

사과 '후지' 과실의 조직 발달

박희승* · 박지영¹

농촌진흥청 원예연구소, ¹경희대학교 원예학과

Development of Fruit Structure in 'Fuji' Apples

Hee-Seung Park* and Ji-Young Park¹

National Horticulture Research Institute, RDA, Suwon 440-310, Korea,

¹Dept. of Horticulture, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

*corresponding author

ABSTRACT The fruit structure of 'Fuji' apples from full bloom to maturing was observed from 1997 to 1998. Cell division period of the fruit was found to be 4 to 5 weeks after full bloom. Vascular bundles in the inner part of the fruit skin which were not described in the books illustrating apple fruit structure was observed, as they were tentatively named as outer vascular bundles (OVB), and another vascular bundles were also observed newly in periphery of locules, as they were tentatively named as inner vascular bundles (IVB). In the observation of the inner epidermis (IE) in the inner part of the locules on 2 days prior to full bloom, the guard cells were observed and these were disappeared in the observation made 2 days later, i.e. on full bloom. The formation of fruit skin was observed at the microscope 65 days after full bloom and the number of cell which organized the fruit skin did not change from this time to maturation period. Tannin which is mainly in the fruit skin changing from continuously during fruit growth, specially the tannin of epidermis disappeared completely 100 days after full bloom stage, and then constituted again. Starch was not almost found out in cell division period of fruit from full bloom stage after this time it constituted much at flesh part and decreased at maturation period. Epidermis was developed by uniform cells of a layer the cell of epidermis constituted irregularity after pigmentation stage, the organization of fruit was not close because the very big intercellular space constituted at hypodermis and flesh structure.

Additional key words: cell division, epidermis, hypodermis, microscopic examination, vascular bundles

서 언

사과와 관련된 해부학적인 연구 결과로, Esau(1977)에 의하면 사과는 꽃받기와 씨방이 함께 융합되어 과실로 발달되는 대표적인 위과로서 꽃받기가 발달하여 과피와 과육을 형성하고 씨방은 과육의 안쪽에 위치하여 과심부분이 된다고 하였으며, 심피의 중앙유관속은 과심부에 포함되고 꽃받기 속에 들어 있는 유관속은 과육부분에 포함된다고 하였다. 특히 근간에 들어 현미경 검경에 paraffin (Simons, 1974)보다 epon을 이용하여 과실에 발생하는 생리장해 (Park 등, 1997), 착색(Lancaster 등, 1994)등 과실 구조와 관련한 일부 보고가 있었다. 이와 같이 과실의 형태학적인 연구가 일부 이루어지긴 했으나 광학현미경, 전자현미경 또는 video microscope (Sugiura 등, 1995) 등을 통한 과실의 형태학적인 연구는 타 분야의 연구와 비교하여 상대적으로 적으며 특히 국내에서는 극히 일부 밖에 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 실험은 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 '후지' 품종

을 대상으로 만개기에서 성숙기까지의 과실의 발달 과정중에 일어나는 과실을 구성하는 각 조직의 발달과 각 조직을 구성하는 세포의 변화 등을 알아보고자 하였으며, 그 동안 과실의 구조를 연구하는 데 가장 많이 이용하던 파라핀 방법이 아닌 전자현미경을 보고자 할 때 주로 사용하는 이중고정방법과 epon을 이용하여 시료를 만드는 방법으로 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

본 시험은 1997년에서 1998년까지 충청남도 아산시 음봉면의 농가 사과원에서 환엽해당 실생대목에 M.26 대목을 중간대목으로 한 이중접목 '후지' 13년생을 공시하여 실험하였으며 시료는 만개기부터 성숙기까지 10회에 걸쳐 채취하였다.

현미경 검경용 시료는 과실의 적도부위에서 과피와 일부 과육을 포함하여 채취하였으며 2.5% glutaraldehyde와 1% osmic acid를 이용한 이중고정방법을 사용하였다. 시료 채취 후 고정액이 빈틈없

이 침투할 수 있도록 탈기과정을 거쳐 고정된 시료는 40%, 60%, 80%, 90%, 95%, 100% ethanol과 propylene oxide를 이용하여 탈수하였다. 매몰과정에 들어가는 초기 단계로서 갑작스런 변화에 샘플이 파괴되지 않도록 propylene oxide와 epon을 1:1로 섞은 용액에서 하룻밤 방치한 뒤 다음날에 epon에 매몰하여 캡슐에 넣었다. 캡슐은 60°C의 항온기에서 최소한 4일간의 중합 과정을 거쳐 조직의 절편을 만들기에 용이하도록 피라미드 모양으로 다듬은 뒤 ultramicrotome으로 1~1.25 μ m의 두께로 절편을 제작하였다. 염색은 periodic acid schiff(PAS) 방법을 이용하였으며 염색한 시료는 hystomount를 사용하여 cover glass를 씌운 후 광학현미경으로 검경 및 촬영하였다(Park, 1995).

결과 및 고찰

사과는 지방과 꽃받기가 함께 발달하는 위과로서 착과된 과실은 중앙부에 10개의 격벽으로 분리된 5개의 심실을 가지고 있으며 각 심실은 2개의 배주를 포함하고 있어 모두 10개의 배주를 가지고 있었다. 만개기 과실의 외과부를 구성하는 꽃받기의 구조는 바깥쪽으로부터 표피, 아표피, 내부 유조직으로 이루어져 있었으며 이 시기의 외 표피의 주변에서는 많은 모용이 관찰되었다. 이 시기에는 과피조직과 과육조직을 구성하는 세포들의 특성을 구분할 수 없었

고, 만개기의 과실 내부구조로는 씨방과 꽃받기를 구분할 수 있는 외과피조직의 구분이 불가능하였다(Fig. 1).

유관속조직으로는 중앙심피유관속(median carpellary vascular bundle), 측부심피유관속(lateral carpellary vascular bundle), 화판 유관속(petal vascular bundle), 악편유관속(sepal vascular bundle), 주변 유관속(periphery vascular bundle), 내부 유관속(inner vascular bundle) 등 6종류의 유관속조직을 관찰할 수 있었다. 주변 유관속(periphery vascular bundle)은 아표피와 내부 유조직의 경계에 일정한 거리를 유지하며 대략 50~60개 정도가 관찰되었고, 내부 유관속(inner vascular bundle)은 각각의 심실주변에서 약 5~8개 정도가 관찰되었다(Fig. 1). 주변 유관속은 표피에서 7~9개의 세포층 아래에서 발견되었으며 거리는 약 60~90 μ m 정도였다. 이 시기에는 과피와 과육조직을 구분할 수 있는 세포들의 특성이 아직은 나타나지 않았으며 이는 Park 등(1997)의 연구 결과와 유사하였다. 만개기에는 어떤 조직에서도 전분립을 발견할 수 없었으며 탄닌은 표피, 아표피 및 유조직에 약간 나타났다(Fig. 1).

만개 후 35일에는 표피에서 주변 유관속까지의 거리가 378 μ m로 늘어났으며 구성하고 있는 세포 층의 수도 17개로 만개 때보다 약 2배 정도로 늘어난 것을 알 수 있었다(Fig. 2A). 따라서 만개기인 4월 28일부터 만개 후 35일까지의 기간에는 세포의 크기 증가와 더불어 세포분열에 의한 세포수의 증가가 이루어졌음을 알 수 있었

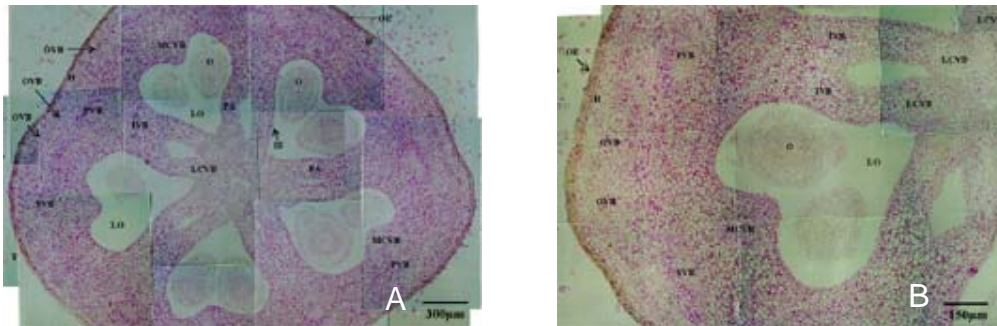


Fig. 1. Cross section of 'Fuji' fruit at full bloom, whole view (A) and close view (B).

H: hypodermis; IE: inner epidermis; IVB: inner vascular bundle; LCVB: lateral carpellary vascular bundle; LO: locule; MCVB: median carpellary vascular bundle; O: ovule; OE: outer epidermis; PPVB: periphery vascular bundle; PVB: petal vascular bundle; ST: septum; SVB: sepal vascular bundle; T: trichome

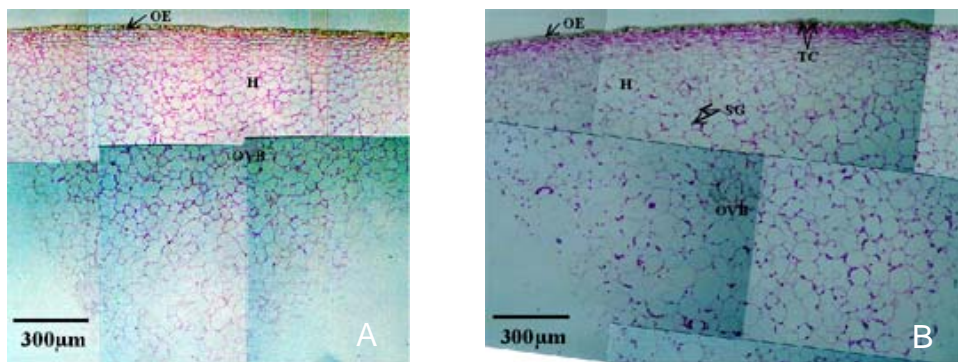


Fig. 2. Cross section of 'Fuji' apple fruit sampled 35 (A) and 51 (B) days after full bloom.

H: hypodermis; OE: outer epidermis; PPVB: periphery vascular bundle; TC: tannin cell; SG: starch grain

다. 이러한 세포수의 증가로 인하여 초기의 과실생장이 급격히 이루어지는 것으로 판단되었다. 반면에 전분립은 만개기 때와 마찬가지로 어떤 조직에서도 발견되지 않았으며, 표피와 아표피의 세포들이 유조직층의 세포보다 작고 세포벽이 두꺼워지는 경향을 보였으나 과피와 과육으로 뚜렷하게 구분할 수는 없었다. 탄닌은 표피에 묻혀진 형태로 나타나고 아표피 세포의 액포 내부에 작은 알갱이 형태를 이루고 있었다(Fig. 2A).

만개 후 51일에는 아표피 층의 발달이 둘로 뚜렷이 구분되기 시작하여 표피 쪽에 가까운 아표피 층은 세포가 가로로 납작하고 길쭉한 모양을 가졌고 세포벽도 두꺼워져 과피세포의 형태를 갖추기 시작하였으며 세포 내부에 탄닌을 함유하고 있었다(Fig. 2B). 주변 유관속조직 쪽에 인접한 아표피 층은 원형으로 세포의 크기가 비대하여 과육으로 발달하는 내부 유조직의 세포들과 유사한 형태로 발달하기 시작하였다. 또한 만개 후 35일에 보이지 않았던 전분립이 관찰되기 시작하였고 탄닌은 표피세포에 덩어리 형태로 나타났으며 아표피 세포에도 약간 나타났다.

만개 후 51일 전부터 관찰되었던 표피와 아표피 조직의 세포 변화는 계속적으로 진행되어 과피와 과육의 특성은 만개 후 65일부터 뚜렷이 구분되었으며 과피를 이루는 세포 수는 7~9개에 두께가 100~110 μm 였으며 아표피 세포층에서 커다란 세포간극이 쉽게

관찰되었다(Fig. 3A). 이 시기에도 표피에서부터 18개 세포 안쪽에 주변 유관속이 있었다. 전분립은 계속 증가하였고 크기도 커졌으며 탄닌은 표피와 아표피 세포내의 4~9개 층의 액포 내에 작은 알갱이들을 이루고 있었다.

만개 후 102일에도 표피에서 주변 유관속까지의 세포의 수는 16개로 세포 층의 수는 같았고 주변 유관속까지의 거리는 561 μm 였으며 아표피의 세포 사이의 간극이 치밀하지 않았다. 또한 많은 전분립이 일부 아표피와 유조직 세포에 활발하게 생성되는 것을 알 수 있었다. 반면에 만개 후 65일 전후에 계속 나타났던 표피 세포내의 탄닌은 표피세포에서는 완전히 사라졌으며 약간의 탄닌이 2~3개 층의 아표피 세포 층에 덩어리나 알갱이들로 남아 있었다(Fig. 3B).

만개 후 158일에는 표피에서 주변 유관속까지의 세포 수는 14개로 주변 유관속까지의 거리가 632 μm 였으며, 또한 과피와 과육도 뚜렷이 구분되어 과피의 세포 수는 7~9개에 두께는 110~120 μm 였다. 전분립은 만개 후 51일 전후부터 생성되기 시작하여 이 시기에 최고로 증가하여 커다란 형태로 관찰되었으며 탄닌은 만개 후 102일의 표피 세포에서 사라졌다가 만개 후 158일 전후부터 수확 때까지 표피와 아표피 층에 다시 관찰되었다(Fig. 4A).

만개 후 184일에는 표피에서 주변 유관속까지의 세포수가 15개로 주변 유관속까지의 거리는 663 μm 였으며 주변 유관속까지의 거

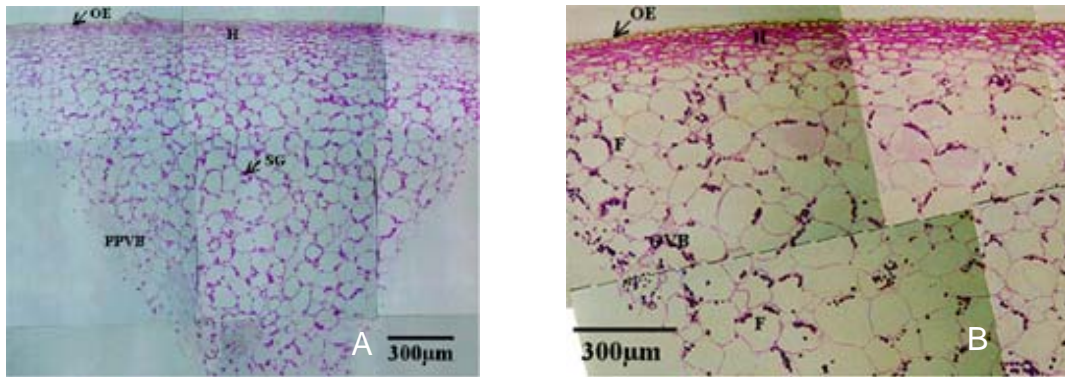


Fig. 3. Cross section of 'Fuji' apple fruit sampled 65 (A) and 102 (B) days after full bloom.
H: hypodermis; OE: outer epidermis; PPVB: periphery vascular bundle; SG: starch grain

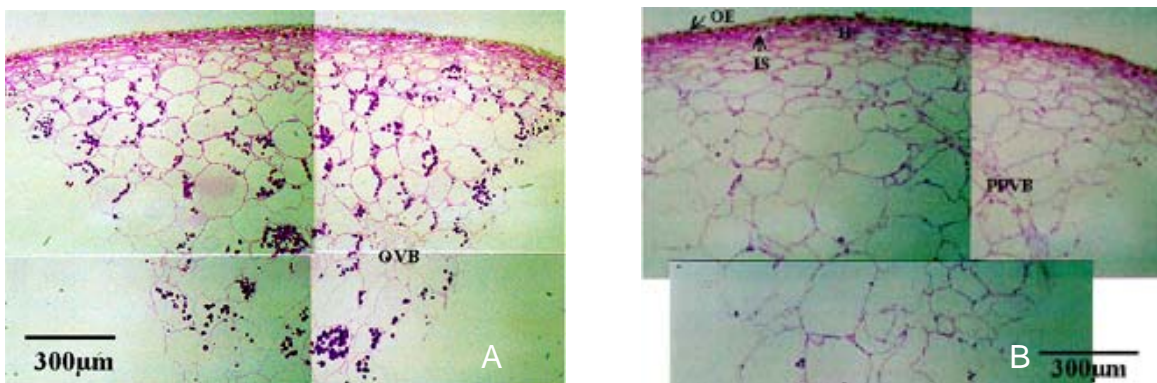


Fig. 4. Cross section of 'Fuji' apple fruit sampled 158 (A) and 184 (B) days after full bloom.
H: hypodermis; IS: intercellular space; OE: outer epidermis; PPVB: periphery vascular bundle; SG: starch grain

리가 만개 후 35일 이후부터 계속 멀어졌다는 것을 알 수 있었다. 만개 후 65일 전후부터 발달하기 시작한 과피와 과육이 뚜렷하게 구분되었고 과피의 세포 수는 7~9개에 두께는 110~120 μm 였으며 아표피에서는 커다란 세포 간극들이 관찰되었다. 따라서 이러한 현상은 과피의 구분이 이루어진 만개 후 65일 이후부터 성숙기까지 과피의 두께가 일정하게 유지되는 것으로 사료되었다(Fig. 4B). 과육조직에서 만개 후 51일 전후부터 발견되어 계속 증가하였던 전분립은 성숙기에 이르러 급격히 사라져 거의 관찰되지 않았으나 탄닌은 표피와 2~3층의 아표피 세포에 덩어리로 존재하여 과피로 구분되는 특성을 보여 주었다.

이와 같이 만개기부터 성숙기까지 'Fuji' 과실의 조직발달을 살펴 보았을 때 과피와 과육조직은 만개 후 65일에 뚜렷이 구분되었으며, 만개기에는 표피에서 주변 유관속까지의 거리는 92 μm 정도로 그 사이는 7~9층의 세포들로 구성되어 있었으나, 만개 후 35일에는 표피와 주변유관속 사이에 나타나는 세포 수가 14~17개로 약 2배 정도 많았으며 이 세포층 수는 성숙기까지 변함없이 유지되었다. 한편 표피에서 주변 유관속까지의 거리는 성숙기까지 계속 증가하여 성숙기 과실의 표피에서 주변 유관속까지의 거리는 663 μm 였다. 따라서 사과 '후지' 품종은 만개 후 35일 전후로, 즉 만개 후 4~5주 동안이 세포분열기라고 한 Nii(1998)의 이론과 일치하였으며 그 이후에는 세포가 분열하지 않고 단지 비대만 한 것을 알 수 있었다. 또한 주변 유관속은 과피와 과육을 구분하는 경계에 위치하는 것이 아니라 과육에 포함되어 있음을 알 수 있었으며 'Tsugaru' 사과의 유관속조직이 과육내에 포함되어 있다는 Park 등 (1997)의 보고와 유사한 결과가 '후지' 사과 과실에서도 나타났음을 보여 주었다. 탄닌은 유과기에서 성숙기까지 여러 가지의 다양한 모습으로 변화하였으며 과피와 과육이 구분되기 시작하면서 표피와 아표피 세포에만 존재하였다.

과육에 주로 분포하던 전분립은 만개 후 51일부터 생성되어 계속 증가하여 오다가 성숙기에 이르러 대부분 사라졌다. 전분은 과육세포와 일부 아표피 세포에 생성되었으며, 특히 과육부위에 많이 형성되었다가 만개 후 184일인 성숙기에는 감소하는(Fan 등, 1995) 양상을 나타내었다. 이러한 전분의 생성은 과실의 세포분열기가 끝난 이후에 과실의 비대에 필요한 양분을 공급하기 위하여 많이 축적되었다가 성숙기에 이르면서 전분이 소모되었을 것으로 사료되었다.

만개기의 배주는 내주피, 외주피로 이루어져 있었으며 가운데에 핵이 관찰되었고(Fig. 5), 수분·수정이 이루어진 후에 내주피 안쪽으로 책상조직을 발견할 수 있었다(Fig. 5B). 책상조직은 배를 보호하기 위해 형성된 것으로 생각되며 이와 비슷한 경우 포도에서도 수정 후에 책상조직이 내주피의 바깥 층에 형성되는 것으로 보고되었다(Jeong, 1998).

유과기의 기공은 과실이 성숙기에 이르는 동안 과점으로 변화하였는데 과점이 변화하는 모습은 여러 가지 형태로 관찰되었다. 만개기의 표피에서 관찰된 기공은 두 개의 공변세포로 이루어져 있고 기공이 가지는 특징으로 표피 바로 밑의 아표피 세포는 함몰되어 있었다. 그리고 이 시기에서는 각피(cuticle)층이 관찰되지 않았다(Fig. 6A). 만개 후 65일에는 표피의 공변세포는 아직까지 살아 있었으나 함몰되었던 아표피 층이 돌출하는 형태를 보였으며 성숙기에 쉽게 관찰되는 과점의 형태는 중앙부가 돌출되어 있었고 표피 세포 안쪽의 아표피의 세포 층이 코르크화되었고, 코르크화된 조직의 아래에서 커다란 탄닌세포들과 많은 세포 간극이 관찰되었다(Fig. 6B).

과실의 표피층에서 발견되는 기공과는 다르게 만개기에는 심실의 표피에서도 기공이 관찰되었는데 이러한 기공들은 수일 내에 사라져 과실의 주변에서 과점형태로 변하는 기공들과는 다른 발현양

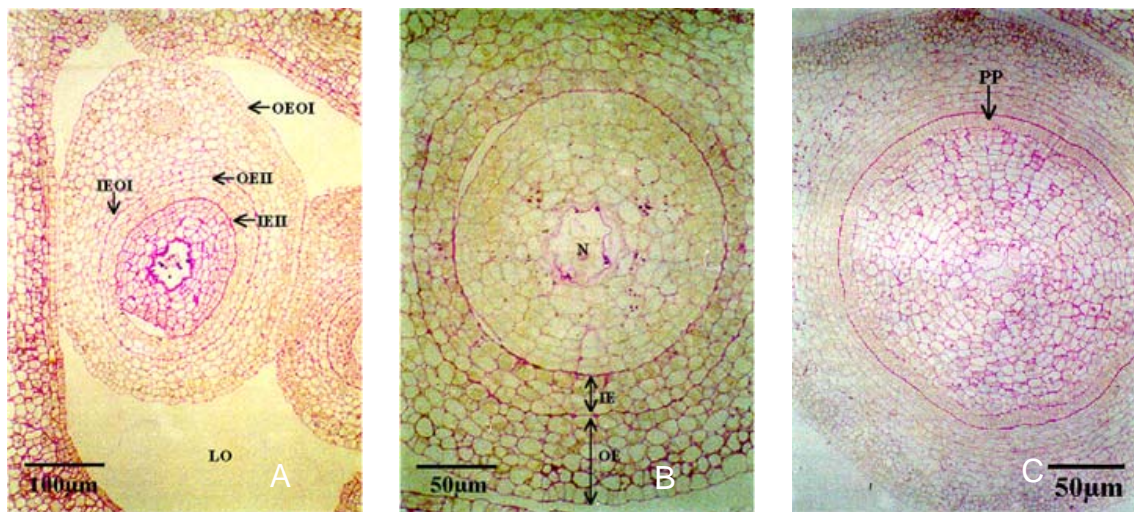


Fig. 5. Cross section of 'Fuji' fruit sampled at full bloom (A and B) and 9 days (C) after full bloom.

IEII: inner epidermis of inner integument; IEOI: inner epidermis of outer integument; II: inner integument ; LO: locule; N:nucleus; OEII: outer epidermis inner integument; OEOI: outer epidermis outer integument; OI: outer integument; PP: palisade parenchyma

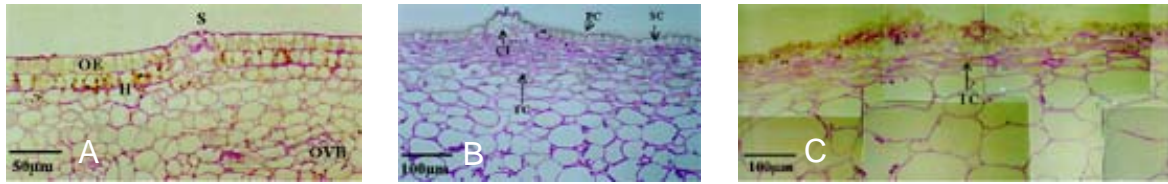


Fig. 6. Cross section of 'Fuji' apple fruit sampled at full bloom (A), 65 (B) and 184 (C) days after full bloom.
 CT: complementary tissue; H: hypodermis; IS: intercellular space; L: lenticel; OE: outer epidermis; PC: primary cuticle; PPVB: periphery vascular bundle; S: stoma; SC: secondary tissue; TC: tannin cell

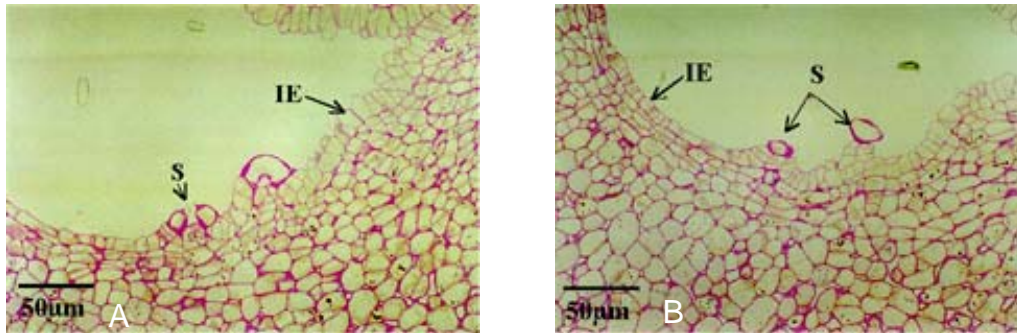


Fig. 7. Cross section of 'Fuji' apple fruit sampled at full bloom, stoma at early stage (A) and later stage (B).
 IE: inner epidermis; S: stoma.

상을 보여 주었다(Fig. 7). 이와 같이 심실의 표피에서 기공이 발견된 것은 처음 있는 일로 다른 과실에서도 만개기에 심실내부에 기공이 존재할 수 있는 가능성을 보여 주었으며 어린 시기에 내부 기공이 gas 교환 등에 어떠한 역할을 하는지 등에 대해서는 추후 더 깊은 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

되지 않았으며 이후 특히 과육부위에 많이 형성되었다가 성숙기에는 감소하는 양상을 나타내었다

추가 주요어 : 세포분열, 외피, 하피, 검경, 유관속

초 록

만개기로부터 성숙기까지 사과와 과실구조에 대하여 1997년부터 1998년도 사이에 연속적으로 관찰하고 과실발달에 미치는 적과처리 효과를 조사한 결과는 다음과 같다. 만개기를 기준으로 세포분열은 약 4~5주간 지속되고 만개후 65일경부터 epidermis와 hypodermis로 구성된 과피의 구별이 가능하였으며, 과피를 구성하는 세포의 수는 이 시기부터 성숙기까지 같았다. 사과 과실의 유관속조직은 중앙심피유관속, 측부심피유관속, 화판유관속, 악편유관속 등이 알려졌으나 그외에 hypodermis의 경계부위에 일정한 간격으로 과실의 외부를 두르고 있는 외부유관속과 심실의 주변을 둘러싼 내부유관속이 새로 발견되었다. 개화기의 내부 epidermis에서는 기공이 보이다가 수일 내에 사라지는 것으로 관찰되었다. 성숙기 '후지' 과실의 과피는 epidermis를 포함하여 약 7~9개의 세포층으로 구성되고 100~120µm 정도의 두께를 가지며 과피 부분에도 상당히 큰 세포간극들이 나타나 과실조직이 치밀하지 못한 특성을 보여 주었다. 개화기에는 발견되지 않던 탄닌의 경우 만개 후 약 30일이 지나면서 epidermis와 hypodermis 층에 주로 형성되기 시작하나 100일 정도가 지나면 epidermis 층의 탄닌이 완전히 사라졌으며 만개후 160일경에는 다시 형성되었음이 관찰되었다. 과실이 발달하는 동안 전분립은 만개기부터 세포분열 기간에는 거의 발견

인용문헌

- Esau, K. 1977. The fruit. Anatomy of seed plants. p.429-454. John Wiley & Sons, Ins., New York.
- Fan, X., J.P. Mattheis, M.E. Patterson, and J.K. Fellman. 1995. Changes in amylose and total starch content in 'Fuji' apples during maturation. HortScience 30:104-105.
- Jeong, S.B. 1998. Production of high quality seedless berries by plant growth regulators treatment in grapes. PhD Diss., Chonnam Natl. Univ.
- Lancaster, J.E., J.E. Grant, and C.E. Lister. 1994. Skin color in apple-influence of copigmentation and plastid pigments on shade and darkness of red color in five genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:63-69.
- Nii, N. 1998. Growth and development of fruit. Asakura Press, Kyoto. p.54-115.
- Park, H.S., H.C. Lee and M.D. Cho. 1997. Diagnosis of nutrients and physiological disorders using photomicroscope in apple. RDA. J. Horti. Sci. 38:95-105.
- Simons, R.K. 1974. Placental tissue and ovule development in 'Lodi' apple 1,2. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 99:69-73.
- Sugiura, T., H. Honjo, and M. Horimoto. 1995. Measuring fruit cell size and estimating change in the number of fruit cells by replica or video microscope. HortScience 30:270-271.