

# 실험 탐구 수업을 이용한 감수분열 과정의 이해

김희수<sup>1</sup>, 박기석<sup>2</sup>, 우제창<sup>3</sup>, 전상학<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>신목고등학교, 서울특별시 158-076

<sup>2</sup>서울대학교, 서울특별시 151-742

<sup>3</sup>목포대학교, 전라남도 534-729

## Understanding of the Meiotic Process Using Experimental Inquiry Teaching

Heesoo Kim<sup>1</sup>, Ki-Seok Park<sup>2</sup>, Je-Chang Woo<sup>3</sup> and Sang-Hak Jeon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Shinmok High School, Seoul 158-076, Korea

<sup>2</sup>Department of Biology Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>3</sup>Department of Biology, Mokpo University, Jeonnam 534-729, Korea

### 요 약

감수분열은 유성생식을 하는 생물에서 일어난다. 감수분열의 두 가지 중요한 기능은 첫째, 부모와 자식이 같은 염색체 수와 구조를 갖게 함으로써 종을 유지하게 하며, 둘째, 유전자의 재조합을 통해 다양한 자손을 만들어내는 중요한 생명현상이다. 감수분열은 9학년 및 10학년 과학, 그리고 12학년 생물 II에서 소개되지만 적절한 실험 재료의 부족 및 실험 방법에 대한 자세한 정보의 부족으로 실험 탐구 수업이 거의 없는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 실험 교육이 가능하도록 실험 재료 및 실험 과정에 대한 상세한 정보를 제공하고자 하였다. 연구 재료로는 호밀의 어린 이삭 및 양파의 꽃을 이용하였다. 호밀이나 양파에서는 제1 감수분열 및 제2 감수분열을 포함하는 각 단계들이 관찰됨으로써 그 성공률이 매우 높았다. 다양한 감수분열 단계를 보여주는 1.5 mm 크기의 양파의 꽃밥이나 4 mm 크기의 호밀 꽃밥을 이용하면 다양한 감수분열 단계를 관찰할 수 있으며 이 크기보다 작으면 감수분열이 전기에 국한되며, 이 크기보다 크면 말기나 꽃가루가 관찰되었다. 호밀이나 양파는 염산을 이용한 연화 처리 없이 관찰함으로써 집단으로 붙어 있는 세포들로부터 다양한 감수분열 단계를 관찰할 수 있으며, 호밀을 연화처리하면 각 단계를 좀 더 뚜렷하게 볼 수 있고 염색도 선명하게 되는 경향이 있으나 세포가 흩어지는 단점이 있었다. 양파는 연화처리 전후에 큰 차이가 없었다. 본 연구 결과 호밀과 양파는 연화처리 없이 매우 쉽게 감수분열 과정을 관찰할 수 있어 현장 교육에서 훌륭한 감수분열 실험 재료로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

**주제어 :** 감수분열, 호밀, 양파, 꽃밥

### 서 론

과학 교육의 주요 목표 중 한 가지는 학생들이 과학적인 추론 방법을 배우는 것이며, 이를 위해 학생들이 관찰이나 실험과 같은 탐구 활동에 참여하게 한다. 과학 교육에서 탐구에 초점을 맞추는 것은 새로운 것이 아니지만 탐구과정을 통한 학생들의 과학적 추론 능력을 향상시키는 것이 과학교육에서 새로이 관심을 끌고 있는 이유는, 과학적 추론에 대한 바른 인식이 실제 과학에 대한 올바른 인식론으로 연결된다고 생각하기 때문

이다(Chinn and Malhotra, 2002).

하지만 실제 학교에서 이루어지는 실험 교육은 여러 면에서 어려움에 직면해 있다. 재료 준비의 어려움과 실험 과정에 대한 상세한 정보의 부족 등으로 실험 교육이 어려워지면서 과학 탐구 교육은 점점 그 흥미를 잃어가고 있다. 실험 탐구 수업 중 특히 어렵게 느끼는 것 중의 하나가 감수분열 과정(meiosis)의 이해라고 할 수 있다.

생물체가 같은 종을 유지할 수 있는 가장 중요한 기작은 바로 감수분열을 통해 부모와 자식이 같은 수의 염색체를 갖는 것이다. 다른 생물들은 보통 다른 수의 염색체의 수나 모양을 가지고 있다. 사람은 46개의 염색체 수를 가지고 있는데 염색

\*교신저자: jeonsh@snu.ac.kr, Tel: 02-880-1409, Fax: 02-886-2117.

이 논문 작성에 김희수와 박기석이 동일한 비중으로 참여함.

체의 수가 하나 증가하여 생기는 다운증후군이나 염색체 수가 감소하여 생기는 터너증후군에서 보듯이 염색체 수의 이상으로 인해 비정상적인 사람이 되며, 대부분 불임이 됨으로써 다음 세대를 만들어갈 수 없다. 따라서 부모와 같은 수의 염색체 수와 구조를 물려받는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 감수분열의 또 다른 기능 중의 하나는 감수분열 전기에 일어나는 유전자의 재조합(recombination)에 의해 생식세포가 갖는 유전자의 조성이 분열 전의 유전자의 조성과 달라 종 다양성을 가져온다는 것이다. 감수분열은 체세포분열 자체가 생식 과정이 되는 원생생물 등의 생물 종을 제외하고는 거의 모든 동식물의 생식세포(germinal cell)를 형성하는 과정에서 일어난다. 감수분열은 제1 분열과 제2 분열의 2번의 분열 과정을 거치며, 염색체의 수가 반으로 줄어드는 것은 제1 분열에서 일어난다. 제1 분열 전기에 상동염색체의 접합, 염색체의 교차 및 상동염색체의 분리 과정이 일어나는 복잡한 과정을 거친다.

감수분열 과정은 교육과정 9학년과 10학년, 12학년에서 배우는 내용으로 9학년 과학 교과서에서 실험 탐구활동은 감수분열 과정을 소개한 7종 교과서 중 한 출판사에서만 다루었으며, 나머지 교과서에서는 모두 추론 및 자료 해석 등으로 다루었다. 10학년 과학의 11종 교과서에서는 정자 난자 형성 과정이 모두 자료 해석으로 다루어지고 있다(심규철, 2006). 12학년 생물 II에서는 4종 교과서에서 실험 탐구수업을 다루고 있으며(권혁빈 등, 2003; 김운택 등, 2003; 이상인 등, 2003; 정완호 등, 2003), 2종 교과서에서는 조사토의, 자료해석, 해보기(박희송 등, 2003, 조희형 등, 2003) 등을 다루고 있다. 실험 탐구 수업을 소개하고 있는 3종 교과서는 실험 재료로 자주달개비 혹은 백합을 포함하고 있다. 본 연구팀에서의 설문 조사 결과 대부분의 교사들은 적절한 재료의 구입이 어려워 실험을 수행하지 못하였으며, 실험을 수행한 교사의 경우도 성공적인 실험을 수행한 경우가 거의 없었다.

따라서 본 연구에서는 호밀의 이삭과 양파의 어린 꽃을 이용하여 감수분열 과정을 상세하게 기술하고, 실험재료의 선택 및 실험 과정에 대한 정보를 제공함으로써 복잡한 감수분열 과정을 실험 탐구 수업을 통해 흥미롭게 배울 수 있도록 하고자 하였다.

## 연구 재료 및 방법

### 시약, 기구 및 실험 재료

감수분열은 고등 식물에서는 화분모세포와 배낭모세포, 동물

에서는 정소의 정모세포와 난소의 난모세포에서 일어난다. 이들 중 감수 분열의 실험 재료로는 화분모세포와 정모세포가 이용된다. 꽃가루는 꽃밥(anther) 속에서 만들어진다. 꽃밥 안쪽 벽에 생긴 초기세포는 유사분열을 계속하여 시원세포(arche-sporial cell)와 타펫세포(tapetal cell)를 만들고, 시원세포는 따라서 화분모세포가 된다. 화분모세포는 감수분열을 통해 4개의 꽃가루를 만든다. 본 연구에서는 호밀의 어린 이삭과 양파의 어린 꽃봉오리를 선택하여 직접 프레파라트를 제작하여 식물의 감수분열 과정을 관찰하였다. 양파의 꽃을 수확하기에는 5월이 적기이며, 호밀의 경우 4월 하순에서 5월 초순이 적합하다.

호밀은 10월쯤에 학교의 화단에 파종을 하여 다음 해 4월 하순에서 5월 초순에 이삭을 수확하여 이용할 수 있다. 양파의 종자는 종묘상에서 구입하는데 추운 겨울을 나야 함으로 추위에 강한 것을 선택한다. 적은 수가 필요한 만큼 종자보다는 모종을 구해서 심는 것이 좋다. 파종은 8월 하순에서 9월 초순경에 하며, 모종은 10월 상순경에 구입하여 포기 사이를 한 뼘 정도로 하여 심는다. 호밀이나 양파를 직접 재배하기 어려우면 재배 농가를 찾아 수확을 의뢰할 수 있다. 본 연구에서 이용한 호밀 이삭은 축산 농가를 찾아서 4월 말에 직접 채취한 것과 고정된 것을 상업적으로 구입하여 이용하였으며, 양파는 목포 대학의 우제창 교수를 통해 구입하여 사용하였다.

아세트오세인(aceto-orcein)은 특급 올세인(orcein) (Acros 회사, 미국)을 이용하여 제조하였다. 올세인 1g을 50% 아세트산(acetic acid) 100 ml에 넣고 한 시간 가량 잘 저어주면서 녹인다. 이 때 잘 녹지 않으면 열을 가하면서 녹인다. 올세인이



그림 1. 호밀의 어린 이삭 및 꽃밥. (A, B) 호밀 이삭 및 낱알. 호밀의 한 이삭에는 매우 많은 수의 낱알이 붙어 있다. (C) 낱알 속의 꽃밥. 한 낱알에 보통 2-3개의 꽃밥(화살표)이 들어있다. 4 mm 정도의 꽃밥이 감수분열 단계를 관찰하기에 적합하다.



그림 2. 양파의 꽃 및 꽃밥. (A) 양파의 꽃. 한 꽃에는 매우 많은 다양한 크기의 낱개의 꽃들이 있다. (B) 낱개의 꽃. 크기가 다양하다. (C) 낱개의 꽃 속에 있는 꽃밥으로 꽃의 성장 정도에 따라 그 크기가 다르다. 1.5 mm 정도의 크기가 감수분열의 각 단계를 관찰하기에 적합하다.

녹으면 여과지로 걸러 사용한다. 인터넷 정보나 기존 실험서에 서는 아세트산 100 ml에 2g의 올세인을 넣는 것으로 되어 있는데 본 연구에서는 1g으로도 충분하다는 것을 알 수 있었다.

**실험 재료**

꽃 피기 전의 호밀 이삭(생물나라) 혹은 양파의 어린 꽃봉오리(목포대), 광학현미경, 페트리 접시, 여과지, 커버글라스, 슬라이드글라스, 핀셋(끝이 뾰족한 것), 1% 아세트올세인(올세인 1g, 50% 아세트산 100 ml), 70% 에틸알코올, 고정액(아세트산:알코올 = 1:3), 백합 감수분열 슬라이드(생물나라)

**실험 방법**

꽃이 피기 전의 양파의 어린 꽃봉오리나 호밀의 어린 이삭을 따서 고정액(아세트산:알코올 = 1:3)에 넣어 고정한다. 실험하기 전에 어린 꽃봉오리나 이삭을 70% 에틸알코올이 든 페트리 접시에 꺼낸다. 양파의 작은 꽃 하나에 6개의 꽃밥이 있으며, 호밀 낱 꽃 하나에는 3개의 꽃밥이 있다. 한 개의 꽃밥을 슬라이드글라스 위에 놓고(그림 3B) 1% 아세트올세인 용액을 1방울 떨어뜨린다(그림 3C). 이 때 이용하는 슬라이드글라스는 깨끗한 것을 이용하여야 한다. 양손에 끝이 뾰족한 핀셋 하나씩을 잡는다(그림 3D). 하나의 핀셋으로 꽃밥을 잡고, 다른 핀셋으로 조직을 잘게 부순 후 약 5분 동안 염색을 한다. 염색이 끝난 후 커버 글라스로 덮고 그 위에 여과지를 올려놓는다. 커버글라스의 한 끝을 잡아 커버글라스가 움직이지 않도록 하고 다른 손의 엄지손가락으로 강하게 눌러 염색체가 퍼지도록 한

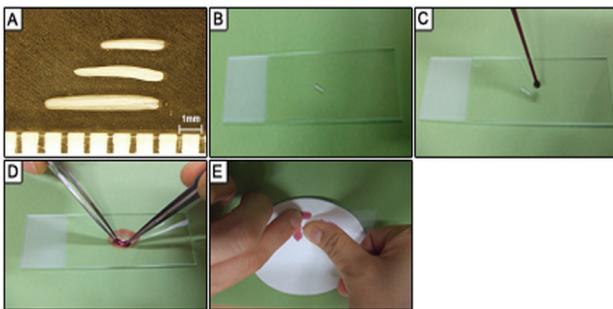


그림 3. 호밀을 이용한 실험절차. (A) 호밀의 꽃밥. 성장 정도에 따라 여러 크기로 나타나며, 가장 위에 있는 꽃밥은 3 mm 정도로 주로 전기가 관찰되며, 가운데 크기는 다양한 감수분열 단계가 보이고, 가장 아래의 5 mm 정도 크기는 말기 II 혹은 꽃가루가 관찰된다. (B) 꽃밥 준비. 꽃밥 하나를 슬라이드 위에 올려놓는다. (C) 염색하기. 염색액을 떨어뜨린다. (D) 꽃밥 잘게 부수기. 날카로운 두 개의 핀셋을 이용하여 꽃밥을 잘게 부순다. (E) 염색체 퍼기. 양손의 손가락을 이용하여 커버글라스를 눌러 염색체를 퍼뜨린다.

다(그림 3E). 광학현미경을 이용하여 100배의 저배율로 검경하여 상을 찾은 후 400배로 관찰한다.

**실험상의 주의점**

염색이 끝나면 슬라이드글라스 위에 커버글라스를 얹고 엄지손가락으로 커버글라스 위에서 눌러 주는데 이 때 왼손의 엄지손가락으로 커버글라스의 한 끝을 잡고, 다른 엄지손가락으로 커버글라스를 눌러야 커버글라스가 밀리지 않고 염색체가 잘 퍼진다. 만약 염색이 흐리게 되었다면 염색 시간이 부족하였거나 염색약이 좋지 않기 때문일 수 있다. 염색약은 특급 올세인을 이용하여 만든 신선한 것을 이용하여야 하며, 기존의 것을 이용할 경우 여과지로 한 번 걸러서 사용하는 것이 좋다. 염색약의 제조가 번거로우면 상업적으로 만들어진 아세트올세인 용액을 이용할 수 있다. 4 mm 크기의 호밀 꽃밥을 이용하여도 감수분열 상이 잘 나타나지 않았을 때는 이 보다 약간 더 작거나 큰 것을 선택하여 반복 실험을 수행해보는 것이 좋다.

**연구 결과 및 논의**

**감수분열 과정에 대한 이해를 돕기 위한 모식도**

학생들이 슬라이드 표본이나 실험을 통해서 얻은 시료에서 나타나는 감수분열 과정을 바로 이해하기가 쉽지 않을 것으로 생각된다. 체세포분열은 한 번의 분열 과정을 거치고 전기 → 중기 → 후기 → 말기의 단계만 찾으면 되지만 감수분열은 두 번의 분열 과정이 있고 각 분열마다 전기 → 중기 → 후기 → 말기 과정을 찾아야 한다. 따라서 학습의 효과를 높이기 위해서는 모식도를 이용하여 감수분열의 전 과정을 살펴보고 각 단계가 슬라이드 표본 상에서 어떤 모습으로 나타날 것인가를 미리서 예측해 보는 것이 필요하다.

그림 4는 제1 감수분열 단계를 보여주는 모식도이다. 제1 감수분열 전기(전기 I)는 가장 복잡한 단계로 세사기(leptotene, 그림 4A), 접합기(zygotene, 그림 4B), 태사기(pachytene, 그림 4C), 복사기(diplotene, 그림 4D), 이동기(diakinesis, 그림 4E)로 구분된다. 세사기는 염색질이 응축하기 시작하는 시기이며, 상동염색체(homologous chromosome)를 서로 탐색하는 시기다. 접합기는 염색체가 계속 응축되며 상동염색체가 짝을 찾아서 서로 나란히 배열하는 시기로, 대강의 짝 맞추기라고 할 수 있

다. 태사기에는 짝맞추기가 완성된 시기이며, 쌍을 이룬 염색체를 2가염색체(bivalent) 혹은 4분염색체(tetrad)라고 한다. 복사기에는 각 4분 염색체 내의 자매염색분체(sister chromatid)가 나뉘어지기 시작하며, 자매 혹은 비자매 염색분체간에 일부가 붙어 있는 모습을 보여주는데 이를 키아즈마타(chiasmata, 단수는 chiasma)라고 하며 염색체의 교차에 대한 증거가 된다. 이 동기에는 염색체들이 서로 떨어져 나가는 모습을 보여주며, 키아즈마타는 염색체의 양 끝으로 이동한다(Pierce, 2006). 그림 4F는 제1 감수분열 중기(중기 I)로 염색체가 가장 응축되어 있으며 중앙에 배열되어 있다. 그림 4G는 제1 감수분열 후기(후기 I)로 염색체가 양극으로 끌려가는 것을 보여주며 진행 정도에 따라 다양하게 나타나는 단계이므로 슬라이드 표본에서 찾아 볼 때는 주의 깊은 관찰이 필요하다. 그림 4H는 제1 감수분열 말기(말기 I)로 염색체가 양극으로 이동한 경우로 말기가 완성되면 세포막의 관찰이 가능하고, 염색체의 응축현상이 상대적으로 풀리며 핵막이 다시 나타난다.

제2 감수분열은 제1 감수분열과는 달리 2개의 세포에서 동시에 진행되는 모습을 보여준다(그림 5). 그림 5A는 염색체가 응축되어 있는 제2 감수분열 전기(전기 II)를, 그림 5B는 염색체가 중앙에 배열되어 있는 제2 감수분열 중기(중기 II)를, 그림 5C는 염색체가 양쪽으로 끌려가는 제2 감수분열 후기(후기 II)를, 그림 5D는 제2 감수분열 말기(말기 II)로 염색체가 양극으로 완전히 끌려간 상태이며, 말기가 진행되면서 세포판이 생긴다. 그림 5E는 화분 4분자를 보여주며, 이것으로부터 꽃가루가 만들어진다.

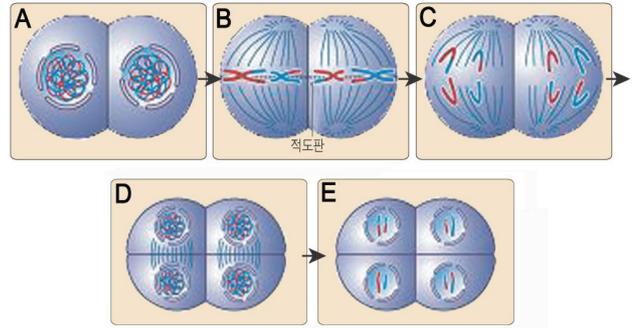


그림 5. 제2 감수분열 과정. (A) 전기 II, (B) 중기 II, (C) 후기 II, (D) 말기 II, (E) 화분 4분자.

### 호밀의 감수분열 관찰

호밀 꽃밥의 크기는 2~5 mm 정도까지 다양하게 나타났는데 4 mm 정도 크기에서는 다양한 감수분열 단계가 관찰되었으며, 3~4 mm 사이에서는 주로 전기 I이 관찰되었고, 4.5~5 mm 이상에서는 말기 II 또는 꽃가루가 관찰되었다. 5 mm 이상에서는 거의 꽃가루가 관찰되었기 때문에 이 크기 이상은 이용하지 않았다. 호밀은 염산에 해리(연화)를 하지 않아도 감수분열 단계를 관찰하는데 문제가 없으며 염색체도 셀 수 있었다. 또한 세포들이 단일 단계 혹은 여러 단계가 나타나는 세포들이 모여 있지만, 해리를 하면 세포들이 하나씩 분리되어 흩어지는 단점이 발견되었다. 하지만 염산으로 꽃밥을 해리하면 염색체가 더 잘 퍼지고 염색이 좀 더 선명하게 보였다. 해리는 55℃의 1N HCl에서 5분 정도면 충분하였다.

꽃밥에는 화분모세포만이 있는 것이 아니라 이들을 둘러싸

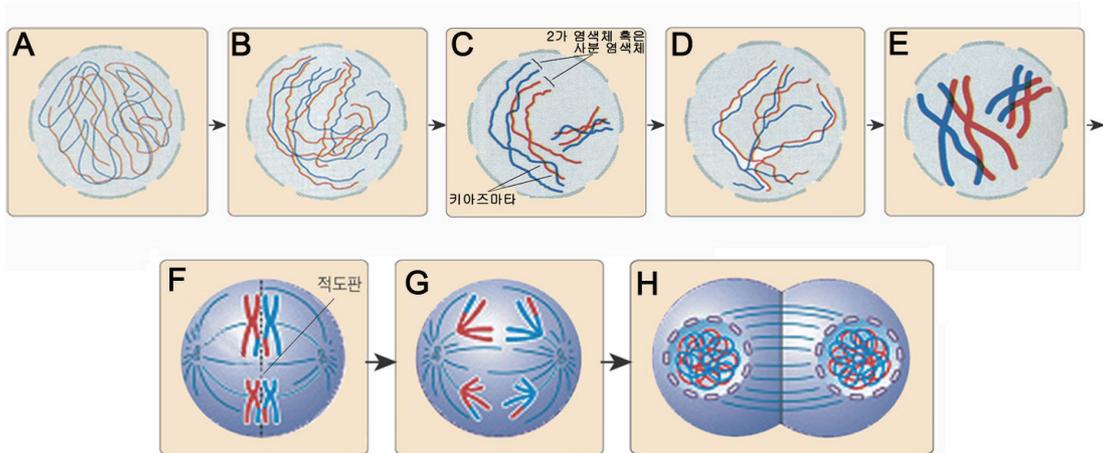


그림 4. 제1 감수분열 과정. (A) 전기 I(세사기), (B) 전기 I(접합기), (C) 전기 I(태사기), (D) 전기 I(복사기), (E) 전기 I(이동기), (F) 중기 I, (G) 후기 I, (H) 말기 I.

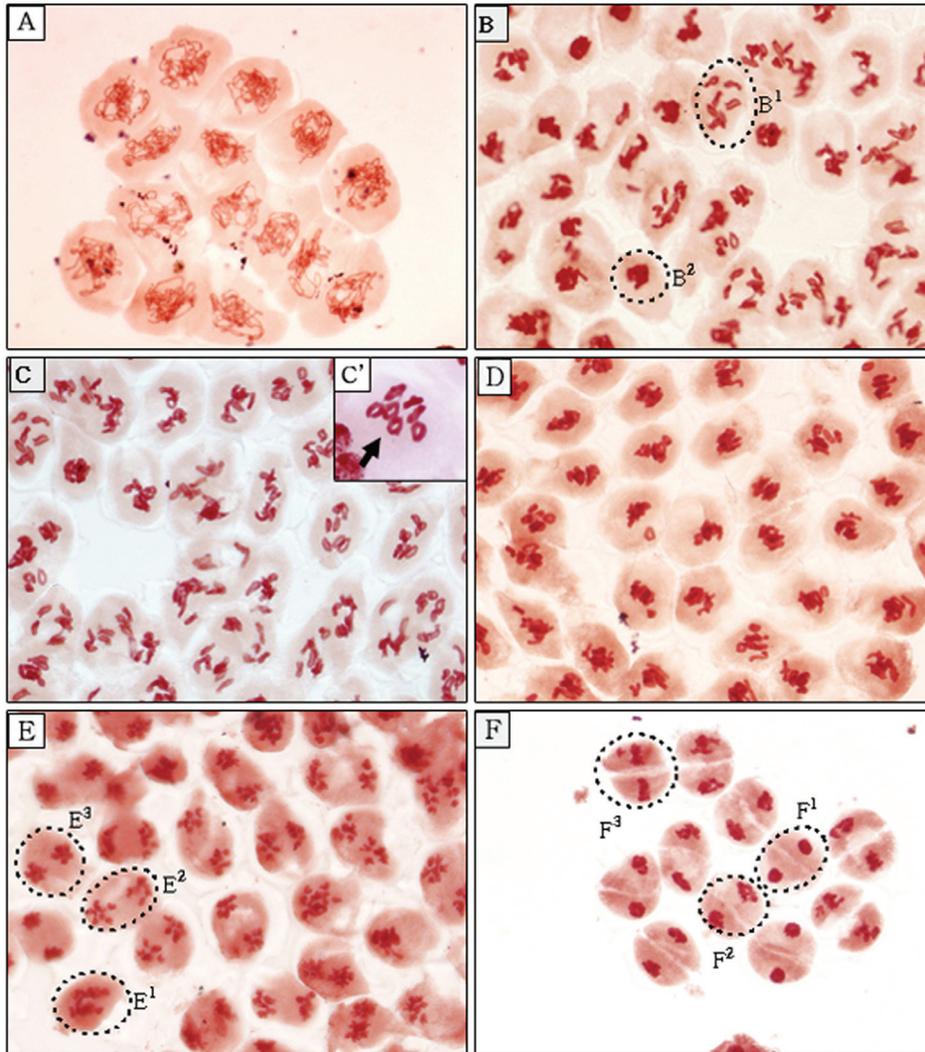


그림 6. 호밀로부터 관찰된 제1 감수분열 단계. (A) 전기 I의 세사기-접합기. 염색질이 응축되어 염색체를 형성하는 중에 있다. (B) 전기 I의 복사기. 염색체가 접합되어 있으며, 어떤 염색체는 키아즈마를 보여준다. (C) 전기 I의 복사기-이동기. 염색체의 끝 부분에서 키아즈마가 나타난다. 화살표는 전형적인 이동기의 염색체를 보여준다. C'은 이동기를 확대한 사진이다. (D) 중기 I. 염색체가 중앙에 배열되어 있다. (E) 후기 I. 염색체가 양극을 향해(E<sup>1</sup>→E<sup>2</sup>→E<sup>3</sup>)로 이동한다. (F) 말기 I~중기 II. 현미경상에 말기 I(F<sup>1</sup>), 전기 II(F<sup>2</sup>), 중기 II(F<sup>3</sup>)가 나타난다.

고 있는 체세포가 있기 때문에 좀 더 정교한 실험 방법을 소개 하면 다음과 같다. 하나의 핀셋으로 꽃밥을 잡고, 꽃밥을 반으로 자른다. 반으로 잘려진 꽃밥의 한 끝을 핀으로 잡고 끝에서 가운데 방향으로 눌러준다. 그리고 겉 부분의 조직은 버린다. 꽃밥의 겉 부분은 체세포이고 실제로 감수분열을 하는 화분모 세포는 꽃밥의 안쪽에 있으므로 꽃밥 전체를 잘게 부수면 겉 부분의 체세포가 포함되므로 학생들이 혼동할 가능성이 있다. 하지만 꽃밥 전체를 이용하더라도 생식세포들이 모여 있기 때문에 체세포들과 구분하는데 큰 어려움이 없었다.

호밀이삭의 꽃밥에는 화분모세포로부터 감수분열 과정을 거

쳐 꽃가루가 되기까지의 여러 분열 단계의 세포들이 있다. 그림 6은 호밀에서 관찰된 제1 감수분열 단계를 보여준다. 실험에 사용한 꽃밥의 성숙도에 따라 같은 현미경상에 주로 한 단계의 감수분열 과정만 나타나거나(그림 6A-E), 2-3 단계 정도의 감수분열 단계(그림 6F)가 나타나기도 하는데, 전 과정을 한꺼번에 볼 수 있는 것을 발견할 수 없었다. 그림 6A는 전기 I 중 세사기를 보여준다. 염색질이 응축된 염색체가 관찰된다. 그림 6B는 전기 I 중 접합기-태사기 단계로 생각된다. 호밀은 염색체가 14개이지만 제1 감수분열 전기(그림 6B)에서 7개처럼 보인다. 그림 6B의 B<sup>1</sup>에서 염색체가 7개로 보이는 것은 감수분열 결과 염색체가

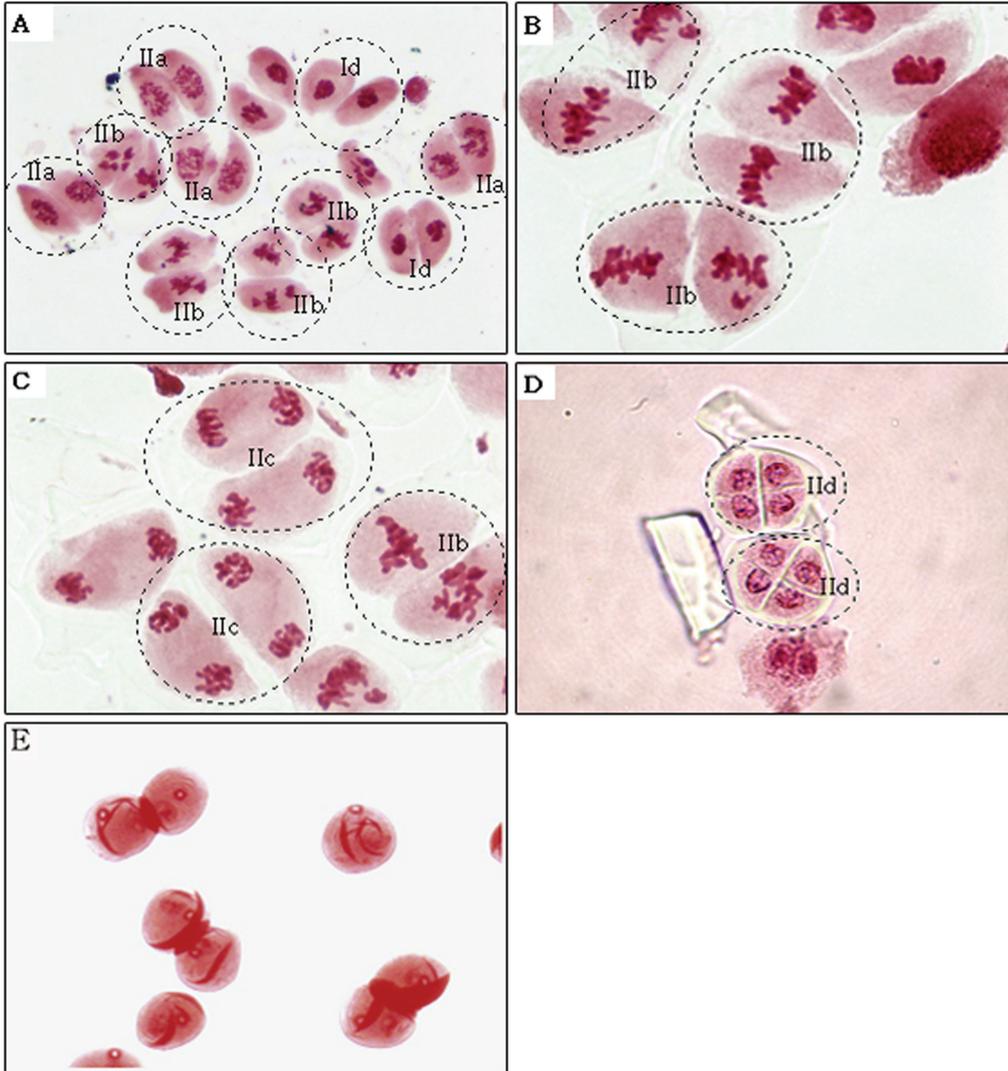


그림 7. 호밀로부터 관찰된 제2 감수분열 단계. (A) 말기 I ~ 중기 II. 제1 감수분열에서 제2 감수분열로 넘어가는 단계에서는 여러 단계의 감수분열 과정이 한 현미경상에 나타난다. (B) 중기 II, 염색체가 중앙에 배열되어 있다. 제1 감수분열 후 세포가 2개가 되었을 때 분열한 두 세포의 분열면은 다른 면의 원형태와는 달리 일자형을 보이고 있다. (C) 후기 II, 염색체가 양극으로 이동한다. (D) 말기 II, 염색체의 응축이 풀어지고, 4개의 딸세포가 관찰된다. I d: 제1 감수분열 말기, II a: 제2 감수분열 전기, II b: 제2 감수분열 중기, II c: 제2 감수분열 후기, II d: 제2 감수분열 후기. (E) 꽃가루 형성. 5 mm 이상의 꽃밥에서는 꽃가루가 관찰된다.

반으로 줄어든 것이 아니라 상동염색체가 접합을 하고 있기 때문이다. 어떤 염색체에서는 일부분이 붙어 있는 것이 관찰되는데 이것은 제1 감수분열 전기의 복사기에서 관찰되는 키아즈마로 교차가 일어나고 있음을 알려준다. 그림 6B의 B<sup>2</sup> 세포의 염색체가 주변 세포의 염색체와 달라 보이는 것은 염색체가 잘 퍼뜨려지지 않았기 때문이거나 혹은 조금 다른 단계에 있기 때문으로 생각된다. 그림 6C에서는 제1 감수분열 전기의 이동을 관찰할 수 있다. 키아즈마가 상동염색체의 끝에서 나타난다(화살표). 그림 6D는 제1 감수분열 중기를 보여준다. 대부분의 세

포에서 염색체가 중앙에 배열되어 있다. 그림 6E는 제1 감수분열 후기로 E<sup>1</sup>-E<sup>2</sup>-E<sup>3</sup> 순으로 진행되는 일련의 후기 단계를 보여준다. 그림 6F는 제1 감수분열 말기에서 제2 감수분열 전기 및 중기를 보여준다. 여러 단계가 한꺼번에 관찰되는 것으로 보아 제1 감수분열 말기에서 다음 단계로의 감수분열 과정이 빠르게 진행되는 것으로 생각된다. 이 사진에서 보듯이 말기 I의 후반부와 간기를 구별하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 생물에 따라서는 제1 감수분열과 제2 감수분열 사이에 간기가 없이 진행되는 경우가 있으며, 또한 제2 감수분열 전기도 없이 바로 제2 감수분

열 중기로 넘어가는 경우가 관찰된다.

감수분열 과정은 두 번의 분열 과정이 있기 때문에 제1 감수분열 상태의 세포와 제2 감수분열 상태의 세포를 구별하는 것이 가장 중요하다. 현미경 상에서 관찰할 때는 많이 혼동하는 것이 이 과정임으로 자주 관찰을 통해 세포의 특징을 이해하는 것이 필요하다. 제2 감수분열 상태에 있는 세포에 대한 구별법으로는 첫째, 인접한 세포를 자세히 볼 때 인접한 부분이 원형이기 보다는 직선형에 가깝다는 것이다(그림 7). 둘째, 두 세포가 하나의 원으로 둘러싸여 있는 형태를 취하고 있다는 것이다. 하지만 간혹 너무 가는 실선처럼 보여 확인이 어려울 때가 있다. 현미경에서는 사진에서 보이는 것보다 초점 조절을 통해 가는 선을 더 선명하게 볼 수 있다. 그림 7A에서는 제1 감수분열 말기에서 제2 감수분열 중기까지 다양하게 나타난다. 이것은 그림 6F에서 본 것과 매우 유사하다. 따라서 제1 감수분열에서 제2 감수분열로 넘어가는 단계는 빠르게 진행되는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 그림 7B의 제2 감수분열 중기에서 일부 염색체가 중앙에 배열되지 못하고 따로 떨어져 있는 것을 관찰할 수 있는데 아마도 아직 배열을 마치지 못하였거나 동원체에 의해 정상적으로 이동하지 못한 염색체라고 생각된다. 정상적으로 이동하지 못한 염색체는 사라질 운명을 갖는다(Pierce, 2006). 그림 7C의 IIb는 제2 감수분열 중기에서 후기로 막 넘어가는 단계로 염색체가 적도판에서 끌려가기 시작하고 있는 것을 볼 수 있다. IIc는 전형적인 제2 감수분열 후기를 보여준다. 그림 7D는 제2 감수분열 말기에서 화분4세포로 넘어가는 단계를 보여주며, 그림 7E에서는 꽃밥이 5mm 이상인 것 으로부터 관찰되는 꽃가루를 보여준다.

그림 8은 감수분열에 대한 각 단계를 요약 정리하였다. 위의 단계들은 4 mm 꽃밥을 집중적으로 조사함으로써 찾을 수 있었다. 호밀은 염색체의 수가 적고 관찰이 용이하여 과거에 염색체에 대한 연구를 할 때 많이 이용되었다(Woo, 1982; Kwon et

al., 1986). 특히 염색체의 크기가 크기 때문에 전좌 등 구조적인 변이를 연구하기에도 아주 좋은 재료로 여겨졌다. 하지만 이러한 대학에서의 연구가 교육 현장에서 전혀 응용되지 못하고 사장되었는데 본 연구에서는 이를 되살림으로써 대학에서의 연구 결과를 교육 현장에 적용한다는 데 큰 의의가 있다고 생각된다.

### 양파의 감수분열 관찰

양파는 그림2에서 보여준 것처럼 작은 꽃 수백 개가 꽃다발을 이루고 있는 형태로 하나의 작은 꽃에는 6개의 꽃밥이 들어 있다. 6개의 꽃밥 중 하나를 취하여 슬라이드 글라스에 올려놓고 아세트올세인 염색액 한 방울을 떨어뜨린 후 두 개의 핀셋으로 잘게 부수고 약 5분 정도 염색하여 관찰하는 것은 호밀과 같다. 호밀에 비해 좋은 점은 한 봉오리에 수많은 꽃이 붙어 있어 한 봉오리만으로도 한 학급의 학생들을 대상으로 여러 번 반복해서 실험을 수행할 수 있다는 것이다. 단점으로는 호밀보다 염색체의 수를 세는 것이 어려우며, 해리 전좌 후에 큰 차이가 발견되지 않았다.

사용한 꽃밥의 크기가 약 1 mm 이하의 경우는 간거나 제1분열 전기, 꽃밥의 크기가 약 1.2 mm인 경우는 제1 분열 전과정, 꽃밥의 크기가 약 1.5 mm인 경우는 감수분열 전과정을, 꽃밥의 크기가 약 1.8 mm 이상의 경우는 제2 분열 말기와 꽃가루가 관찰되었다. 한 꽃봉오리에는 여러 크기의 꽃이 나타나기 때문에 크기를 확인하여 이용함으로써 감수분열 단계를 좀 더 효율적으로 찾을 수 있었다. 일반적으로 같은 시기들이 무리를 이루는 형태로 관찰되는 경향을 보인다.

### 제 언

감수분열 과정은 체세포분열과는 달리 2번의 분열 과정을

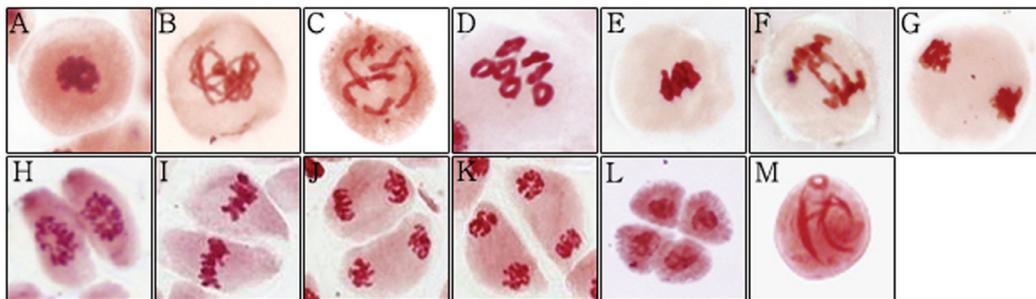


그림 8. 호밀 감수분열에 대한 요약. (A) 간기. (B) 전기(세사기). (C) 전기 I(태사기). (D) 전기 I(이동기). (E) 중기 I. (F) 후기 I. (G) 말기 I. (H) 전기II. (I) 중기II. (J) 후기II. (K) 말기II. (L) 화분4분자. (M) 꽃가루.

거치기 때문에 각 단계를 찾는 데 어려움이 있을 수 있다. 따라서 실험 전에 기본 지식을 모식도를 통해서 습득하는 것이 필요하다. 실험을 직접 수행하는 것이 어려운 경우에는 백합이나 메뚜기를 이용하여 만들어진 영구슬라이드 표본을 이용하여 동식물의 감수분열 과정을 관찰할 수 있다. 하지만 흥미를 유발할 수 있는 것은 학생들이 직접 실험을 수행하는 것인 만큼 호밀이나 양파를 이용하여 감수분열 단계를 찾아보는 것이다. 꽃밥을 찾고 핀셋으로 잘게 부수어 염색할 때까지 총 10분정도 밖에 걸리지 않는다. 나머지 시간은 감수분열 단계를 찾는 것이기 때문에 학생들과 교사간에 많은 상호작용을 할 수 있는 시간이 주어질 수 있다. 학생들이 적절한 단계를 찾게 되면 현미경을 이용해서 혹은 빔프로젝트를 통해 화면에 쏘아 함께 공유할 수 있을 것이다. 호밀은 상업적으로 구입이 가능하고, 연화처리 없이도 감수분열 상을 잘 볼 수 있기 때문에 교육 현장에서 널리 이용될 수 있다고 생각된다.

### 감사의 글

양파의 꽃을 채집하여 제공해준 목포대학교의 배정은 조교, 호밀의 이삭 사진을 제공해 주신 구정고등학교의 구수길 선생님, 논문의 교정에 참여해 주신 선문대학교의 권혁빈교수께 감사드립니다.

### ABSTRACT

Meiosis occurs in organisms undergoing sexual reproduction. Two important roles of meiosis are as followings. First, meiosis functions in maintaining the same number and structures of chromosomes as the parents. Second, it produces the diverse offsprings. Meiosis experiment is introduced in 'Science' textbook of the 9th and 10th grade, and in 'Biology II' textbook of the 12th grade. However, our survey showed that experimental class on meiosis have not been carried out because of lack of information on proper experimental materials or detail experimental procedure. In our study we tried to suggest the solution on these problems. Onion flower or ears of rye was selected as experimental materials. We observed all stages of meiosis from both materials. All kinds of meiotic stages were obtained from the anther of 1.5 mm in onion and 4 mm in rye. Meiosis could be observed without softening by HCl treatment. However, the treatment of HCl to rye gave better images on

each meiotic stages, but cells were scattered. Our study showed that onion and rye could replace materials for the meiosis experiment introduced in the present textbooks with the good possibility of success on meiosis experiment in school science.

**Key words:** meiosis, rye, onion, anther

### 참고문헌

- 권혁빈, 문용준, 손희도, 구향모, 이경형 (2003) 고등학교 생물II. (주)천재교육.
- 김미경, 김희백 (2006) 현행 과학고등학교 생물 교과 실험 분석-참과학 탐구의 추론 특성을 중심으로. 한국생물교육학회지 34(3): 330-341.
- 김윤택, 김경호, 감남일, 백수관, 김병인, 배진호, 배미정, 이용철 (2003) 고등학교 생물II. (주)중앙교육진흥연구소.
- 박희송, 이흥우, 조경주, 백운성, 김학현 (2003) 고등학교 생물 II. (주)금성출판사.
- 심규철(2006) 국민공통기본과정 과학과 생명영역 생식과 발생 단원의 탐구 활동 분석. 한국생물교육학회지 34(3): 321-329.
- 우재창 (1982) 팔당산 호밀 상호전좌의 transmission에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
- 이상인, 신영준, 동효관, 백승용 (2003) 고등학교 생물II. (주)지학사.
- 정완호, 이길재, 유병선, 홍준의, 김재근 (2003) 고등학교 생물 II. (주)교학사.
- 조희형, 정화숙, 장정찬, 최승일, 여경환 (2003) 고등학교 생물 II. (주)대한교과서.
- Chinn CA and Malhota BA (2002) Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. Science Education 86(2): 175-218.
- Kwon HB, Lee JW and Lee WJ (1986) A study on phenotypic characters of rye (*Secale cereale* L.) with the reciprocal translocation T(5R/6R) and B-chromosomes. Kor. J. Breeding 19: 222-229.
- Lee WJ, Kwon HB and Lee JW (1987) Study on phenotypic characters of rye (*Secale cereale* L.) with the reciprocal translocation T (5R/6R) and B chromosomes. Korean J. Breed 19(3): 222-229.
- Pierce BA (2006) Genetics, A conceptual approach, 2nd edition. Freeman,