반응(Johansen, 1940), IKI반응(Jensen, 1962), Alcian blue(pH 2.5)-PAS반응(Kelly, 1966) 등을 실시하였다. 또한 배의 후속과정에 필요한 수분투과기작을 밝히고자 종피의 필요한 부위를 paraffin으로 봉한 다음 0.5~1% methylene blue, basic fuchsin, neutral red 등의 색소를 사용하여 다양한 방법으로 색소의 투과도를 조사하였다.

투과전자현미경적 방법. 광학현미경적 방법과 동일하게 Epon-Araldite혼합액에 포매된 시료를 LKB-V형 ultramicrotome으로 은색절편을 제작하였고 uranyl acetate 및 lead citrate로 이중 염색하여 JEM 100 CX-II 전자현미경(80 KV)으로 관찰하였다.

주사전자현미경적 방법. 홍숙종자, 과육을 제거하고 건조시킨 종자, 후속 과정중인 종자, 개갑된 종자 등의 종피구조를 관찰하기 위해서는 각 시기별 재료의 필요한 부위를 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde에 2시간 전고정 시킨후 2% OsO₄로 후고정 하였다. Alcohol 농도상승 순으로 무수 alcohol까지 완전 탈수한 다음 isoamyl acetate로 치환하여 LADD 2800 critical point dryer로 건조시켰다. 이 시료를 brass stub에 부착시킨후 JFC-1100 ion sputter로 gold coating하여 JEM T-300형 주사전자현미경(15KV)으로 관찰하였다. 한편 종피의 단면을 관찰하기 위해서는 고정한 재료를 무수 alcohol까지 완전 탈수시킨 후 액체 질소를 사용하여 급냉시킨 다음 fracture시키고 isoamyl acetate로 치환한 후 상동의 방법으로 실험을 실시하였다.

結 果

인삼의 자예는 2심피 4배주로 이루어져 있는데(Kim, 1984) 하나의 심피에는 2개의 배주가 존재하였다. 도생배주는 계속 성장하여 배낭을 형성하였지만 직생배주는 점진적으로 퇴화하였다. 주피는 단일이며(Fig. 1), 배주에서 배낭모세포가 형성되기 전의 지방벽은 10~15층의 세포가 규칙적인 배열을 함으로써 이미 내과피로서의 구조를 갖추고 있었다(Figs. 1, 3). 초기 지방벽의 가장 안쪽 세포는 수층분열을 하였고 두번째 세포층은 병층 분열을 하여 두 세포층은 서로 직각을 이루고 배열하였다(Figs. 1, 2, 5). 가장 안쪽의 세포는 약 $5\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ 크기의 커다란 핵과 뚜렷한 인을 가지고 있었으며(Fig. 2), 분화가 진행될수록 이들 세포는 신장되었고 세포질은 점차 소실되었으며 인접 세포와의 사이에는 원형질 연락사(화살표)가 관찰되었다(Fig. 4).

인삼의 과피는 세포의 크기가 작고 조밀하게 배열되어 실제로 증피의 기능을 수행하는 내과피와, amyloplast를 다수 갖고 과육으로 발달하는 중과피, 유관속이 분포되어 있고 amyloplast를 지니지 않으며 과벽으로 분화하는 외과피로 구분되었다(Fig. 3). 분화가 더욱 진행된다면 내과피는 세 층으로 구분되어지는데 가장 안쪽에 매우 조밀한 한 층의 세포층과, 계속해서 이와 직각을 이루고 병층분열하는 약 4~5층의 세포층, 그 바깥쪽에 이와 직각을 이루는 약 7~8층의 원통형 세포층이 수층분열을 하면서 조밀하게 배열하고 있었다. 내과피의 바깥 세포층은 세포벽의 비후와 목질화가 현저하게 진행되므로 인해서 이같은 세포벽의 비후가 일어나지 않은 중과피와는 광학현미경 하에서도 쉽게 구별되었다(Fig. 5).

내과피의 바깥층 세포는 대체로 핵이 세포의 중앙에 위치하였는데, 뚜렷한 인을 지니는 것이 특징적이었고(Fig. 6) 세포의 기부에는 대부분 액포로 채워져 있었으며 세포질 내에는 lipid droplet, mitochondria(Fig. 7), Golgi complex(Figs. 7, 8), 전분립(Fig. 8), 평판상의 protein crystal(Fig. 9) 등이 자주 관찰되었다. 특히 Golgi complex는 잘 발달된 다수의 Golgi vesicle을 지니고 있었다(Fig. 8).

내과피의 분화가 점차 진행되면서 바깥층을 이루고 있는 원통형의 세포에서는 세포벽이 붕괴되고(Figs. 10, 11) 이러한 두 세포는 서로 융합하여 하나의 커다란 세포를 형성하였다. 한편 분화가 많이 진행된 내과피의 가장 안쪽 세포는 형태가 다소 비틀어진 모양을 하고 있었는데, 세포질은 대부분이 소실되어 있었다(Fig. 12). 내과피의 2차벽 비후는 가장 안쪽의 fringe layer 에서부터 시작되었으며 2차벽으로 비후된 세포는 원형질막이 세포벽으로부터 분리되어 있었다(Fig. 14). 홍숙직전의 종자(Figs. 15, 16)의 증피는 홍숙종자(Figs. 17, 18)에 비해서 보강세포의 2차벽 비후가 불완전하였으며 유연벽공의 분포도 훨씬 적었다. 홍숙종자의 증피를 인위적으로 파괴하여 그 단면을 주사전자현미경으로 관찰하면 palisade layer에는 긴 원주상의 보강세포가 불규칙한 배열을 하고 있었으며 보강세포의 2차벽에는 수 많은 유연벽공을 관찰할 수 있었다(Fig. 18).

한편 홍숙종자의 증피는 크게 세 층으로 구별 되었는데 가장 안쪽에 한 층의 fringe layer, 중간층인 4~5세포층의 inner layer, 그리고 바깥쪽의 불규칙한 palisade layer로 이루어지고 있었다. 이들은 부위에 따라서 대체로 $300\sim 600\mu\text{m}$ 정도의 두께를 지니고 있었다(Figs. 17, 18).

또한 세포화학적 방법으로 실험을 실시한 결과, 내과피와 외과피는 alcian blue(pH 2.5)에, 중과피는 PAS에 강한 양성반응을 나타내었으나 Sudan III, IV 및 Sudan black B에는 과피 전체가 음성반응을 나타내었고 홍숙종자의 종피는 IKI 반응에 음성을 나타내었다.

또한 색소를 사용한 실험에서는 대부분의 색소가 열려진 hilum을 통해서 종피 내부로 투과되었으며 paraffin으로 hilum을 봉하면 색소의 투과가 전혀 일어나지 않았다.

액체질소를 사용하여 급냉시킨 다음 fracture시켜서 관찰한 홍숙종자의 종피는(Fig. 19) 인위적으로 파괴한 종피에 비해 보강세포의 배열면을 따라서 보다 균일하게 fracture 되었다. 또한 홍숙종피를 구성하고 있는 보강세포의 형태를 알아보기 위해서 개개의 보강세포를 해리시켜 본 결과 다양한 형태의 sclereid가 관찰되었던 바 fringe layer에는 결가지가 나지 않은 filiform sclereid가 분포하였고, inner layer에는 결가지가 약간 있으며쪽에 비해 길이가 긴 filiform sclereid가, 그리고 palisade layer에는 길이가 짧고 결가지가 많은 osteo-sclereid가 주로 분포해 있었다(Fig. 20).

종자가 성숙함에 따라 외과피를 이루고 있는 세포는 점차 붕괴되었고, 이곳에 분포해 있던 유관속은 종자가 홍숙됨에 따라 종피의 표면과 접하며 위치하였다. 봉선을 따라서 분포된 유관속은 일부가 분지하여 hilum을 통해서 종피의 내부로 들어가고 endothelium의 표면과 접하여 chalazal region까지 뻗어 있었다(Fig. 21). 유관속이 분포되어 있는 봉선의 단면은 주변의 다른 부위에 비해 그 두께가 약 200 μm 정도로 얇고 보강세포의 배열이 매우 규칙적이었으며(Fig. 22), 봉선에 분포해 있는 유관속은 수십개가 모여서 하나의 다발을 이루고 있었다(Fig. 23). 각각의 유관속을 해리시켜 본 결과 계분상 도관(Fig. 24 b)과 가도관(Fig. 24 a, c)이 함께 관찰되었다.

봉선의 안쪽면(fringe layer)은 길이가 서로 같은 보강세포가 규칙적으로 배열하여 그 끝이 일정하였으며(Fig. 25), 봉선의 단면은 주위의 다른 부위에 비하여 그 두께가 얇고 palisade layer, inner layer 모두 보강세포의 배열이 규칙적임을 알 수 있었다. 후숙과정(배성숙)중인 종자의 종피는 홍숙종자의 종피에 비해 그 구조가 거의 변화가 없었으나 후숙과정이 완료된 종자의 종피는 봉선을 따라서 종피가 열개되어지는 변화가 관찰되었다(Figs. 26, 27). 이러한 변화가 후숙과정이 완료된 종자에서만, 또한 종피의 봉선부위를 따라서만 일어나고 다른 부위에서는 일어나지 않음으로 인해서 배성숙에 따른 종피의 구조변화는 미성숙 상태의 배가 발아능을 가진 신숙된 배로 유도되는 과정에 반드시 필요한 종피 구조변화임이 확인되었다.

주피에서 분화된 endothelium은 초기에는 약 15~20층의 세포로 이루어져 있었다(Fig. 30). endothelium의 외면에는 hilum을 통해서 종피의 안쪽으로 들어온 유관속이 존재하였고 이들 endothelium의 세포질은 종자형성이 진행됨에 따라 점차 붕괴되었다(Fig. 31). 종자형성이 더욱 진행되면서 endothelium은 약 5~6층의 세포층으로 퇴화되는데 이 시기에 이르러 세포질은 대부분 소실되어 있었다(Fig. 32). 배유의 형성이 거의 완료된 홍숙직전의 종자에서는 endothelium을 이루는 세포가 납작한 형태를 하고 있었으며 세포질은 거의 소실되어 있었다(Figs. 33, 34). 홍숙종자에서는 endothelium이 약 4 μm 두께로 퇴화되어 있었는데 세포질은 전혀 찾아볼 수 없었으며 세포벽 성분으로 추정되는 잔유물만이 3~4층을 이루고 남아 있었다(Fig. 35).

考 察

종자식물의 종피는 단일 주피성 (*Tridax*, *Anisomeles*, *Browallia*, *Catharanthus*, *Ipomoea*), 외주피성 (*Cucurbitaceae*, *Magnolia*, *Indigofera*, *Crotalaria*, *Tephrosia*) 양 주피성 (*Bergia*, *Viola*, *Ionidium*, *Lepidium*, *Thlapsi*, *Turnera*, *Abelmoschus*, *Euphorbiaceae*, *Phaseolus*) 등으로 구분되나 *Haplanthus tentaculatus* (Phatak and Ambegaokar, 1961) 및 *Elytraria acualis* (Johri and Singh, 1959)에서는 배가 성장함에 따라 주피조직이 흡수되어 퇴화하고 대신 배의 바깥층이 종피의 기능을 수행한다.

인삼에 있어서는 배낭이 형성되기 전에 이미 지방벽의 일부가 세포배열을 달리하여 내과피로 분화하였다. 이 내과피의 2차벽 비후가 이루어지면 견고하게 되므로 결국 종피로서의 기능을 하게 되며 주피조직은 초기에 약 15~20층의 세포층으로 분화된 다음부터 점차 퇴화하게 되어 홍숙종자에 이르러서는 약 4 μm 두께의 세포벽 잔유물로 생각되는 층만이 잔존하고 있었다.

이것은 두릅나무과에 속하는 종은 내과피를 구성하는 세포들이 특수화하여 실질적인 종피로서의 기능을 수행하므로 이를 종피로 보아야 한다는 Corner(1976)의 보고와 일치하는 것으로서 인삼의 경우에는 주피에서 유래한 조직은 endothelium으로 분화되며 내과피에서 유래한 조직이 기능상의 종피라 함이 타당하리라 생각된다.

분화초기의 종피에서 가장 안쪽 한 층의 세포는 수층분열을 하지만 2~5 번째 층은 병층분열을 하므로써 이 두 층은 서로 직각을 이루며 위치하였다. 6~14 번째 층은 다시 수층분열을 하여 원통형의 세포가 조밀하게 배열하고 있었는데, 이 층은 중간의 세포층과 다시 직각을 이루며 배열하였다. 이러한 결과는 성숙종피로 분화됨에 따라 기계적인 보강작용을 더욱 강하게 하기 위한 세포분열 방식이라 할 수 있다. 홍숙종자의 종피는 크게 세 층으로 구분되었던 바, 가장 안쪽 한 층의 세포로 된 fringe layer, 이와 직각을 이루고 배열된 4~5 층의 inner layer, 그리고 inner layer와 직각을 이루고 배열된 약 7~8 층의 palisade layer로 이루어져 있었다. 이러한 세포층의 배열은 두껍고 단단한 종피를 가진 종자에서 특징적인데 종핵을 보호하기 위한 기계적인 보강작용을 하기 위함은 물론 종자의 휴면과도 관계된 특수화된 구조라 할 수 있다. 2차벽의 비후는 fringe layer에서 시작되어 palisade layer까지 비후가 완료되면 유연벽공(Figs. 15, 17)의 형성도 거의 끝나게 되고 종자는 홍숙과정을 거치게 된다.

Singh(1961)은 *Cucurbitaceae*에서 성숙종피를 6층으로 구분하였으며 Govil(1971)은 *Convolvulaceae*의 종피를 3층으로 구분하고 palisade cell은 배열을 다시하여 두 층을 이룬다고 하였던 바, 이는 모두 기계적인 보강작용을 하기 위한 구조라고 보고하였다.

인삼의 종피는 세 층의 보강세포들로 이루어져 있고 역시 기계적인 보강작용을 강하게 할 수 있는 구조로 이루어져 있는 바, 이는 Singh(1961) 및 Govil(1971)의 결과와 일치하는 것이고 이와 같은 견해로 이루어보면 계통학적으로 진화한 종에 있어서는 종피의 구조가 더욱 분화하여 보다 복잡하고 다양한 구조를 지니고 있으리라 짐작되나 이것에 관해서는 더 많은 종을 대상으로 연구가 진행되어야 하리라 생각된다.

한편 세포화학적 실험결과에서 보면, 분화중인 내과피와 외과피는 alcian blue(pH 2.5)

에 양성반응을 나타내었던 바, 이는 acid mucopolysaccharide가 존재함을 보여주는 것이고 이러한 성분은 Golgi complex에서 분비되는 것이 아닌가 생각된다. 또한 종과피는 PAS에 양성반응을 나타내었던 바, 이는 종과피의 세포에 다수 존재한 전분립이 반응한 결과라 하겠다. 또한 홍속종피는 Sudan III, IV 및 Sudan black B와 IKI 반응에 모두 음성을 나타내었고 이는 홍속종피에는 지질성분이 존재하지 않음을 나타내는 것이라 생각된다.

홍속종자의 종피를 구성하고 있는 보강세포는 크게 3가지 형의 sclereids로 구분되었는데, 가장 안쪽의 fringe layer에는 전형적인 filiform sclereid가, 가장 바깥쪽의 palisade layer에는 길이가 짧으며 가지가 많이 나있는 osteosclereid가 주로 분포하였으며, 중간층인 inner layer에는 이상의 2가지 형태의 특징을 함께 지닌 중간형의 filiform sclereid가 존재해 있었다. 특히 palisade layer를 이루고 있는 osteosclereid는 그 형태가 매우 불규칙하여 종피의 기계적인 지지작용을 더욱 강하게 할 뿐 아니라 과육세포와의 결합을 보다 효과적으로 하게 하는 것으로 사료된다.

종피는 종핵을 기계적으로 보호하는 기능 이외에 건조조건에 따라 발아를 조절하는 기능도 하는데, Hyde(1954)는 Papilionaceae의 종피는 불투수성이나 hilum이 열려져 있어서 종자의 상대습도를 조절한다고 하였다. Marbach와 Mayer(1974)는 *Pisum elatius*의 종피는 공기중에서 건조시키면 수분이 투과하지 않으나 진공상태에서 건조시키면 투수성으로 변한다고 하였는데 이는 진공상태에서 건조시킬 때 초래되는 종피의 구조변화 때문이라고 주장하였다. 불투수성인 종피에는 phenolics 및 catechol oxide 등의 함량이 높는데(Marbach and Mayer, 1974), 이러한 종자 내부로의 수분투과는 hilum이나 이곳에 분포된 가도관에 의해서 일어난다고 보고된 바 있다. 한편 Cucurbitaceae의 외주피에는 유관속이 존재하며(Singh and Dathan, 1972), Papilionoideae종자의 hilum에는 유사 가도관(tracheoid)이 존재한다는 구조적 특성이 밝혀지고 있다(Lersten, 1979, 1982). Dell(1980)은 *Albizia lophantha*에서는 수분의 투과가 유관속과 strophilar plug에 의해서 조절되며 유관속은 종피의 안쪽까지 뻗어 있다고 하였다. 또한 Grear와 Dengler(1976)는 *Eriosema glaziovii* 종피의 hilum에는 가도관이 존재한다고 하였고 Mohana(1975)는 *Michelia champaca*의 외과피에는 유관속이 분포하고 있어서 일부가 분지하여 종자의 chalazal region까지 뻗어 있다고 보고하였다. 종피의 수분투과는 cuticle(Zimmerman, 1937; Watson, 1948), palisade cell(Dell, 1980) 및 Pectin 성분의 구조물(Werker and Fahn, 1975)에 의해서 억제되기도 하는데 Hyde(1954)는 세포벽에 quinone 성분이 존재하면 불투수성이 된다고 보고한 바 있다.

인삼에 있어서는 종자형성 과정에서는 외과피에 유관속이 분포해 있으며 홍속종자로 분화되면 과육이 퇴화되고 유관속은 종피와 접해서 위치하게 된다. 봉선을 따라 위치한 유관속은 분지하여 일부가 hilum을 통해서 종피의 안쪽으로 들어가서 종핵의 외면을 싸고 있는 endothelium의 표면까지 연결되어 뻗어 있었다. 이러한 유관속은 수신편개가 다발을 이루고 있었으며 도관과 가도관이 함께 관찰되었다. 이러한 결과로서 인삼은 종자형성 과정에서는 유관속을 통해서 종핵에 대한 수분공급이 이루어지고 있으나 후속과정에서는 과육이 제거되므로써 hilum이 완전히 열려져 있고 봉선을 따라서 분포된 유관속은 계속해서 남아있게 되는 바, 후속과정에 필요한 수분은 유관속과 열려진 hilum을 통해서 효과적으로 공급되리라 추정된다. 이러한 가능성은 색소를 사용한 실험에서도 대부분의 수분이 유관속과 hilum을 통해서 투과됨을 확인하므로써 확실시 되는것 같다.

인삼 종자는 후숙과정중에 종피가 열개되는데, 반드시 hilum을 중심으로 봉선을 따라서 일어나고 있었다(Fig. 26). 이러한 현상은 봉선을 형성하고 있는 부위는 종피의 다른 부위에 비해 약 200 μm 정도로 얇고 보강세포의 배열이 규칙적이었으며 가장 안쪽의 fringe layer를 이루고 있는 보강세포의 끝이 봉선을 따라서 열을지어 일정하게 분포되어 있으므로서 가능하리라 사료된다.

후숙과정을 마친 종자의 종피는 봉선을 구성하고 있는 보강세포의 규칙적인 접합면을 따라 균일하게 열개되었는데, 특히 palisade layer에서 그 균일함은 뚜렷하였다. 종피가 열개된 후 종핵에 대한 수분의 공급은 유관속이나 hilum보다는 열개된 부위로 보다 효과적으로 일어나고 있는 것으로 생각된다.

摘 要

인삼 종피의 발생 및 분화에 따른 구조변화를 종자형성과정, 홍숙종자 및 후숙과정으로 구분하여 광학 및 전자현미경으로 관찰하였다.

인삼의 종피는 배낭형성 이전에 자방벽으로부터 유래한 내과피가 특수화하여 분화되었으며 주피에서 유래한 조직은 endothelium으로 분화되었다. 홍숙종자의 종피는 fringe layer, inner layer, palisade layer 등의 세 층으로 이루어져 있었으며 이들은 각각 서로 직각을 이루고 배열되어 있었던 바, 이는 기계적인 보강작용을 더욱 강하게 하기 위함이라 사료된다. 이 시기의 endothelium은 세포벽 성분의 잔유물로 생각되어지는 약 4 μm 정도의 층으로 퇴화되어 있었다.

홍숙종자의 종피는 두께가 300~600 μm 정도 이었고 보강세포의 배열이 불규칙한 반면 봉선을 이루고 있는 부위는 약 200 μm 정도로 얇았고 보강세포의 배열이 매우 규칙적이었던 바, 후숙을 거친 종자는 이러한 봉선을 따라서 종피가 열개되었다.

봉선을 따라 위치한 유관속은 과육을 제거한 후에도 일부가 남아 있었고 분지하여 hilum을 통해서 종피의 안쪽으로 들어가서 endothelium의 표면과 접하여 chalazal region까지 뻗어 있었는데 후숙과정에서 배의 성숙에 필요한 수분공급은 이러한 유관속과 열려진 hilum을 통해서 일어나는 것 같다.

參 考 文 獻

- Anderson, W.A. and J. Andre. 1968. The extraction of some cell components with pronase and pepsin from thin sections of tissue embedded in an Epon-Araldite mixture. *J. Microscopie* 7: 343-354.
- Chuang, T.L. and L.R. Heckard. 1972. Seed coat morphology in *Cordylanthus* (Scrophulariaceae) and its taxonomic significance. *Amer. J. Bot.* 59: 258-265.
- Corner, E.J.H. 1976. The seed of dicotyledons. Cambridge University Press. Cambridge. Vol. 1:8-24, 73.
- Dathan, A.S.R. and D. Singh. 1971. Embryology and seed development in *Bergia* L.. *J. Indian Bot. Soc.* 50: 362-370.
- Dell, B. 1980. Structure and function of the strophliolar plug in seeds of *Albizia lophantha*. *Amer. J. Bot.* 67(4): 556-563.
- Deshpande, P.K. and A.G. Untawall. 1971. Development of seed and fruit in *Indigofera enneaphylla* L. *Bot. Gaz.* 132: 96-102.

- Earle, T.T. 1938. Origin of the seed coat in *Magnolia*. *Amer. J. Bot.* 25: 221-222.
- Esau, K. 1965. Plant anatomy. John Wiley and Sons. New York. pp. 539-692.
- Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants. 2nd edition. John Wiley and Sons. pp. 455-473.
- Fahn, A. 1982. Plant anatomy. 3rd edition. Pergamon press. Oxford. pp. 479-496.
- Gaube, E. and L.D. Pryor. 1958. Seed coat anatomy and taxonomy in *Eucalyptus*. *Proc. Linn. Soc. N.S.W.* 83: 20-32.
- Govil, C.M. 1971. Morphological studies in the family Convolvulaceae. I. Development and structure of the seed coat. *J. Indian Bot. Soc.* 50: 32-39.
- Grear, J.W. and N.G. Dengler. 1976. The seed appendage of *Eriosema* (Fabaceae). *Brittonia* 28: 281-288.
- Harn, C.H. and J.K. Hwang. 1963. Studies on the formation of embryo and endosperm of *Panax ginseng*. *Commeration Theses of Chonpuk Nat. Univ.* 5: 293-295.
- Hayat, M.A. 1970. Principles and techniques of electron microscopy. Van Nostrand Reinhold Company. pp. 5-319.
- Heywood, V.H. 1969. Scanning electron microscopy in the study of plant materials. *Micron*. 1: 1-14.
- Hwang, J.K. 1966. Studies on the embryo development in *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Theses collection of Chonpuk Nat. Univ.* 8: 213-217.
- Hwang, J.K., and H.C. Yang. 1973. Studies on the physiological chemistry of flower organ and seed in ginseng plant. *Kor. J. Breeding.* 5: 84-90.
- Hwang, J.K., J.S. Che and S.Y. Che. 1969. The embryological studies on the interspecific hybrid of ginseng plant with special references to the abortion. *Theses Collection of Chonpuk Nat. Univ.* 11: 7-10.
- Hyde, E.O.C. 1954. The function of the hilum in some Papilionaceae in relation to ripening of the seed and the permeability of the testa. *Ann. Bot.* 18: 241-256.
- Inoh, S. 1970. Plant histology. Uchida Rokakuhosinsha. Tokyo. Japan. pp. 509-604.
- Jaitly, S.C. 1966. Development of seed and fruits in *Anisomeles indica* (Linn.) O. KZE. *Phytomorphology* 16: 430-436.
- Jensen, W.A. 1962. Botanical Histochemistry. W.H. Freeman and Company.
- Johansen, D.A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill. New York.
- Johri, B.M. and H. Singh. 1959. The morphology, embryology and systematic position of *Elytraria acaulis* (Linn. f.) Lindau. *Botaniska Notiser.* 112: 227-251.
- Kapil, R.N. and S. Sethi. 1963. Development of seed in *Tridax trilobata* Hemsl. *Phytomorphology* 12: 235-239.
- Karuma, M.K. 1968. Morphological studies in Solanaceae. II. Morphology, development and structure of seed of *Browallia demissa* Linn. *Proc. Nat. Inst. Sci. India B.* 34: 142-148.
- Kaur, H. and R.P. Singh. 1970. Structure and development of seeds in three *Ipomoea* species. *J. Indian Bot. Soc.* 49: 168-174.
- Kelly, J.W. 1966. Acid mucopolysaccharides; Introduction to quantitative cytochemistry. Academic Press. New York. pp. 489-505.
- Khan, P.S.H. 1970. Structure and development of seed coat and fruit wall in *Catharanthus pusillus* (Murr.) G. Don. *Proc. Nat. Acad. Sci. India(B)* 40: 21-24.

- Kim, E.S. 1984. Studies on the growth of embryo of ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). Ph. D. Thesis. Korea University.
- Kim, J.H. 1964. Studies on the growth of embryo of ginseng (*Panax ginseng*). *J. Nat. Sci. Nat. Sci. Ser. R.O.K.* 5: 18-23.
- Kim, W.K., H.D. Park, E.S. Kim and S.S. Han. 1979. Ultrastructural change during germination of ginseng seeds (*Panax ginseng*). *Kor. J. Electron Micro.* 9(1): 57-70.
- Kozolowski, T.T. 1972. Seed Biology. Vol. I. Importance, development and germination. Academic Press. New York. pp. 77-149.
- Lersten, N.R. 1979. A distinctive seed coat pattern in the Viciae (Papilionoideae; Leguminosae). *Proc. Iowa Acad. Sci.* 86: 102-104.
- Lersten, N.R. 1982. Tracheid bar and vestured pits in legume seeds (Leguminosae; Papilionoideae). *Amer. J. Bot.* 69(1): 98-107.
- Marbach, I. and A.M. Mayer. 1974. Permeability of seed coats to water as related to drying conditions and metabolism of phenolics. *Plant Physiol.* 54: 817-820.
- Martin, A.C. 1946. The comparative internal morphology of seeds. *Amer. Midl. Nat.* 36: 513-660.
- Mohana Rao P.R. 1975. Seed anatomy of *Michelia champaca* with comments on the primitiveness of Magnoliaceous seed. *Phytomorphology.* 24: 81-90.
- Narang, A.K. and N. Chandra. 1977. Structure and development of seed coat in *Crotalia* and *Tephrosia* species. *Proc. Indian Acad. Sci.*, 85B(5): 283-291.
- Phatak, V.G. and K.B. Ambegaokar. 1961. Embryological studies in Acanthaceae. IV. Development of embryo sac and seed formation in *Haplantus tentaculatus* Nees. *J. Indian Bot. Sci.* 40: 525-553.
- Prasad, K. 1977. Seed coat structure and development in *Lepidium sativum* L. and *Thlaspi perfoliatum* L. (Cruciferae). *Bot. Jahrb. Syst.* 97(4): 508-514.
- Raju, M.V.S. 1956. Development of embryo and seed coat in *Turnera ulmifolia* L. var. *angustifolia* Willd. *Botaniska Notiser.* 109: 308-312.
- Ramchandani, S., P.C., Joshi and N.S. Pundir. 1966. Seed development in *Gossypium*. *Indian Cotton J.* 20: 97-106.
- Singh, D. 1961. Studies on endosperm and development of seeds in Cucurbitaceae and some of its related families. *Agra. Univ. J. Res. Sci.* 10: 117-124.
- Singh, D. 1962. Structure and development of ovule and seed of *Viola tricolor* L. and *Ionidium suffruticosum* Ging. *J. Indian Bot. Soc.* 42: 448-462.
- Singh, D. 1967. Structure and development of seed coat in Cucurbitaceae. I. Seeds of *Biswarea* Cong., *Edgaria* Clarke and *Herpetospermum* Hook. f. *Proc. Ind. Acad. Sci. B.* 265-275.
- Singh, D. and A.S.R. Dathan. 1972. Structure and development of seed coat in Cucurbitaceae. VI. Seeds of *Cucurbita*. *Phytomorphology* 22(1): 29-45.
- Singh, D. and A.S.R. Dathan. 1973. Structure and development of the seed coat in Cucurbitaceae. IX. Seeds of Zanonioideae. *Phytomorphology* 22: 138-148.
- Singh, R.P. 1954. Structure and development of seeds in Euphorbiaceae: *Ricinus communis* L. *Phytomorphology* 4: 118-123.
- Vaughan, J.G., F.L.S. and J.M. Whitehouse. 1971. Seed structure and the taxonomy of the *Cruciferae*. *Bot. J. Linn. Soc.* 64: 383-409.

- Watson, D. 1948. Structure of the testa and its relation to germination in the Papilionaceae tribes Trifoliales and Lotales. *Ann. Bot.* **12**: 385-409.
- Werker, E. and A. Fahn. 1975. Seed anatomy of *Panicum* species from the different habitats. *Bot. Gaz.* **136**: 396-403.
- Whiffin, T. and A.S. Tomb. 1972. The systematic significance of seed morphology in the neotropical capsular-fruited Melastomataceae. *Amer. J. Bot.* **59**: 411-422.
- Winter, D.M. 1960. The development of the seed of *Abutilon*. II. Seed coat. *Amer. J. Bot.* **47**: 157-162.
- Wolf, W.J. and F.L. Baker. 1972. Scanning electron microscopy of soybeans. *Cereal Sci. Today.* **17**: 124-126. 128-130. 147.
- Wunderlich, R. 1967. Some remarks on the taxonomic significance of the seed coat. *Phytomorphology* **17**: 301-311.
- Zimmermann, K. 1937. Zur physiologischen Anatomie der *Legum inosentesta*. *Landwirt. Vers. Stn.* **127**: 1-56.

(1986. 10. 18 接受)

Explanation of Figures

- Fig. 1.** One carpel of ginseng has two ovaries, one is anatropous and the other is orthotropous. A single integument(I) is differentiated from the anatropous ovule(O). Note the peculiar arrangements of inner 10 to 15 cell layers of ovary wall(OW) different from the other part of ovary wall.
- Fig. 2.** Innermost one layer of ovary wall showing large nucleus(N) with prominent nucleolus(Nu) and the other cells are highly vacuolated.
- Fig. 3.** Ovary wall differentiated into pericarp consisted of three layers; Endocarp(En) with no starch grains, Mesocarp(Me) with a lot of starch grains and exocarp(Ex) with vascular bundles.
- Fig. 4.** The cells of a little differentiated innermost cell layer of endocarp was elongated. It had an elongated nucleus(N) with prominent nucleolus(Nu) and a lot of vacuoles(V). Note the plasmodesmata(arrows).
- Fig. 5.** The endocarp(En) is consisted of three cell layers, innermost fringe layer, inner layer composed of 2 to 5 tiers of cells and palisade layer of 7 to 8 tiers of palisade cells. A lot of starch grains are still remaining in the mesocarp(Me).
- Fig. 6.** The palisade cell has nucleus(N) with prominent nucleolus(Nu) in the middle portion of the cell. The vacuoles(V) are particularly occupied in the peripheral portion of the palisade cell.
- Fig. 7.** Anticlinal division of palisade cells can be observed. The lipid droplet(L), Golgi complex(G) and mitochondria(M) are observed in the vicinity of the cell wall(CW).
- Fig. 8.** Hypertrophic Golgi complex(G) with a lot of Golgi vesicles, and starch grain(S) are also observed in the palisade cell.
- Fig. 9.** A flat board shaped protein crystal(PC) also appeared in the palisade cell.
- Fig. 10.** Innermost fringe layer(FL) and outer palisade layer(PL) showing the degenerating cell wall(arrows) in comparison with the inner layer(IL). Note the vascular bundle(VB) in the pericarp.
- Fig. 11.** The degenerating cell wall(DCW) of palisade cell is clearly observed as compared with the cell wall(CW). The nucleus(N) is still remaining.
- Fig. 12.** Almost the cytoplasm of the cells of the innermost fringe layer are already degenerated, and the shapes of the cells are irregular.
- Fig. 13.** Secondary thickening of cell wall is proceeded from the inner fringe layer to the outer palisade layer. Note the boarded pits in thickened cell wall.
- Fig. 14.** The middle lamella(ML) between the secondary cell wall(SCW) are clearly observed and the cytoplasm(Cy) is detached from the secondary cell wall.
- Fig. 15.** Photomicrograph of the seed coat just prior to maturation showing the uniform thickening of the secondary cell wall.
- Fig. 16.** Scanning electron micrograph of the seed coat just prior to maturation showing a little differentiated boarded pits in palisade layer(PL) and inner layer(IL). VB: vascular bundle.
- Fig. 17.** Fully ripened seed coat, showing a lot of boarded pits in the inner layer(IL) and palisade

layer(PL) in comparison with Fig. 15.

- Fig. 18.** Scanning electron micrograph of artificially fractured seed coat, showing irregular fracture face of palisade layer(PL). IL: inner layer.
- Fig. 19.** Scanning electron micrograph of the seed coat of freeze fractured with liquid nitrogen, showing regular fracture face.
- Fig. 20.** Various types of filiform sclereid separated from matured seed coat in the Jeffery solution are observed.
- Fig. 21.** Vascular bundle(VB) on the raphe of the seed coat is branched, and therefore one branch enters into the seed coat through the hilum(H).
- Fig. 22.** Cross section of the young seed, showing the vascular bundle(VB), seed coat and endosperm(E). Note the regular arrangement of young sclerids at the specific portion of the seed coat and the distribution of vascular bundle inner and outer parts of the seed coat.
- Fig. 23.** Enlargement of vascular bundle on the raphe, showing the lump of bundles.
- Fig. 24.** Isolation of vessel element and tracheids from the vascular bundle, showing tracheids(a,c) and scalariform vessel(b).
- Fig. 25.** Inner surface of the raphe has regular arrangement of the sclereid tips.
- Fig. 26.** Stereoscopic micrograph of half cleaved seed coat after post-maturation process, showing the occurrence of rupture along the raphe from the hilum.
- Fig. 27.** Inner surface of the seed coat are fractured after post-maturation process.
- Fig. 28.** Artificially fractured face along the raphe has irregular fracture pattern of sclereids.
- Fig. 29.** Fractured face along the raphe after post-maturation process of seed, showing regular fracture face of palisade layer(PL), but inner layer(IL) has cross fracture pattern.
- Fig. 30.** Endothelium(End) derived from integument has 15 to 20 cell layers at early stage, and endosperm(E) has incomplete cell wall.
- Fig. 31.** High magnification of endothelium(End) showing degenerating cytoplasm and the endosperm(E), showing incomplete formation of cytoplasm and cell wall.
- Fig. 32.** Photomicrograph of endothelium(End) at late stage of seed development, showing 5 to 7 cell layers. Note the complete cell wall in comparison with that of Fig. 31.
- Fig. 33.** Photomicrograph of seed just prior to mature, showing degenerated cytoplasm of endothelium(End) and complete formation of the cytoplasm of the endosperm(E).
- Fig. 34.** The endothelium(End) has a little cytoplasm remnants, on the other hand the endosperm has a lot of spherosomes(Sp). Note the thick cell wall(CW) between endothelium and endosperm.
- Fig. 35.** The endothelium(End) of fully ripened seed has no cytoplasm but cell wall components of 4 μ m in thickness.















