

금낭화(*Dicentra spectabilis*)의 배우체 형성 및 접합자배의 발달

심옥경*, 이강섭, 김이엽, 은종선¹⁾

(주)파낙시아, 전북대학교 농과대학 생물산업연구소¹⁾

Formation of Gametophytes and Development of Zygotic Embryo in *Dicentra spectabilis*

Ock-Kyeong Sim*, Kang-Seop Lee, Ee-Yup Kim and Jong-Seon Eun¹⁾

Panaxia Co. Ltd., 452-32, Jangdong, Deokjin-gu, Jeonju 561-360, Korea

¹⁾Dept. of Horticulture, Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea

ABSTRACT

This study was carried out to obtain the basic informations on the characteristics of gametophytes formation and embryo development in *Dicentra spectabilis*. Microspore mother cells developed from archesporial cells, start meiosis when flower bud length reaches around 1 mm, formed tetrahedral type tetrad. The 4 microspores were separated. They were developed to male gametophytes, respectively. Megaspore mother cells were observed when flower bud length was 4-5 mm. The developmental type of megaspore was *polygonum* and embryo sac was amphitropous. Three large and distinctive antipodals did not degenerated and remained after embryo sac was developed. When the male and female gametophytes was fully developed, the length of stamen and style was very similar or stamen was shorter about 0.5 mm than that of style. This result indicates that self-fertilization can be occurred in this species. After fertilization, developing zygotic embryos showed various stages of development from globular to cotyledonary embryos, and zygotic embryo in seed scattering time seemed to have an early cotyledonary stage.

Key words : bleeding heart, gametophytes, megaspore, microspore, self-fertilization, embryo

서언

금낭화(*Dicentra spectabilis*)는 양귀비과 금낭화속 식물로 아시아와 북아메리카에 약 10여종이 분포하는데 국내에는 2종이 있다. 예로부터 며느리주머니, 며늘취 혹은 덩굴모란 등으

로 알려졌으며, 외국에서는 bleeding heart라 불리는 금낭화는 양쪽으로 구부러진 꽃잎이 마치 분홍빛 주머니를 연상시켜 관상용으로 유망한 야생화이다. 흔히 우리나라 남부지방에서 많이 자라며 특히 전북 완주군 대아수목원 근처에서 발견된 금낭화 군락지는 면적이 약 2만평 정도로

*교신저자 : E-mail : rajastany@hanmail.net

국내에서 가장 큰 규모이다. 금낭화는 빠른 성장 기간에 비해 개화기간이 1개월 이상으로 길어 조경용이나 분화용으로 적합하여 개발가치가 있다. 금낭화는 전체적으로 흰빛이 도는 녹색이며 5~6월에 줄기 당 6~10개의 분홍색 꽃을 차례로 피워내는 꽃이다. 드물게 흰색 꽃이 발견되고 있으나 변이종이 적다. 국내에서는 금낭화에 관한 새로운 품종 육성에 필요한 기초 연구가 거의 없고, 근연속인 현호색속 6종의 자성배우자체 발달과정에 관한 연구가 있을 뿐이다(Oh and Jang, 2002). 따라서 본 연구는 금낭화의 자·웅배우체 형성과 화기 발달과정, 그리고 배발달과정 등을 조사하여 신품종 육성의 기초 자료로 활용하고자 시도되었다.

재료 및 방법

금낭화(*Dicentra spectabilis* L. Lemaire)의 자·웅배우체 형성 및 배발달과정을 조사하기 위해, 본사의 농장에 식재된 재료에서 화뢰가 형성되기 시작하는 것부터 종자결실기까지 각 시기 별로 채취하여 사용하였다. 시료는 고정액(formalin : glacial acetic acid : 95% ethanol : D.W. = 1 : 0.5 : 5 : 3.5 v/v)에서 탈기시킨 후 48시간 이상 고정하였다. 고정된 재료는 농도별 ethyl alcohol series 탈수과정을 거친 후 조직을 paraplast로 침투시켜 포매하였다. 포매된 재료를 rotary microtome을 이용하여 8-10 μm 두께의 연속절편을 만들어서 gelatin으로 코팅한 slide glass에 그 절편을 접착시켰다. 탈 paraplast는 xylene에서 실행하였고, 염색은 1% hematoxylin과 0.5% safranin으로 이원 염색하였다. 염색된 절편을 permount(Fisher)를 이용하여 봉입하여 영구 표본으로 만든 후 광학현미경(Carl Zeiss, Axiophot/Germany)하에서 비교 관찰하였다. 금낭화의 개화는 바깥 꽃잎이 구부러져 양쪽으로 벌어지는 시점으로 정하였다.

결과 및 고찰

웅성배우체(Male gametophyte)의 형성

금낭화의 웅성배우체 형성과정을 해부학적으로 관찰한 결과(Fig. 1), 화뢰의 길이가 1 mm 정도 자랐을 때, 소포자낭 안에 소포자모세포가 관찰되고(Fig. 1A), 곧 첫 번째 감수분열을 시작하여 핵이 2개로 분열하여 2세포기가 된다(Fig. 1B). 화뢰의 길이가 2~2.5 mm에서는 2핵 2분체가 형성되었고(Fig. 1C), 화뢰의 길이가 3~3.5 mm 정도이면 2차 감수분열이 일어나 4분체가 형성되었으며, 감수분열이 일어나는 축의 상호위치에 의해 4분체 배열은 4면체형(tetrahedral)이었다(Fig. 1D). 일반적으로 microspore tetrad의 형태는 단자엽류에서는 쌍동측형(isobilatral)이고, 금낭화같은 쌍자엽류에서는 4면체형이다. 4분체가 각각 분리되어 4개의 소포자를 만드는데(Bhojwani and Bhatnagar, 1974), 이때 세포가 최대 크기로 크게 발달하였다. 화뢰의 길이가 5~5.5 mm 정도 되었을 때, 분리된 소포자는 두꺼운 소포자벽이 발달하여 둥근형태로 된다(Fig. 1E). 소포자벽은 소포자모세포에서 사분체가 형성되어 callose에 의해 둘러싸일 때 발달하거나(Erdtman, 1969), callose가 분해된 이후 발달되기도 한다(Robertson, 1984)는 보고가 있는데, 금낭화의 소포자벽의 형성을 추적하기 위해서는 향후 전자현미경적 관찰이 요구된다. 미성숙 소포자는 세균에 지점에서 골이 형성되어 횡단면이 클로바 잎 모양인 단계를 거친 후, 다시 구형이 되며, 이때 용단조직은 개화이전에 완전히 소실되어(Fig. 1F), *Hibiscus syriacus*에서 개화시기까지 화분 주위에서 계속 분포하는 경우(Kim *et al.*, 1995)와는 상이한 결과이다. 용단조직은 화분의 성장기간 동안 계속하여 영양분을 전달시켜 주는 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Mepham and Lane, 1969; Heslop-Herrison, 1971; Esau, 1977). 한편, 화뢰의 길이가 9~10 mm 정도일 때, 소포자에서

발달한 웅성배우체(화분)는 성숙되었으며 형태는 구형을 나타내었다(Fig. 1G). 화퇴의 길이가 20~22 mm 정도가 되면 개화되어 화분낭이 터지

고 화분은 산포되었다. 성숙한 화분은 아래를 향해 있는 암술머리에 붙어서 화분관이 신장됨을 관찰할 수 있었다(Fig. 1H).

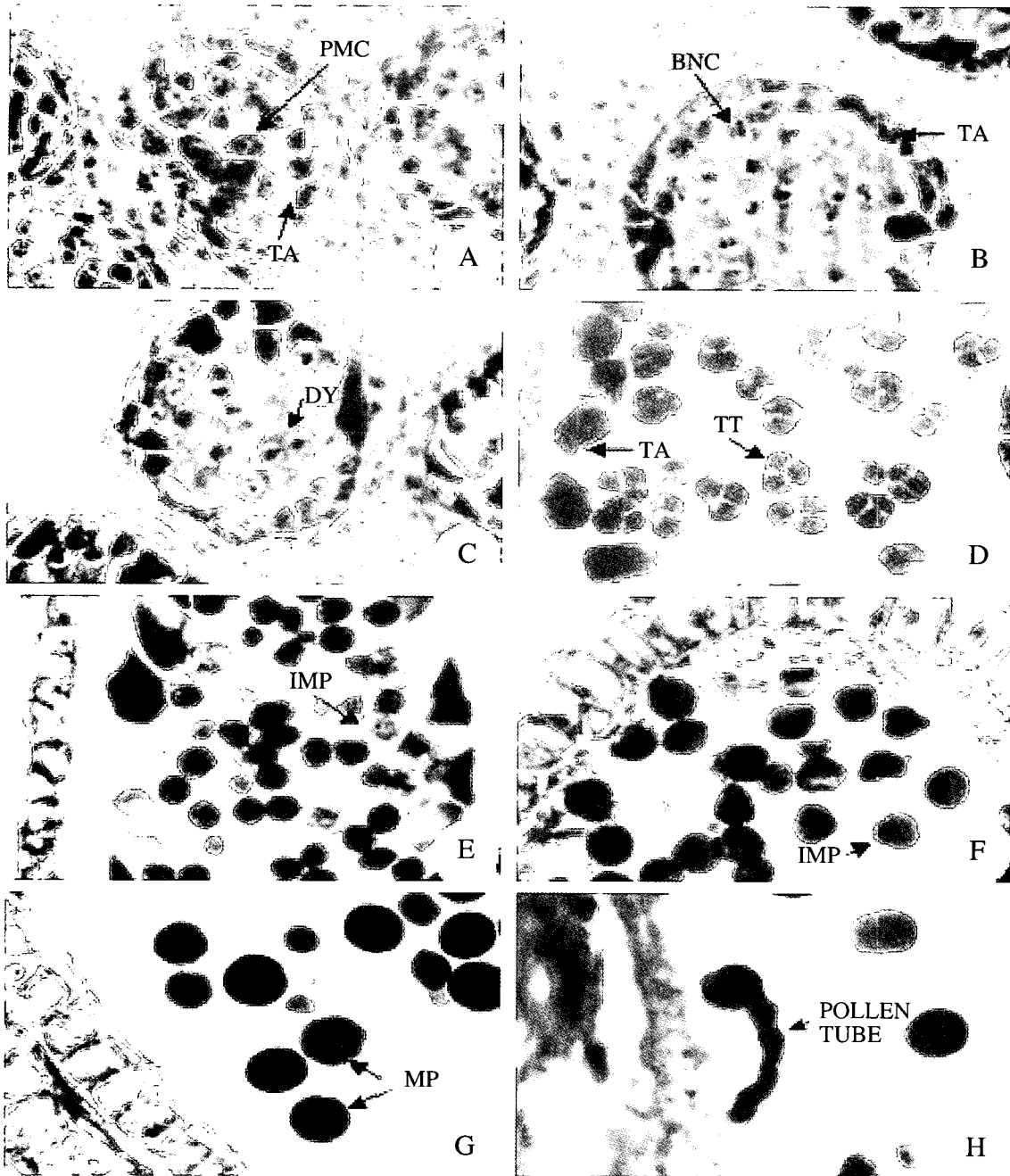


Fig. 1. Formation of male gametophyte of *Dicentra spectabilis*. A, Premeiotic pollen mother cell (x400). B, Binucleate cell at the first meiotic division (x400). C, Dyad stage (x400). D, Tetrad stage after second meiotic division (x400). E, Formation of pollen wall (x400). F, Immature pollens (x400). G, Mature pollens (x400). H, Germination of pollen (x400). PMC-Pollen mother cell, TA-Tapetum, BNC-Binucleate cell, DY-Dyad stage, TT-Tetrad stage, IMP-Immature pollen, and MP-Mature pollen.

자성배우체(Female gametophyte)의 형성

금낭화의 자성배우체의 발달과정을 해부학적으로 관찰한 결과, 화뢰의 길이가 4~5 mm가 되면 몇 개의 포원세포가 분리되어 예비포자세포와 예비체벽 세포층을 형성하였고, 주변세포에 비해 크기가 큰 대포자모세포가 관찰되었다(Fig. 2A). 2회에 걸쳐 감수분열을 마친 대포자모세포는 화뢰의 길이가 9~10 mm일 때, 4개의 대포자를 형성하였다. 4개의 대포자 중 1개는 계속 발달되어 기능성 대포자(functional megaspore)가 되고, 3개는 퇴화되었다(Fig. 2B). 그리고, 비슷한 시기의 화뢰에서 기능성 대포자의 최초 동형분열은 2핵 대포자체를 생성한 후 중앙에 대공포가 생기면서 이 핵들은 서로 반대편으로 옮겨지고, 2차 동형분열로 4핵상태가 되었다(Fig. 2C). 2차례 연속 동형분열로 8핵 대포자체가 형성되어 1개 핵이 중심으로 이동하고, 이어 세포벽이 형성됨에 따라 성숙한 대포자체는 3개의 반측세포와 1개의 알세포, 2개의 조세포, 2개의 극핵을 형성하였다(Fig. 2D). 대포자낭은 정상형(polygonum)이었고, 성숙한 배주의 형태는 굽어있는 곡생배주(amphitropous)를 나타내었다(Fig. 2E). 화뢰길이가 20~22 mm정도에서 개화하는 금낭화는 개화 10일 후 완전히 굽은 배낭이 보이며, 이때까지도 반측세포는 알세포보다 염색이 진하고 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 2F).

금낭화의 대포자 발생과정 중 특이한 현상은 크고 뚜렷한 반측세포가 형성됨이 관찰 되었는데, 이와 같은 현상은 같은 현호색과(Corydalleae) 현호색속(genus *Corydalis* DC.) 식물에서도 거대한 핵을 갖는 반측세포의 형성에 관한 보고(Oh and Jang, 2002)와 유사하나, 여러 식물에서 반측세포는 작을 뿐만 아니라 흔히 자성배우자체의 성숙 전후, 또는 수정 후에 퇴화되는 경우가 있어 재료 식물에 따라 차이가 나는 것으로 생각된다. D'Amato(1952)는 *Aconitum napellus*, *Papaver heldreichii* 및 *Hypecum procumbens*에서 반측세포의 거대핵내에 이질염색질의 출현이 염색체

의 핵내재복제(endoreduplication)에 의해 이루어짐을 보고하였다. 금낭화의 반측세포에서 거대핵의 형성기작에 관해서는 향후에 이루어져야 할 것으로 생각된다.

한편, 수정된 금낭화는 구형 심장형 어뢰형을 거쳐 초기 자엽형 배로 발달하는 것이 관찰되었다(Fig. 2G, H). 같은과의 현호색속 식물 *Corydalis cava*의 경우 종자산포시 형성되는 배는 전배(proembryo)상태이고 성숙한 배는 종자산포 후 종자 내에서 후숙되지만(Eames, 1961), 금낭화의 경우 종자 산포시 이미 접합자배가 심장형을 거쳐 초기 자엽형 까지 발달되어 있음을 관찰 할 수 있었다.

꽃의 형태적 특징과 접합자배

금낭화의 꽃의 형태적 특징을 관찰한 결과, 일렬로 아래쪽을 향해 차례로 꽃봉오리가 발생하며 성숙해가는 발달형태를 나타내었다(Fig. 3). 금낭화는 4개의 윤생체(whorl)로 구성된 전형적인 꽃이다. 가장 바깥쪽의 윤생체인 꽃받침잎(sepal)은 가는 비닐모양이며, 화뢰의 길이가 15~16 mm가 될 때까지 있다가 떨어진다. 두 번째 윤생체인 꽃잎(petal)은 넓은 바깥 꽃잎 2장과 좁고 긴 안쪽 꽃잎 2장이 있다. 바깥 꽃잎은 개화시 양쪽으로 구부러져 주머니모양을 만들고, 안쪽 꽃잎은 개화 후에도 꽃밥과 암술머리를 감싸고 있다가 종자 결실시에 4장이 한꺼번에 떨어진다. 세 번째 윤생체인 수술기(androecium)로 이루어진 수술(stamen)은 개화 때 까지 6개가 거의 같은 길이로 성장한다. 네 번째 윤생체는 심피(carpel)로 구성된 암술(pistil)이다. 심피는 씨방(ovary), 암술(style), 암술머리(stigma)의 세 부분으로 구성되어 있음을 관찰 할 수 있었다. 씨방(ovary)은 대포자낭을 가지고 있는 배주(ovule)를 생산한다(Fig. 3A). 암술은 처음엔 수술보다 길이가 짧다가(Fig. 3B), 개화 전 까지 수술과 비슷한 길이로 성장한다(Fig. 3C). 금낭화는 화뢰의 길이가 9~10 mm일 때 소포자가 성숙되

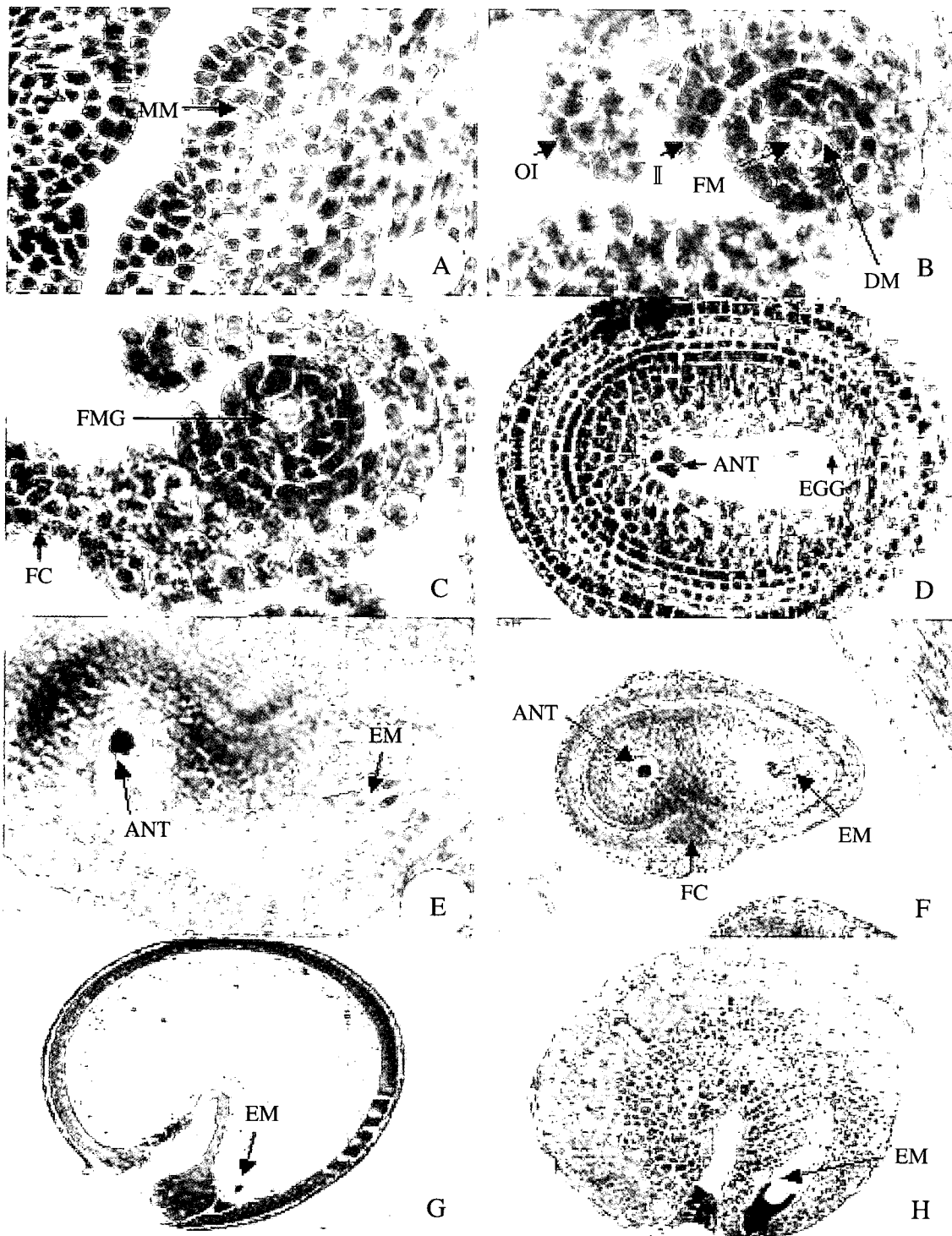


Fig. 2. Formation of female gametophyte of *Dicentra spectabilis*. A, Megaspore mother cell (x400). B, The functional megaspore has enlarged while the other three megaspores degenerated (x400). C, Four nucleate megaspore (x400). D, Sectioned embryo sac have three large antipodals, the central cell and the egg cell (x200). E, Matured embryo sac is amphitropous type (x200). F, The cross section figure of matured embryo sac.(x100). G, The seed has a globular stage embryo (x40). H, Cotyledonary stage embryo in seed without seed coat (x40). MMC-Megaspore mother cell. FM-Functional megaspore. DM-Degenerated megaspores, II-Inner integument, OI-Outer integument, ANT-Antipodal, FC-Funiculus, EGG-Egg cell, and EM-Embryo.

는 것으로 나타났으며 배낭도 거의 같이 성숙되었다. 콩과식물인 황기의 경우, 소포자와 배낭이 같은 시기에 성숙하여 소포자가 터지더라도, 암술과 수술의 길이에 차이가 있어 자화수정이 어렵다(Kim *et al.*, 2001). 이에 비해 금낭화는 암술과 수술의 길이가 거의 비슷하거나 아래쪽을 향하고 있는 암술이 수술 보다 약 0.5 mm 정도 길기 때문에(Fig. 3D), 꽃가루낭이 터지면 꽃가루가 바로 암술머리에 묻기 적당한 구조를 이루고 있음을 알 수 있었다. 또한 바깥 꽃잎이 좌우로 벌어지는 개화시에도 안쪽 꽃잎이 부분적으로 수술과 암술을 함께 감싸고 있어서 이로 인해 자화수정에 적합하다고 판단된다. 이러한 현상은 금낭화속 식물이 아시아와 북아메리카에 약

10여종이 있고, 우리나라에는 변이종인 흰색 금낭화와 분홍색 금낭화 2종만 있는 것과 밀접한 연관이 있음을 암시한다.

한편, 접합자배의 발달과정을 추적한 결과, 배는 구형, 심장형을 거쳐 자엽시기의 배까지 발달하였는데, 특히 종자 산포시에는 초기 자엽시기의 배를 형성하고 있음을 알 수 있었다.

적요

본 연구는 금낭화 배우체의 형성과 배 발달 특성에 관한 기초 자료로 활용하기 위해 수행되었다. 시원세포로부터 발달된 소포자 모세포는

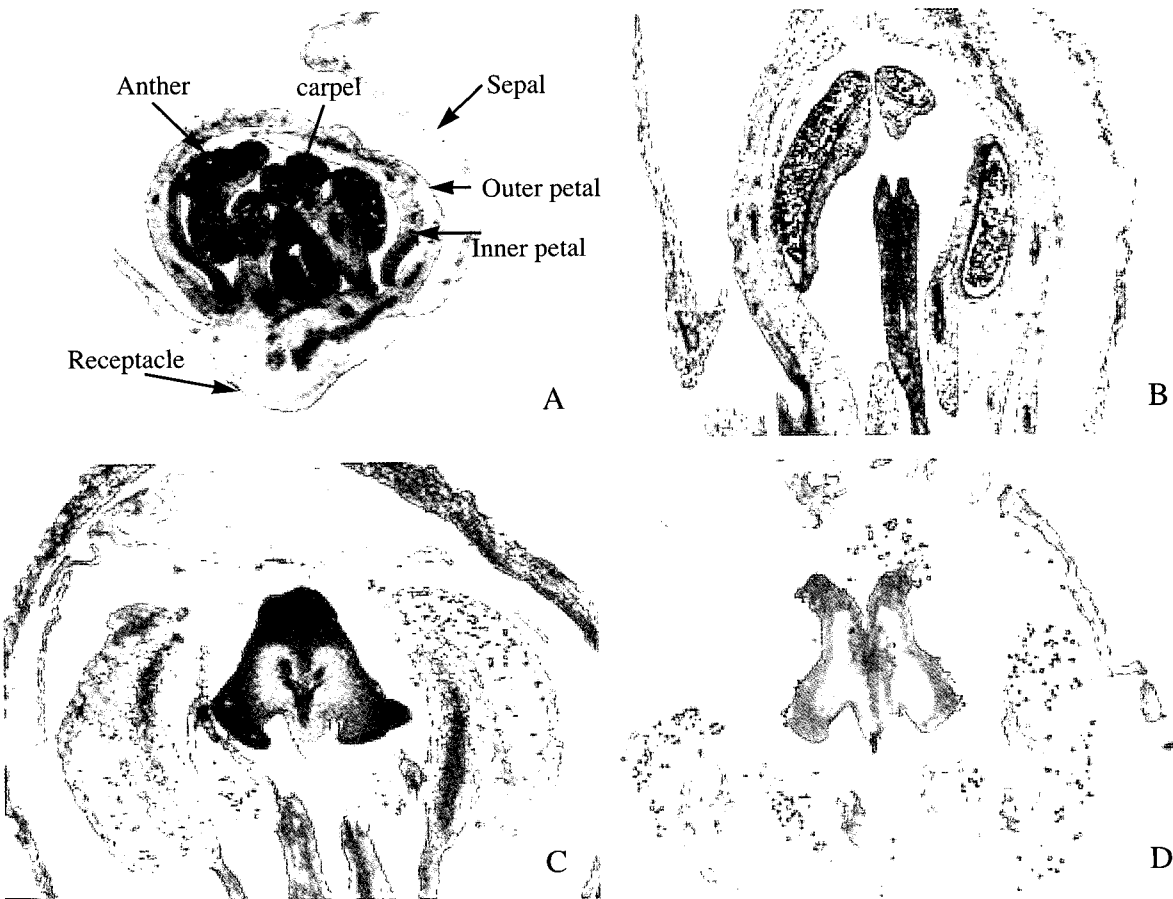


Fig. 3. The structure of flower of *Dicentra spectabilis*. Flower bud size A, 2 mm, B, 5 mm C, 18 mm. D, Flowering stage, 22 mm (x40).

화뢰의 길이가 1 mm일 때 감수분열을 하여 4면체형(tetrahedral) 4분자가 형성되었다. 4개의 소포자는 분리되어 각각 웅성배우체로 발달하였다. 대포자 모세포는 화뢰의 길이 4~5 mm에서 관찰되었다. 대포자의 발달유형은 정상형(polygonum)이었으며, 배낭의 형태는 굽어있는 곡생배주(amphitropous)였다. 3개의 뚜렷한 반죽세포는 배낭이 성숙한 후에도 퇴화하지 않고 남아있었다. 개화 전 자웅배우체는 충분히 성숙하였다. 개화 시에 수술과 암술의 길이는 거의 비슷하거나 수술이 0.5 mm 짧아서 자화수정에 적당한 구조를 가지는 것으로 나타났다. 수정 후 배는 구형, 심장형을 거쳐 자엽배까지 발달하였으며, 종자 산포시 초기 자엽배를 가지고 있음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 농림부에서 시행한 2002년도 농림 기술개발사업의 연구비지원에 의하여 수행된 결과의 일부이다.

인용문헌

- Bhojwani, S.S. and S.P. Bhatnagar. 1974. The Embryology of Angiosperms. Third edition pp. 25.
- D' Amato, F. 1952. Polyploidy in the differentiation and function of tissues and cells in plants. A critical examination of the literature. *Caryologia* 4 : 311-358.
- Eames, A.J. 1961. *Morphology of the Angiosperms*. McGraw-Hill, New York.
- Erdtman, G. 1969. *Handbook of Palynology : Morphology-Taxonomy-Ecology*. Munksgaard, Sweden, pp. 26-46.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of Seed Plant*. 2nd Ed., John Wiley, New York, pp. 403-427.
- Heslop-Harrison, J. 1971. *Pollen : Development and Physiology*. Appleton-Century-Crofts. New York, pp. 41-127.
- Kim, M.J. and I.S. Kim. 1995. Microsporogenesis of *Hibiscus syriacus* L. and its sporoderm differentiation. *J. Plant Biol.* 38(1) : 95-105.
- Kim, Y.G., S.Y. Son, N.S. Seong, B.H. Lee and J.S. Park. 2001. Gametophyte formation and microspore germination in *Astragalus membranaceus* Bunge. *Kor. J. Crop. Sci.* 46(6) : 443-448.
- Mephram, R.H. and G.R. Lane. 1969. Role of the tapetum in the development of *Tradescantia* pollen. *Nature* 221 : 282-283.
- Oh, B.U. and C.G. Jang. 2002. Development of female gametophyte of six species of *corydalis* (Fumariaceae). *Kor. J. Plant Tax.* 32 : 467-480.
- Robertson, B.I. 1984. Tapetal cell changer and sporoderm development in *Rhigowum trichotomum*. *Ann. Bot.* 53 : 803-810.
- (접수일 2005. 3. 03)
(수락일 2005. 4. 06)